

Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung – Kunstuniversität Linz

Institut für Raum und Design

überholz - Universtätslehrgang für Holzbaukultur

Hochbelastete Verbindungsknoten

Als Basis für weit gespannte Tragwerke

Anton Oster

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

MSc – Master of Science Culture Timber Architecture

Betreut von: DI Wolfgang Ritsch

Linz, 2010

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Kurzfassung	4
Abstract	5
Thema – Hochbelastete Verbindungsknoten als Basis für weit gespannte Tragwerke	6
Einleitung	7
1 Baustoffe für Tragwerke	9
1.1 Stabförmige Baustoffe	9
1.1.1 Vollholz	9
1.1.2 Brettschichtholz	10
1.1.3 Furnierschichtholz	10
1.1.4 Brettsperrholz	10
1.2 Plattenförmige Baustoffe	11
1.2.1 Brettsperrholz	11
1.2.2 Sperrholz	11
1.2.3 OSB-Platten	11
2 Verbindungen für Tragwerke	12
2.1 Verbinden von Stäben – Knoten	12
2.2 Verbinden von Platten – Linie	12
3 Allgemeine Einflüsse auf Holz	13
3.1 Modifikationsbeiwert k_{mod}	13
3.1.1 Lasteinwirkungsdauer	14
3.1.2 Nutzungsklasse und Holzfeuchte	15
3.2 Rohdichte des Holzes	16
4 Verbindungsmittel in unterschiedlichen Holzwerkstoffen	17
4.1 Stifförmige Verbindungsmittel in Voll- und Brettschichtholz	17
4.1.1 Beanspruchung auf Abscheren	17
4.1.2 Axiale Beanspruchung der Verbindungsmittel	21
4.2 Stifförmige Verbindungsmittel in Brettsperrholzplatten	21
4.2.1 Beanspruchung auf Abscheren	21
4.2.2 Axiale Beanspruchung der Verbindungsmittel	22
5 Folgende Typen von Verbindungsmitteln werden untersucht	24
5.1 Bolzen, Stabdübel, Passbolzen	24
5.1.1 Grundlagen zur Bemessung von auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel	24
5.1.2 Einflussgrößen für die Bemessung	25
5.1.3 Lochleibungsfestigkeit	26
5.1.4 Holz-Holz-Verbindung - Grundtypen	28
5.1.5 Stahl-Holz-Verbindung - Grundtypen	30
5.1.6 Vorfaktor in den Bemessungsformeln bei Versagensmechanismen mit Fließgelenk nach EN 1995-1-1	33
5.1.7 Entwicklungen zu Anschlüssen aus Stabdübeln	51
5.1.8 Laststeigerung durch Verstärkung mit Vollgewindeschrauben	52
5.1.9 Bewertung von Steifigkeit und Duktilität auf Abscheren beanspruchter Verbindungsmittel	54
5.1.10 Auswirkungen und Anforderungen bei Einsatz unter Brandbelastung (R30 und R60)	55
5.1.11 Auswirkungen bei Einsatz in Nutzungsklasse III	56
5.2 Holzschrauben	57
5.2.1 Schraubentypen	57
5.2.2 Bemessung von selbstbohrenden Schrauben	59
5.2.3 Fazit zum Einsatz von selbstbohrenden Schrauben	61
5.2.4 Bewertung der Steifigkeit und Duktilität des Verbindungsmittels	62
5.2.5 Auswirkungen und Anforderung bei Einsatz unter Brandbelastung (R30 und R60)	62
5.3 Gewindestangen	63
5.3.1 Typen von Gewindestangen	63
6 Vergleichsbeispiel Fachwerkträger mit Spannweite 42,4m, Fachwerkhöhe 4,50m	65
6.1 Nachträgliche Analyse anhand des Ausführungsbeispiels	65
6.1.1 Objektbeschreibung	65

6.1.2	Entscheidungsweg zur gewählten Tragwerkslösung und Baustoffwahl	65
6.1.3	Beschreibung der Tragstruktur	65
6.1.4	Berechnungsannahmen, Berechnung	66
6.2	Ergebnisse aus den Vergleichen verschiedener Fachwerkstypen	67
6.2.1	Beschreibung der unterschiedlichen Fachwerkstypen	67
6.3	Übersicht der Lasten für das betrachtete Fachwerk	71
6.4	Berechnete Bemessungsschnittgrößen	72
6.4.1	Fachwerkträger Typ 1	72
6.4.2	Fachwerkträger Typ 2	76
6.5	Berechnete Verformungen	79
6.5.1	Fachwerkträger Typ 1	79
6.5.2	Fachwerkträger Typ 2	82
6.5.3	Fachwerkträger Typ 3	84
6.6	Erkenntnisse aus dem Vergleich	86
6.6.1	Konstruktiver Vergleich der Fachwerkstypen	86
6.6.2	Erkenntnisse aus den statischen Systemen	86
6.6.3	Erkenntnisse aus den Verformungsbildern	86
6.7	Schlussfolgerung	87
7	Übersichtstabelle	88
8	Zusammenfassung	91

Vorwort

Als Tragwerksplaner im Ingenieurholzbau ist man neben Tragsystemwahl und -optimierung mit der Wahl der geeigneten Verbindungstechnik betraut. Die aktuelle Normenumstellung (von der ÖNORM B4100-2 auf den Eurocode 5), brachte für den Holzbau bei der Bemessung von Verbindungen keine Vereinfachung, es wurde im Gegenteil durch die Komplexität der teils neuen Berechnungsansätze die Nachvollziehbarkeit erschwert.

Unter anderem ergibt diese Undurchsichtigkeit in der Berechnung von Holzkonstruktionen - neben dem Fehlen von Systemanschlüssen, wie sie zum Beispiel im Stahlbau gang und gäbe sind - einen massiven Wettbewerbsnachteil gegenüber anderen Materialien- und Systemen. Um dem Holzbau den Wettbewerbseinstieg zu erleichtern, bedarf es übersichtlicher Entscheidungshilfen für Verbindungssysteme. Bekannte Gegenüberstellungen mit der Grundlage des Ausnutzungsgrades des Nettoquerschnittes reichen oftmals nicht aus um in der Entwurfsphase bei komplexen Aufgabenstellungen rasche Entscheidungen treffen zu können.

In dieser Arbeit wird versucht über Vergleiche verschiedener Verbindungstechniken zum einen den Einstieg zum Thema Ingenieurholzbau zu erleichtern und zum anderen dem geschulten Tragwerksplaner eine Hilfestellung zu bieten.

Kurzfassung

Zentrale Aufgabe eines Tragwerksplaners ist die Entwicklung effizienter Tragsysteme. Wobei dem Ziel der Realisierung einer wirtschaftlichen Konstruktion durch effizienten Materialeinsatz und reduziertem Herstellungsaufwand die ästhetischen Ansprüche der Gestaltung und Formgebung gegenüber stehen. Für den Tragwerksplaner gilt es die optimale Gesamtlösung unter Zusammenführung der genannten Aspekte aufzuzeigen bzw. die verschiedenen Lösungsansätze vergleichbar zu machen.

Für einen effektiven Entwurfsprozess von Tragkonstruktionen benötigen Tragwerksplaner einerseits standardisierte Anschlusssysteme und andererseits vereinheitlichte Bewertungswerkzeuge zur Vergleichbarkeit dieser Anschlüsse. Derzeit sind diese Bewertungsgrundlagen für den Holzbau, im Speziellen der hier im Weiteren behandelten hochfest beanspruchbaren Verbindungsmittel, in den aktuellen Normen nur sehr schwer erfassbar. Angesichts des umfangreichen Angebots an Holzwerkstoffen und Verbindungsmitteln und der daraus entstehenden vielfältigen Kombinationsmöglichkeit ist das Ermitteln der optimalen Kombination daher keine einfache bzw. mitunter langwierige Aufgabenstellung. Für den Holzbau bedeuten standardisierte Bewertungswerkzeuge, wie sie im Stahlbau bereits üblich sind, jedoch eine unverzichtbare Grundlage um sich am Markt besser positionieren und mitwerben zu können.

Diese Masterthesis untersucht und vergleicht die Eigenschaften unterschiedlicher mechanischer Verbindungssysteme. Basierend auf den Normen nach Eurocode 5, als eine Arbeitsgrundlage für den Tragwerksplaner, werden die darin erfassten Möglichkeiten dargestellt und erläutert. Zur Erweiterung des Einsatzfeldes zeigt die Arbeit zusätzlich zu den in der Norm festgelegten Anwendungstechniken, mögliche Verbesserungsvorschläge sowie die damit verbundene Leistungssteigerung auf. Des Weiteren werden neuartige Ausführungsvarianten auf Grundlage von Forschungsberichten analysiert.

Unter dem Aspekt eines ressourcenoptimierten Materialeinsatzes fokussiert sich die Arbeit auf aufgelöste Tragsysteme (Fachwerkträger), da bei diesen Systemen aufgrund der hohen Anzahl an Verbindungsknoten erhöhte Anforderungen an effektive Lösungen gestellt sind.

Durch die aufgezeigten Lösungsvorschläge soll diese Masterthesis in weiterer Folge Tragwerksplanern als Unterstützung für den Entwurf ingenieurmäßig anspruchsvoller Tragkonstruktion dienen.

Abstract

The principal duty for engineers designing timber structures is to develop efficient structural systems. Doing that they are required to meet conflictive goals. On the one hand they strive to develop cost-effective structures by efficient material usage and optimized manufacturing processes. On the other hand they have to design pieces of architecture meeting high demands in aesthetics. The key is to find the best overall concept bringing together above mentioned concepts or find a way to compare the different concepts respectively.

Standardized timber joints as well as evaluation tools to compare different timber joints are essential for an effective draft process. These bases of valuation, especially for high-resilient connecting devices, further investigated in these thesis, are difficult to cover in existing standards.

Facing a huge amount of available and a virtually endless number of possibilities to combine derived timber products and joining technologies it is difficult and tedious to find the right alternative. A well-founded basis of valuation, as used in steel constructions, provides an inevitable basis to survive on the timber work market and to set oneself before the competition.

This thesis aims to investigate and compare characteristics of different joint systems. Based on Standards according to Eurocode 5, as a base for engineers, different alternatives will be shown and exemplified. In order to extend the field of application this thesis will demonstrate employments deviating from common standards as well as ideas for improvement. Furthermore, alternative types, based on research reports, will be analyzed.

In terms of optimized material usage this thesis will be focused on trussed structures. Since characteristics and efficiency in timber structures are defined through used joining technologies, trussed structures have a high demand on effective solutions due to their high number of nodes.

Based on the demonstrated ideas for solution, this thesis will support engineers to design sophisticated structures.

Thema – Hochbelastete Verbindungsknoten als Basis für weit gespannte Tragwerke

Problemstellung

Durch fehlende standardisierte Anschlüsse im Holzbau bringen Konstruktionen mit vielen Verbindungsknoten einen wesentlich höheren Aufwand für die Bemessung und Planung. Die aktuellen Normen bieten in grundlegenden Teilbereichen nur unzureichende Antworten, auf im Zuge der geeigneten Wahl der Verbindungstechnik aufkommenden Fragen.

These

Schaffung von zur Norm ergänzenden Informationen und Hilfestellung für ein besseres Verständnis der zur Verfügung stehenden Verbindungstechniken um dadurch die Gefahr von Fehlentscheidungen aufgrund der Wahl ungeeigneter Verbindungstechniken zu reduzieren.

Mithilfe der im Weiteren erarbeiteten Tabellen basierend auf EC-5 zur Wahl geeigneter Verbindungssysteme, sowie einem Katalog für standardisierte Verbindungsknoten soll der effizienten Planung und Berechnung von ingenieurmäßig anspruchsvollen Konstruktionen eine Unterstützung geboten werden.

Ziel

Dem Tragwerksplaner ein Tool bieten, um die Wettbewerbsfähigkeit des Holzbaus gegenüber anderen Bauarten schon in der entscheidenden Entwurfsphase zu verbessern und dadurch den Anteil an Holzkonstruktionen am Markt zu steigern.

Einleitung

Aufgelöste Tragsysteme stellen eine ingenieurmäßig anspruchsvolle und gleichzeitig wirtschaftliche Konstruktion dar. Vor allem der effiziente Materialeinsatz dieser Konstruktion bringt ökonomische wie auch ökologische Vorteile. Des Weiteren bieten offene Konstruktionen die Möglichkeit einer freieren Nutzung in der Konstruktionsebene (z.B. Führen von Haustechnikleitungen,...) und ermöglichen somit eine optimierte Ausnutzung des Gebäudevolumens. Nicht zuletzt bieten aufgelöste Konstruktionen auf Grund der gestalterischen Möglichkeiten, der räumliche Wirkung und des filigranen Erscheinungsbildes ein zusätzliches hohes ästhetisches Potenzial. Da aufgelöste Tragsysteme aus anteilmäßig vielen Anschlussknoten bestehen, sehe ich in der Weiterentwicklung bewährter Technologien aber auch in der Erforschung neuer Verbindungsmethodiken das beste und größte Potenzial zur Steigerung der Effizienz. Entwicklungen sind sowohl bei der Leistungssteigerung als auch bei der Vereinfachung in der Umsetzung von Knotenanschlüssen zu forcieren. Wobei für die Vereinfachung der Umsetzung auch der nötige Aufwand für Planung und Bemessung der Anschlüsse einzubeziehen ist.

Die Entwicklung von Knotenanschlüssen mit höherer Leistungsfähigkeit ermöglicht eine deutliche Steigerung der Spannweiten wodurch sich neue Einsatzgebiete für den Holzbau erschließen können.

Zurzeit wird die untere Einsatzgrenze von Fachwerkskonstruktionen meist durch maximal mögliche Längen und Querschnittsabmessungen aus vollen Brettschichtholzträgern definiert. Die maximale Länge kann entweder durch Produktion oder Transport bedingt sein.

Die Entwicklung von Vereinfachungen bei Anschlussknoten soll dazu beitragen, dass sich der Fachwerkträger auch schon bei geringeren Spannweiten im Vergleich zu vollen Brettschichtholzträgern als eine adäquate oder sogar bessere Lösung herausstellt.

Sowie neue und verbesserte Verbindungstechniken die Möglichkeiten erweitern, gilt dies auch in der Entwicklung von Holzwerkstoffen. Im Bereich der Werkstoffentwicklung haben Produkte mit Querschnittsaufbauten aus gekreuzt geschichteten Holzlagen eine mögliche Leistungssteigerung von Anschlüssen gezeigt. Die aus dem speziellen Querschnittsaufbau erreichten Produkteigenschaften bieten weiters Möglichkeiten für neue Fügeverfahren.

Dieser Vergleich ist nicht nur auf Konstruktionstypen aus Holz einzuschränken, sondern auch mit Tragwerkskonstruktionen aus anderen Materialien wie Stahl und Stahlbeton zu sehen. Beim Vergleich mit anderen Materialien ist es wichtig die Materialvorteile von Holz und Holzwerkstoffen optimal ausnutzen zu können. Die Eigenschaften des Holzes müssen bei Auslegung der Verbindungsknoten bestmöglich berücksichtigt werden.

Obwohl das Verhalten von Holz unter Brandeinfluss sehr gut berechen- und prognostizierbar ist, erzeugt die Tatsache dass Holz ein brennbarer Baustoff ist, bei Bauherren und Behörden oftmals Unsicherheit.

Um die Tragsicherheit einer Konstruktion gewährleisten zu können muss dieses sichere Verhalten beim Brand auch bei den Knotenanschlüssen der Konstruktion sichergestellt sein. Da die Norm hier nicht immer klare und ausreichende Vorgaben bietet, gehe ich in meiner Arbeit näher darauf ein.

Um die höchste Leistungsfähigkeit der Konstruktion erreichen zu können, müssen die zu Verfügung stehenden Werkstoffe und Fügeverfahren durch den Tragwerksplaner gezielt eingesetzt werden. Das derzeit zu Verfügung stehende Normenwerkzeug bietet dem Tragwerksplaner nicht immer ausreichend Grundlagen wodurch sich gegenüber anderen Werkstoffen ein Wettbewerbsnachteil ergibt. Deshalb habe ich es mir als Ziel gesetzt mit dieser Arbeit als Unterstützung ergänzenden Informationen zum aktuellen Normenstand, sowie eine Gegenüberstellung verschiedener Verbindungstechniken als Basis für ein zielorientiertes Arbeiten für den Tragwerksentwurf zusammenzustellen. Denn zusätzlich zu den Verbesserungen für eine ökonomische Herstellung, ist es auch wichtig Vereinfachungen für ein schnelleres und zielsicheres Arbeiten bei Tragwerksentwürfen in Holz zu erreichen. Dadurch soll für den Baustoff Holz schon in der Entwurfsphase eine bessere Basis gesichert sein. Denn auch betreffend des Planungsaufwandes im Entwurf und der Bemessung einer Konstruktion herrscht ein reger Wettbewerb zwischen den Materialien und Systemen.

In den folgenden Kapiteln werden unterschiedliche Systeme mit mechanischen Verbindungsmitteln welche häufig ausgeführt werden beschrieben und miteinander verglichen.

Als bewährtes und vielfach verwendetes Verbindungsmittelsystem möchte ich runde Stahlstifte, welche auf Abscheren beansprucht werden, thematisieren. Hier sind unter anderem Stabdübel, Passbolzen und Bolzen einzureihen.

Als Vertreter einer noch eher neuen Verbindungstechnologie werde ich weiters hochbelastbare Holzschrauben und deren Einsatzspektrum darstellen. Hierbei setze ich den Schwerpunkt auf Vollgewindeschrauben aus hochfesten Stählen. In diese Gruppe sind auch eingeschraubte (mechanisch verzahnte) Gewindestangen einzugliedern.

Beispielhaft für hochtechnologische Lösungen werde ich eingeklebte Gewindestangen anführen.

Diese drei Systeme werden für eine gute Vergleichbarkeit in einer Matrix gegenübergestellt. Diese Matrix soll den Tragwerksplaner beim Auswahlverfahren für das optimale Verbindungsmittel unterstützen.

Als exemplarisches Beispiel werden die Unterschiede zwischen den verschiedenen Verbindungstechnologien anhand eines ebenen Fachwerkträgers gegenübergestellt und bewertet. Meine Entscheidung für den räumlich ebenen Fachwerkträger kommt aus der Moti-

vation, dass die Grundform eines ebenen Fachwerkträgers aus meiner Sicht als Tragwerksplaner hier ein großes Umsetzungspotenzial bietet. Natürlich können die exemplarisch dargestellten Ansätze aber auch auf weitere Formen und räumliche Tragwerke abgeleitet werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse sollen als Bemessungshilfe für den Tragwerksentwurf dienen, sie basieren auf theoretischen Unterlagen, wie Normen oder auch Ergebnissen aus Forschungsberichten und wurden nicht durch praktische Versuchsreihen begleitet.

Die Arbeit beschäftigt sich mit Verbindungen für den Hochbau. Sonderthemen, die den Brückenbau oder schwingungsanfällige Bauwerke betreffen wurden hier nicht weiter untersucht.

1 Baustoffe für Tragwerke

Durch die Entwicklung neuer Holzwerkstoffe gewinnen im Ingenieurholzbau neben den stabförmigen Bauteilen, auch plattenförmige Holzwerkstoffe immer mehr an Bedeutung. Generell geht der Trend vom ursprünglichen Bauholz hin zu industriell gefertigten Holzwerkstoffen.

Holzwerkstoffe sind alle Produkte, welche durch Verpressen und unter Mitwirken von Klebstoffen oder mineralischen Bindemitteln aus unterschiedlich großen Holzteilen wie Bretter, Stäbe, Furniere, Furnierstreifen wie auch Spänen und Fasern hergestellt werden. Durch diesen Vorgang erfolgt eine Vergütung des Rohmaterials zu Bauprodukten mit einer hohen Homogenität. Durch die Homogenisierung des Holzes kommt es bei den Holzwerkstoffen zu einer geringeren Streuung der jeweiligen Produkteigenschaften wodurch sich bei der Festlegung der Festigkeitswerte eine wesentlich günstigere 5%-Fraktile ergibt.

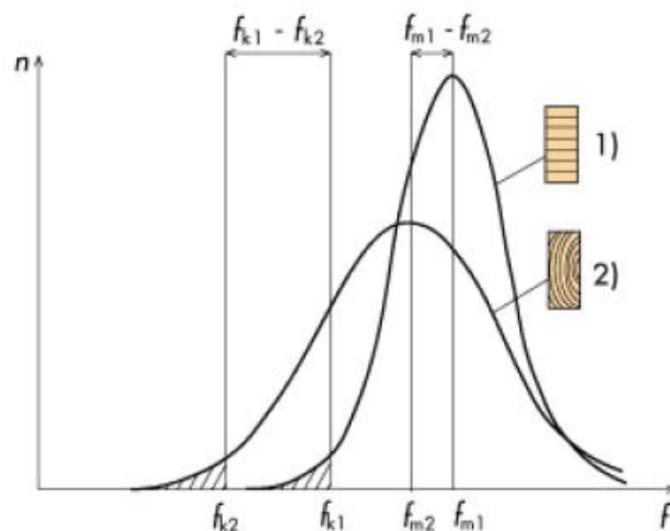


Abb. 1-1 5%-Fraktile, Häufigkeitsverteilung der Festigkeit für Brett-schichtholz (1) und Vollholz (2), (Abbildung: Svenskt Limträ)

1.1 Stabförmige Baustoffe

1.1.1 Vollholz

Grundelement ist hauptsächlich Schnittholz aus Nadelholz welches umgangssprachlich auch als „Bauholz“ bezeichnet wird und zur Verwendung für tragende Bauteile gedacht ist. Die Festigkeitssortierung erfolgt nach EN 14081-1 (Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen) wird als „festigkeitssortiertes Bauholz“ bezeichnet. Die Einteilung der Festigkeitsklassen ist in der EN 338 (Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen) festgelegt. Über diese Festigkeitsklassen sind die charakteristischen Festigkeitswerte sowie auch die Rohdichte und die mittleren Steifigkeitswerte, welche als Grundlage für die Bemessung dienen festgelegt. Ebenfalls sind in diesen Normen die Festlegungen für Bauholz aus Laubholz definiert.

In der Länge keilgezinktes Vollholz ist ebenfalls in die Kategorie Vollholz einzureihen. Diese Hölzer müssen zusätzlich zu den vorgehend angeführten Festlegungen für eine gesicherte Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindung die Anforderungen an die EN 385 (Keilzinkenverbindungen im Bauholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung) erfüllen.

Weiters werden hier auch Lamellenbalken als Duo- oder Triobalken eingegliedert. Lamellenholzbalken bestehen aus zwei oder drei flachseitig miteinander verklebten Einzelquerschnitten. Die Einzelquerschnitte werden vor dem Verkleben nach ihrer Festigkeit sortiert und gehobelt.



1.1.2 Brettschichtholz

Brettschichtholz besteht aus mindestens drei breitseitig faserparallel miteinander verklebten, technisch getrockneten Brettern aus Nadelholz und muss die Festlegungen nach EN 14080 (Holzbauwerke - Brettschichtholz - Anforderungen) erfüllen. Die Festigkeitsklassen für Brettschichtholz mit den zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitswerten sind in der EN 1194 (Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte) festgelegt. Je nach Zusammenstellung von Lamellen, aus gleicher oder mit unterschiedlichen Festigkeitsklassen über die Querschnittshöhe des Trägers verteilt, wird zwischen homogenem und kombiniertem Brettschichtholz unterschieden. Brettschichtholzquerschnitte durch eine Brettlamelle in der Breite definiert können mit einer Breite bis 260mm und einer Höhe von ca. 2.500mm produziert werden. Die verfügbaren Produktionslängen sind meist aus Transportgründen mit ca.50m Einzelstablänge begrenzt. Durch Blockverkleben von Einzelquerschnitten können auch breitere Träger oder variierende Querschnittsformen hergestellt werden.

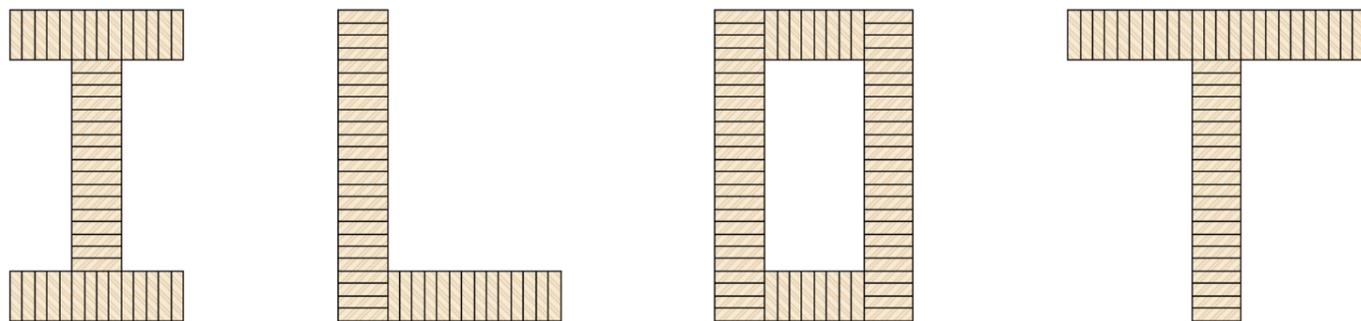
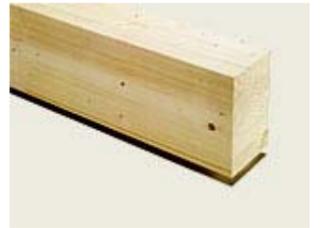


Abb. 1-2 Beispiele für Brettschichtholzquerschnitte

1.1.3 Furnierschichtholz

Furnierschichtholz (LVL, abgeleitet von Laminated Veneer Lumber) wird aus bis zu 6mm dicken Schäl furnieren aus Nadelholz hergestellt. Die Stöße der einzelnen Furniere in einer Lage erfolgt über Schäftung oder Überlappung. Der Faserverlauf der Furniere ist grundsätzlich in die selbe Richtung orientiert (TYP S). Es gibt aber auch Querschnittsaufbauten, bei denen ein kleiner Anteil der Furnierlagen einen Faserverlauf senkrecht zur Hauptfurnierichtung aufweist (Typ-Q). Furnierschichtholz kann je nach Herstellungsart sowohl als stabförmiges Bauteil, als auch für flächige Tragelemente verwendet werden.



Furnierschichtholz wird verstärkt in den skandinavischen Ländern produziert. Neben den hohen Produktionskapazitäten anderer Holzwerkstoffe ist dies mit ein Grund weshalb das Produkt in Österreich eher selten eingesetzt wird.

1.1.4 Brettsperrholz

Grundsätzlich ist Brettsperrholz ein plattentypischer Werkstoff. Die genauere Beschreibung der materialtypischen Merkmale erfolgt deshalb unter Punkt 1.2.1.

Die Materialeigenschaften des Produktes Brettsperrholz können aber auch beim Einsatz als stabförmige Bauteile gut genutzt werden. Durch die wechselnde Ausrichtung der Brettlagen reagiert Brettsperrholz im Vergleich zu Voll- und Brettschichtholz nicht so sensibel auf auftretende Querkzugspannungen im Querschnitt. Durch den gekreuzten Schichtaufbau können konstruktionsbedingt auftretende Querkzugspannungen, welche beispielsweise aus Durchbrüchen oder bei der entstehenden Spaltwirkung aus stiftförmigen Verbindungsmitteln resultieren, gut aufgenommen werden.



1.2 Plattenförmige Baustoffe

1.2.1 Brettsperrholz

Brettsperrholz besteht aus geringstenfalls drei oder mehreren normal zu einander ausgerichteten Lagen aus Brettern. Um eine hohe Formstabilität der Platte sicherstellen zu können, wird über die Dicke immer ein symmetrischer Aufbau angewendet. Je nach Hersteller gibt es zurzeit Platten mit unterschiedlich verfügbaren Breiten von 1,25m bis zu 3,0m, sogar bis 4,8m und maximalen Längen mit 16m bzw. sogar bis 24m. Je nach Verwendungszweck können bei den breiteren Plattenformaten die Bretter der Decklage entweder längs der Plattenhaupttrichtung oder über die Plattenbreite ausgerichtet sein.



Bei den Brettsperrholzplatten dürfen zwischen den einzelnen Brettern in einer Lage Fugen auftreten. Die Bretter der einzelnen Lagen müssen keine seitliche Verklebung aufweisen. Diese Fugen sind herstellungsbedingt begründet. Die Breite dieser Fugen ist in der bauaufsichtlichen Produktzulassung mit 6mm begrenzt. Es gibt auch Plattenhersteller welche die Bretter der einzelnen Lagen auch seitlich verkleben.

Da das Produkt Brettsperrholz noch sehr jung auf dem Markt ist, gibt es sowohl für die Bemessung des Produktes wie auch bei Verbindungsmitteln in Brettsperrholz in den Bemessungsnormen nur wenige Festlegungen. Hier muss man für die statische Bemessung der Platte vielfach noch auf die einzelnen Bemessungsrichtlinien der Produkthersteller zurückgreifen. Das gilt auch für die Bemessung von Verbindungsmitteln, wobei hier selbst die Bemessungsrichtlinien der Produkthersteller für den Tragwerksplaner viele Fragen offen lassen.

Um das Potenzial von Brettsperrholz voll ausschöpfen zu können, laufen derzeit einige Forschungsprojekte zu diesen Themen. Einen Ausblick der Einsatzmöglichkeiten werde ich im Zuge dieser Arbeit erstellen.

1.2.2 Sperrholz

Sperrholz besteht aus kreuzweise angeordneten und verklebten Furnieren. Die Furniere sind symmetrisch zur Mittelachse angeordnet. Beim Einsatz der Platten für tragende Zwecke müssen die Anforderungen an die EN 636 erfüllt sein. Sie können aus unterschiedlichen Nadel- und Laubholzarten hergestellt sein. Für aussteifende Zwecke können Platten aus mindestens drei Lagen eingesetzt werden. Für alle weiteren Einsätze als tragendes Element sollten die Platten aus einem mindestens fünf lagigen Aufbau bestehen.



Grundsätzlich sind in der Norm Rechenwerte für Sperrholzplatten geregelt. Diese Werte beziehen sich auf die geregelten Mindestanforderungen an Sperrholz. Produktspezifische Festigkeitswerte aus den jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassungen können deshalb teils höhere Werte aufweisen.

Bausperrholz wird im großflächigen Einsatz für mittragende und aussteifende Beplankungen bei Wänden, Decken und Dächern verwendet. Es kann aber auch zur Spaltzugverstärkung bei Voll- oder Brettschichtholz oder bei Anschlüssen zur Kraftübertragung in Form von Laschen eingesetzt werden.

1.2.3 OSB-Platten

OSB-Platten (Oriented Strand Boards) sind aus parallel zur Plattenebene ausgerichtet liegenden großflächigen Langspänen (die so genannten „Strands“) aufgebaut. Die Ausrichtung der Langspäne in den Decklagen erfolgt vorzugsweise parallel, die Späne der Mittellage sind meist quer zur Fertigungsrichtung ausgerichtet. Durch diese unterschiedliche Ausrichtung der Späne weisen OSB-Platten unterschiedliche Festigkeitswerte in Plattenlängs- und Querrichtung auf.



Der Einsatz als statisch tragendes Element hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Vor allem werden OSB-Platten als aussteifende Beplankung bei Wänden, Decken und Dächern verwendet. Platten für statisch tragende Verwendung müssen den Anforderungen der EN 300 entsprechen.

2 Verbindungen für Tragwerke

Die Wettbewerbsfähigkeit des Ingenieurholzbaus ist ohne leistungsfähige Verbindungssysteme nicht zu steigern.

Dies setzt für den Tragwerksplaner das Wissen über Materialeigenschaften und Tragfähigkeiten voraus, um im Weiteren den bewussten Einsatz vorhandener leistungsfähiger Verbindungssysteme auswählen zu können, welche durch eine gleichmäßige Kräfteinleitung optimale Ausnutzung erreichen.

In nachstehender Grafik soll in diesem Zusammenhang ein Überblick der grundlegenden Kraftübertragungsarten, Kraftflüsse und Ausnutzungsgrade gegeben werden.

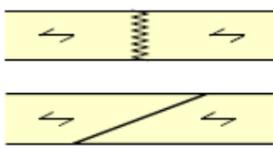
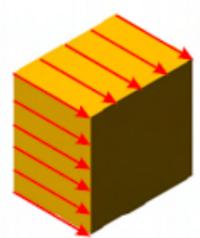
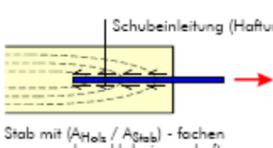
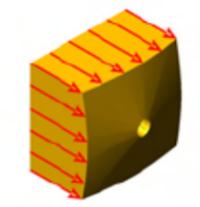
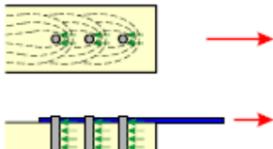
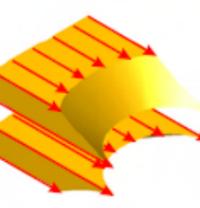
Art der Kraftübertragung	Nettoholzquerschnitt $A_{\text{Holz,Netto}}$	Kraftfluss	Dehnungsbild
<p>Direkt - Faser zu Faser</p> 	100 %	<p>optimaler Kraftfluss</p> <ul style="list-style-type: none"> - kontinuierlicher, unverminderter QS - keine geometrischen Störungen (führen zu Dehnungs- und Spannungsspitzen) - lokale Störungen infolge Holzstruktur (Früh-/Spätholz; Jahrringanzordnung; Schrägfasrigkeit) 	
<p>Indirekt - längs zur Faser, über Schub</p>  <p>Stab mit ($A_{\text{Holz}} / A_{\text{Stab}}$) - fachen spez. mechan. Holzeigenschaften</p>	80 bis 85 %	<p>relativ günstiger Kraftfluss möglich</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stetiger Übergang von Stab auf Holz mit geringen Dehnungsspitzen gegeben (Abstimmung der Dehnsteifigkeiten über A und E) - Geringe Abweichungen zwischen Kraft- und Faserrichtung 	
<p>Indirekt - senkrecht zur Faser, über lokalen Druck längs zur Faser</p> 	60 bis 65 %	<p>ungünstiger Kraftfluss</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relativ hohe Dehnungsspitzen wegen ungleichmäßiger Kräfteinleitung (infolge Biegung des Stabes) - Große Kraftumlenkung erforderlich (lokale Kräfteinleitung mit Aufspaltneigung; Druck über Schub mit Umformung in Zug im Restquerschnitt) 	

Abb. 2-1 Einfluss des Kraftflusses auf das Dehnungsbild einer Verbindung

2.1 Verbinden von Stäben – Knoten

Die Entwicklung von Holzkonstruktionen aus Stäben ist wohl die älteste und am meisten eingesetzte Form des Holzbaus. Bis zum Zeitpunkt der Standardisierung des Brettschichtholzes waren zwei Arten der Verbindung von Einzelstäben von Bedeutung. Einerseits das Verbinden mehrerer Stäbe entlang der Längskanten zu einem Träger mit höherer Tragfähigkeit, sowie das punktuelle Verbinden von Stäben.

Das Verbinden von Stäben mit mechanischen Verbindungsmitteln über die Längskante oder die Ausbildung eines verdübelten Balkens, beschränkt sich heute fast ausschließlich auf den Bereich der Sanierung - für die Verstärkung von Bestandskonstruktionen. Ansonsten wurde diese Art der Verbindung durch die wirtschaftliche Möglichkeit der Herstellung von verlebten Holzquerschnitten, welche derzeit in Form von Brettschichtholz eingesetzt werden, abgelöst.

Punktuelle Knotenverbindungen können entweder im Stab oder am Ende eines Stabes angeordnet werden.

2.2 Verbinden von Platten – Linie

Die Entwicklung und Herstellung von großformatigen Platten brachte eine Weiterentwicklung für den Holzbau. Mit den neuen Plattenmaterialien ermöglichen sich neue Konstruktionsformen wodurch sich auch neue Anforderungen an die Verbindungen und die Verbindungstechniken ergaben. Anstatt der aus den Stabwerken bekannten punktuellen Verbindungsknoten besteht bei den Platten in den meisten Fällen die Aufgabe der Verbindung über die berührende Kante.

3 Allgemeine Einflüsse auf Holz

3.1 Modifikationsbeiwert k_{mod}

Über Modifikationsbeiwert k_{mod} wird der Einfluss aus Lasteinwirkungsdauer und der Holzfeuchtigkeit für die Bemessung von Holzbauteilen berücksichtigt. Basierend auf Erkenntnissen aus Langzeitversuchen wird der Modifikationsbeiwert k_{mod} , über den die Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Lasteinwirkungsdauer als Korrekturfaktor eingeht, für die Berechnung des Bemessungswiderstandes herangezogen.

Die in Abb. 3-1 dargestellten Kennlinien für k_{mod} gelten nach EN 1995-1-1 für Vollholz, Brettschichtholz, Furniersperrholz (LVL), und Sperrholz nach EN 636.

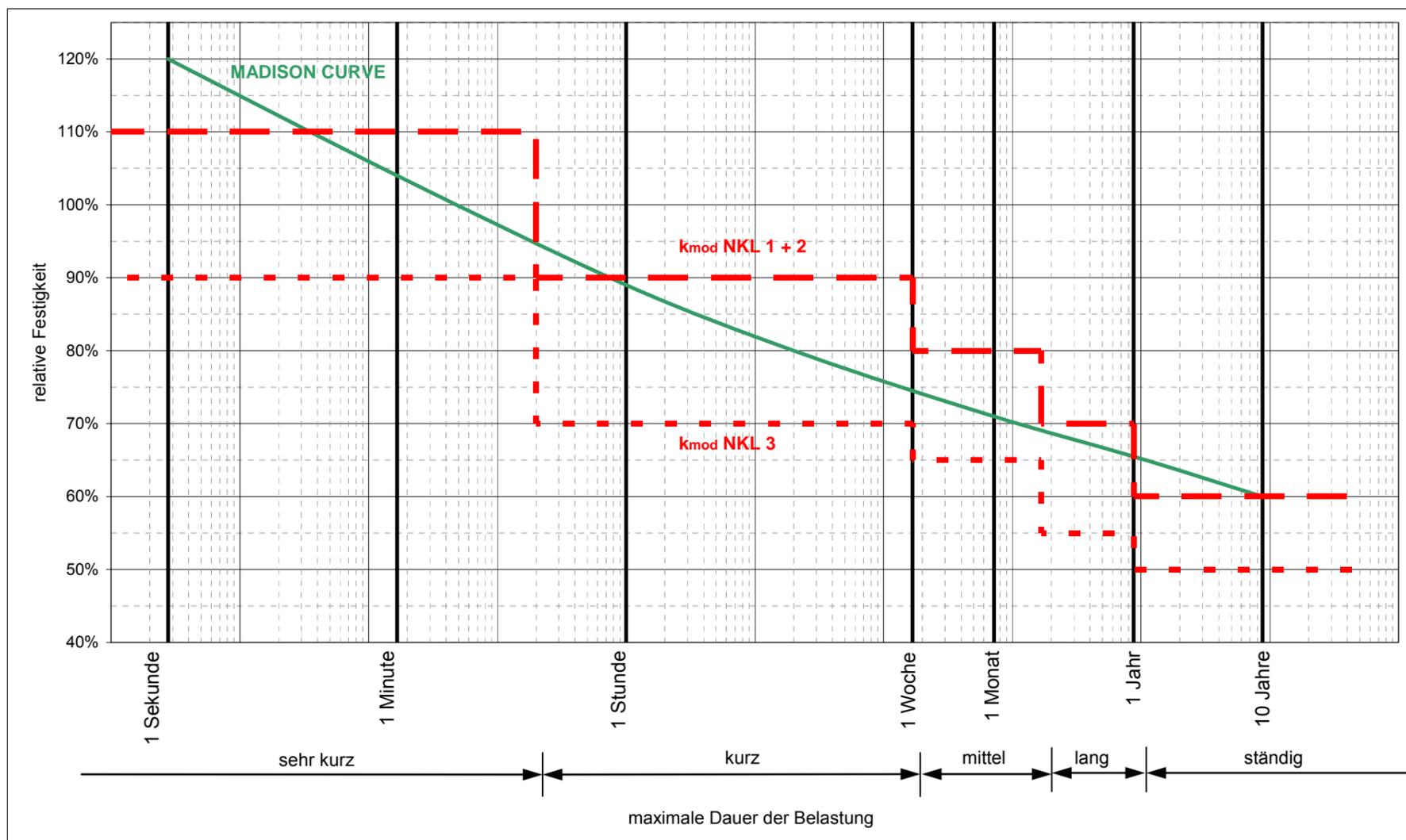


Abb. 3-1 Darstellung der „Medison curve“ und der Modifikationsbeiwerte k_{mod} in Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Klassen der Lasteinwirkungsdauer, Zeitachse mit logarithmischer Skalierung

Um eine übersichtliche graphische Darstellung zu erhalten erfolgt üblicherweise die Skalierung der Zeitachse logarithmisch. Durch diese Darstellung wirkt der Einfluss der Lasteinwirkungsdauer auf den ersten Blick beinahe linear. Bei im Vergleich linearer Darstellung der Zeitachse wird der Verlauf deutlicher.

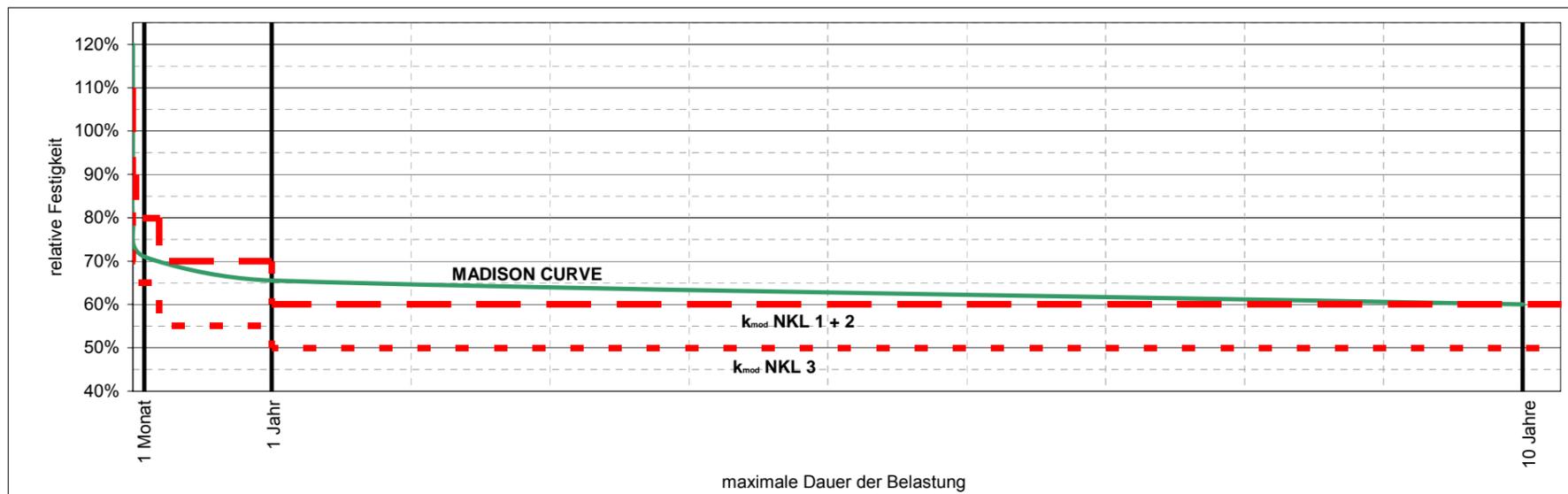


Abb. 3-2 Darstellung der „Medison curve“ und der Modifikationsbeiwerte k_{mod} , Zeitachse mit linearer Skalierung

3.1.1 Lasteinwirkungsdauer

Für die Berücksichtigung der Lasteinflussdauer wird im Eurocode 5 in fünf Klassen zwischen „sehr kurz“ bis „ständig“ unterschieden.

Klasse der Last- einwirkungsdauer	Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung	Beispiele für die Lasteinwirkung	
		EN 1995-1-1	ÖNORM B 1995-1-1
Sehr kurz		Wind und außergewöhnliche Einwirkungen	Außergewöhnliche Lasten Anpralllasten, Erdbebenlasten
Kurz	kürzer als eine Woche	Schnee <1000m Seehöhe, Windlasten	Schneelasten <1000m über NN, Windlasten, bewegte Lasten (Turngeräte)
Mittel	1 Woche – 6 Monate	Verkehrslasten, Schnee >1000m Seehöhe	Nutzlasten, Schneelasten >1000m über NN
lang	6 Monate – 10Jahre	Lagerstoffe	Lagerstoffe
ständig	> 10 Jahre	Eigengewicht	Eigengewicht

Abb. 3-3 Klassen der Lasteinwirkungsdauer nach Eurocode 5

Die Lasteinwirkungsdauer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeitswerte des Holzes. Ermittelt wurde dieser Zusammenhang über Langzeit-Biegeversuche, welche an kleinen fehlerfreien Fichtenholzbalken durchgeführt wurden.

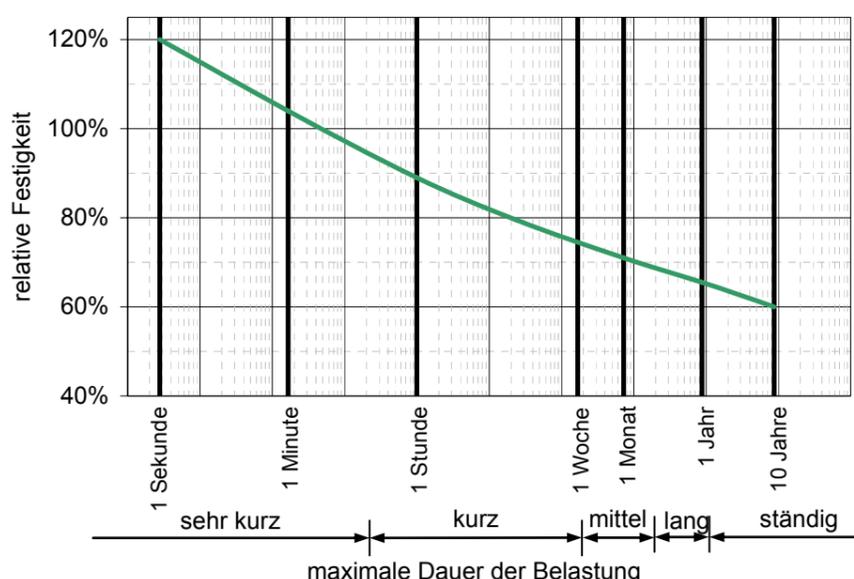


Abb. 3-4 Relative Festigkeit im Abhängigkeit der Belastungsdauer

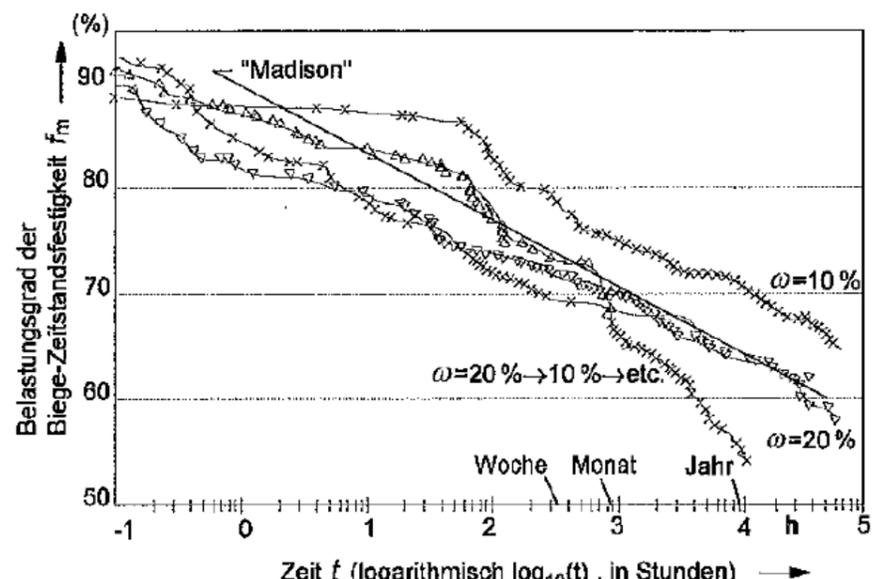


Abb. 3-5 Verlauf der Biege-Zeitstandfestigkeit von fehlerfreien (50mm x 100mm) Fichtenholzbalken nach Hoffmeyer¹ in Abhängigkeit vom Belastungsgrad und der Zeit t (logarithmisch). Angaben bis zum Bruch bei Holzfeuchten von u ≈ 10% und u ≈ 20% sowie wechselnden Holzfeuchten (u ≈ 10% bis u ≈ 20%). Angabe der Madison-Kurve als Gerade

Wie in Abb. 3-4 gut erkennbar, kann die Festigkeit nach 10 Jahren mit ca. 60% der Kurzzeitfestigkeit vorhergesagt werden. Die Funktion aus Belastungsgrad in Abhängigkeit von der Zeit bis zum Bruch wird durch die sogenannte „Madison curve“² gezeigt.

In Abb. 3-5 wird der Zusammenhang aus Belastungsgrad und Belastungsdauer bei gleich bleibender und wechselnder Holzfeuchtigkeit abgebildet.

¹ Helmut Neuhauser, Ingenieurholzbau, Grundlagen-Bemessung-Nachweise-Beispiele mit Literaturverweis auf: Hoffmeyer, P.: Holz als Baustoff. In: STEP 1 [47], Abschn. A4 Hoffmeyer, P.; "Wood as a building material", Chapter A4 aus „STEP 1 – Timber Engineering“; Erste Ausgabe, Centrum Hout, Niederlande, 1995 Kapitel 2 wurde von Petr KUKLIK, Abteilung für Stahl und Holzbau, Tschechische Technische Universität in Prag / Tschechische Republik bearbeitet.

² Langzeitversuche an der Forest Products Laboratory in Madison, Wisconsin (Lyman W. Wood, 1947-1951)

3.1.2 Nutzungsklasse und Holzfeuchte

Als zweite Größe für den k_{mod} -Faktor wird über die Definition der Nutzungsklasse der Einfluss aus der zu erwartenden Holzfeuchtigkeit berücksichtigt.

In der EN1995-1-1 bzw. im nationalen Anwendungsdokument der ÖNORM B 1995-1-1 wird je nach zu erwartender Holzgleichsfeuchte in drei Nutzungsklassen unterschieden.

Nutzungsklasse	Klimabedingung		Holzausgleichsfeuchte	Tragwerks- bzw. Gebäudetyp
	Temperatur	relative Luftfeuchtigkeit		
1	20°C	≤ 65%	$u \leq 12\%$	Konstruktionen in geschlossenen beheizten Gebäude
2	20°C	≤ 85%	$u \leq 20\%$	Überdachte Konstruktionen unter Berücksichtigung eines Regeneinfallswinkels von 30°
3	-	> 85%	$u > 20\%$	Der Witterung ausgesetzte Konstruktionen bzw. Bauteile

Die oben angeführte relative Luftfeuchtigkeit für die Nutzungsklasse 1 und 2 darf den angegebenen Wert maximal für einige Wochen im Jahr übersteigen

Abb. 3-6 Nutzungsklassen in Abhängigkeit zu Holzgleichsfeuchte nach ÖNORM B 1995-1-1

3.1.2.1 Holzfeuchte

Die Holzfeuchte beschreibt den prozentuellen Wassergehalt im Holz. Da Holz hygroskopische Eigenschaften aufweist, passt es seine Feuchtigkeit kontinuierlich an die vorherrschende Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der umgebenden Luft an - es stellt sich die so genannte Gleichgewichtsfeuchte ein.

Abhängig von der Höhe der Holzfeuchtigkeit unterscheidet man zwischen dem Bereich unter- und oberhalb des Fasersättigungspunktes. Als Fasersättigungspunkt bezeichnet man den Feuchtegehalt, bei dem die Zellwände mit Wasser gesättigt sind, aber noch kein freies Wasser in den Zellhohlräumen auftritt. Dieser Zustand wird bei den meisten Holzarten im Bereich zwischen 25% und 35% erreicht.

Die Eigenschaft von Holz, unterhalb des Fasersättigungsbereiches Wasser in den Zellwänden zu binden, ist Ursache für die Volumenveränderung der Holzzellen. Dieses Verhalten wird als Quellen und Schwinden bezeichnet. Durch das Quellen der Zellen verringert sich das Zellwandmaterial pro Flächen- bzw. Volumeneinheit wodurch auch eine Abnahme der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Holzes beeinflusst wird. Feuchteveränderungen oberhalb des Fasersättigungspunktes führen zu keiner weiteren Veränderung der Zellstruktur und somit auch zu keinem weiteren Abfallen der mechanischen Eigenschaften des Holzes.

Wegen des anisotropen Aufbaues des Holzes ergeben sich bezüglich des Quell- und Schwindverhaltens des Holzes in- bzw. normal zur Faserrichtung wesentliche Unterschiede.

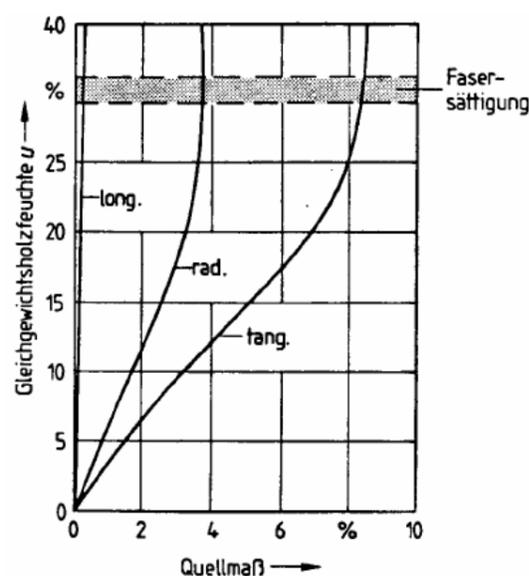


Abb. 3-7 Quellmaße in Richtung der drei Hauptachsen von Fichtenholz in Abhängigkeit von der Gleichgewichtsholzfeuchte nach Noack/Schwab

Da zwischen radialem und tangentialem Schwindmaß eine große Differenz liegt, wird das Schwindmaß normal zur Faserrichtung wesentlich über die Lage der Jahrringe beeinflusst. Da sich die Ausrichtung der Jahrringe über den Querschnitt verändert, erfolgt die Berücksichtigung des Schwindmaßes normal zur Faser für den baupraktischen Einsatz über den Mittelwert aus beiden Größen.

3.1.2.2 Prozentwerte für das Schwindmaß verschiedener Werkstoffe

Differenzielles Schwindmaß in % für die Änderung je 1% Holzfeuchte unterhalb des Fasersättigungsbereiches

Baustoff	Holzart	Holzfeuchte bei der Produktion		
Brettschichtholz aus Nadelholz	Fichte, Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne	10 – 12% ± 2%	0,24% ³	normal zur Faserrichtung
			0,01%	in Faserrichtung
Brettsperrholz	Fichte, Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne	12% ± 2%	0,24%	normal zur Plattenebene
			0,02%	in Plattenebene
Furnierschichtholz Aufbau mit Querfurniere	Fichte	8% - 10%	0,24%	normal zur Plattenebene
			0,01%	in Plattenebene, parallel zur Faserrichtung
			0,03%	in Plattenebene, normal zur Faserrichtung
Furnierschichtholz Aufbau ohne Querfurniere	Fichte	8% - 10%	0,24%	normal zur Plattenebene
			0,01%	in Plattenebene, parallel zur Faserrichtung
			0,32%	in Plattenebene, normal zur Faserrichtung
OSB-Platten	Typen OSB/2 und OSB/3	8% ± 3%	0,03%	in Plattenebene
	Typen OSB/4		0,015%	in Plattenebene

Abb. 3-8 Differenzielles Schwindmaß einiger Baustoffe aus Holz

Wegen dieses Verhaltens ist ein möglicher Unterschied der Holzfeuchtigkeit zum Zeitpunkt des Einbaus im Vergleich zu der zu erwartenden Holzgleichsfeuchtigkeit zu berücksichtigen. Die zu erwartenden Schwindverformungen sind speziell bei Verbindungsknoten in Kombination mit Stahlblechen oder Werkstoffen mit wesentlich unterschiedlichem Quell- und Schwindmaß zu berücksichtigen.

3.2 Rohdichte des Holzes

Die Lochleibungsfestigkeit steigt bei Nadel- und Laubhölzern unabhängig von der Holzart mit der Rohdichte des Holzes in etwa linear an. Auch die Berechnungen der Festigkeitseigenschaften des Holzes in Kombination mit Verbindungsmitteln stehen in Bezug zur charakteristischen Rohdichte.

³ Mittleres Schwindmaß, gemittelt aus radialem und tangentialem Schwindmaß: radial (q_r) zu den Jahrringen 0,16%, tangential (q_t) zu den Jahrringen 0,32%

4 Verbindungsmittel in unterschiedlichen Holzwerkstoffen

Holzwerkstoffe erhalten über ihre unterschiedlichen Querschnittsaufbauten charakteristische Produkteigenschaften. Diese werden global auf den Stab oder die Platte über unterschiedliches Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten erkennbar. Die Werkstoffeigenschaften sind auch bei der lokalen Betrachtung für das Verhalten in Kombination mit Verbindungsmitteln zu berücksichtigen.

Bezogen auf stiftförmige Verbindungsmittel werden im Weiteren Voll- und Brettschichtholz, wegen der Wichtigkeit im Einsatz und Brettsperrholz als ein Material mit hohem Zukunftspotenzial, vertiefend thematisiert.

4.1 Stiftförmige Verbindungsmittel in Voll- und Brettschichtholz

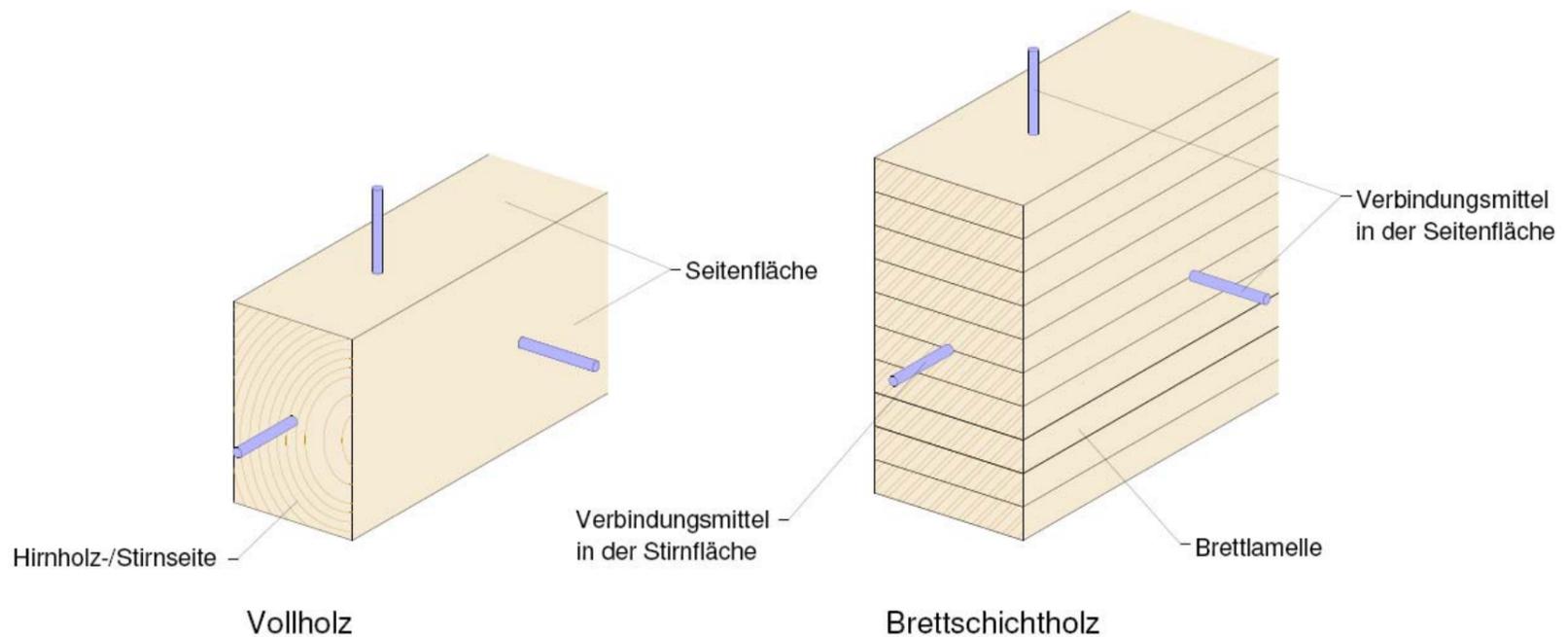


Abb. 4-1 Definition Stirn- und Seitenfläche, mögliche Anordnung von Verbindungsmitteln

Sowohl von Vollholz als Basismaterial für die Entwicklung des ingenieurmäßigen Holzbaus wie auch Brettschichtholz als eine homogenisierte Weiterentwicklung von Vollholz, sind die Materialeigenschaften und das Materialverhalten sehr gut erforscht und erfasst. Durch den langjährigen Einsatz dieser Stabwerkstoffe ist bereits viel Erfahrung vorhanden, welche in Normen und Fachbüchern umfangreich dokumentiert ist.

4.1.1 Beanspruchung auf Abscheren

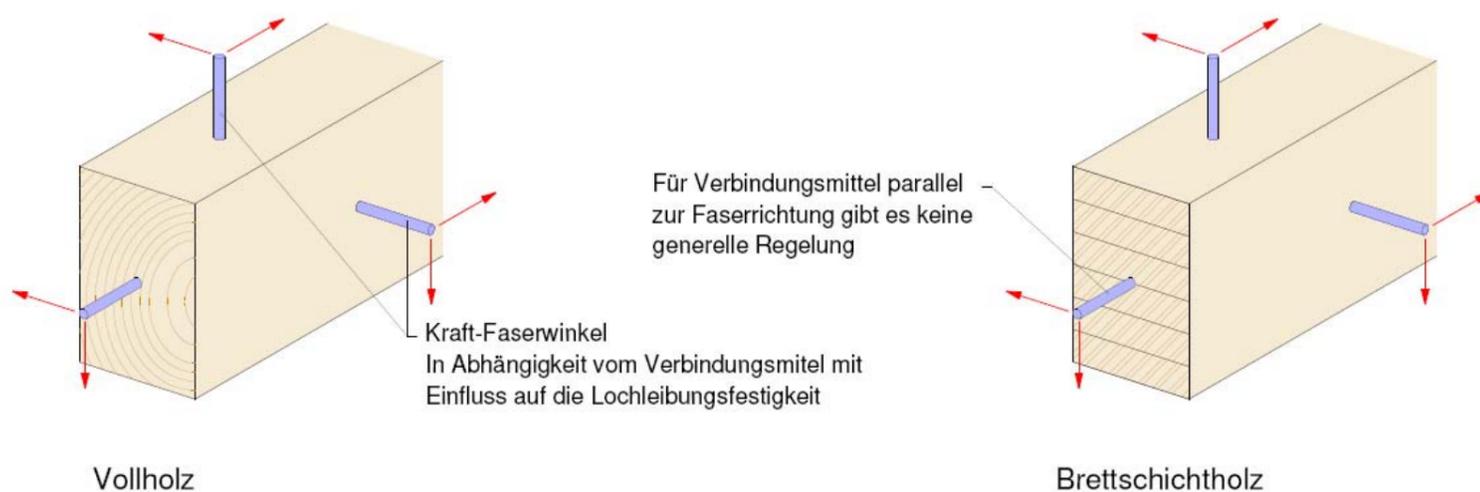


Abb. 4-2 Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht

Auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel in Voll- und Brettschichtholz werden im Holzbau vielfach eingesetzt. Die Anwendung findet man bei der Befestigung von Beplankungen bis zu hochbelasteten Anschlussknoten im Ingenieurholzbau.

Die Verbindungsmittel werden dabei überwiegend über die Seitenflächen angeordnet.

Die Belastung des Holzes erfolgt auf Lochleibung. Je nach auftretendem Kraft-Faserwinkel in Kombination mit Typ und Durchmesser des Verbindungsmittels ergeben sich Unterschiede in der Lochleibungsfestigkeit. Im Folgenden werden dazu die Kenngrößen zwischen den gültigen Normen wie auch neue Vorschläge aus aktuellen Forschungsergebnissen gegenübergestellt.

4.1.1.1 Lochleibungsfestigkeit parallel zur Holzfaser beansprucht, für vorgebohrte Verbindungsmittel in Nadelholz:

In der EN 1995-1-1 nimmt die Lochleibungsfestigkeit mit zunehmendem Verbindungsmitteldurchmesser linear ab und wird für Verbindungsmittel mit vorgebohrten Löchern wie folgt ermittelt.

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (\text{Nägel mit vorgebohrten Löchern, Bolzen, Stabdübeln oder Passbolzen})$$

Aus dieser Formel ist gut erkennbar, dass die Lochleibungsfestigkeit in direktem Zusammenhang mit dem Verbindungsmitteldurchmesser und der Rohdichte des Holzes steht und dass diese Parameter für die Ermittlung der rechnerischen Lochleibungsfestigkeit berücksichtigt werden. Die Lochleibungsfestigkeit sinkt mit zunehmendem Durchmesser, welches aus der obigen Formel gut erkennbar ist.

Lochleibungsfestigkeit: $f_{h,0,k} = \text{Faktor lt. Tabelle} \cdot \rho_k$

Die dargestellten Kennlinien resultieren aus folgenden Grundlagen:

$$\text{EN 1995-1-1 / DIN 1052:2004: } 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \quad (4-1)$$

$$\text{SIA 265: } 0,15 \cdot d^{-0,3} \quad (4-2)$$

$$\text{holz.bau forschungs gmbh: } 0,10 \cdot d^{-0,15} \quad (4-3)$$

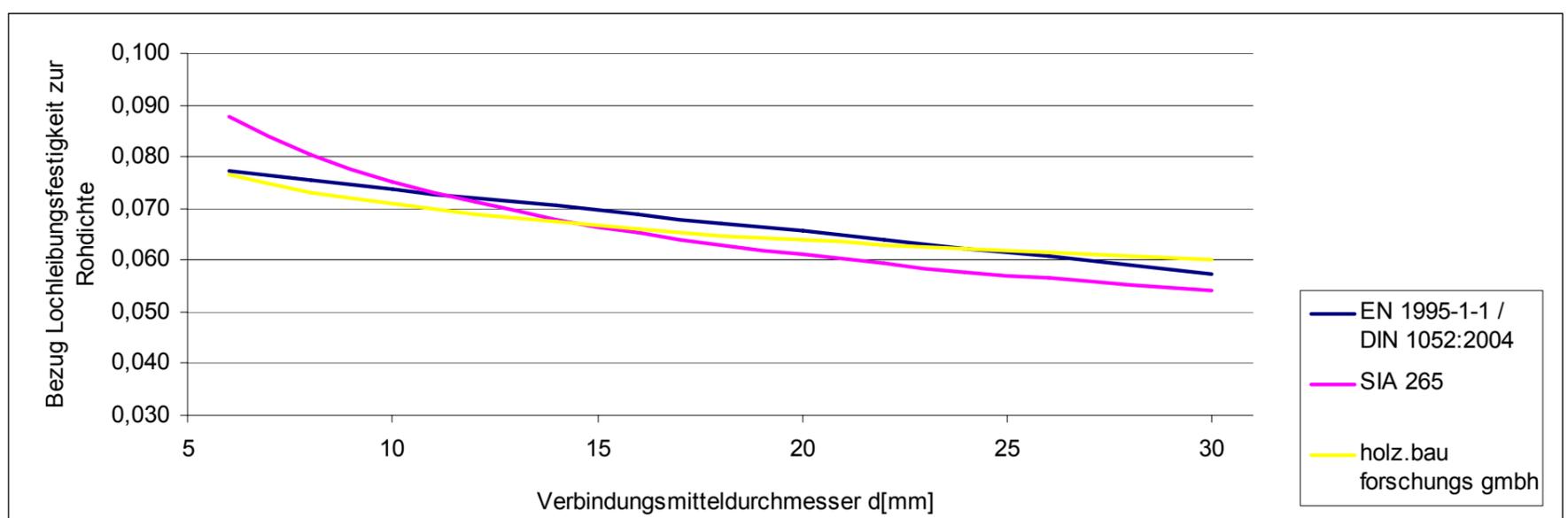


Abb. 4-3 Bezugsgröße Lochleibungsfestigkeit zu Rohdichte

Die DIN 1052:2004 bezieht sich auf die gleiche Kennlinie wie die EN 1995-1-1.

Nach der Formel aus dem EN1995-1-1 sinkt bei einem Verbindungsmittel mit d=30mm Durchmesser die Lochleibungsfestigkeit von 26% gegenüber einem Verbindungsmitteldurchmesser von d=6mm.

Vergleichsweise zum Eurocode sind bei der SIA 265 in Bereich mit Verbindungsmitteldurchmesser 6mm um 14% höhere Lochleibungsspannungen unter Belastung des Verbindungsmittels parallel zur Holzfaser erlaubt. Ab dem Bereich vom Verbindungsmitteldurchmesser größer 14mm liegt die zulässige Lochleibungsspannung um 4% unter dem Festigkeitswert nach Eurocode und erhöht sich bei steigendem Durchmesser auf 7%.

Betrachtet man die vorgeschlagene Kennlinie für die Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faser nach der holz.bau forschungs gmbh, liegt die zulässige Lochleibungsfestigkeit im Bereich zwischen 10 bis 18mm ca. 5% unter der Kennlinie nach Eurocode. Diese Kennlinie wird bei größerem Verbindungsmitteldurchmesser flacher und liegt dann beim Durchmesser von 30mm mit der zulässigen Lochleibungsfestigkeit 5% über der Kennlinie nach Eurocode.

Zusammengefasst weisen die Kennlinien SIA und der Vorschlag laut holz.bau forschungs gmbh - im Unterschied zur Kennlinie nach der EN 1995-1-1 und der DIN 1052:2004 mit linearem Verlauf - eine progressiv verlaufende Kennlinie für zunehmenden Durchmesser auf, wobei sich die Kennlinie der holz.bau forschungs gmbh mit dem annähernd linearen Verlauf recht gut an die Kennlinie nach EN 1955-1-1 angleicht. Abgesehen von der etwas höheren rechnerischen Lochleibungsfestigkeit nach der SIA 265 bei sehr dünnen Verbindungsmitteln stimmen die drei Kennlinien recht gut überein.

4.1.1.2 Winkel $\alpha = 90^\circ$ zwischen Kraft- und Faserrichtung, für vorgebohrte Verbindungsmittel in Nadelholz

Lochleibungsfestigkeit: $f_{h9,0,k} = \text{Faktor lt. Tabelle} * f_{h,0,k}$

Die dargestellten Kennlinien resultieren aus folgenden Grundlagen:

EN 1995-1-1 / DIN1052:2004:
$$\frac{1}{(1,35 + 0,15 * d) * \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \quad (4-4)$$

SIA 265:
$$\frac{0,095 * d^{-0,3}}{0,15 * d^{-0,3}} = 0,633 \quad (4-5)$$

holz.bau forschungs gmbh:
$$\frac{1}{(1 - d^{0,17}) * \cos(\alpha)^4 + d^{0,17}} = d^{-0,17} \quad (4-6)$$

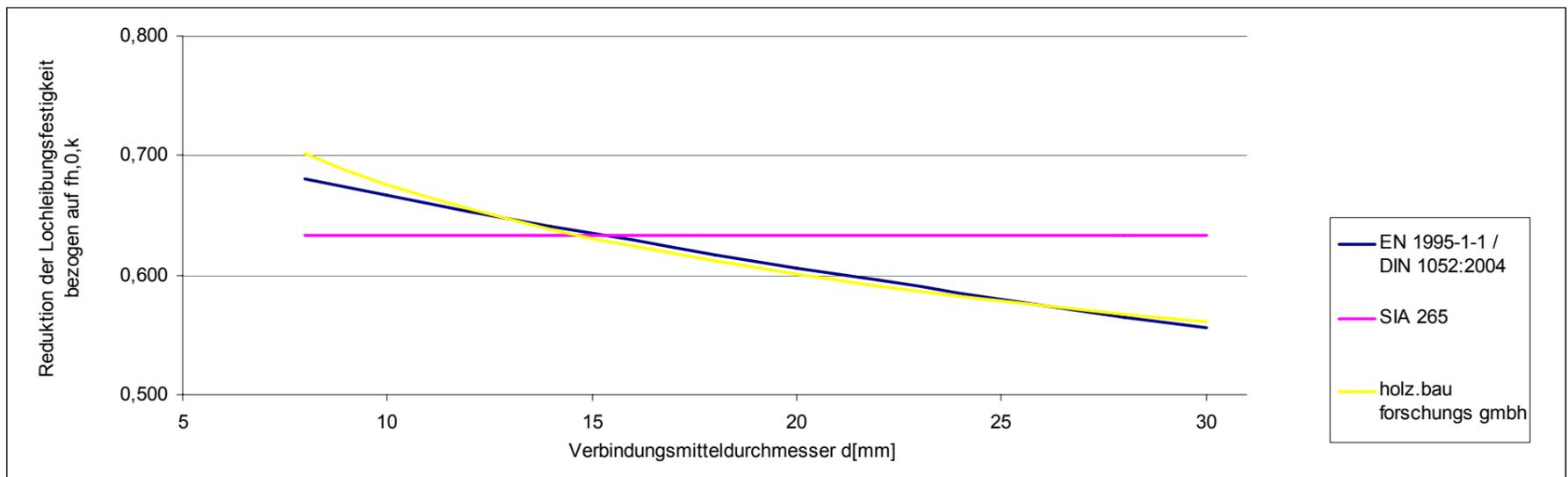


Abb. 4-4 Reduktion der Lochleibungsfestigkeit bei einem Kraft-Faserwinkel von 90° in Abhängigkeit vom Verbindungsmitteldurchmesser

Hier zeigt sich als wesentlicher Unterschied zwischen den einzelnen Berechnungsansätzen, dass nach der SIA 265 ein konstanter Wert für die Abminderung der Lochleibungsfestigkeit bei einer Beanspruchung senkrecht zur Holzfaser zugrunde liegt.

4.1.1.3 Winkel $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ zwischen Kraft- und Faserrichtung

Im Folgenden werden die Kennlinien für den Abminderungsfaktor der Lochleibungsfestigkeit bei Nadelholz (Vollholz und Brettschicht-holz) unter veränderlichem Kraft-Faserwinkel bezogen auf die jeweilige Lochleibungsfestigkeit bei Beanspruchung unter einem Kraft-Faserwinkel parallel zur Holzfaser zum leichteren Vergleich abgebildet.

Die dargestellten Kennlinien resultieren aus folgenden Grundlagen:

EN 1995-1-1 / DIN1052:2004:
$$\frac{1}{(1,35 + 0,15 * d) * \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \quad (4-7)$$

SIA 265: linear Interpolieren zwischen $f_{h,0,k}$ und $f_{h,90,k}$

Holz.bau forschungs gmbh:
$$\frac{1}{(1 - d^{0,17}) * \cos(\alpha)^4 + d^{0,17}} \quad (4-8)$$

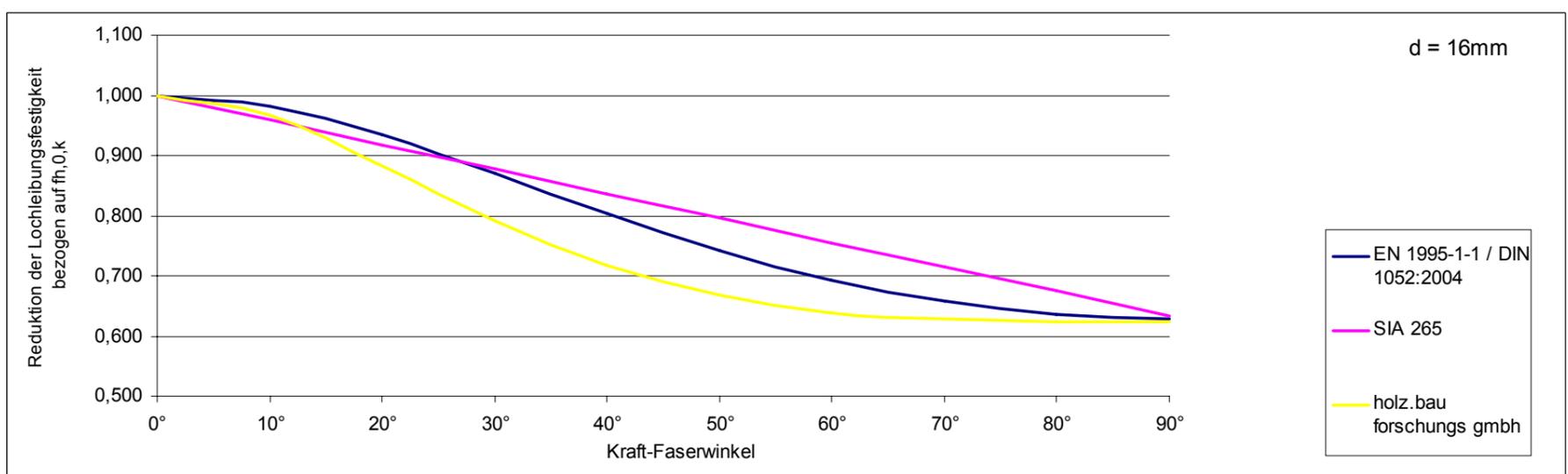


Abb. 4-5 Normenvergleich, Abfallen der Lochleibungsfestigkeit bei veränderlichem Kraft-Faserwinkel für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 16mm

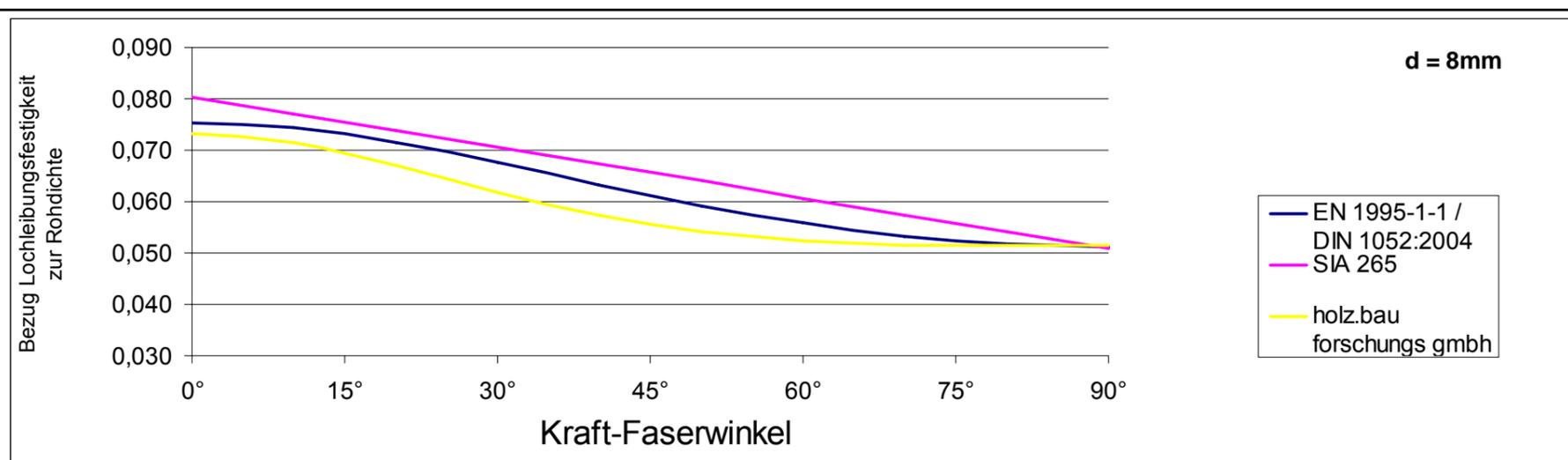


Abb. 4-6 Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser d = 8mm

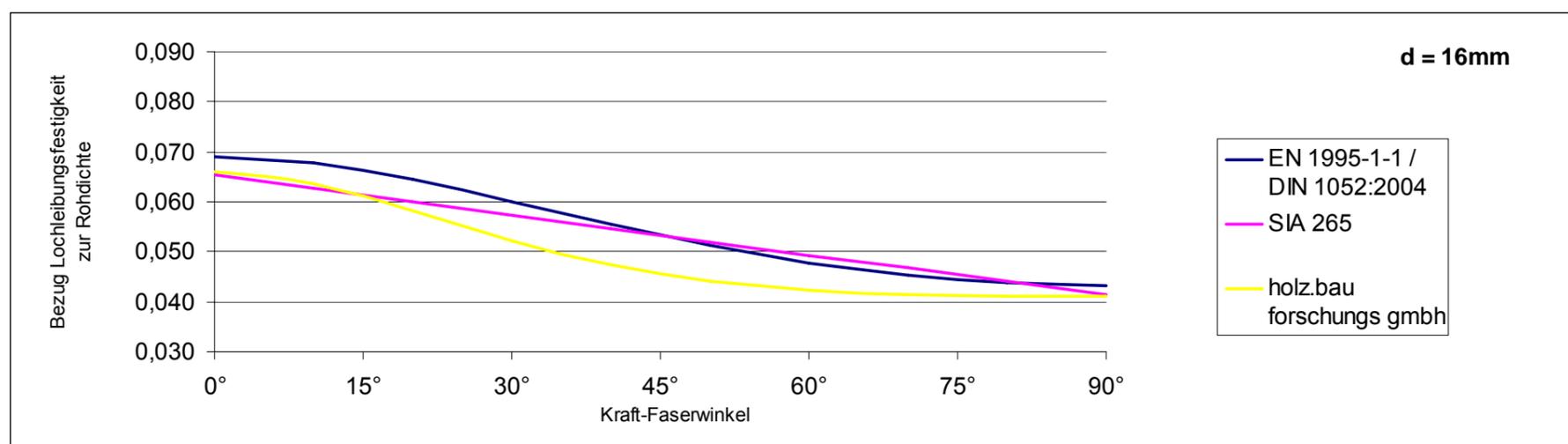


Abb. 4-7 Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser d = 16mm

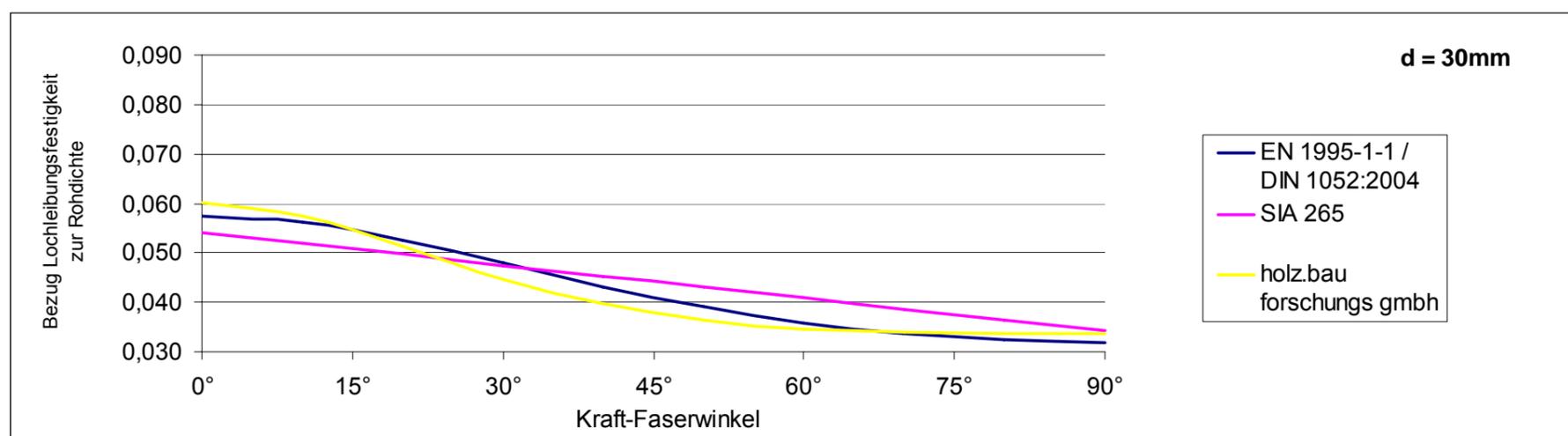


Abb. 4-8 Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser d = 30mm

Zusammengefasst zeigt sich, dass es durch Kombination der ungünstigsten Parameter, gegenüber der Kennlinie laut EN 1995-1-1 bzw. der DIN 1052:2004, welche derzeit als Berechnungsgrundlage dient, bei einem Verbindungsmitteldurchmesser bei 16mm (Abb. 4-7) unter einem Kraft-Faserwinkel im Bereich von 30° - 50° bei der Kennlinie laut Angaben aus den aktuellen Versuchsergebnissen der holz.bau forschungs gmbh zu einer Verschlechterung der rechnerischen Lochleibungsfestigkeit von bis zu -15% kommt.

4.1.2 Axiale Beanspruchung der Verbindungsmittel

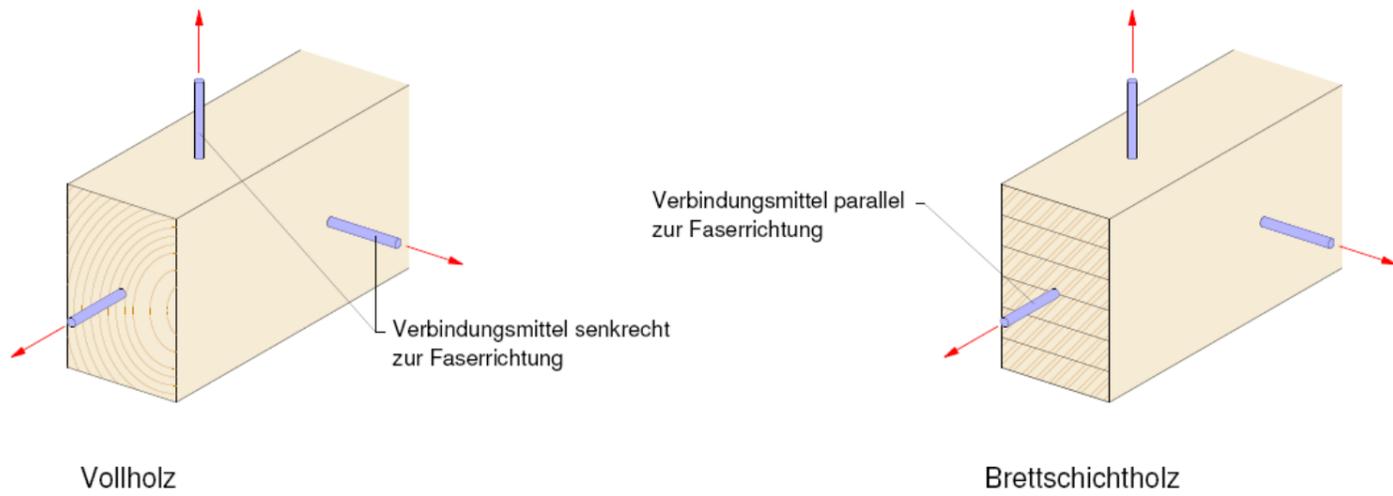


Abb. 4-9 Axial beanspruchten Verbindungsmitteln

Je nach Art des Verbindungsmittels sind unterschiedlich hohe axiale Traglasten möglich. Bei axial beanspruchten Verbindungsmitteln in Vollholz ist ein Absinken der Traglast aus auftretenden Schwindrissen zu berücksichtigen. Um den Einfluss aus den Schwindrissen zu minimieren wird die Anwendung mehrerer Verbindungsmittel empfohlen.

4.2 Stiffförmige Verbindungsmittel in Brettsperrholzplatten

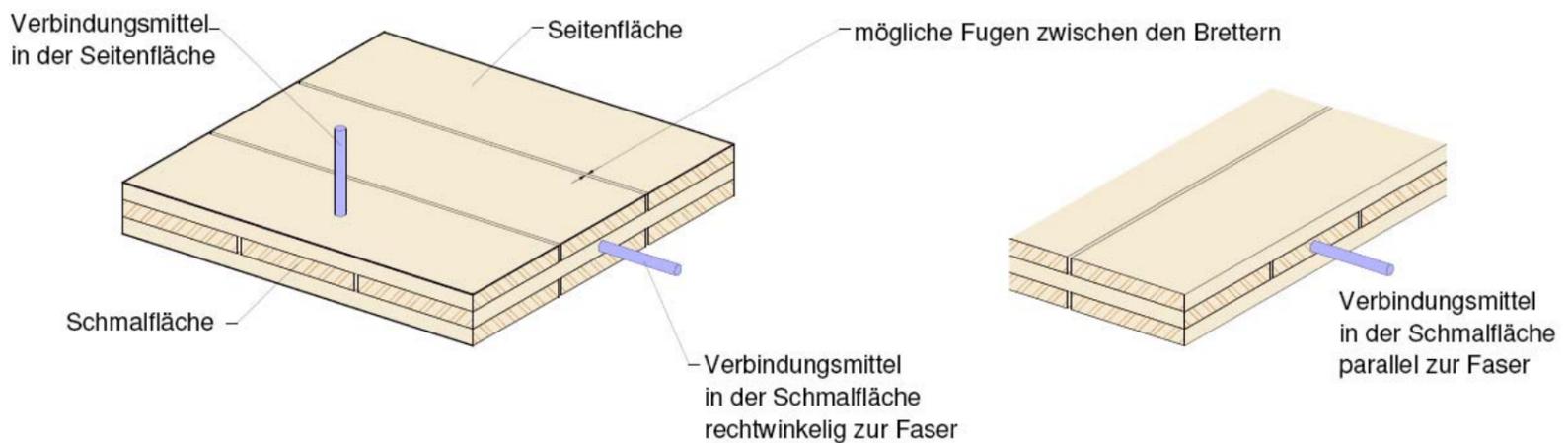


Abb. 4-10 Definition Schmal- und Seitenfläche, mögliche Anordnung von Verbindungsmitteln

Durch den schichtweisen Aufbau der Platte aus kreuzverklebten Brettlagen ergeben sich im Vergleich zu Anschlüssen in Voll- bzw. Brettschichtholz, veränderte Bedingungen für die Tragfähigkeit und auch veränderte Einflüsse für die erforderlichen Rand- und Achsabstände von Verbindungsmitteln. Dies betrifft sowohl stiffförmige Verbindungsmittel welche normal zur Plattenebene, in der Regel als Seitenfläche bezeichnet eingebracht werden, wie auch die Anordnung von Verbindungsmitteln in der Plattenschmalseite, auch als Schmalfläche definiert.

4.2.1 Beanspruchung auf Abscheren

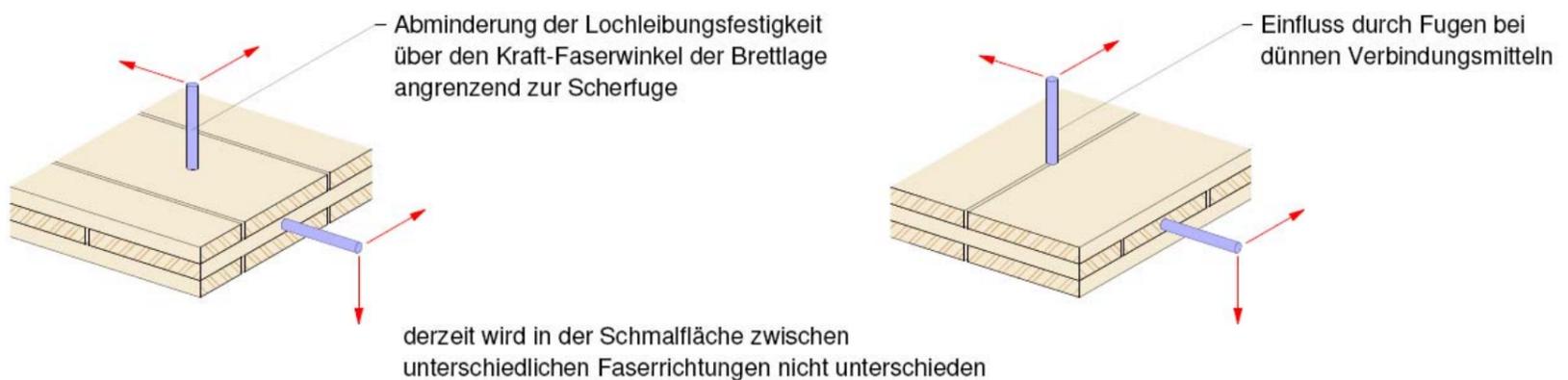


Abb. 4-11 Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht

Werden Verbindungsmittel normal zur Plattenebene angeordnet und auf Abscheren beansprucht, beeinflussen die unterschiedlichen

Lochleibungsfestigkeiten aus den gekreuzten Brettlagen das Tragverhalten des Stiftes. Dieser Einfluss wird in Parameterstudien und Bemessungsvorschlägen berücksichtigt.⁴ Die Grundlegende Bemessung für auf Abscheren beanspruchte Stifte basiert, wie auch die Bemessung der EN 1995-1-1, auf den Versagensmechanismen nach der Theorie von Johansen.

Da die Größe der Lochleibungsfestigkeit wesentlich vom Kraft-Faserwinkel abhängt, sind bei Verbindungsmitteln in der Seitenfläche die Einflüsse aus Längs- und Querlagen für die Bemessung zu berücksichtigen. Die derzeit veröffentlichten Versuchsergebnisse und Bemessungsvorschläge für Verbindungsmittel in den Seitenflächen beziehen sich auf Platten mit dreischichtigem Aufbau.

Werden Verbindungsmittel in den Schmalflächen angeordnet, besteht die Möglichkeit je nach Positionierung und Schichtaufbau der Platte, dass sie entweder rechtwinklig oder parallel zur Faserrichtung angeordnet werden können. Wegen der vielen Kombinationsmöglichkeiten der Einflussgrößen auf Verbindungsmittel in der Schmalseite, wurden daher eher konservative charakteristische Werte für die Lochleibungsfestigkeiten festgelegt.

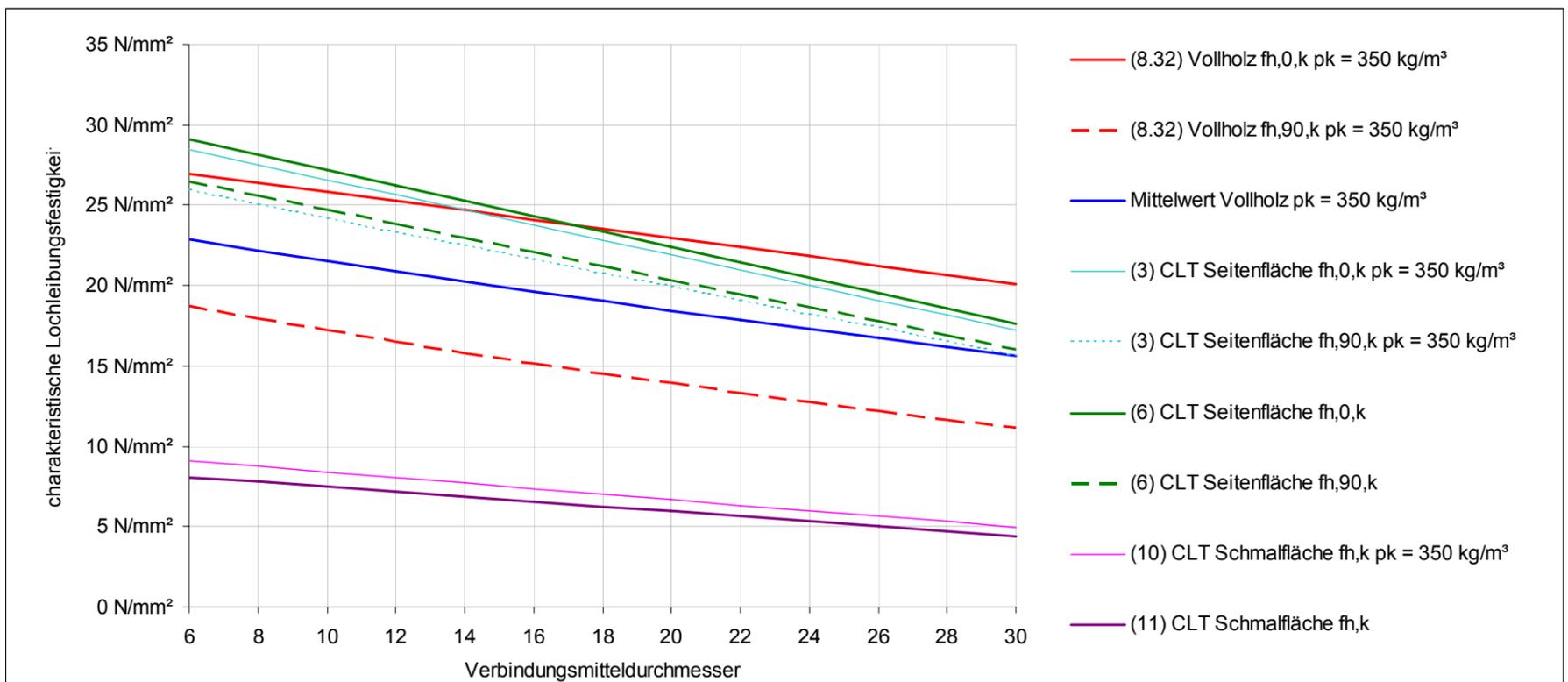


Abb. 4-12 Gegenüberstellung der charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten für Stabdübel, Passbolzen oder Bolzen in Brettsperrholz und Vollholz

Weiters sind die möglichen Fugen zwischen den einzelnen Brettern in einer Lage zu berücksichtigen. Selbst bei Platten bei denen die einzelnen Bretter auch seitenverklebt sind, sollte die mögliche Entstehung von Rissen durch Schwinden der einzelnen Bretter wegen Feuchtigkeitsänderungen der Platte berücksichtigt werden.

Fugen in der Decklage können teilweise im Zuge der Ausführung bei der Anordnung von Verbindungsmitteln berücksichtigt werden. Bei längeren Verbindungsmitteln kann die Anordnung des Verbindungsmittels in einer Fuge bei Brettlagen der Mittelschichten nicht ausgeschlossen werden. Dieser Einfluss wirkt sich bei Stiften mit einem Durchmesser kleiner oder gleich der Fugenbreite entsprechend abmindernd auf die Tragfähigkeit aus.

4.2.2 Axiale Beanspruchung der Verbindungsmittel

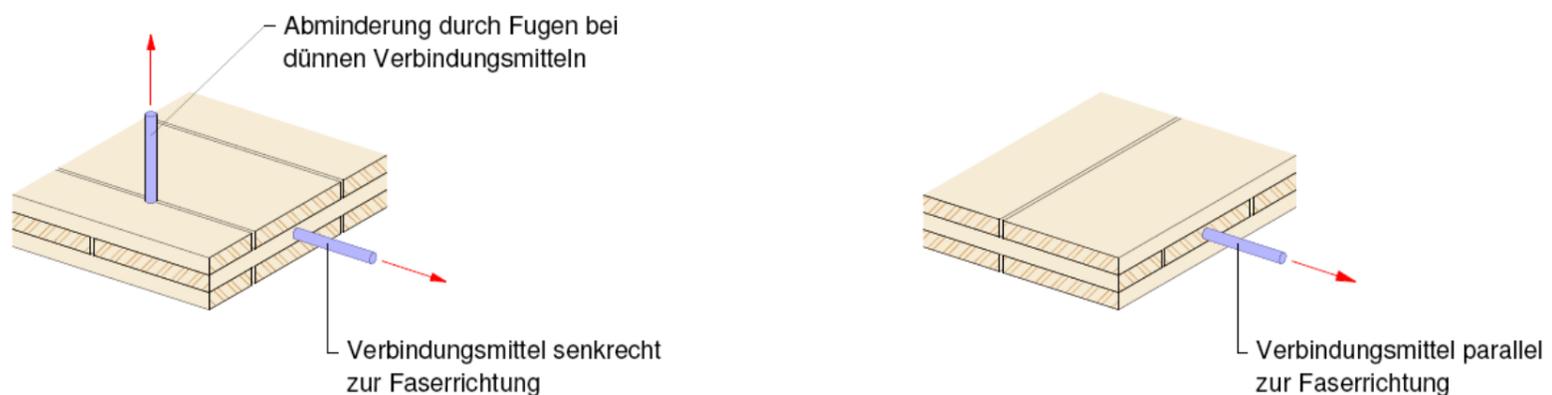


Abb. 4-13 Axial beanspruchte Verbindungsmittel

Bei in den Seitenflächen angeordneten Verbindungsmitteln wird die Tragfähigkeit durch die möglichen Fugen beeinflusst. Dieser Einfluss ist bei Verbindungsmitteln mit Durchmesser kleiner als die mögliche Fugenbreite durch eine höhere Anzahl auszugleichen. Über

⁴ H. J. Blaß, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in Brettsperrholz, Band 8 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Herausgeber: Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2007

die höhere Verbindungsmittelanzahl wird eine bessere Streuung ermöglicht. Außerdem ist eine Abminderung der Traglast zu berücksichtigen.

In der Schmalseite sollte für faserparallel angeordnete Verbindungsmittel eine statische Beanspruchung vermieden werden, da wie auch bei Voll- und Brettschichtholz für faserparallel angeordnete Verbindungsmittel keine dauerhafte Beanspruchung sichergestellt ist. Daher sollte beim Einsatz von Verbindungsmitteln in der Schmalseite versucht werden die Anordnung so zu wählen, dass die Verbindungsmittel in Brettlagen mit Faserrichtung rechtwinkelig zur Schraubenachse verankert sind.

4.2.2.1 Einsatzbereich

Brettsperrholz hat sich beim Einsatz als Platte als effektiver Werkstoff bestätigt. Die bereits gesammelten Erfahrungen über Verhalten und Materialeigenschaften als Platte sollen nun auf den Einsatz von Brettsperrholz als stabförmiges Bauteil umgelegt und adaptiert werden. Bei der Ausbildung eines Anschlussknotens von Zugstäben mit Verbindungsmittel in den Seitenflächen auf Abscheren beansprucht, wird durch die Querlagen des Brettsperrholzes das Aufspalten des Brettsperrholz-Stabes im Bereich des Anschlussknotens verhindert. Dadurch kann ein sprödes Versagen, wie es bei unverstärkten Anschlüssen in Vollholz- und Brettschichtholzstäben auftreten kann, verhindert werden. Es ergibt sich dadurch aufgrund der Platteneigenschaften ein duktileres Verhalten, welches keine Fließmomente und somit keine Verformungen im Stift voraussetzt.

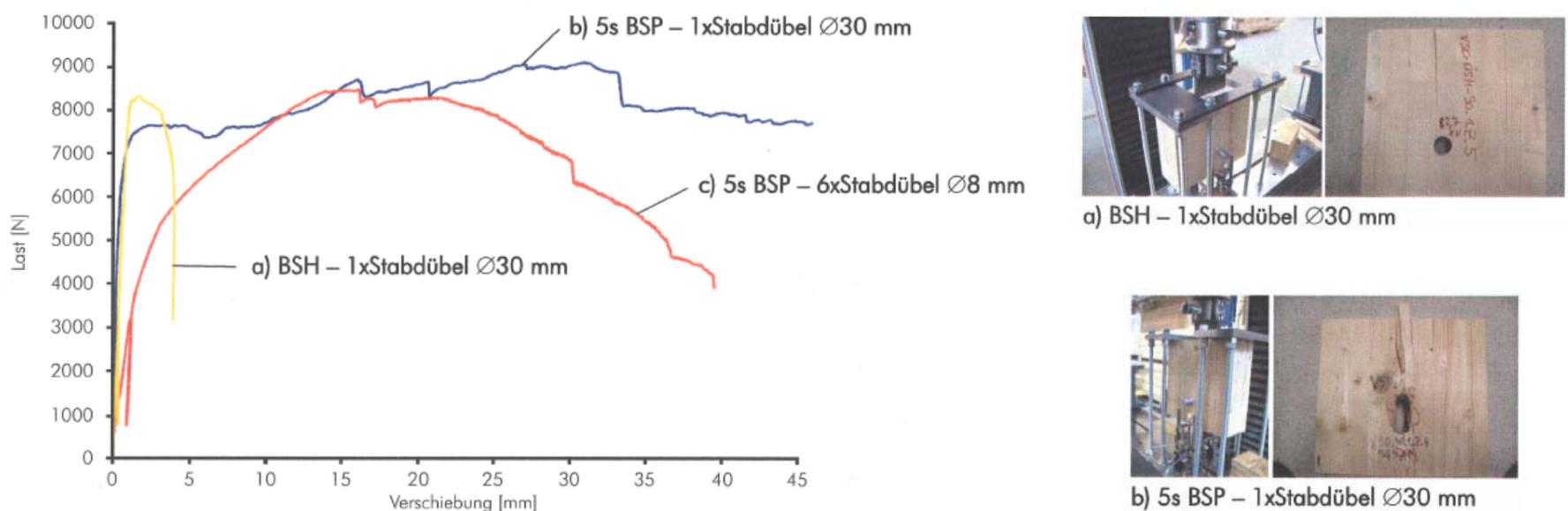


Abb. 4-14 Last-Verschiebungsdiagramme für BSH und BSP, Versuchskonfiguration durchgeführt von der holz.bau forschungs gmbh in Graz

4.2.2.2 Potenziale für die Zukunft

Hinsichtlich der möglichen Anordnung und der zulässigen Traglasten für in der Schmalseite eingebrachte mechanische Verbindungsmittel ist auf Grund der derzeit konservativen Annahme für die Lochleibungsfestigkeit noch Potenzial auszuschöpfen.

Auch für schräg in die Schmalfläche angeordnete Vollgewindeschrauben gibt es noch keine Forschungsergebnisse, welche eine Abweichung der Tragfähigkeit gegenüber dem Einsatz bei Voll- bzw. Brettschichtholz bestätigen.

5 Folgende Typen von Verbindungsmitteln werden untersucht

- 5.1 Bolzen, Stabdübel, Passbolzen
- 5.2 Holzschrauben
- 5.3 Gewindestangen

5.1 Bolzen, Stabdübel, Passbolzen

5.1.1 Grundlagen zur Bemessung von auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel

Als Grundlage für die Bemessung von auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln wird im EN 1995-1-1 und in der DIN 1052:2004 das von Johansen entwickelte Berechnungsmodell herangezogen.

Das Tragmodell von Johansen, welches erstmals 1949 vorgestellt wurde, basiert auf der Annahme eines ideal starr-plastischen Materialverhaltens des Stahl-Verbindungsmittels unter Biegebeanspruchung und auch des Holzes unter Lochleibungsbeanspruchung. Die Annahme für dieses Berechnungsmodell wurde anhand von Prüfungen an Einzelbolzen-Verbindungen geprüft und experimentell nachgewiesen.



Abb. 5-1 vereinfachte Last-Eindrückungsbeziehung

Durch die Annahme des starr-plastischen Verhaltens ergeben sich folgende Trag- und Verformungskriterien der Verbindung:

- der Stift bleibt gerade und wird durch einen oder beide Verbindungsteile beansprucht, dabei tritt in der Verbindung entweder eine reine Translationsverformung oder eine kombinierte Translations- und Rotationsverformung ein

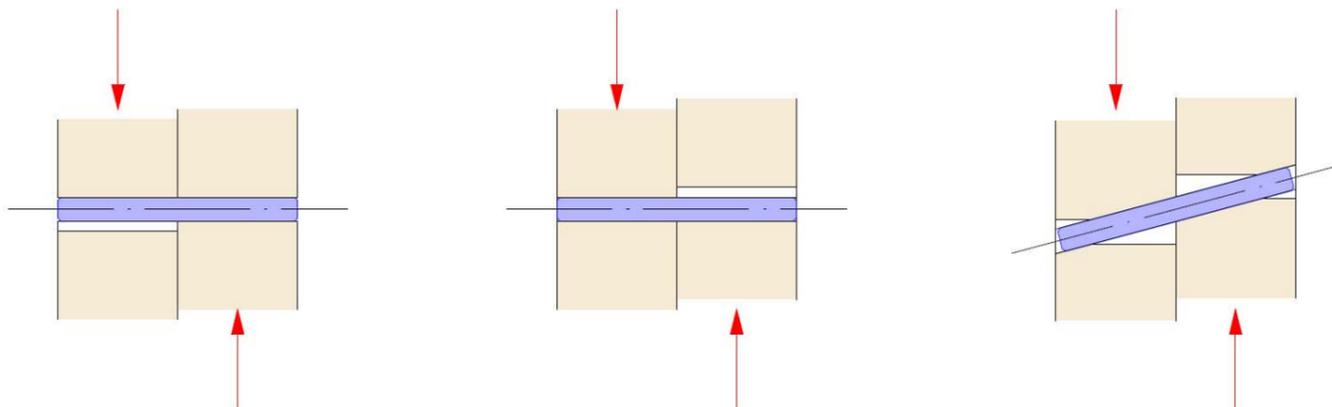


Abb. 5-2 kein Fließgelenk im Stift, reine Translationsbewegung oder eine Kombination aus Translations- und Rotationsverformung

- im Stift bilden sich ein oder zwei Fließgelenke aus, während der Stift außerhalb dieser Fließzonen gerade bleibt

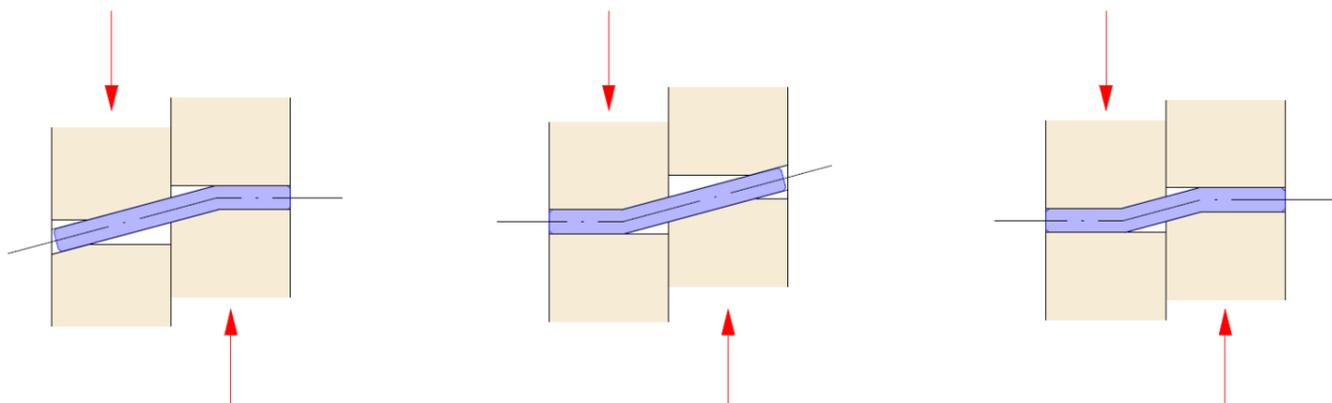


Abb. 5-3 ein oder zwei Fließgelenke im Stift

5.1.2 Einflussgrößen für die Bemessung

Basierend auf dem Bemessungsmodell nach Johansen, für die Berechnung von auf Abscheren beanspruchten stiftförmigen Verbindungsmitteln, kann man für die Berechnung lt. EN1995-1-1 die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels im Grunde nach über drei Kenngrößen beschreiben:

Verbindungsmitteldurchmesser - die zugehörige Lochleibungsfestigkeit - die effektiv wirksame Bettungslänge

5.1.2.1 Verbindungsmitteldurchmesser d

Über den Verbindungsmitteldurchmesser kann man wesentlich die Tragfähigkeit und das Tragverhalten einer Verbindung steuern. Der Einfluss auf das Tragverhalten der Verbindung erfolgt über die Schlankheit und das Fließmoment des Verbindungsmittels. Die Schlankheit des Verbindungsmittels wird über das Verhältnis aus Bettungslänge und dem Verbindungsmitteldurchmesser ermittelt. Der Verbindungsmitteldurchmesser nimmt auch direkten Einfluss auf die Lochleibungsfestigkeit und die effektiv wirksamer Bettungslänge.

5.1.2.2 Lochleibungsfestigkeit f_h

Die Lochleibungsfestigkeit ist keine reine Materialeigenschaft des Holzes. Da sie durch mehrere Aspekte beeinflusst wird, handelt es sich hierbei viel mehr um eine Systemeigenschaft.

- Einflüsse welche im Zusammenhang mit der Lochleibungsfestigkeit des Holzes stehen und in den Bemessungsvorschlägen der Normen berücksichtigt werden:
 - Verbindungsmitteldurchmesser
 - Kraft- Faserwinkel
 - Rohdichte des Holzes
- Einflüsse, welche für die Berechnung und in den Normen nicht genauer umschrieben werden:
 - Oberflächenqualität der Bohrung
 - Oberflächenqualität des Verbindungsmittels (siehe 5.1.3.2)
- Sonstige Einflüsse:
 - Schlankheit des Verbindungsmittels (siehe 5.1.3.1)

5.1.2.3 effektiv wirksame Bettungslänge

Die effektiv wirksame Bettungslänge wird durch das Verformungsverhalten des Verbindungsmittels in der Verbindung, den Biege- widerstand des Verbindungsmittels und die Lochleibungsfestigkeit beeinflusst.

- Einflüsse welche im Zusammenhang mit der effektiven Bettungslänge des Holzes stehen und in den Bemessungsvorschlägen des Bemessungsmodells nach EN 1995-1-1 berücksichtigt werden:
 - Verformungsmöglichkeit des Verbindungsmittels
 - Verbindungsmitteldurchmesser
 - der Biege- widerstand des Verbindungsmittels definiert über die Größe der Zugfestigkeit f_u
 - Lochleibungsfestigkeit
- Einflüsse, welche in den Berechnungen nicht genauer berücksichtigt werden:
 - der Einfluss aus Biege- winkel des Verbindungsmittels und dem damit veränderlichen Biege- widerstand des Verbindungsmittels

5.1.2.4 Zusätzliche Einflussgrößen

- Modifikationsbeiwert k_{mod} :
 - Lasteinwirkungsdauer
 - Holzfeuchtigkeit
- Sicherheitsbeiwert auf der Materialseite
- Einfluss des Spaltverhaltens von Holz:
 - Das Spaltverhalten der Holzart wird in den Normen durch Angaben zur Erhöhung der Abstände zwischen den Verbindungsmitteln und zu den Rändern berücksichtigt. Bei nicht vorgebohrten Nägeln sind in diesem Zusammenhang auch die Mindestholzstärken zu erhöhen.

5.1.3 Lochleibungsfestigkeit

Die Lochleibungsfestigkeit ist ein aus Versuchen ermittelter Festigkeitswert der wegen mehrerer Einflussfaktoren nicht als Festigkeitseigenschaft des Holzes, sondern als Systemfestigkeit bezeichnet wird. Die Einflussfaktoren sind sowohl für die Versuchskonfiguration, wie auch für die Ausführung bei Tragwerken von Bedeutung und entsprechend zu berücksichtigen. Die Versuchskonfiguration für die Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit ist in der EN 383 festgelegt. Nachstehend werden einige Einflussfaktoren der Lochleibungsfestigkeit erklärt.

5.1.3.1 Schlankheit des Verbindungsmittels

Da die Schlankheit des Verbindungsmittels in direktem Zusammenhang mit der Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit steht, ist diese entsprechend zu berücksichtigen. In der EN 383 ist keine exakte Definition der Schlankheit des Verbindungsmittels vorgegeben, sondern wird nur über die Anforderung an *steifes gerades Verbindungsmittel* beschrieben.

Um den Einfluss aus der ungleichmäßigen Spannungsverteilung über die Bettungslänge beim Versuch ausschließen zu können, ist der Wert der Schlankheit $\lambda = t/d$ mit ca. 2 zu begrenzen.

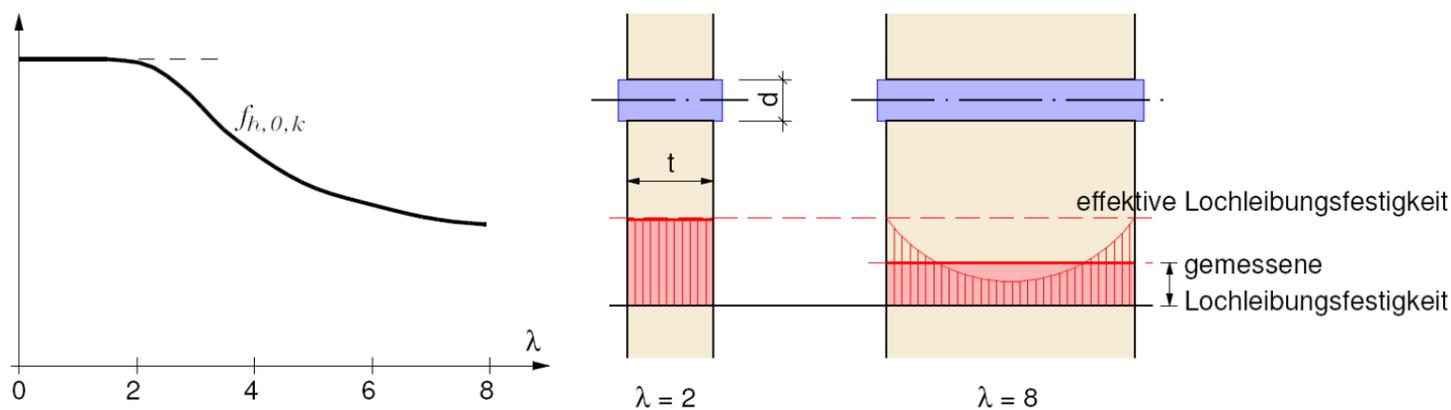


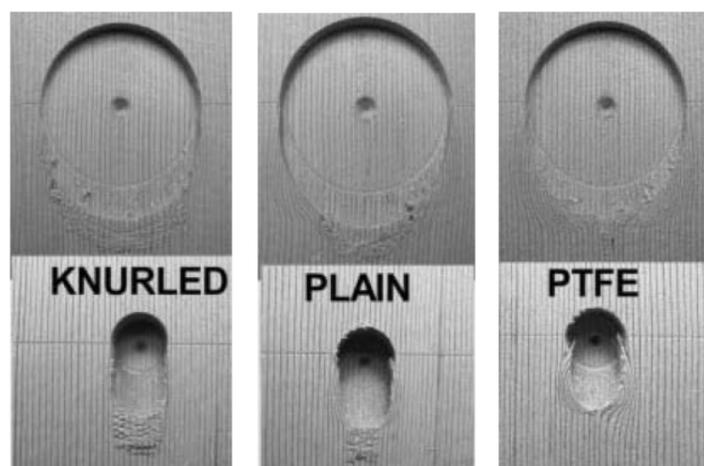
Abb. 5-4 Zusammenhang zwischen gemessener Lochleibungsfestigkeit und der Schlankheit

5.1.3.2 Oberflächenqualität des Verbindungsmittels

Die Oberflächenqualität hat einen wesentlichen Einfluss auf das Lochleibungsverhalten bei Kraft-Faserwinkel parallel zur Faser. Je glatter die Oberfläche des Verbindungsmittels bzw. je geringer der Reibungswinkel zwischen Verbindungsmittel und Holz ist, umso geringer ist der Reibungswinkel zwischen Verbindungsmittel und Holz. Begründet ist das dadurch, dass bei sinkendem Reibungswinkel die Querkraftsteigerungen steigen und damit auch die Spaltgefahr der Verbindung steigt. Bei steigenden Spaltkräften sind zusätzlich die Abstände zwischen hintereinander in Faser liegenden Verbindungsmitteln, sowie der Abstand zum beanspruchten Rand zu erhöhen.

Der Einfluss der Oberflächenrauigkeit des Verbindungsmittels ist auch anhand des Stauchverhaltens und über die seitliche Verdrängung des Holzes erkennbar.

Je größer die Reibung zwischen der Oberfläche des Verbindungsmittels mit dem Holz, desto größer wird der aktivierte Druckbereich parallel zur Faser im Holz, was in weiterer Folge höhere Lochleibungsfestigkeiten ermöglicht.



(KNURLED - gerändelte Oberfläche, PLAIN – glatte Oberfläche, PTFE – Verbindungsmittel mit Polytetrafluorethylen ummantelt)

Abb. 5-5 Auswirkung der Reibung zwischen Verbindungsmittel und Holzoberfläche auf das Lochleibungsverhalten von kreisförmigen Stabdübeln⁵

⁵ Rodd, P.D., Leijten A.J.M.: "High-performance dowel-type joints for timber structures", John Wiley & Sons, Ltd., Prog. Struct. Engng. Mater. 2003; 5: 77-89.

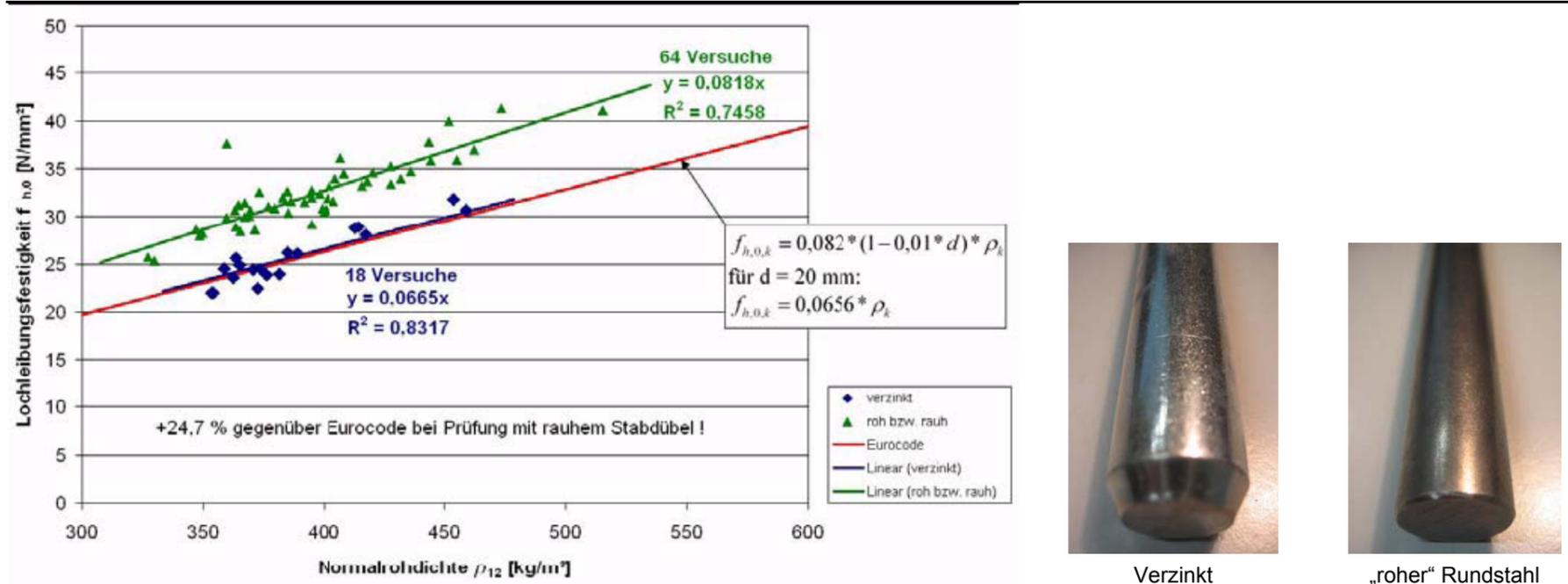


Abb. 5-6 Unterschied der Lochleibungsfestigkeit zwischen verzinkten und „rohen“ d.h. rauhen Stabdübeln mit $d=20\text{mm}$ ⁶

Durchgeführte Versuche über den Einfluss der Oberflächenrauigkeit an der holz.bau forschungs gmbh haben gezeigt, dass zwischen verzinkten Stabdübeln und Stabdübeln aus rohem Stahl (raue Oberfläche) ein Anstieg der Lochleibungsfestigkeit von 25% zu erwarten ist.

⁶ 6.GraHFT'07, Kapitel B: Einflussgrößen auf die Lochleibungsfestigkeit

5.1.4 Holz-Holz-Verbindung - Grundtypen

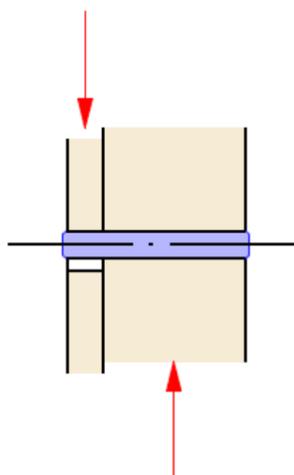
Man unterteilt die Verbindungen aufgrund der möglichen Versagensmechanismen in einschnittige Verbindungen bestehend aus zwei Hölzern, welche über entsprechende Verbindungsmittel verbunden werden und zweischnittige Verbindungen. Zweischnittige Verbindungen bestehen aus einem Mittelholz, welches mit zwei seitlichen Holzlaschen verbunden wird.

5.1.4.1 Einschnittige Holz-Holz-Verbindungen

Versagensmechanismus 1

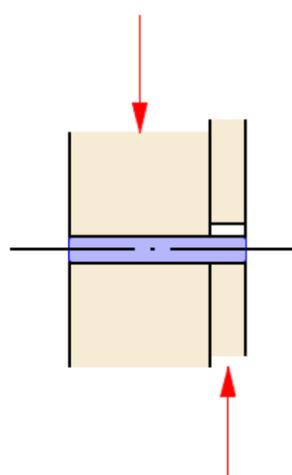
weist reines Lochleibungsversagen im Holz auf

(8.6) (a) lt. EN1995-1-1



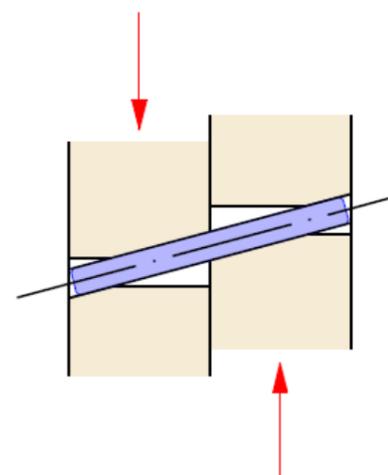
Versagensmechanismus 1b
Lochleibungsversagen in Holz 1

(8.6) (b) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 1b
Lochleibungsversagen in Holz 2

(8.6) (c) lt. EN1995-1-1



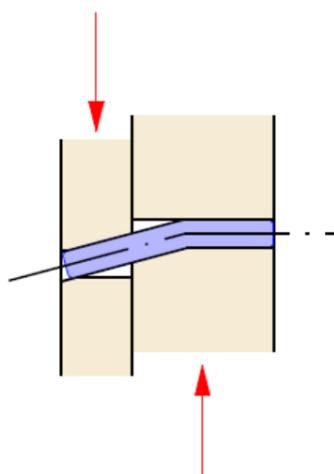
Versagensmechanismus 1a
Lochleibungsversagen in Holz 1 und 2

Bei diesen Verbindungen ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

Versagensmechanismus 2

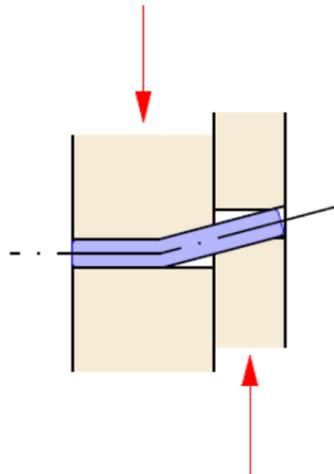
weist in einem Holz ein Fließgelenk im Verbindungsmittel auf

(8.6) (d) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 2a
Lochleibungsversagen in Holz 1,
Fließgelenk in Holz 2

(8.6) (e) lt. EN1995-1-1

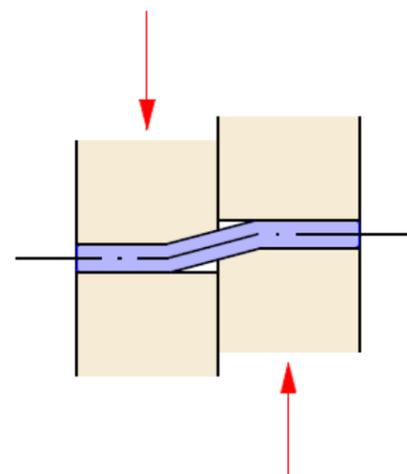


Versagensmechanismus 2b
Lochleibungsversagen in Holz 2,
Fließgelenk in Holz 1

Versagensmechanismus 3

in beiden Hölzern bilden sich ein Fließgelenk aus

(8.6) (f) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 3
in beiden Hölzern bilden sich ein Fließgelenk aus

Das Erreichen der Fließgelenke gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

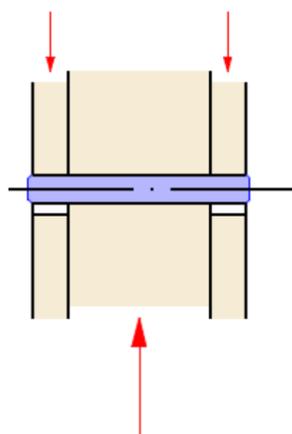
Abb. 5-7 Mögliche Versagenszustände für einschnittige Holz-Holz Verbindungen

5.1.4.2 zweiseitige Holz-Holz-Verbindungen

Versagensmechanismus 1

weist reines Lochleibungsversagen im Holz auf

(8.7) (g) lt. EN1995-1-1

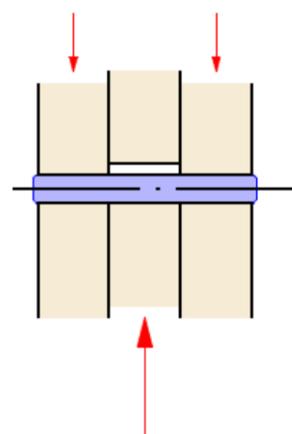


Versagensmechanismus 1b

Lochleibungsversagen in Holz 1

Bei diesen Verbindungen ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

(8.7) (h) lt. EN1995-1-1



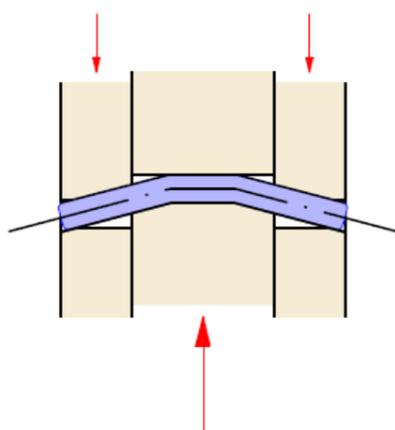
Versagensmechanismus 1b

Lochleibungsversagen in Holz 2

Versagensmechanismus 2

weist in einem Holz ein Fließgelenk im Verbindungsmittel auf

(8.7) (j) lt. EN1995-1-1



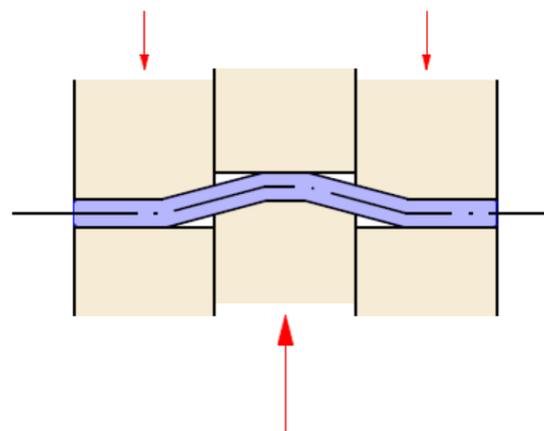
Versagensmechanismus 2

Lochleibungsversagen in Holz 1,
Fließgelenk in Holz 2

Versagensmechanismus 3

in beiden Hölzern bilden sich ein Fließgelenk aus

(8.7) (k) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 3

in beiden Hölzern bilden sich ein Fließgelenk aus

Das Erreichen der Fließgelenke gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

Abb. 5-8 Mögliche Versagenszustände für zweiseitige Holz-Holz Verbindungen

Bei genauer Betrachtung des Lösungsansatzes für den Tragwiderstand je Scherfuge bei den Versagensmechanismen 2 und 3 ist erkennbar, dass die Gleichungsbedingungen über dieselben Lösungsansätze wie für den Versagensmechanismus 2a sowie den Versagensmechanismus 3 für einschnittige Holz-Holz-Verbindungen gelöst sind.

5.1.5 Stahl-Holz-Verbindung - Grundtypen

Wie auch bei Holz-Holz-Verbindungen wird auch bei den Stahl-Holz-Verbindungen über die möglichen Versagensmechanismen zwischen ein- und mehrschnittigen Verbindungen unterschieden.

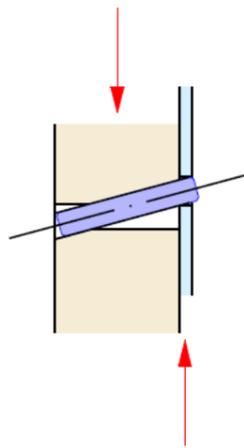
5.1.5.1 Einschnittige Holz-Holz-Verbindungen

Über die Dicke des Stahlbleches wird bei Verbindungen mit aussen liegendem Stahlblech zwischen Verbindungen mit dünnem bzw. dickem Stahlblech unterschieden. Bei dünnen Stahlblechen kann sich der Stift verdrehen. Für eine duktile Verbindung kann ein mögliches Fließmoment nur im Holz auftreten. Bei Verbindungen mit dicken Stahlblechen kann der Stift bei entsprechend exakter Bohrung im Stahlblech keine Rotationsbewegung ausführen. Dadurch kann der Stift als im Stahlblech eingespannt angenommen werden. Es kann ein Fließgelenk in der Scherfuge bzw. bei entsprechender Schlankheit des Verbindungsmittels, ein Fließgelenk in der Scherfuge und ein zweites Fließgelenk im Holz erreicht werden. Um diese Rotationssperrung des Stiftes durch das Stahlblech sichern zu können sind in der EN 1995-1-1 die Mindestblechstärke mit $\min. 1,0 \cdot d$ sowie der maximale Bohrdurchmesser von $1,1 \cdot d$ bzw. $d + 2\text{mm}$ festgelegt, wobei der kleinere Wert heranzuziehen ist.

Bei verwendeten Stahlblechstärken welche zwischen der Einteilung „dünn Blech“ (max. $0,6 \cdot d$) und „dick Blech“ (min. $1,0 \cdot d$) liegen, darf nach der EN 1995-1-1 der Tragwiderstand linear interpoliert werden.

dünnes Stahlblech

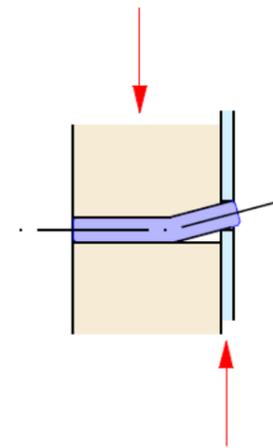
(8.10) (a) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 1a
Lochleibungsversagen in Holz

Hier ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

(8.10) (b) lt. EN1995-1-1

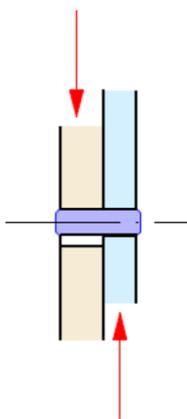


Versagensmechanismus 2
Fließgelenk im Holz

Das Erreichen des Fließgelenkes gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

dickes Stahlblech

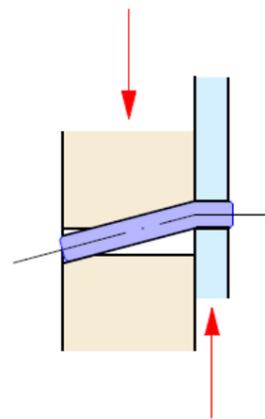
(8.10) (c) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 1b
Lochleibungsversagen in Holz

Hier ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

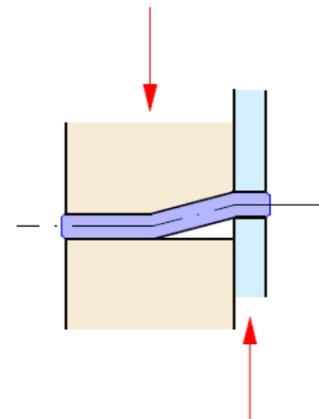
(8.10) (d) lt. EN1995-1-1



Versagensmechanismus 2
Fließgelenk in der Scherfuge

Das Erreichen der Fließgelenke gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

(8.10) (e) lt. EN1995-1-1

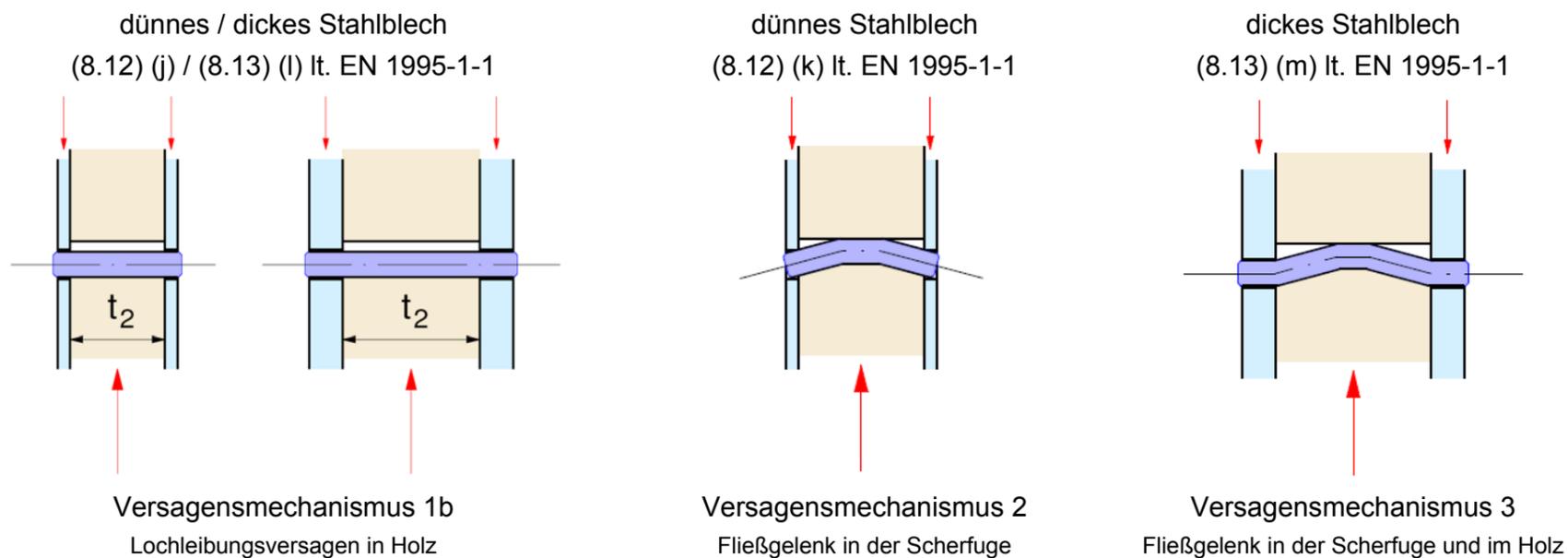


Versagensmechanismus 3
Fließgelenk in der Scherfuge und im Holz

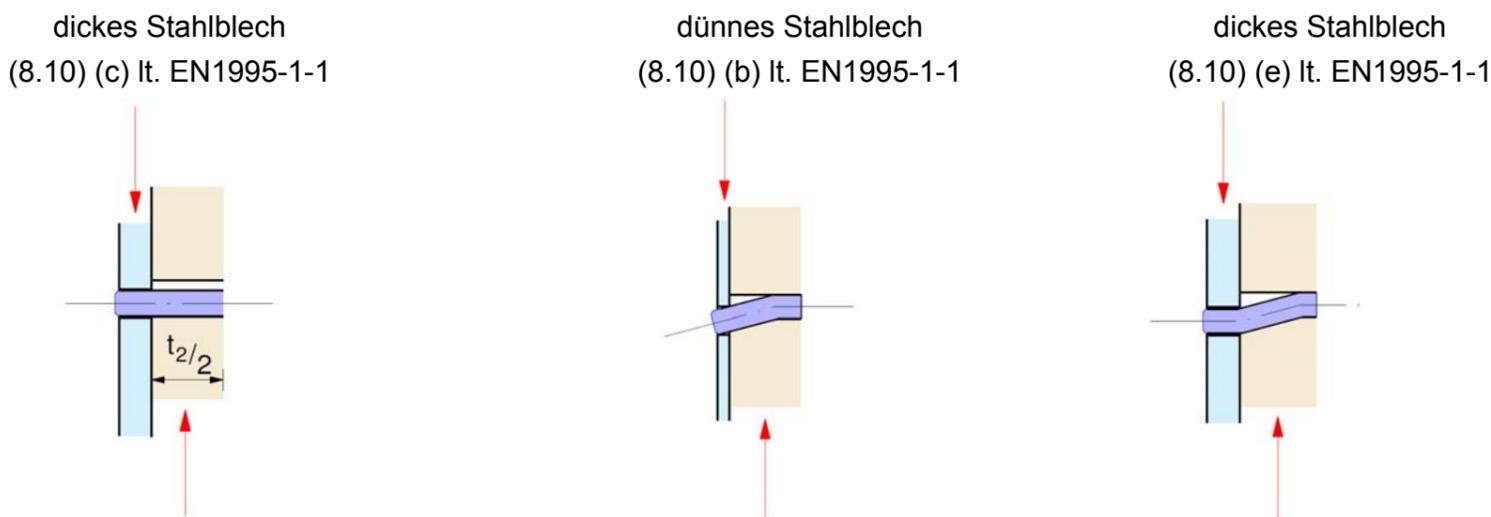
Abb. 5-9 Mögliche Versagenszustände für einschnittige Stahl-Holz Verbindungen

5.1.5.2 Stahl-Holz-Verbindungen mit aussen liegendem Stahlblech

Für aussen liegende Bleche sind in der EN 1995-1-1 zwar eigene Formeln angeführt, man erkennt jedoch durch Trennen in einzelne Teilsysteme je Scherfuge, das diese auf den gleichen Herleitungen wie einschnittige Stahl-Holz-Verbindungen beruhen.



Für die Ermittlung der Tragfähigkeit je Scherfuge kann das System wie folgt geteilt werden:



Hier ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

Das Erreichen der Fließgelenke gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

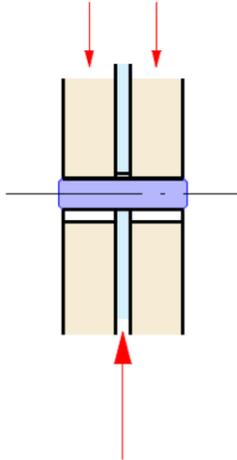
Abb. 5-10 Mögliche Versagenszustände für Stahl-Holz Verbindungen mit aussen liegendem Stahlblech

5.1.5.3 Stahl-Holz-Verbindungen mit innen liegendem Stahlblech

Bei innen liegenden Blechen wird in der EN 1995-1-1 lediglich das System für ein innen liegendes Blech angeführt. Durch Aneinanderreihen herausgeschnittener Teilsysteme können auch Verbindungen mit mehreren innen liegenden Blechen gelöst werden.

5.1.5.3.1 Stahl-Holz-Verbindungen mit einem innen liegenden Stahlblech

(8.12) (f) lt. EN 1995-1-1

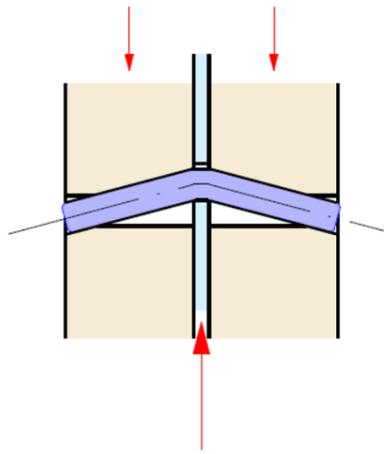


Versagensmechanismus 1b

Lochleibungsversagen in Holz

Hier ist mit einem spröden Holzversagen der Verbindung zu rechnen.

(8.12) (g) lt. EN 1995-1-1

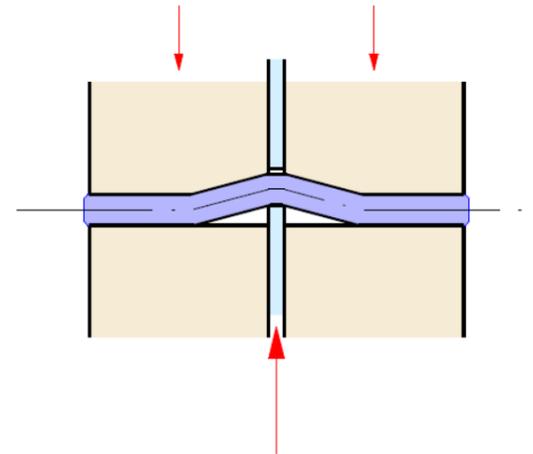


Versagensmechanismus 2

Fließgelenk in der Scherfuge

Das Erreichen der Fließgelenke gewährleistet ein duktileres Verhalten der Verbindung.

(8.12) (h) lt. EN 1995-1-1

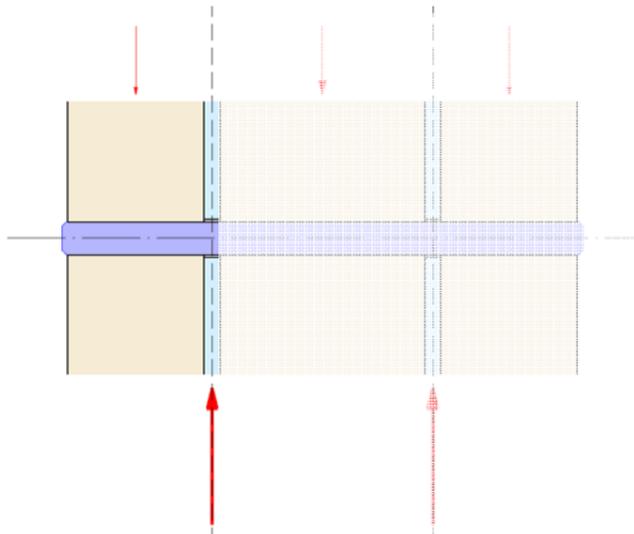


Versagensmechanismus 3

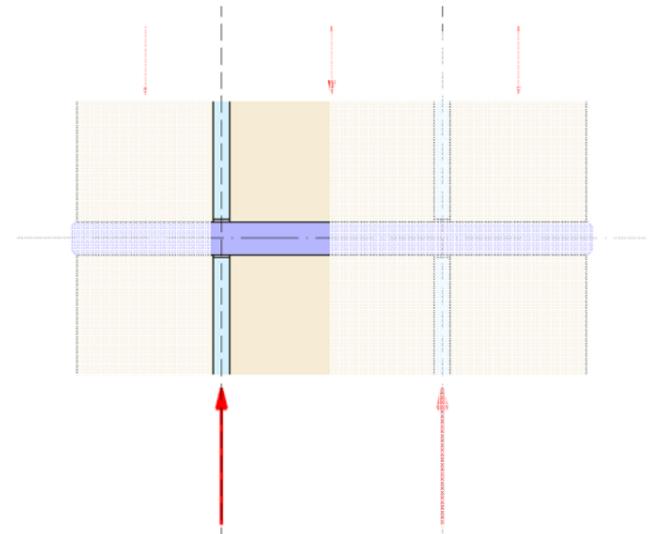
Fließgelenk in der Scherfuge und im Holz

Abb. 5-11 Mögliche Versagenszustände für Stahl-Holz Verbindungen mit innen liegenden Stahlblech

5.1.5.3.2 Stahl-Holz-Verbindungen mit mehreren innen liegenden Stahlblechen



dickes Stahlblech



dickes Stahlblech

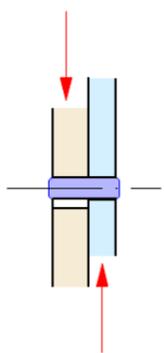
(8.10) (c) lt. EN 1995-1-1

(8.10) (d) lt. EN 1995-1-1

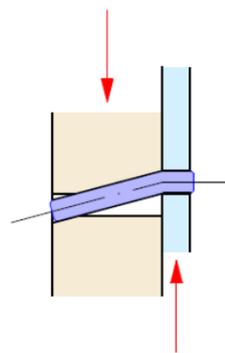
(8.10) (e) lt. EN 1995-1-1

(8.10) (c) lt. EN1995-1-1

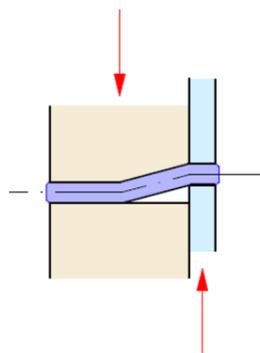
(8.10) (e) lt. EN1995-1-1



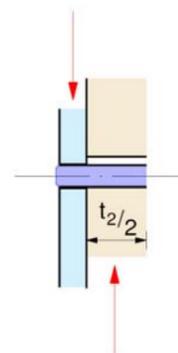
Versagensmechanismus 1b
Lochleibungsversagen in Holz



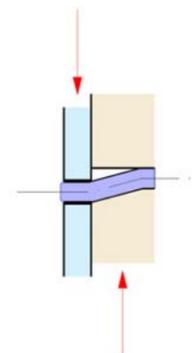
Versagensmechanismus 2
Fließgelenk in der Scherfuge



Versagensmechanismus 3
Fließgelenk in der Scherfuge und im Holz



Versagensmechanismus 1b
Lochleibungsversagen in Holz



Versagensmechanismus 3
Fließgelenk in der Scherfuge und im Holz

Abb. 5-12 Schematische Selektion für Stahl-Holz-Verbindungen mit mehreren innen liegenden Stahlblechen

5.1.6 Vorfaktor in den Bemessungsformeln bei Versagensmechanismen mit Fließgelenk nach EN 1995-1-1

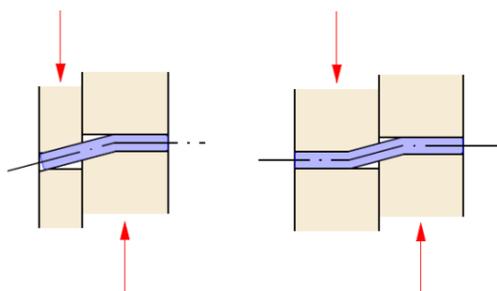
In der EN 1995-1-1 wird die charakteristische Traglast für das Verbindungsmittel nach den Bemessungsformeln von Johansen berechnet. Über den Vorfaktor werden bei den Versagensmechanismen mit einem oder zwei Fließgelenken die unterschiedlichen Sicherheitsfaktoren γ_m für das Verbindungsmittel und das Holz bzw. den Holzwerkstoff sowie der für das Holz einzubeziehende Modifikationsbeiwert k_{mod} berücksichtigt.

Bei Verbindungen mit reinem Lochleibungsversagen muss der Bemessungsformel kein Vorfaktor vorgesetzt werden, da in diesen Fällen nur die Widerstandsgrößen des Holzwerkstoffes eingehen.

Bei der Festlegung des Vorfaktors für den EN 1995-1-1 wurden die Materialsicherheitsbeiwerte von $\gamma_{m,h} = 1,3$, für die Verbindung im Holz und $\gamma_{m,s} = 1,1$ für das Verbindungsmittel angenommen. Der Modifikationsbeiwert k_{mod} wurde mit dem Faktor $k_{mod} = 0,9$ berücksichtigt. Stimmen diese Parameter nicht mit denen für den Bemessungsfall überein, kommt es zu einer Abweichung in beiden Richtungen.

5.1.6.1 Vorfaktor für einschnittige Holz-Holz-Verbindung

ein Fließgelenk zwei Fließgelenke



(d) (e)

1,05

+

++

++

++

-

-

-

(f)

1,15

-

-

-

++

+

+

-

Vorfaktor laut EN 1995-1-1

Verbindungsmitteldurchmesser

Zugfestigkeit $f_{u,k}$ und damit der Biege­widerstand $M_{y,R,k}$ des Verbindungsmittels

Schlankheit $\lambda = t/d$

Modifikationsfaktor k_{mod}

Sicherheitsfaktor für die Verbindung (Holz) lt. EN 1995-1-1, Tabelle 2.3 $\gamma_{m,h}$

Sicherheitsfaktor für das Verbindungsmittel $\gamma_{m,s}$

Lochleibungs­festigkeit $f_{h,k}$

++ hoher Einfluss, + geringer Einfluss, +/- sehr geringer Einfluss, - kein Einfluss

Abb. 5-13 Einflüsse für die Vorfaktoren bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung

Bei dem Vergleich der Einflussfaktoren für Holz-Holz-Verbindungen zeigt sich, dass der Modifikationsbeiwert k_{mod} bei den Versagensmechanismen mit einem oder zwei Fließgelenken den größten Einfluss auf den Vorfaktor hat.

Beim Versagensmechanismus mit nur einem Fließgelenk wird der Vorfaktor auch durch die Zugfestigkeit und somit des Biege­widerstandes, sowie der Schlankheit des Stiftes beeinflusst.

Bei zwei Fließgelenken wird der Vorfaktor neben dem Modifikationsbeiwert durch die Sicherheitsfaktoren für das Verbindungsmittel und die Lochleibungs­festigkeit, sprich das Holz, beeinflusst.

Wegen des steigenden Vorfaktors bei niedrigerem Modifikationsbeiwert k_{mod} als 0,9 werden die ermittelten Traglasten für die einzelnen Versagensmechanismen mit Fließmomenten verfälscht.

Aufgrund des aus dem niedrigeren Modifikationsbeiwert resultierenden geringeren Lochleibungs­widerstandes, kann es zu einem Wechsel des maßgebenden Versagensmechanismus kommen wodurch das avisierte Ziel einer duktilen Verbindung nicht mehr erreicht wird und die Verbindung zu einem spröden Versagensverhalten tendiert. Dieser Einfluss macht sich in der Bemessung vor allem bei Anschlüssen, welche höherer Feuchtebelastung ausgesetzt sind und bei langer Lasteinwirkungsdauer, wie sie sich aus ständigen und Langzeitlasten ergeben bemerkbar.

Bei Verbindungen bei welchen der Versagensmechanismus 2 mit einem Fließgelenk als Versagens­szenario ermittelt wurde, kann man schwer eine allgemeine Aussage über das Verhalten der Verbindung treffen, da mehrere veränderliche Parameter Einfluss nehmen. Aufgrund des Einflusses der einzelnen Parameter kann man aber sagen, dass es bei Verbindungsmitteln mit höherer Zugfestigkeit in Kombination mit geringer Schlankheit des Verbindungsmittels zu einer größeren Abweichung des Vorfaktors bei einem niedrigen k_{mod} -Faktor kommt. Hier muss man wesentlich zwischen ein- und zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen unterscheiden, da es bei ein-

schnittigen Verbindungen auf Grund der möglichen Rotationsbewegung des Verbindungsmittels (Versagensmechanismus 1a) schon bei geringerer Belastung zu einer spröden Versagenscharakteristik der Verbindung gegenüber einer zweischnittigen Verbindung kommt. Dieser Wechselbereich zwischen sprödem Verhalten und vollduktilen Verhalten über zwei Fließgelenke wird umso kürzer, je mehr ein Angleichen der Holzdicken t_2/t_1 vorgenommen wird.

5.1.6.1.1 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im Regelfall

In den folgenden Abbildungen wird die Abweichung der charakteristischen Tragfähigkeit für den jeweiligen Versagensfall bei Eintreten von einem oder zwei Fließgelenken dargestellt. Die Bezeichnungen der Kurven beziehen sich auf die Bezeichnung der Versagensmechanismen nach EN 1995-1-1 (siehe dazu Abb. 5-7).

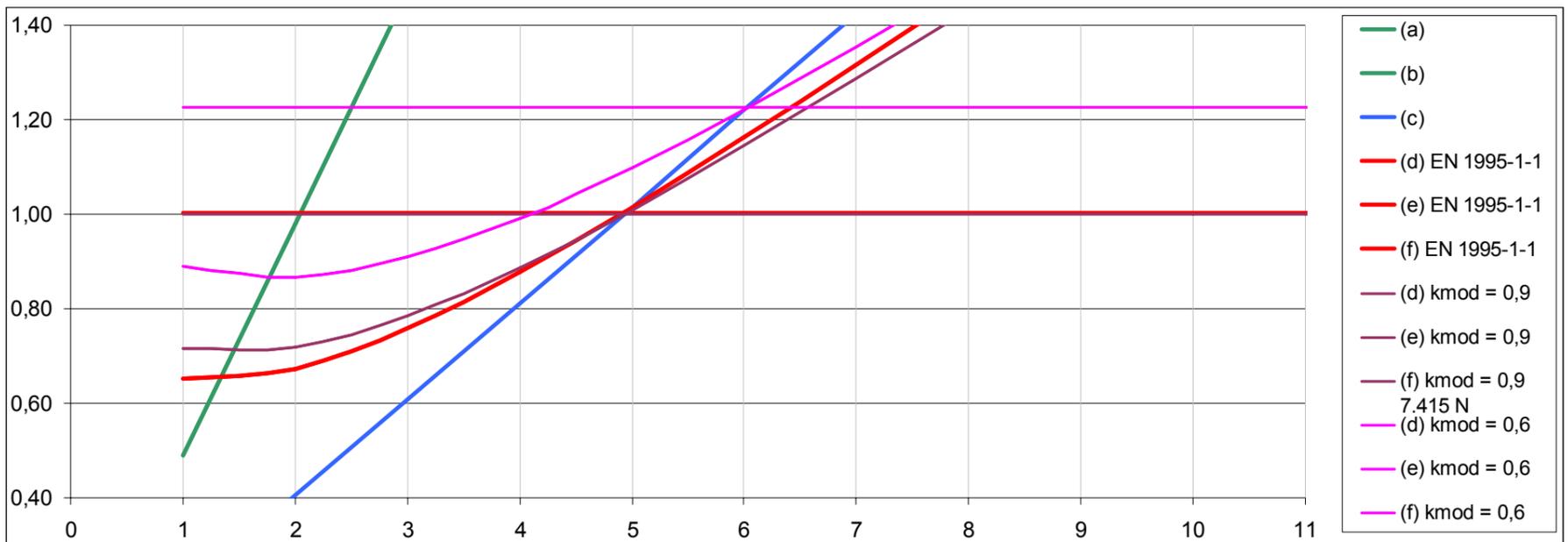
Für die Versagensmechanismen (d), (e), und (f) kann der Einfluss des Modifikationsbeiwertes, sowie die Abweichungen zu den Gleichungen mit fixem Vorfaktor nach der EN 1995-1-1 gut abgelesen werden. Für die Material sicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Als Basis für den Faktor 1,00 wurde die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 angenommen.

Bei gleichen Holzdicken, $t_2 = t_1$

Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = x \cdot d$



Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = x \cdot d$

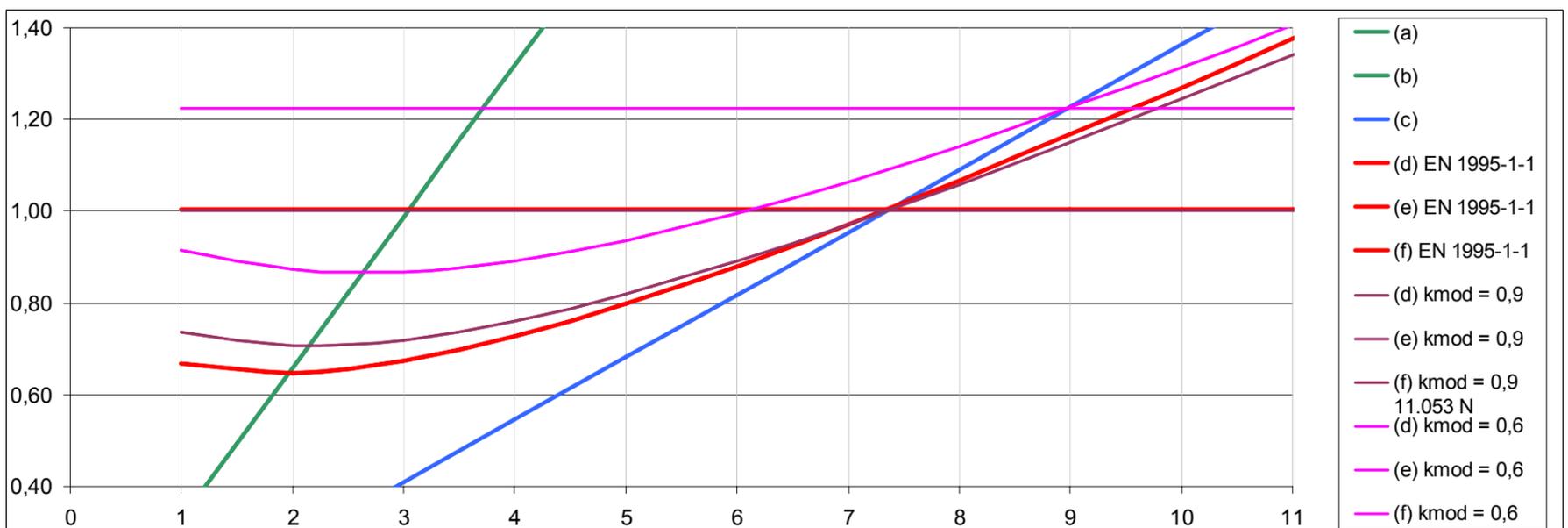
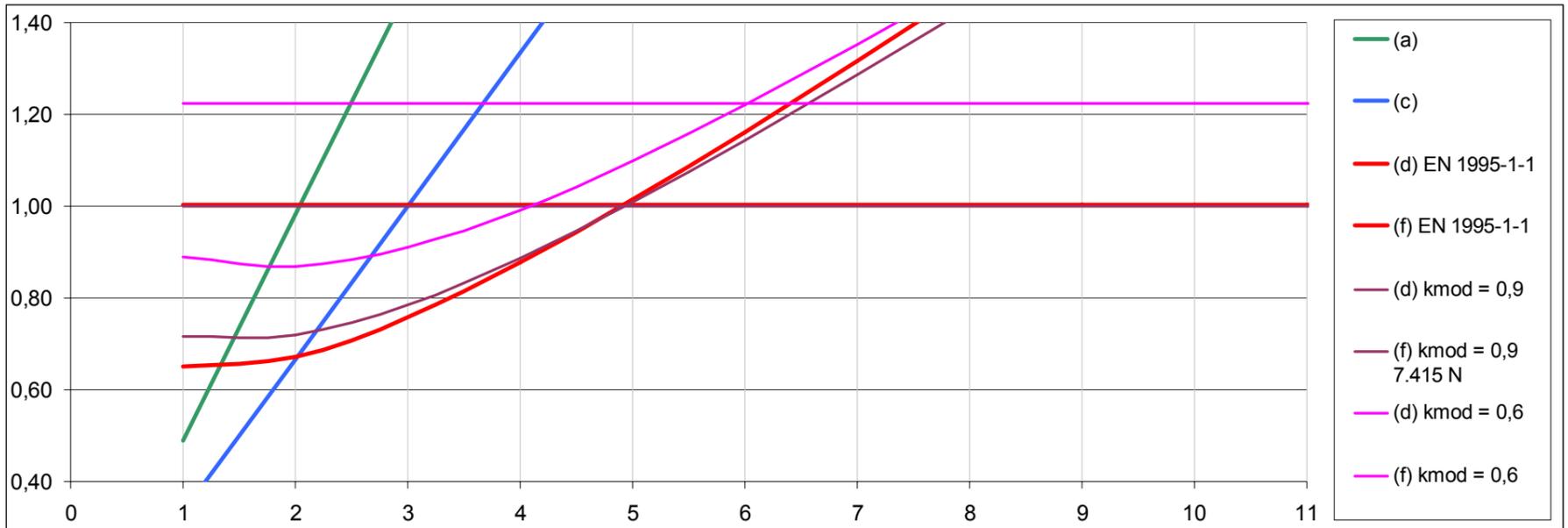


Abb. 5-14 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen

Bei ungleichen Holzdicken, wobei für die folgende Darstellung die Annahme für $t_2 = 2 \cdot t_1$ getroffen wurde.

Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$



Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$

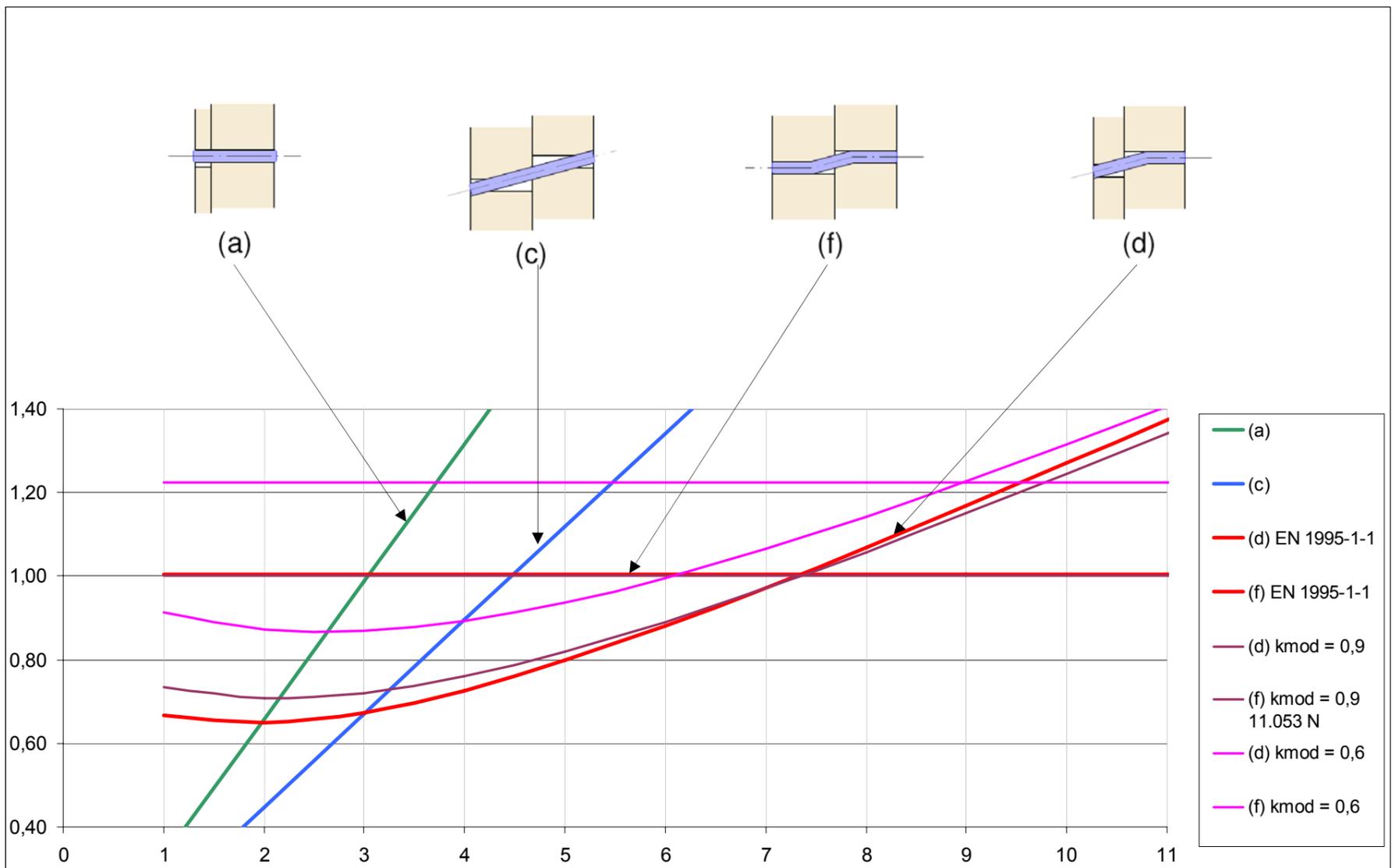


Abb. 5-15 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen

Im Unterschied zu einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen mit gleichen oder annähernd gleichen Holzdicken ($t_2 \approx t_1$) wo der Übergangsbereich mit einem Fließgelenk fast gegen null tendiert, dehnt sich dieser Bereich bei zunehmendem Dickenunterschied, da der Einfluss aus dem Versagensmechanismus 1a (c) abnimmt. Daraus ergibt sich schon bei niedrigerer Schlankheit des Verbindungsmittels eine duktile Verbindung.

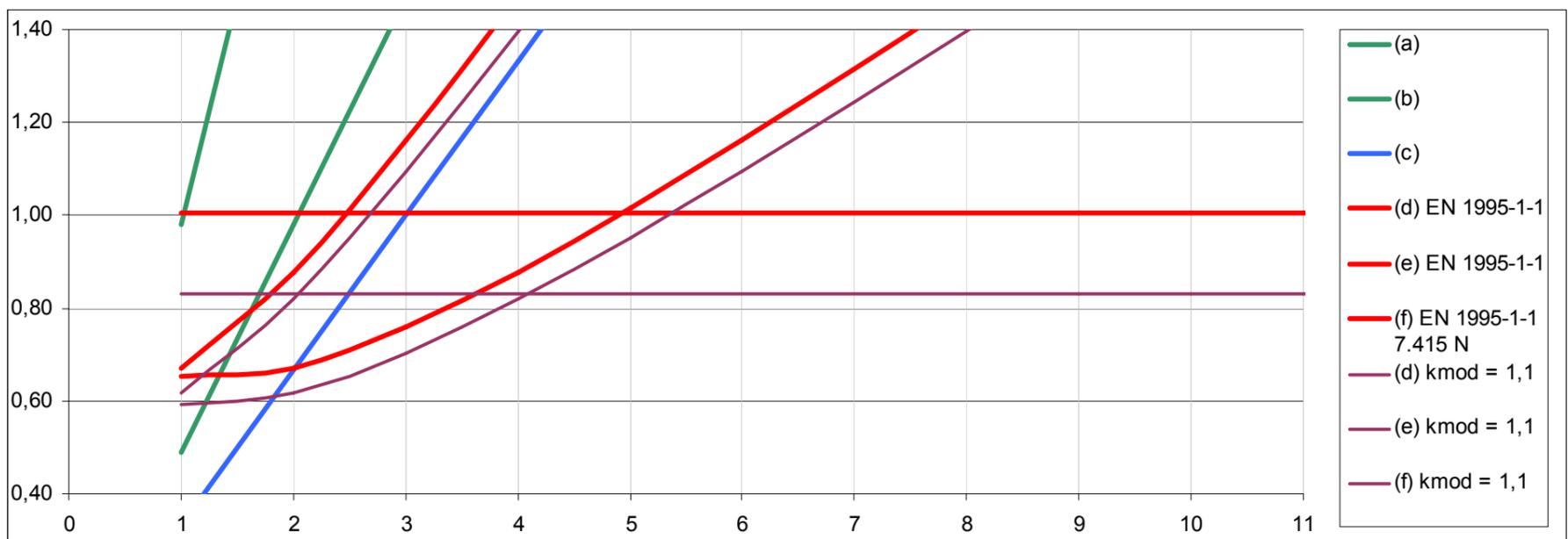
5.1.6.1.2 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im außergewöhnlichen Lastfall

Für die Material Sicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,0$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,0$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Um eine Vergleichbarkeit mit Abb. 5-14 und Abb. 5-15 herstellen zu können, wurde auch für den außergewöhnlichen Lastfall als Basis für den Faktor 1,00, die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 und den Material Sicherheitsbeiwerten für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ angenommen.

Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$



Verbindungsmittel: $d=12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$

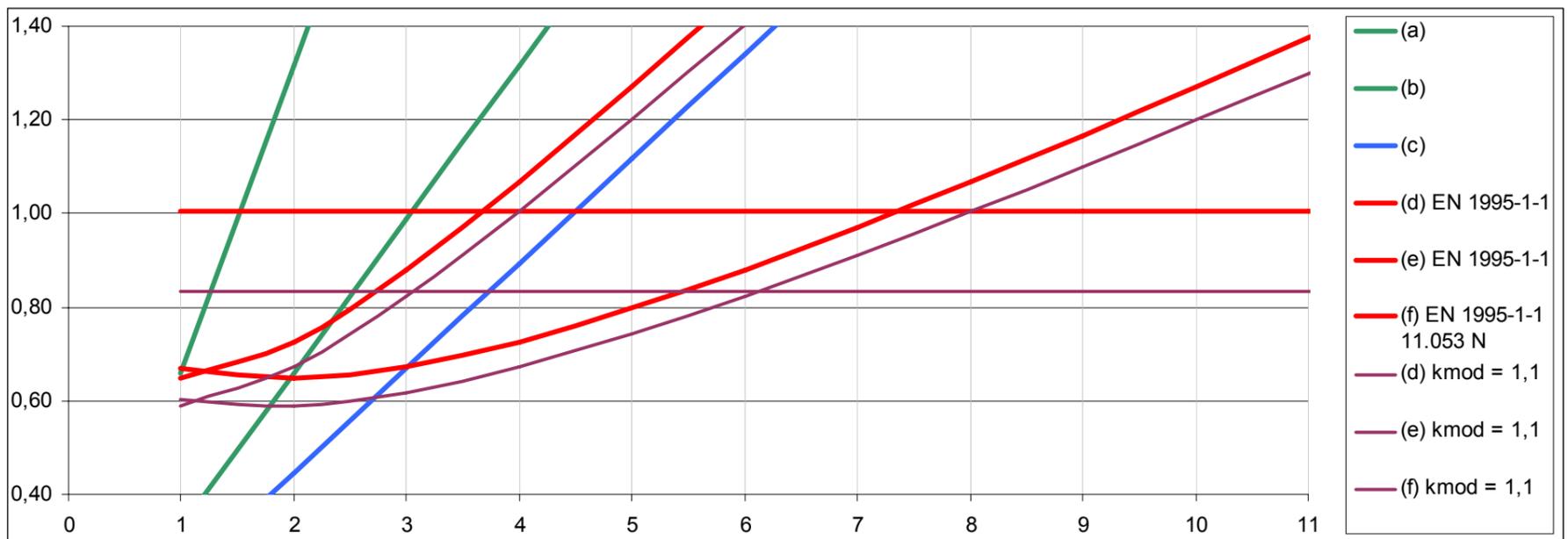


Abb. 5-16 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen

Angesichts der möglichen großen Abweichungen des Vorfaktors sollte bei EDV-unterstützten Bemessungen vom generellen Vorfaktor laut EN1995-1-1 abgesehen und die genaue Berechnung durchgeführt werden.

Die Berechnung kann entweder über Ermittlung eines exakten Vorfaktors gemacht werden, oder man verwendet direkt die jeweiligen Design-Werte für Lochleibungsfestigkeit des Holzes und den zulässigen Bemessungswiderstand des Stahl-Verbindungsmittels.

5.1.6.1.3 Ein Fließgelenk – Versagensmechanismus 2a

Folgende Bemessungsformel ist in der EN 1995-1-1 zur Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit für zwei Fließgelenke angeführt:

$$F_{v,R,k} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \quad (5-1)$$

Die Bemessungsformel inklusive dem Vorfaktor 1,05 aus der EN 1995-1-1 ergibt sich aus folgendem Ansatz:

Verbindung: $R_d = \frac{R_k}{\gamma_{m,h}} \cdot k_{mod}$ wobei $\gamma_{m,h} = 1,3$ $k_{mod} = 0,9$ $R_d = \frac{R_k}{1,3} \cdot 0,9 = 0,69 \cdot F_k$

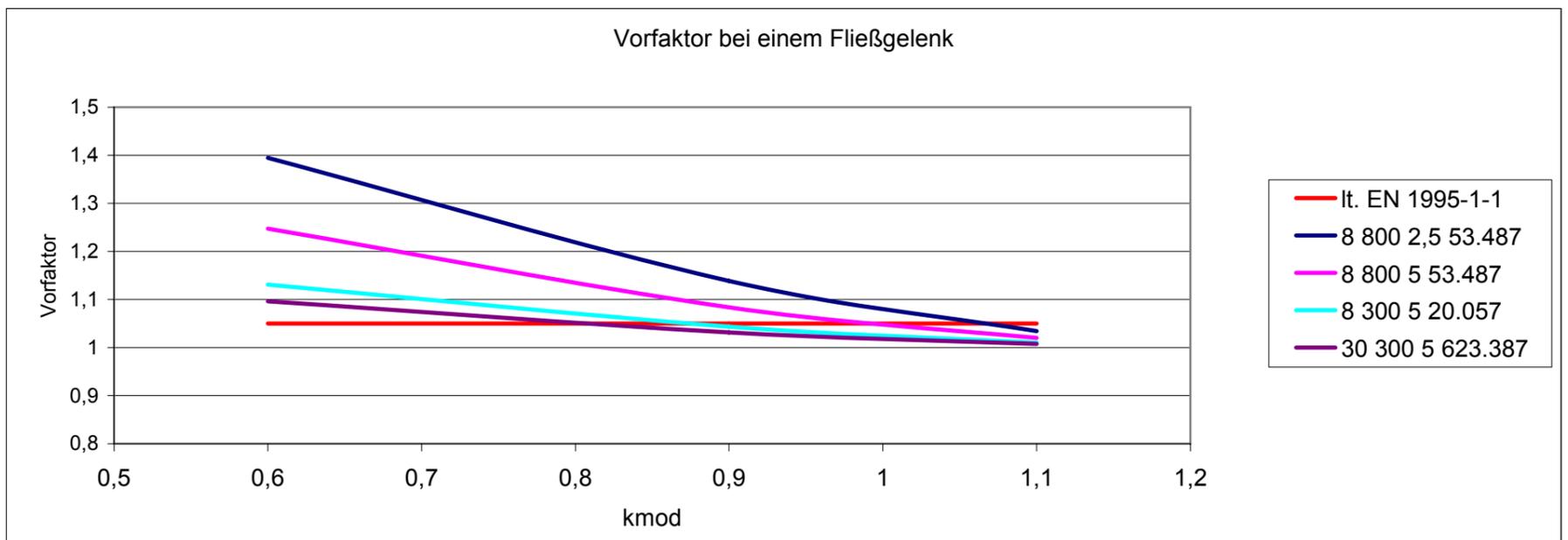
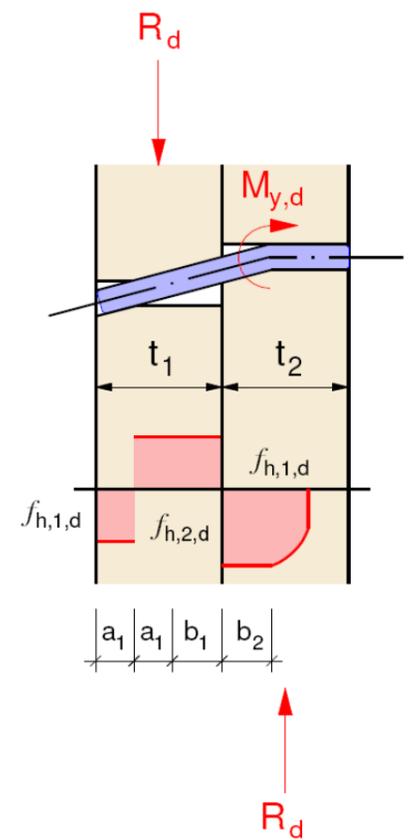
Holz: $\gamma_{m,h} = 1,3$, $k_{mod} = 0,9$

Stahl: $\gamma_{m,s} = 1,1$

Die Formel leitet sich aus der Annahme ab, dass die Querkraft im Stift am Ort des größten Biegemomentes gleich Null ist.

$$R_d = \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_{m,h}} \cdot k_{mod} \cdot d \cdot \frac{t_1}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot \frac{M_{y,R,k}}{\gamma_{m,s}}}{\frac{f_{h,1,k}}{\gamma_{m,h}} \cdot k_{mod} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \quad (5-2)$$

$$b_1 = \frac{t_1}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot \frac{M_{y,R,k}}{\gamma_{m,s}}}{\frac{f_{h,1,k}}{\gamma_{m,h}} \cdot k_{mod} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$



Fixe Randbedingungen: beide Hölzer aus C24, $\beta=1,0$, $\gamma_{m,h}=1,3$, $\gamma_{m,s}=1,1$

	Stiftdurchmesser d	Zugfestigkeit $f_{u,k}$	Fließmoment $M_{y,R,k}$	Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$	Schlankheit λ
1	8mm	800N/mm ²	53.487Nmm	26,4N/mm ²	2,5
2	8mm	800N/mm ²	53.487Nmm	26,4N/mm ²	5,0
3	8mm	300N/mm ²	20.057Nmm	26,4N/mm ²	5,0
4	30mm	300N/mm ²	623.387Nmm	23,0N/mm ²	5,0

Abb. 5-17 Vorfaktor bei einem Fließgelenk

Da in die Ermittlung des Vorfaktors mehrerer Variablen einfließen, kann kein eindeutiger Wert ermittelt werden.

5.1.6.1.4 Zwei Fließgelenke – Versagensmechanismus 3

Folgende Bemessungsformel ist in der EN 1995-1-1 zur Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit für zwei Fließgelenke angeführt:

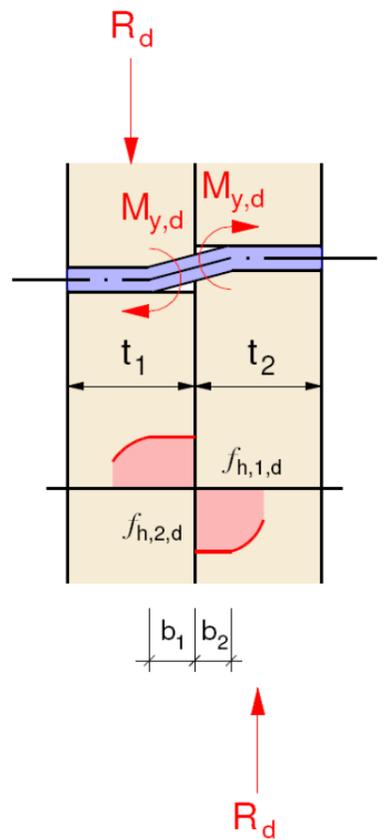
$$F_{v,R,k} = 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k}} \quad (5-3)$$

Die Bemessungsformel inklusive dem Vorfaktor 1,15 aus der EN 1995-1-1 ergibt sich aus folgendem Ansatz:

Verbindung: $R_d = \frac{R_k}{\gamma_{m,h}} * k_{mod}$ wobei $\gamma_{m,h} = 1,3, k_{mod} = 0,9$ $R_d = \frac{R_k}{1,3} * 0,9 = 0,69 * R_k$

Holz: $\gamma_{m,h} = 1,3, k_{mod} = 0,9$

Stahl: $\gamma_{m,s} = 1,1$



Die Formel leitet sich aus der Momentengleichheit um die Scherfuge ab.

$$R_d = \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{\frac{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k} * k_{mod}}{\gamma_{m,s} * \gamma_{m,h}}}$$

$$R_d = \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{\frac{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k} * 0,9}{1,1 * 1,3}} \quad R_d = 0,79 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k}} \quad R_d = 0,79 * R_k$$

Vorfaktor: $\frac{0,79 * R_k}{0,69 * R_k} = 1,15$ (dieser Vorfaktor wurde in die EN1995-1-1 übernommen)

Verbindung: $R_d = \frac{R_k}{\gamma_{m,h}} * k_{mod}$ wobei $\gamma_{m,h} = 1,3, k_{mod} = 0,6$ $R_d = \frac{R_k}{1,3} * 0,6 = 0,46 * F_k$

Holz: $\gamma_{m,h} = 1,3, k_{mod} = 0,6$

Stahl: $\gamma_{m,s} = 1,1$

$$R_d = \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{\frac{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k} * k_{mod}}{\gamma_{m,s} * \gamma_{m,h}}}$$

$$R_d = \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{\frac{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k} * 0,6}{1,1 * 1,3}} \quad R_d = 0,65 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k}} \quad R_d = 0,65 * F_k$$

Vorfaktor: $\frac{0,65 * R_k}{0,46 * R_k} = 1,41$

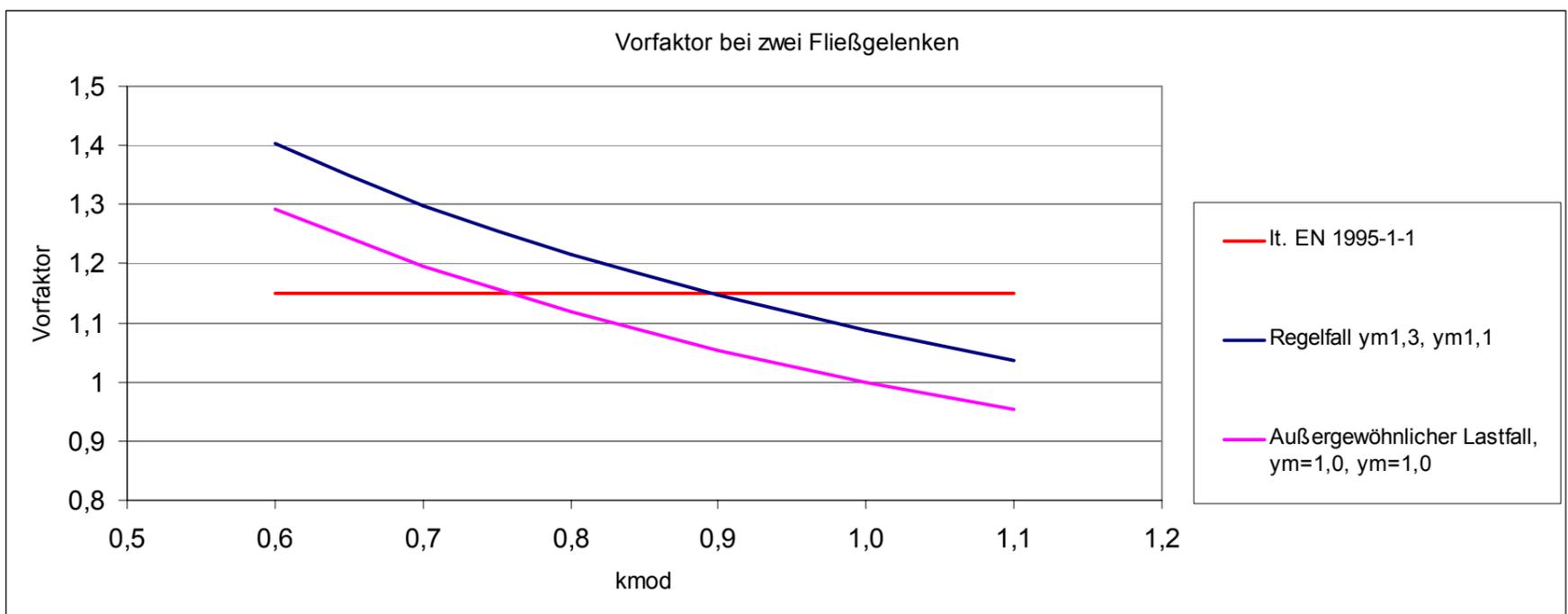


Abb. 5-18 Vorfaktor bei zwei Fließgelenken

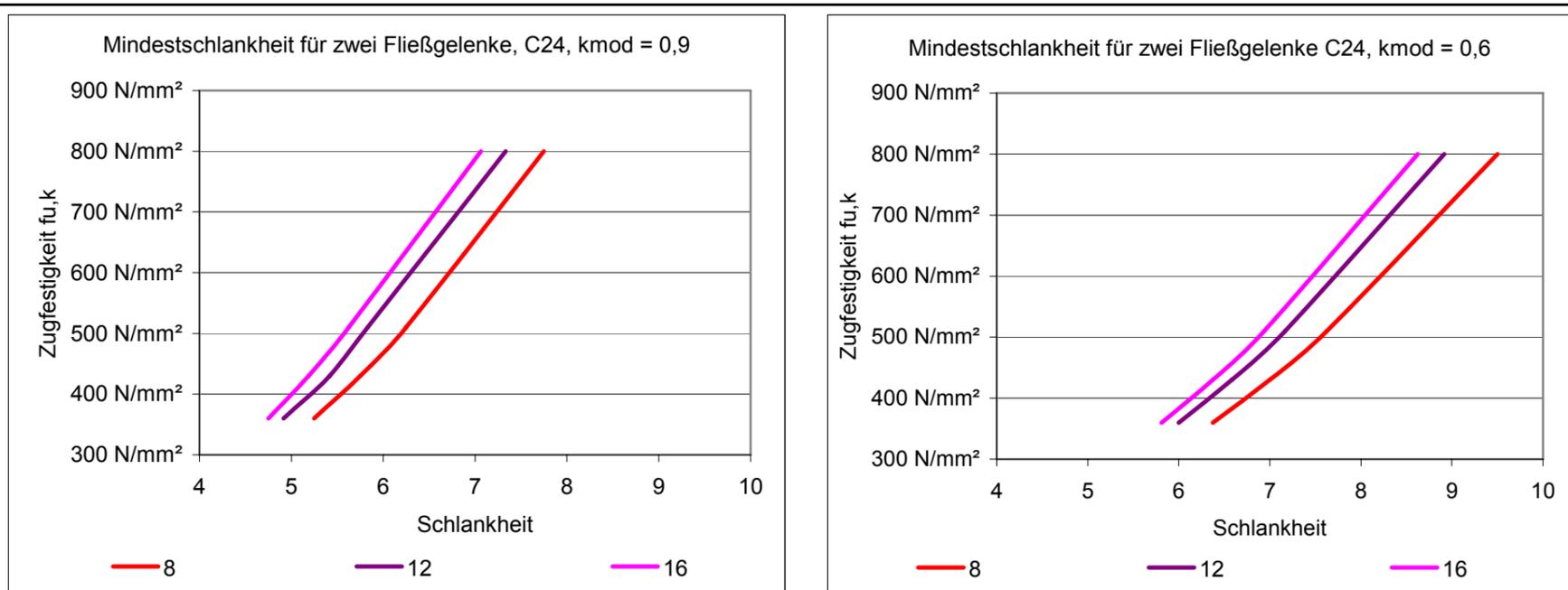


Abb. 5-19 Mindestschlankheit in Abhängigkeit der Zugfestigkeit des Verbindungsmittels für zwei Fließgelenke bei Holz-Holz-Verbindungen

In Abb. 5-19 ist der Zusammenhang aus Biege­widerstand des Verbindungsmittels und der Schlankheit für das Erreichen von zwei Fließgelenken abgebildet.

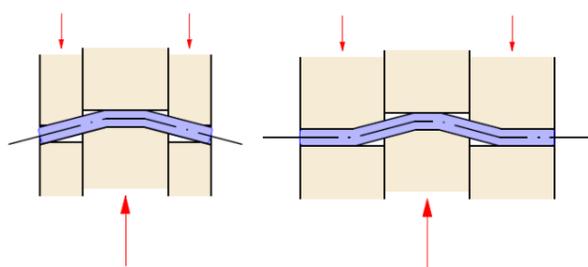
Über diese Grafik wird der Einfluss des Modifikationsbeiwerts k_{mod} auf die erforderliche Schlankheit zum Erreichen der zwei Fließgelenke erkennbar. So sollte die Schlankheit bei einem $k_{mod} = 0,6$ gegenüber Verbindungen mit $k_{mod} = 0,9$ um dem Faktor 1,22 erhöht werden, um ein Versagensverhalten durch das Ausbilden von Fließgelenken sicherstellen zu können.

Die Größe des Faktors entspricht dem Verhältnis ($1,40/1,15=1,22$) zwischen ermittelter Tragfähigkeit über Designgrößen und der Bemessung nach der EN 1995-1-1 bei einem Modifikationsbeiwert $k_{mod} = 0,6$.

5.1.6.2 Vorfaktor für zweischnittige Holz-Holz-Verbindung

ein Fließgelenk

zwei Fließgelenke



(j)
1,05

(k)
1,15

-

-

+

-

+

-

++

++

-

+

-

+

-

-

Vorfaktor laut EN 1995-1-1

Verbindungsmitteldurchmesser

Zugfestigkeit $f_{u,k}$ und damit der Biege­widerstand $M_{y,R,k}$ des Verbindungsmittels

Schlankheit $\lambda = t/d$

Modifikationsfaktor k_{mod}

Sicherheitsfaktor für die Verbindung (Holz) lt. EN 1995-1-1, Tabelle 2.3 $\gamma_{m,h}$

Sicherheitsfaktor für das Verbindungsmittel $\gamma_{m,s}$

Lochleibungs­festigkeit $f_{h,k}$

++ hoher Einfluss, + geringer Einfluss, +/- sehr geringer Einfluss, - kein Einfluss

Abb. 5-20 Einflüsse für die Vorfaktoren bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung

5.1.6.2.1 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im Regelfall

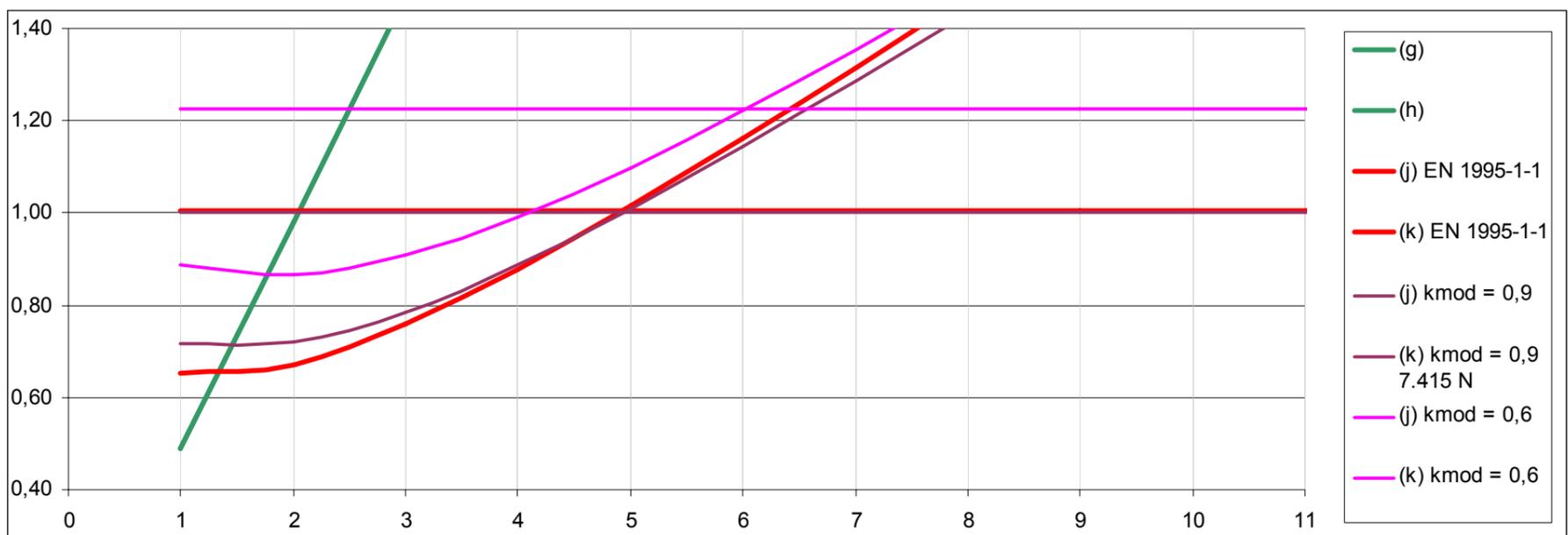
In den folgenden Abbildungen wird die Abweichung der charakteristischen Tragfähigkeit für den jeweiligen Versagensfall bei Eintreten von einem oder zwei Fließgelenken dargestellt. Die Bezeichnungen der Kurven beziehen sich auf die Bezeichnung der Versagensmechanismen nach EN 1995-1-1 (siehe dazu Abb. 5-8).

Für die Versagensmechanismen (j) und (k) kann der Einfluss des Modifikationsbeiwertes, sowie die Abweichungen zu den Gleichungen mit fixem Vorfaktor nach der EN 1995-1-1 gut abgelesen werden. Für die Material Sicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Als Basis für den Faktor 1,00 wurde die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 angenommen.

Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$



Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$

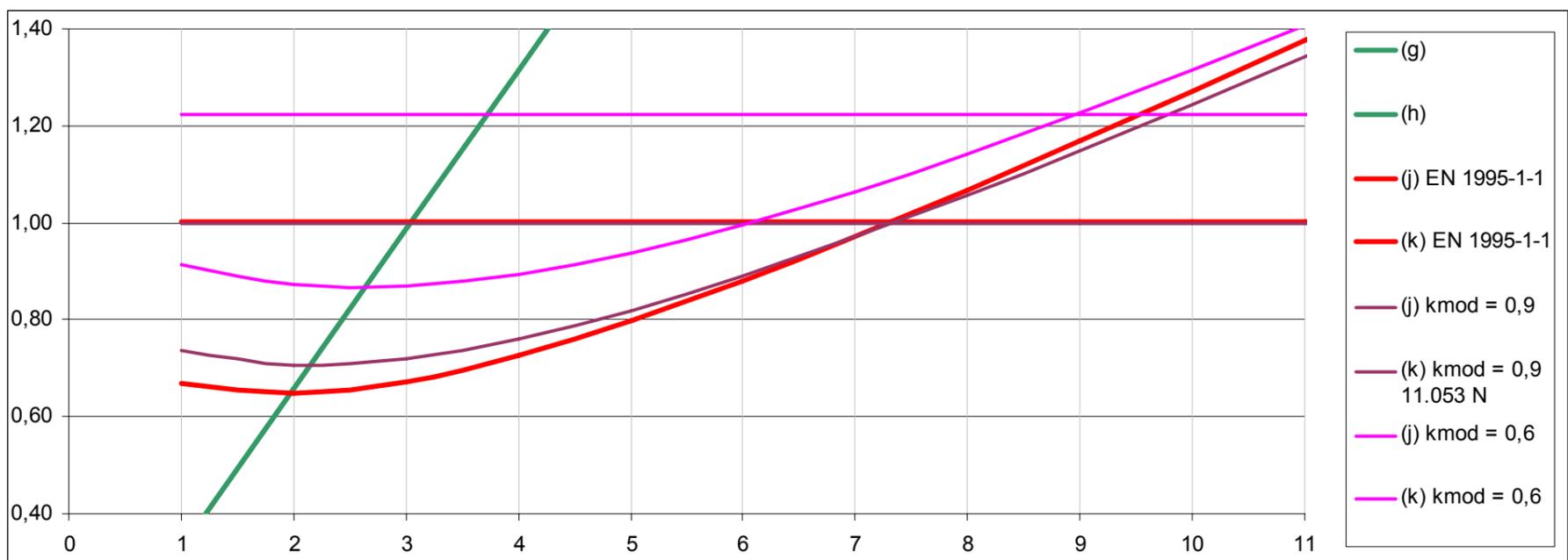


Abb. 5-21 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen

5.1.6.2.2 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im außergewöhnlichen Lastfall

Für die Material Sicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,0$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,0$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Um eine Vergleichbarkeit mit Abb. 5-21 herstellen zu können, wurde auch für den außergewöhnlichen Lastfall als Basis für den Faktor 1,00 die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 und den Material Sicherheitsbeiwerten für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ angenommen.

Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$



Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24, $t_1 = x \cdot d$; Holz 2: C24, $t_2 = 2x \cdot d$

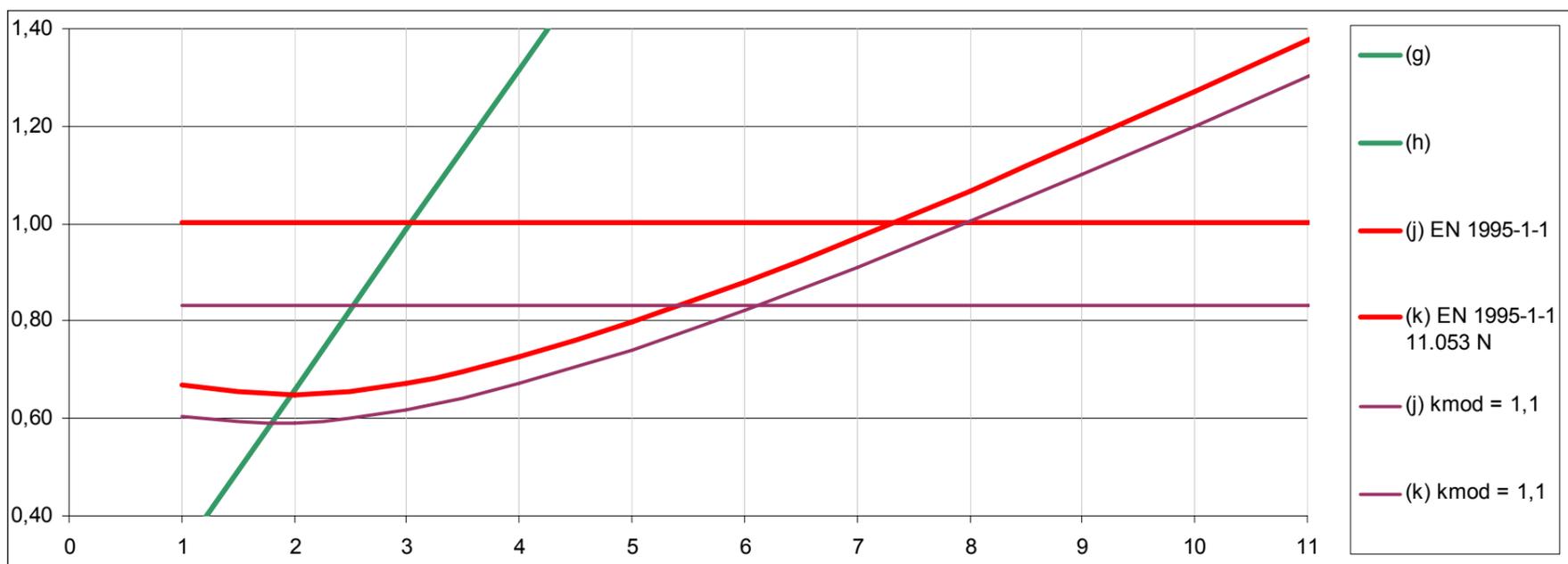


Abb. 5-22 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen

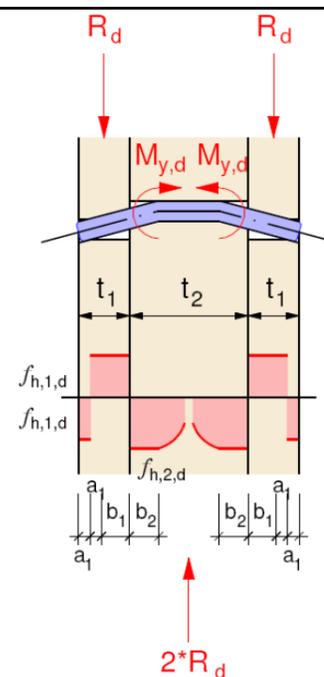
5.1.6.2.3 Ein Fließgelenk – Versagensmechanismus 2

Folgende Bemessungsformel ist in der EN 1995-1-1 zur Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit für zwei Fließgelenke angeführt:

$$F_{v,R,k} = 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * d * t_1}{2 + \beta} * \left[\sqrt{2 * \beta * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (2 + \beta) * M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] \quad (5-4)$$

Die berechnete zulässige Übertragungskraft gilt je Scherfuge. Da die Gleichung dieselbe ist wie bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen nach Versagensmechanismus 2a, gelten auch die gleichen Einflussgrößen für den Vorfaktor.

(Abb. 5-13, 5.1.6.1.3 Ein Fließgelenk – Versagensmechanismus 2a)



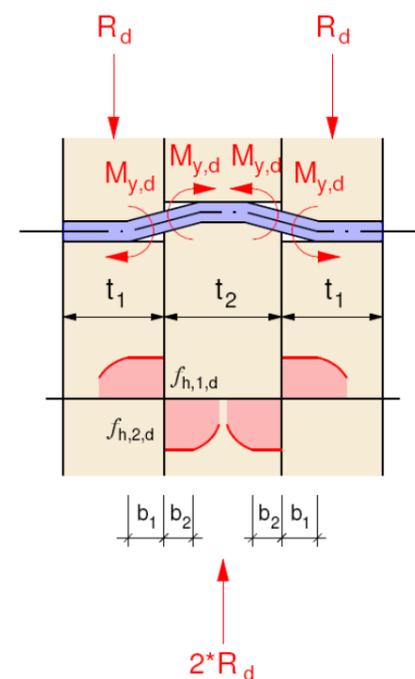
5.1.6.2.4 Zwei Fließgelenke – Versagensmechanismus 3

Folgende Bemessungsformel ist in der EN 1995-1-1 zur Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit für zwei Fließgelenke angeführt:

$$F_{v,R,k} = 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,R,k} * d * f_{h,1,k}} \quad (5-5)$$

Die berechnete zulässige Übertragungskraft gilt je Scherfuge. Die Gleichung ist dieselbe wie bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen nach Versagensmechanismus 3. Somit gelten auch die gleichen Einflussgrößen für den Vorfaktor.

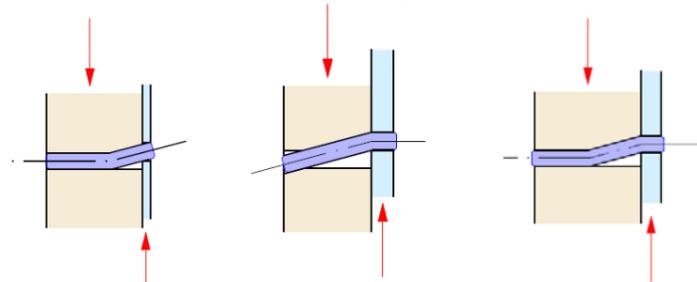
(Abb. 5-13, 5.1.6.1.4 Zwei Fließgelenke – Versagensmechanismus 3)



Sowohl bei einschnittigen als auch bei zweischnittigen Holz-Holzverbindungen wird der zulässige Tragwiderstand je Scherfuge für den Versagensmechanismus 2 und 3 über den Gleichungsansatz gelöst.

5.1.6.3 Vorfaktor für Stahl-Holz-Verbindung

ein Fließgelenk im Holz ein Fließgelenk in der Scherfuge zwei Fließgelenke



(b) (k) (d) (g) (e) (h) (m)

1,15

1,00

1,15

Vorfaktor laut EN 1995-1-1

-

+/-

-

Verbindungsmitteldurchmesser

-

++

-

Zugfestigkeit $f_{u,k}$ u. damit der Biegezugwiderstand $M_{y,R,k}$ des Verbindungsmittels

-

++

-

Schlankheit $\lambda = t/d$

++

++

++

Modifikationsfaktor k_{mod}

+

+

+

Sicherheitsfaktor für die Verbindung (Holz) lt. EN 1995-1-1, Tabelle 2.3 $\gamma_{m,h}$

+

+

+

Sicherheitsfaktor für das Verbindungsmittel $\gamma_{m,s}$

-

-

-

Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$

++ hoher Einfluss, + geringer Einfluss, +/- sehr geringer Einfluss, - kein Einfluss

Abb. 5-23 Einflüsse für die Vorfaktoren bei Stahl-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung

5.1.6.3.1 Dünnes Blech

5.1.6.3.1.1 Versagensmechanismus 1a

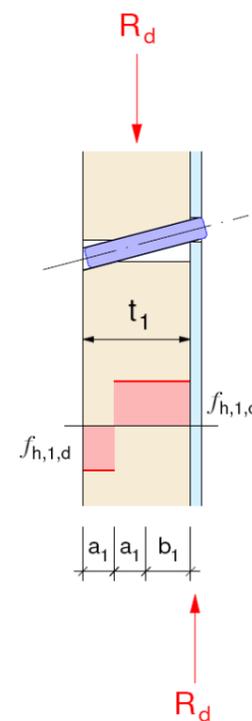
Der Versagensmechanismus für das Verdrehen des Verbindungsmittels wird unter der Annahme des Kräftegleichgewichts, dass das Moment in der Scherfuge null ist aufgelöst. Aus dieser Annahme ergibt sich folgende Bedingung für die effektiv wirksame Bettungslänge:

$$b_1 = t_1 * (\sqrt{2} - 1)$$

$$R_d = f_{h,1,d} * d * t_1 * (\sqrt{2} - 1) \rightarrow 0,414 * f_{h,1,d} * d * t_1 \quad (5-6)$$

In der EN 1995-1-1 wird diese Gleichung wie folgt vereinfacht:

$$F_{v,R,k} = 0,4 * f_{h,1,k} * t_1 * d \quad (5-7)$$



5.1.6.3.1.2 Versagensmechanismus 2

Der Versagensmechanismus 2 bedingt ein Fließgelenk. Da sich wegen der geringen Stahlblechdicke das Verbindungsmittel im Stahlblech verdrehen kann, entsteht das mögliche Fließgelenk im Holz. Die Gleichung wird unter der Annahme des Kräftegleichgewichts, dass das Moment im Fließgelenk null ist aufgelöst. Aus dieser Annahme ergibt sich folgende Bedingung für die effektiv wirksame Bettungslänge:

$$b_1 = \sqrt{\frac{2 * M_{y,d}}{f_{h,1,d} * d}}$$

$$R_d = \sqrt{2 * M_{y,d} * f_{h,1,d} * d} \quad (5-8)$$

In der EN 1995-1-1 wird diese Gleichung mit dem Vorfaktor von 1,15 erweitert

$$F_{v,R,k} = 1,15 * \sqrt{2 * M_{y,R,k} * f_{h,k} * d} \quad (5-9)$$

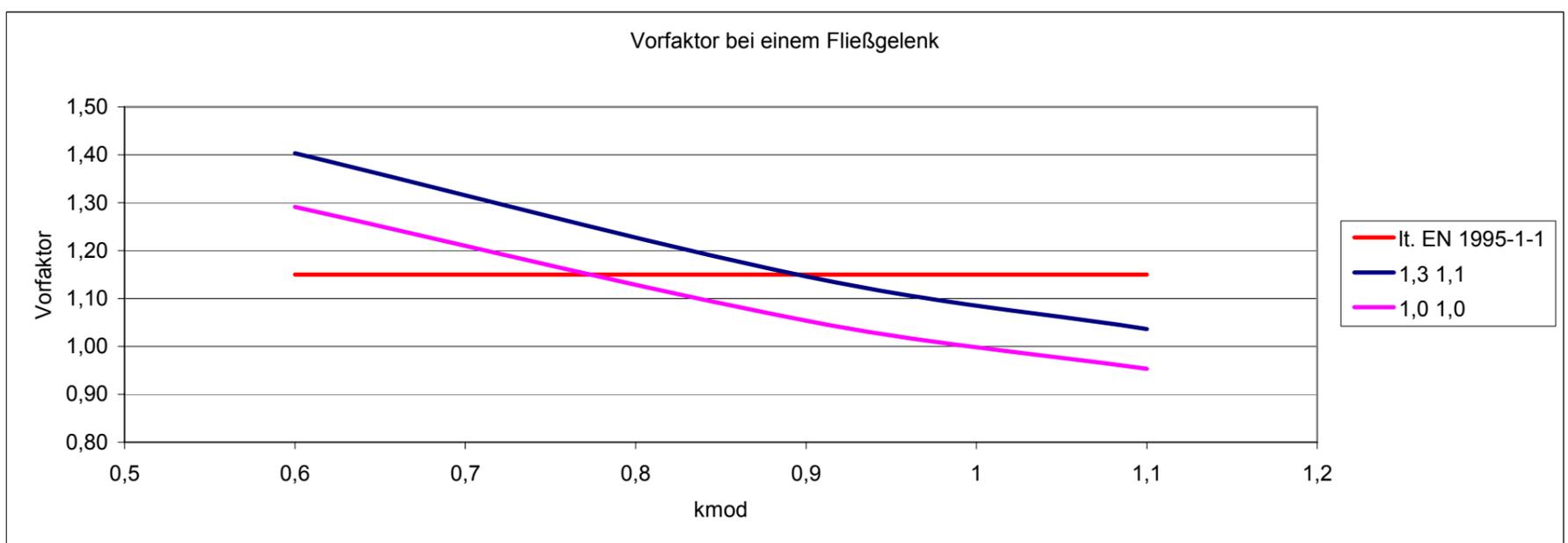
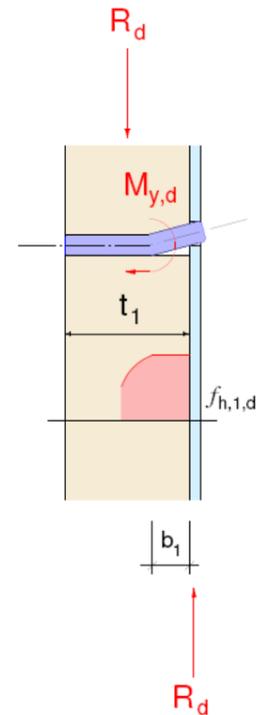


Abb. 5-24 Vorfaktor für einschneitige Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk im Holz

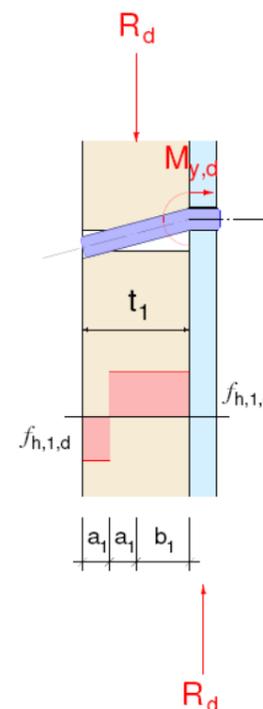
5.1.6.3.2 Dickes Blech

5.1.6.3.2.1 Versagensmechanismus 2

Der Versagensmechanismus 2 bedingt ein Fließgelenk. Wegen des entsprechend dicken Stahlblechs ergibt sich die Wirkung einer Einspannung und es ergibt sich ein Fließgelenk in der Scherfuge zwischen Stahlblech und Holz.

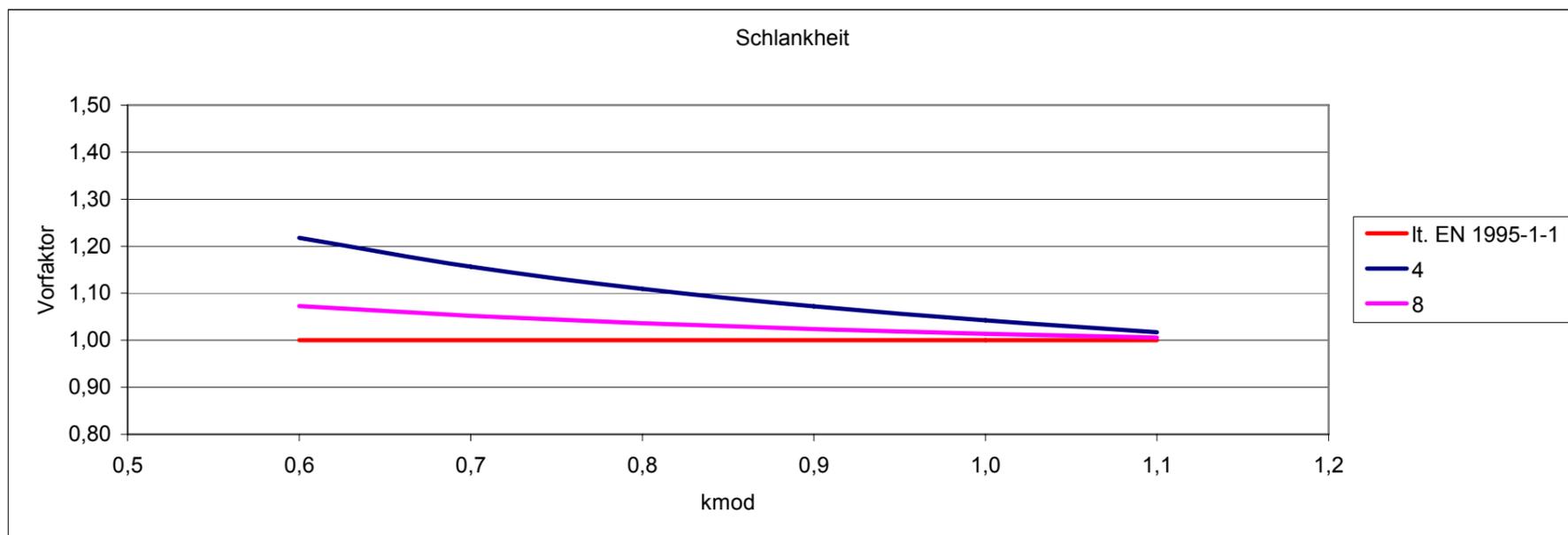
$$b_1 = t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,d}}{f_{h,1,d} * d * t_1^2}} - 1 \right]$$

$$R_d = f_{h,1,d} * d * t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,d}}{f_{h,1,d} * d * t_1^2}} - 1 \right] \quad (5-10)$$



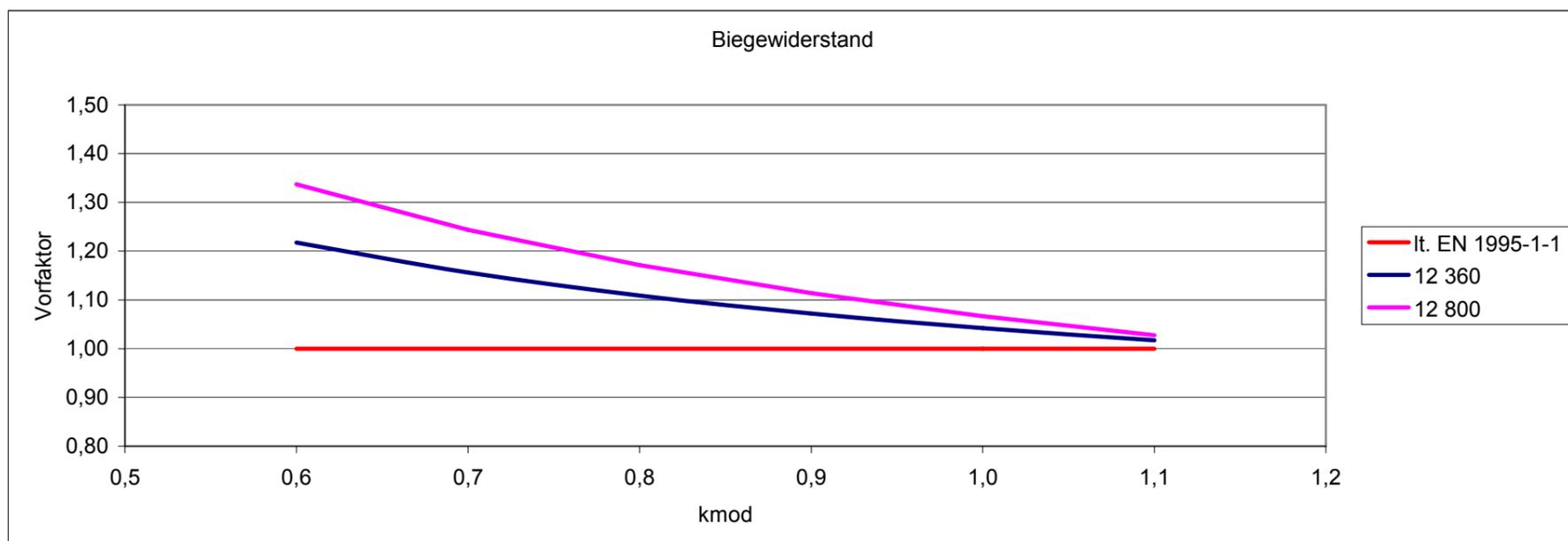
In der EN 1995-1-1 wird diese Gleichung wie folgt übernommen:

$$F_{v,R,k} = f_{h,k} * d * t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,R,k}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] \quad (5-11)$$



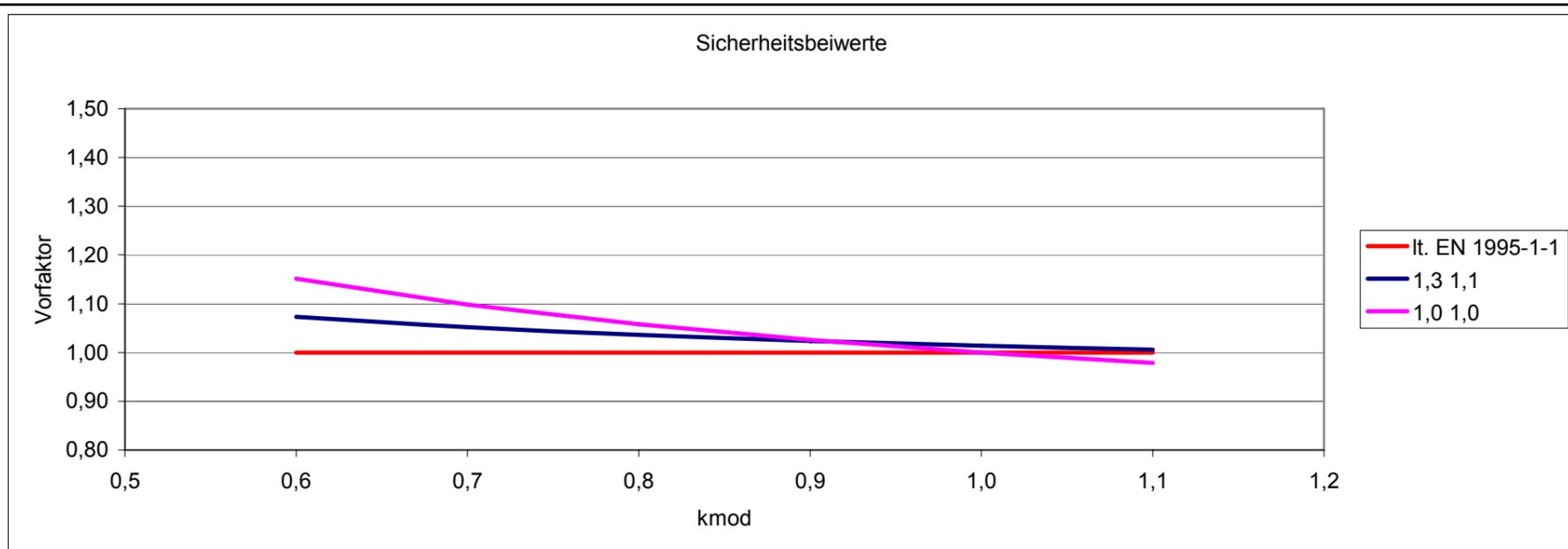
Randbedingungen: Holz C24, Verbindungsmittel $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$, $\gamma_{m,h} = 1,3$, $\gamma_{m,s} = 1,1$

Abb. 5-25 Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss zufolge Schlankeits



Randbedingungen: Holz C24, Verbindungsmittel $d = 12\text{mm}$, $\gamma_{m,h} = 1,3$, $\gamma_{m,s} = 1,1$

Abb. 5-26 Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss aus dem Biegezug



Randbedingungen: Holz C24, Verbindungsmittel $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$

Abb. 5-27 Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss aus den Sicherheitsbeiwerten

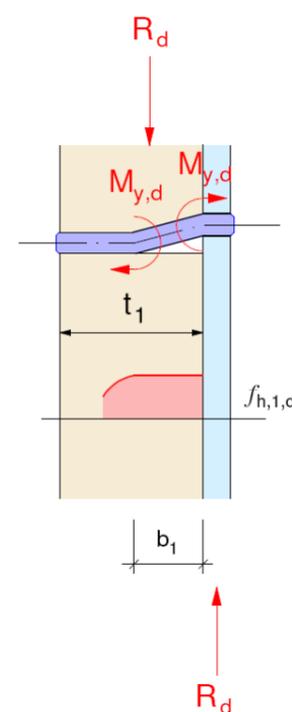
5.1.6.3.2.2 Versagensmechanismus 3

Der Versagensmechanismus 3 bedingt zwei Fließgelenke. Wegen des entsprechend dicken Stahlblechs ergibt sich die Wirkung einer Einspannung und es ergibt sich ein Fließgelenk in der Scherfuge zwischen Stahlblech und Holz und ein weiteres Fließgelenk über die Einspannung im Holz.

$$b_1 = \sqrt{\frac{4 * M_{y,d}}{f_{h,1,d} * d}} \text{ ergibt sich aus: } 2M_{y,d} = f_{h,1,d} * d * \frac{b_1^2}{2}$$

$$R_d = f_{h,1,d} * d * \sqrt{\frac{4 * M_{y,d}}{f_{h,1,d} * d}}$$

$$R_d = 2 * \sqrt{M_{y,d} * f_{h,1,d} * d} \tag{5-12}$$



In der EN 1995-1-1 wird diese Gleichung mit dem Vorfaktor von 1,15 erweitert:

$$F_{v,R,k} = 2,3 * \sqrt{M_{y,R,k} * f_{h,k} * d} \tag{5-13}$$

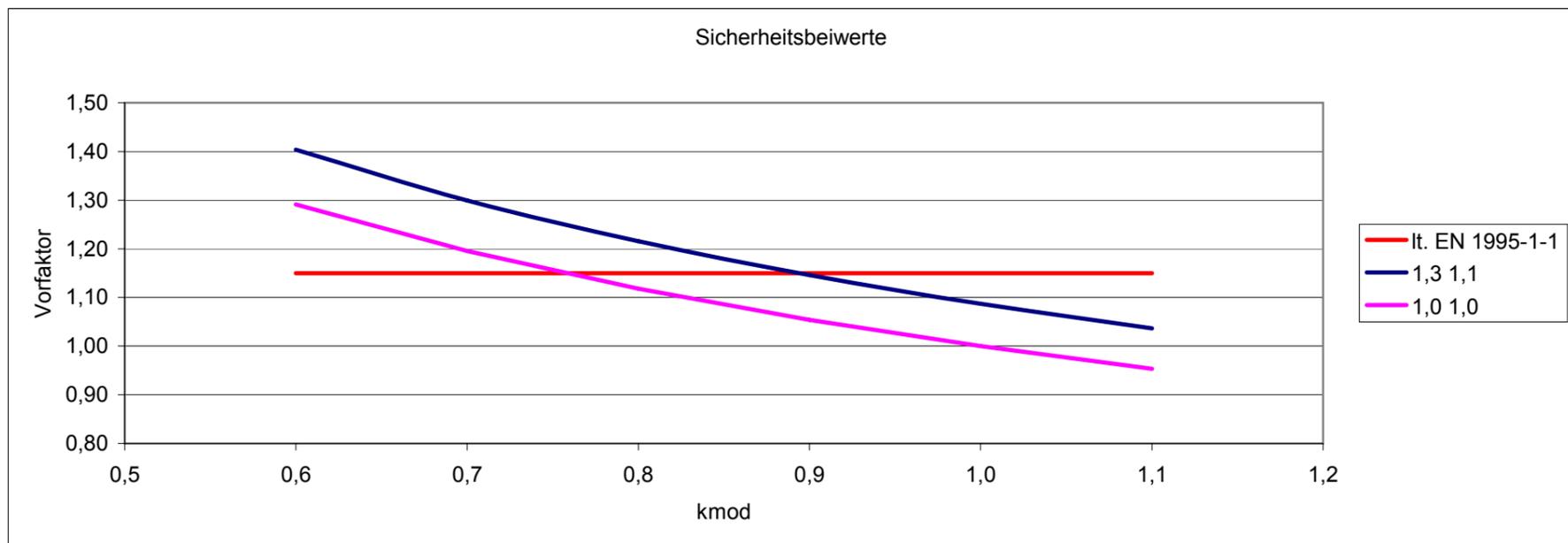


Abb. 5-28 Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit zwei Fließgelenken, Einfluss aus den Sicherheitsbeiwerten

5.1.6.3.3 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im Regelfall

In den folgenden Abbildungen wird die Abweichung der charakteristischen Tragfähigkeit für den jeweiligen Versagensfall bei Eintreten von einem oder zwei Fließgelenken dargestellt. Die Bezeichnungen der Kurven beziehen sich auf die Bezeichnung der Versagensmechanismen nach EN 1995-1-1 (siehe dazu Abb. 5-9 und Abb. 5-10).

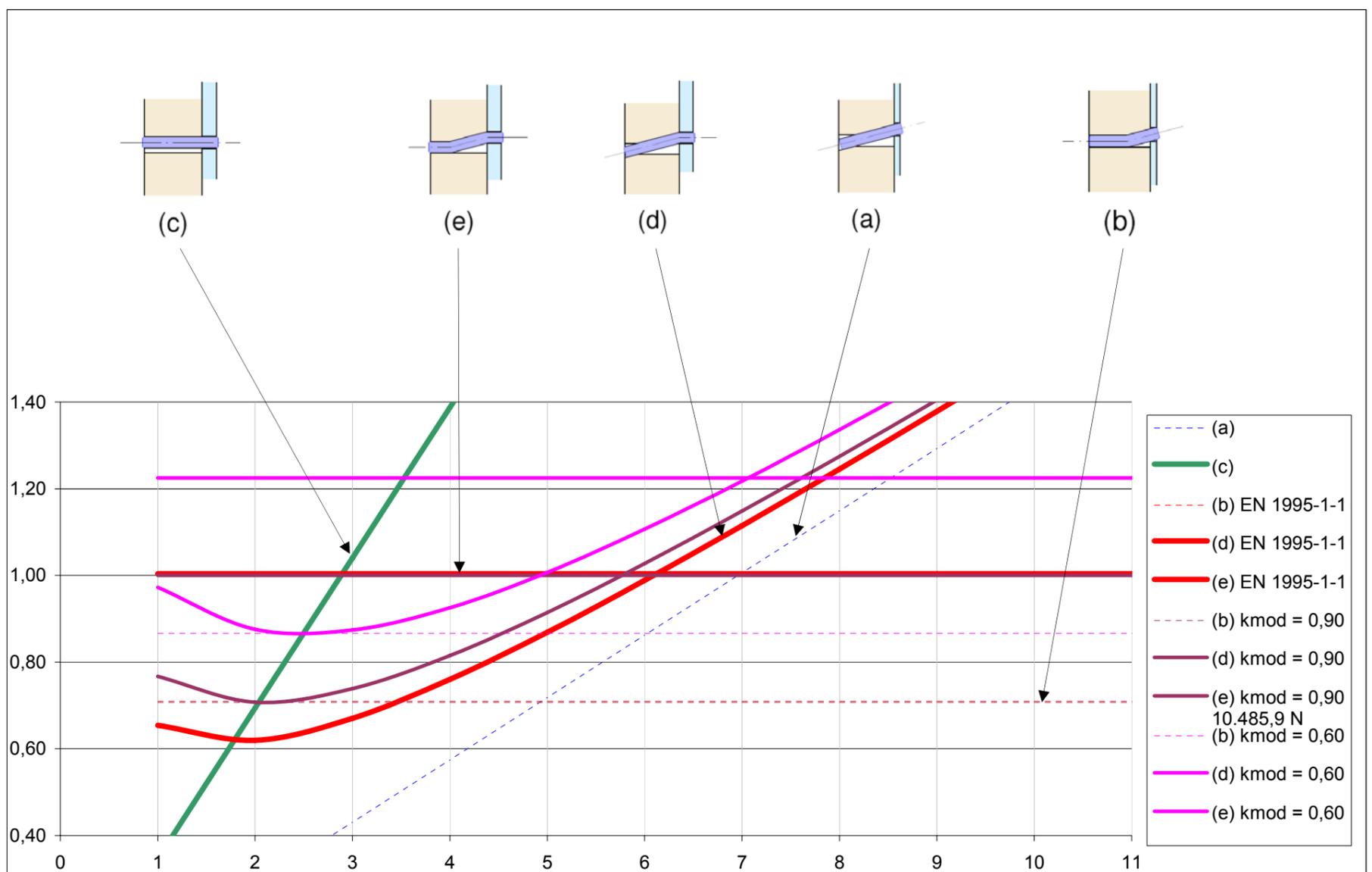
Für die Versagensmechanismen (b), (d) und (e) kann der Einfluss des Modifikationsbeiwertes, sowie die Abweichungen zu den Gleichungen mit fixem Vorfaktor nach der EN 1995-1-1 gut abgelesen werden. Für die Materialsicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Als Basis für den Faktor 1,00 wurde die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 angenommen.

Die strichlierten Linien gelten für die Tragfähigkeit der einzelnen Versagensmechanismen für einschnittige Verbindungen mit dünnem Blech und zweischnittigen Verbindungen mit dünnem Blech als Seitenteil.

Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz 1: C24



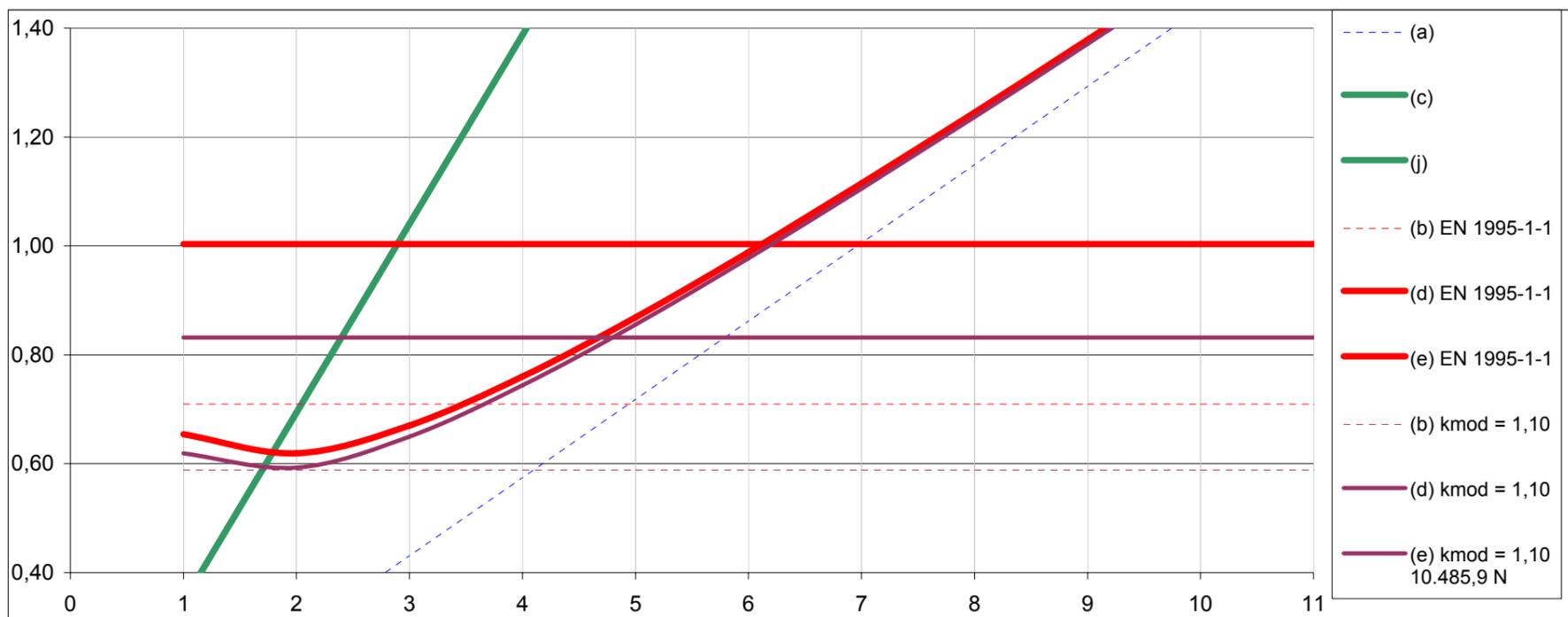
5.1.6.3.4 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit im außergewöhnlichen Lastfall

Für die Material Sicherheitsbeiwerte wurde für Holz $\gamma_{m,h} = 1,0$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,0$ eingesetzt.

Anmerkung zur graphischen Darstellung:

Um eine Vergleichbarkeit mit Abb. 5-29 herstellen zu können, wurde auch für den außergewöhnlichen Lastfall als Basis für den Faktor 1,00 die charakteristische Tragfähigkeit für die Verbindung bei Erreichen von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) bei einem k_{mod} -Faktor von 0,9 und den Material Sicherheitsbeiwerten für Holz $\gamma_{m,h} = 1,3$ und für das Verbindungsmittel aus Stahl $\gamma_{m,s} = 1,1$ angenommen.

Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 360\text{N/mm}^2$; Holz: C24



Verbindungsmittel: $d = 12\text{mm}$, $f_{u,k} = 800\text{N/mm}^2$; Holz: C24

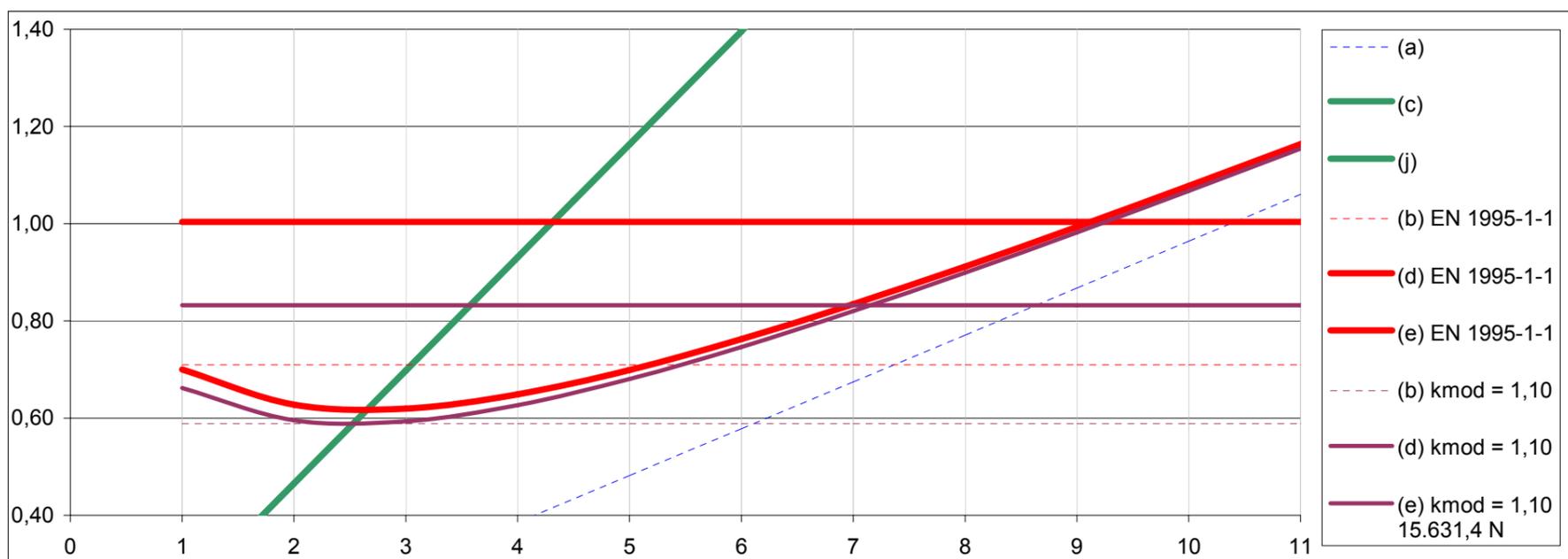


Abb. 5-31 Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei Stahl-Holz-Verbindungen

Durch die genaue Berücksichtigung der unterschiedlichen Sicherheitsfaktoren ist erkennbar, dass die charakteristische Taglast beim Auftreten von zwei Fließgelenken (Versagensmechanismus 3) eine deutliche Abweichung zur Bemessungsformel nach EN 1995-1-1 aufweist. Das bedeutet eine Abminderung der rechnerischen Reduktion der Tragfähigkeit von 17% gegenüber dem Formelwerk nach EC5.

5.1.6.4 Zusammenfassung zu den Festlegungen nach EN 1995-1-1

Die zulässigen Bemessungsschnittgrößen für die Versagensmechanismen 2 und 3, werden auf Basis der Festlegungen nach EN 1995-1-1 mit den charakteristischen Festigkeitskennwerten aus Lochleibung und dem charakteristischen Wert des Biegegewiderstandes des Verbindungsmittels ermittelt. Stellt man diese Ergebnisse im Vergleich zu errechneten Werten auf Basis der jeweiligen zulässigen Bemessungsgrößen gegenüber, können für manche Einsatzbereiche teils erhebliche Differenzen festgestellt werden.

$$k_{\text{mod}} * \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_m} * d * t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,R,k}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] \neq k_{\text{mod}} * \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_{m,h}} * d * t_1 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * \frac{M_{y,R,k}}{\gamma_{m,s}}}{k_{\text{mod}} * \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_{m,h}} * d * t_1^2}} - 1 \right]$$

Für den Versagensmechanismus 2 stehen die Abweichungen in Abhängigkeit zur Schlankheit des Stiftes. Somit kann in Abhängigkeit vom Modifikationsbeiwert keine konstante Abweichung festgelegt werden. Die Abweichung erreicht im Übergangsbereich zwischen reinem Lochleibungsversagen und der Ausbildung eines Fließgelenks ihr Maximum und sinkt mit steigender Schlankheitszahl. Der Einfluss aus den Material sicherheitsbeiwerten kann vernachlässigt werden.

$$k_{\text{mod}} * \frac{2,3 * \sqrt{M_{y,R,k} * f_{h,k} * d}}{\gamma_m} \neq 2 * \sqrt{\frac{M_{y,R,k}}{\gamma_{m,s}} * k_{\text{mod}} * \frac{f_{h,k}}{\gamma_{m,h}} * d}$$

Beim Versagensmechanismus 3 wird die Abweichung rein über den Modifikationsbeiwert und die Material sicherheitsbeiwerte beeinflusst. Die Ergebnisse aus den Berechnungsformeln für diesen Mechanismus werden auch über die Material sicherheitsbeiwerte beeinflusst.

Bei angestrebtem Planungsziel eines duktilen Versagenverhaltens mit zwei Fließgelenken, welches die maximal mögliche Tragfähigkeit definiert, wirken sich diese Abweichungen mit nicht zu vernachlässigendem Einfluss auf das Berechnungsergebnis aus. Anhand von Beispielen zusammengefasst bedeutet das folgendes:

Bei Anschlüssen mit sehr hoher Lasteinwirkungsdauer ($k_{\text{mod}} = 0,60$) ergeben sich im Vergleich zu ermittelten Traglasten nach EC5 im maßgebenden Versagensfall mit zwei Fließgelenken ca. 20% (1,00/1,22) niedrigere Werte. Diese konservative Festlegung kann somit zu einem Wettbewerbsnachteil führen.

Es ergeben sich nach den Berechnungsvorgaben laut EC5 bei Kombinationen mit außergewöhnlichen Lasteinwirkungen, bei denen die Material sicherheitsbeiwerte auf 1,0 gesetzt werden, ca. 20% (1,00/0,83) höhere rechnerisch ermittelte Traglasten.

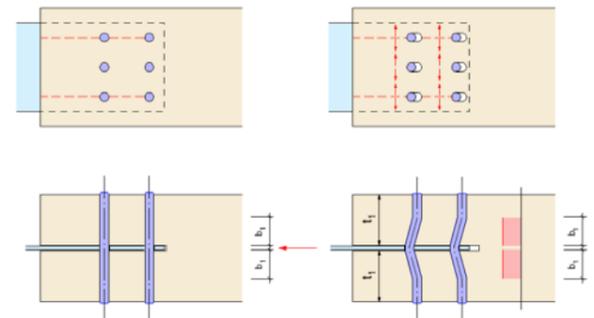
In meinen Recherchen wurde keine technische Begründung zu den Abweichungen der Ergebniswerte gefunden. Um bei allen Einsatzbereichen die Wirtschaftlichkeit sowie den gleichen Sicherheitsstandard gewährleisten zu können erachte ich es aus meiner Erfahrung als Tragwerksplaner als sinnvoll, die Traglasten über die jeweiligen Bemessungswerte zu ermitteln.

$$\cancel{k_{\text{mod}} * \frac{2,3 * \sqrt{M_{y,R,k} * f_{h,k} * d}}{\gamma_m}} \neq 2 * \sqrt{\frac{M_{y,R,k}}{\gamma_{m,s}} * k_{\text{mod}} * \frac{f_{h,k}}{\gamma_{m,h}} * d}$$

5.1.7 Entwicklungen zu Anschlüssen aus Stabdübeln

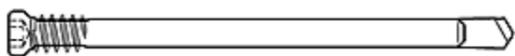
Diese Typen von Verbindungsmitteln werden im baupraktischen Einsatz überwiegend auf Abscheren beansprucht. Die Bemessung erfolgt wie bereits behandelt nach den Lösungsansätzen von Johansen. In Abhängigkeit des Verbindungsmitteltyps kann zusätzlich ein Anteil aus der Klemmwirkung berücksichtigt werden. Bei Passbolzen und Bolzen bildet sich dieser Effekt über Flächenpressung der Unterlegscheiben oder über Aussen liegende Stahlbleche aus.

Kraftfluss bei Druckkrafteinleitung – Lasteinleitung einer Stabdübelverbindung auf Zug
Auf Grund des häufigen Einsatzes werden zurzeit verstärkt diese Verbindungssysteme in Hinblick auf ihre mögliche Leistungssteigerung und zur Verbesserung des duktilen Verhaltens weiterentwickelt.



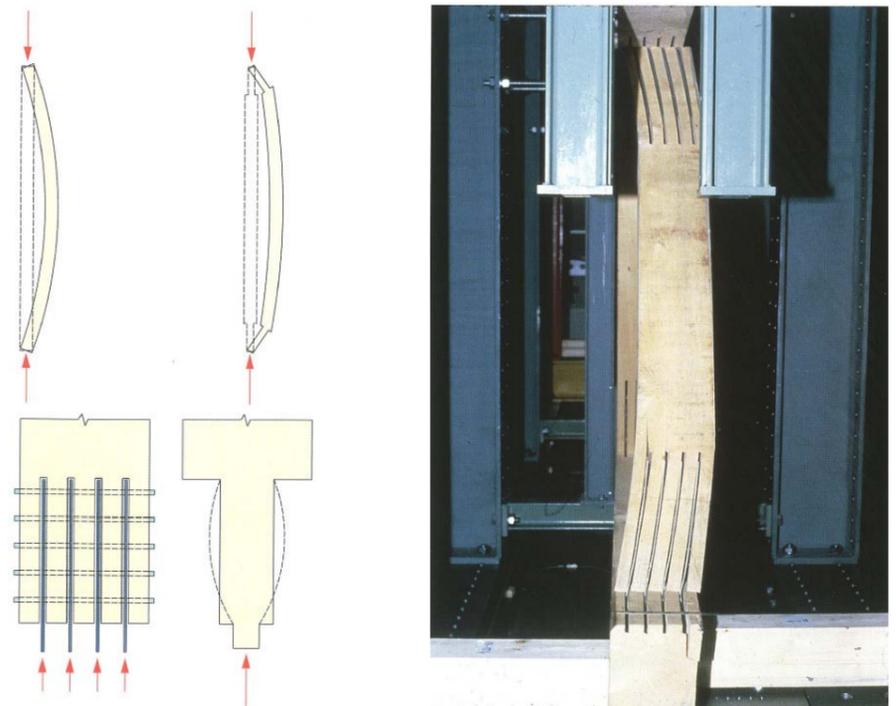
Bei hohen Lasten haben sich Verbindungen in mehrschnittiger Ausführung in Kombination mit Stahlblechen als wirtschaftliche Lösung herausgestellt.

Das führte zu Entwicklungen von Systemen mit Stabdübeln von kleinem Durchmesser in Kombination mit mehreren dünnen Schlitzblechen. Diese Verbindungen können entweder mit CNC-gesteuerten Bohranlagen in Kombination mit Stabdübeln nach EN 14952 (Holzbauwerke - Stifförmige Verbindungsmittel – Anforderungen) oder über spezielle Stabdübeln mit Bohrspitze hergestellt werden. Durch den Einsatz einer speziellen Bohrspitze können nicht vorgebohrte Bleche eingesetzt werden. Mit Hilfe von Setzgeräten werden die Stabdübel durch Holz und Stahlblech gebohrt.



Die durch den Einsatz kleiner Durchmesser bedingte höhere Anzahl von Verbindungsmitteln ergibt den Vorteil einer gleichmäßigen Lasteinleitung in das Holz.

Bei druckbeanspruchten Bauteilen ist die an den Stabenden aus dem|n Schlitzblech|en auftretenden Beeinträchtigungen der Biegesteifigkeit zu überprüfen. Diese von Tiefe und Anzahl der Schlitzte abhängige Schwächung kann einen ungünstigen Einfluss auf den Knickwiderstand des Stabes aufweisen und somit zu einem frühzeitigen Versagen führen.

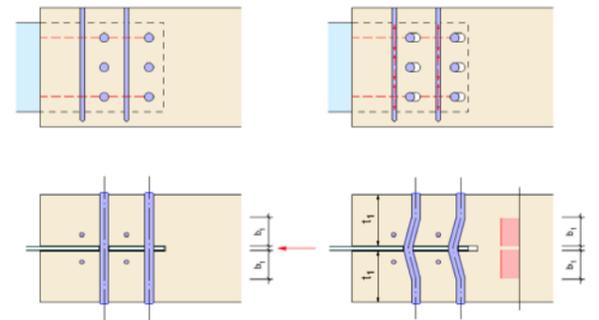


Bei Verbindungsknoten mit sehr vielen Verbindungsmitteln ist für eine effiziente Montage auf der Baustelle die Ausbildung von Montagestößen mitzuplanen. Bei Verbindungen in Kombination mit Stahlblechen werden zum Erreichen kürzerer Montagezeiten auf der Baustelle, Montagestöße meist über Stahl-Stahl-Verbindungen gelöst.

5.1.8 Laststeigerung durch Verstärkung mit Vollgewindeschrauben⁷⁸

5.1.8.1 Methode I - Vollgewindeschraube axial beansprucht

Eine Form der Leistungssteigerung erfolgt durch die zusätzliche Anordnung von Vollgewindeschrauben. Die Vollgewindeschrauben werden senkrecht zur Verbindungsmittelachse eingeschraubt und sollen ein Aufspalten des Holzes verhindern. Um eine möglichst effektive Wirkung durch die Schraube zu erzielen, ist diese möglichst nahe an der beanspruchten Scherfuge bzw. im effektiv wirksamen Bettungsbereich des Stiftes anzuordnen. Die auftretenden Spaltkräfte werden von der Schraube aufgenommen und reduzieren dadurch die Zugbeanspruchung quer zur Faser des Holzes. Dadurch kann das Aufspalten des Holzes und das damit verbundene spröde Versagen vermieden werden. An der Universität in Karlsruhe haben durchgeführte Versuchsreihen gezeigt, dass es durch die höhere Duktilität zu einer Laststeigerung der Verbindung kommt.



Basierend auf den Untersuchungen von Schmid⁹ wird empfohlen, die axiale Beanspruchung der Vollgewindeschraube mit 30%¹⁰ der Traglast des Hauptverbindungsmittels je Scherfuge anzusetzen. Die maximale Querkzugbeanspruchung ergibt sich aus der absolut auftretenden Lochleibungsbelastung, die durch Schrägstellung des Stiftes im Allgemeinen bei den Versagensmechanismen 1a und 2 auftritt.

Die maximal auftretende Spaltkraft kann wie folgt ermittelt werden:

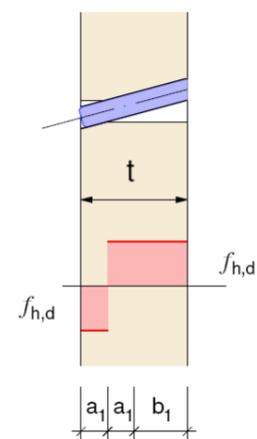
$$V_{R,d} = \frac{F_{v,R,d,Johansen}}{b_1} * t * \varphi_F \quad (5-14)$$

$V_{R,d}$Spaltkraft

$F_{v,R,d,Johansen}$...Traglast nach Johansen (min. $F_{v,R,d}$ der möglichen Versagensmechanismen)

φ_FGrößenfaktor für die Spaltkraft

Faktor für die Spaltkraft	Reibungswinkel	Oberfläche Verbindungsmittel
φ_F	φ	
1/5	7°	Kunststoffumhüllung
1/7	19°	Stahl mit blanker Oberfläche
1/10	30°	Stahl mit aufgerauter Oberfläche



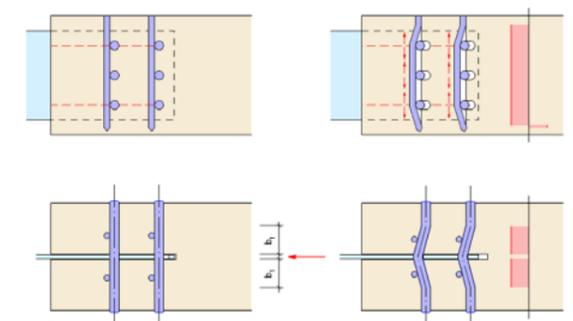
Tab. 5-1 Größenfaktor für die Spaltkraft

Diese Ansätze finden mit den Vorgaben, welche im nationalen Anwendungsdokument zur EN 1995-1-1 bezüglich Querkzugverstärkungen bei stiftförmigen Verbindungsmitteln enthalten sind, keine Übereinstimmung. In der B 1995-1-1 wurde die Querkzugkraft für Stifte $d \geq 12\text{mm}$ mit 10% der Übertragungskraft je Verbindungsmittel angenommen.

Da größtenteils verzinkte Stabdübel mit tendenziell glatter Oberfläche zur Ausführung kommen, sollten spaltverstärkende Vollgewindeschrauben für höhere Traglasten als in der Norm vorgeschlagen ausgeführt werden.

5.1.8.2 Methode II - Vollgewindeschraube axial wie auch normal zur Verbindungsmittelachse beansprucht

Als weiteren Verbesserungsschritt gibt es den Vorschlag Vollgewindeschrauben in Kraft- richtung direkt vor dem auf Abscheren beanspruchten Hauptverbindungsmittel anzuordnen. Bei diesem Modell erfolgt die Belastung der Schraube zur Querkzugverstärkung in axialer Richtung. Zusätzlich werden die Schrauben durch den Kontakt des Hauptverbindungsmittels auf Abscheren beansprucht. Durch diesen Effekt ist eine weitere Steigerung der Traglast möglich. Die Vollgewindeschrauben sind auch hier möglichst nahe an der Scherfuge anzuordnen. Wird die Verstärkungsschraube außerhalb der Strecke zwischen den Fließgelenken angeordnet, erfolgt keine Kontaktübertragung auf die Schraube, wodurch es auch zu keiner weiteren Erhöhung der Tragfähigkeit kommt.



⁷ H. J. Blass, I. Bejtka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

⁸ I. Bejtka, Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben, Band 2 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe(TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2005

⁹ M. Schmid, Anwendung der Bruchmechanik auf Verbindungen mit Holz, Karlsruhe 2002

¹⁰ H. J. Blaß, I. Bejtka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Herausgeber:Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

5.1.8.3 Zusammenfassung Leistungssteigerung

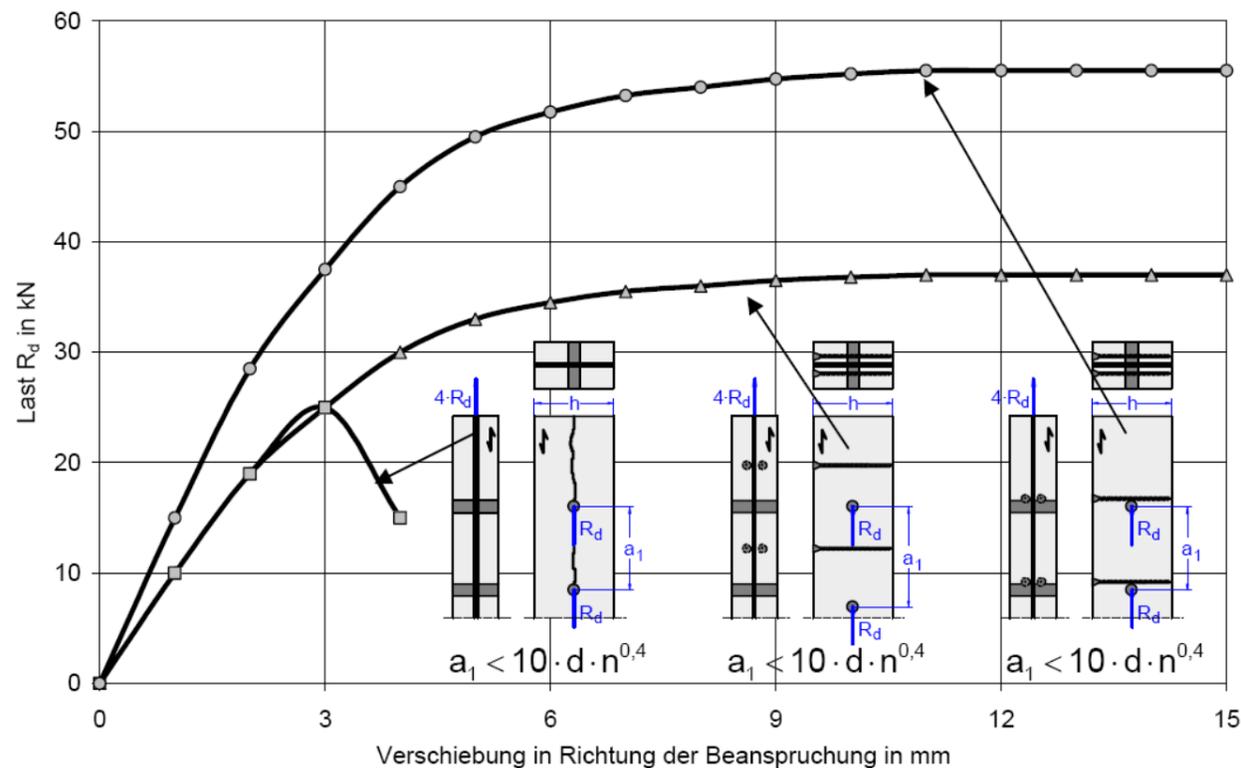


Abb. 5-32 Typisches Last-Verformungs-Verhalten von spaltgefährdeten und unterschiedlich verstärkten und dadurch nicht spaltgefährdeten Verbindungen ¹¹

Durch die Anordnung der Spaltzugverstärkung mit Vollgewindeschrauben kann ein sprödes Versagen aus Aufspalten des Holzes im Bereich der Verbindung ausgeschlossen werden. Dadurch wird eine Verbesserung des Duktilitätsverhaltens erzielt. Durch die steigende Duktilität, resultierend aus Steigerung von Verformungen und Einpressungen, können Herstellungsungenauigkeiten gut ausgeglichen werden.

Für die Bemessung kann deshalb von einer Abminderung bei mehreren, in Faserrichtung beanspruchten, hintereinander angeordneten Verbindungsmitteln abgesehen werden. Eine Reduktion der effektiv wirksamen Verbindungsmittel kann somit entfallen. $n_{\text{eff}} = n$

Durch die spezielle Anordnung der Vollgewindeschrauben in Krafrichtung direkt vor dem Hauptverbindungsmittel liegt das zusätzliche Leistungspotenzial der Methode II darin, dass das Hauptverbindungsmittel gegen die Schraube drückt und dieses zusätzlich auf Abscheren belastet. Durch diesen Effekt kommt es zu einer zusätzlichen Erhöhung der Steifigkeit der Verbindung.

Zu beachten ist, dass wegen des weichen Last-Verformungs-Verhaltens von Vollgewindeschrauben zwar das Versagenskriterium gegen Aufspalten voll verhindert werden kann, diese Verstärkungsmethode allerdings nicht zur Vermeidung des Blockscherens geeignet ist.

5.1.8.4 Zukunftspotenzial

Durch die Einfachheit der Umsetzung dieser Verstärkungsmethode findet sich ein breiter Anwendungsbereich. Durch den einfachen Arbeitsvorgang des Eindrehens der Schrauben bietet sich diese Verstärkungsmethode besonders zur statischen Aufwertung von Anschlüssen bestehender Tragwerke gut an. Bekräftigend für diesen Einsatzbereich ist auch, dass die Verstärkungsmittel von Aussen eingebracht werden und die bestehende Verbindung dafür weder auseinander genommen noch abgeändert werden muss.

Um als Tragwerksplaner das volle Leistungspotenzial verstärkter Anschlüsse nach Methode II ausschöpfen zu können, müssen dafür noch ergänzend die Einflüsse von Herstellungsungenauigkeiten genauer erfasst werden.

¹¹ H. J. Blaß, I. Bejtka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbst bohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Herausgeber: Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

5.1.9 Bewertung von Steifigkeit und Duktilität auf Abscheren beanspruchter Verbindungsmittel

Die Steifigkeit bei auf Abschern beanspruchten Verbindungsmitteln wird in drei Phasen unterteilt. Die Anfangsverschiebung ist jene Verschiebungsverformung die bis zum Beginn des Tragens der Verbindung zurückgelegt wird. Dieser Verformungsweg entsteht aus dem Schlupf zufolge von Fertigungstoleranzen. Anschließend folgt der elastische Verformungsbereich. In dieser Phase findet die Steigerung der Lochleibungsspannung in der Verbindung statt. Es steigen Last und Verformung konstant an. Die Last-Verformungssteigerung erfolgt in diesem Bereich linear und ist in der Norm über den Verschiebungsmodul K_{ser} beschrieben. Diese Phase kann so lange gesteigert werden, bis es zum Versagen des Holzes, einen so genannten Spröbruch kommt oder sich Fließverformungen im Verbindungsmittel einstellen. Stellen sich Fließverformungen im Verbindungsmittel ein, beginnt der Bereich der duktilen Phase. Ab diesem Bereich verändert sich der lineare Zusammenhang aus Last-Verschiebung und flacht bis zum möglichen Erreichen der vollen Duktilität des Verbindungsmittels oder des Bruches der Verbindung ab. Der Verlauf der Last-Verformungskurve ab dem elastischen Bereich wird über die Steifigkeit (Durchmesser) des Verbindungsmittels definiert.

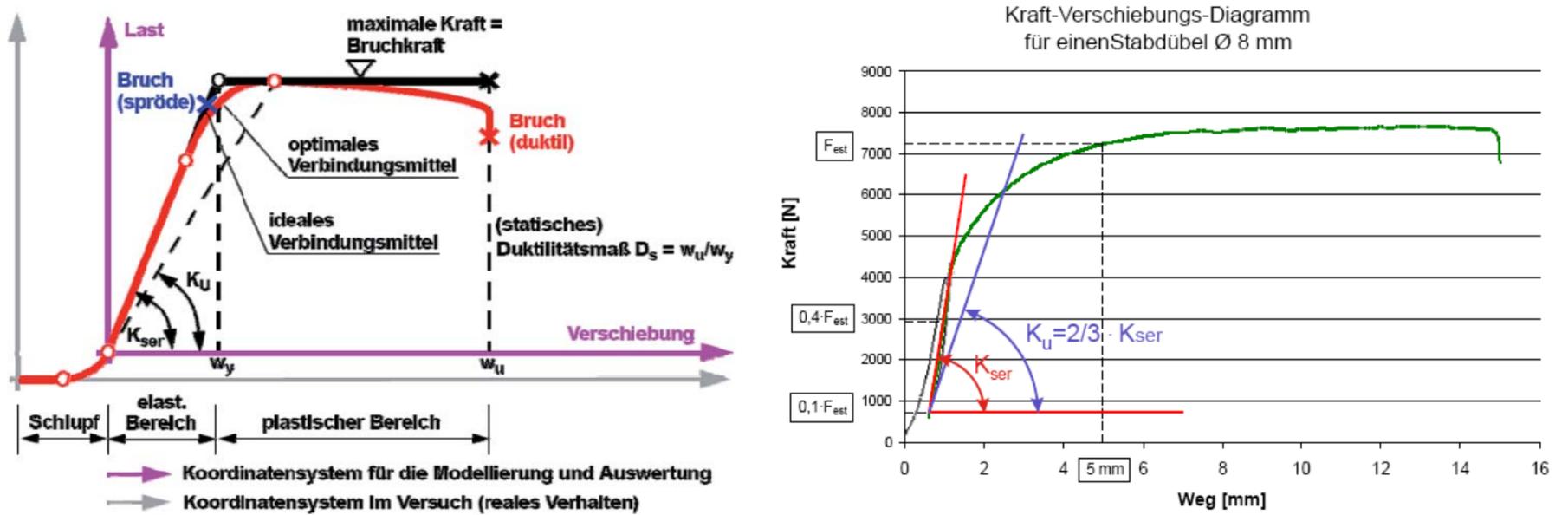


Abb. 5-33 Arbeitslinie eines auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittels ⁽¹²⁾

Das Duktilitätsmaß bestimmt sich über das Verhältnis der Verschiebung im Versagensfall zur maximalen Verschiebung im elastischen Bereiche (w_U / w_y). Ziel ist es über die Duktilität eine gleichmäßige Beanspruchung aller Verbindungsmittel eines Anschlusses zu erreichen. Um das duktile Verhalten sicherstellen zu können, ist ein frühzeitiges Versagen (z.B. Aufspalten) der Holzteile zu verhindern (z.B. Spaltverstärkung über Vollgewindeschrauben).

Der Bereich für die Bemessung im Gebrauchszustand liegt bei Stabdübelverbindungen und gleichwertigen Verbindungsmitteln im Bereich der elastischen Verformungen. Die ermittelten Verformungen aus Versuchen und aus der Norm stimmen daher gut überein. Für die Berechnung des Verformungsverhaltens bei Beanspruchung des Anschlussknotens bzw. des Verbindungsmittels unter Traglast stehen seitens der Norm keine zufrieden stellenden Angaben zu Verfügung. Diese Angaben sind für den Tragwerksplaner notwendig um das Verformungsverhalten von Verbindungen und im Weiteren von Konstruktionen bei Beanspruchung unter Traglast untersuchen zu können.

Ein solcher Spezialfall für den Hochbau stellt die Erdbebenbemessung von Tragwerken dar. Hierbei können je nach Ausbildung der Verbindungen auch wechselnde Beanspruchungen auf die Verbindungsmittel einwirken. Für eine bessere Modellierung der zu erwartenden Last-Verschiebungskurven für Verbindungen und Anschlüsse können für diese Belastungsszenarien genauere Berechnungen und damit bessere Prognosen zur Sicherheit des Tragwerks erstellt werden.

Um das Zukunftspotential für den Holzbau in erdbebengefährdeten Gebieten nutzen zu können, sind entsprechende Berechnungswerkzeuge für den Tragwerksplaner notwendig.

¹² holz.bau forschungs gmbh

5.1.10 Auswirkungen und Anforderungen bei Einsatz unter Brandbelastung (R30 und R60)

Allgemein ist anzumerken, dass es zufolge Temperaturbelastung zu einem Absinken der Festigkeitswerte von Stahl und Holz kommt. Für Verbindungen mit eingeschlitzten Stahlblechen sind in der EN 1995-1-2 Regelungen für die Feuerwiderstandsdauer bis 60min definiert. Die Festlegungen haben grundsätzlich für symmetrische, zweiseitige auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel Gültigkeit. Einschnittige Verbindungen sind nicht näher behandelt.

Bei ungeschützten Verbindungen kann bis zu einer Brandwiderstandsdauer von 30min die Tragfähigkeit einfach über eine Erhöhung der Randabstände und eine Anpassung der Dicke der brandbeanspruchten Seitenhölzer sichergestellt werden. Wird das Erreichen einer Brandwiderstandsdauer von 60min angestrebt, sieht die Vorgabe der Norm bei Stahlblechstärken >3mm eine Ausführung als geschützte Verbindung vor. Das bedeutet, dass der Bereich der Verbindung entweder über eine zusätzlich angebrachte Brandschutzbeplankung (auch in Holz möglich) verkleidet wird, oder als Ausführungsvariante die Verbindungsmittel und Stahlbleche mit Vorhaltemaß ausgeführt werden und die vorhandenen Löcher und Schlitzte mit eingeklebten Holzstopplern und Holzleisten verfüllt werden.

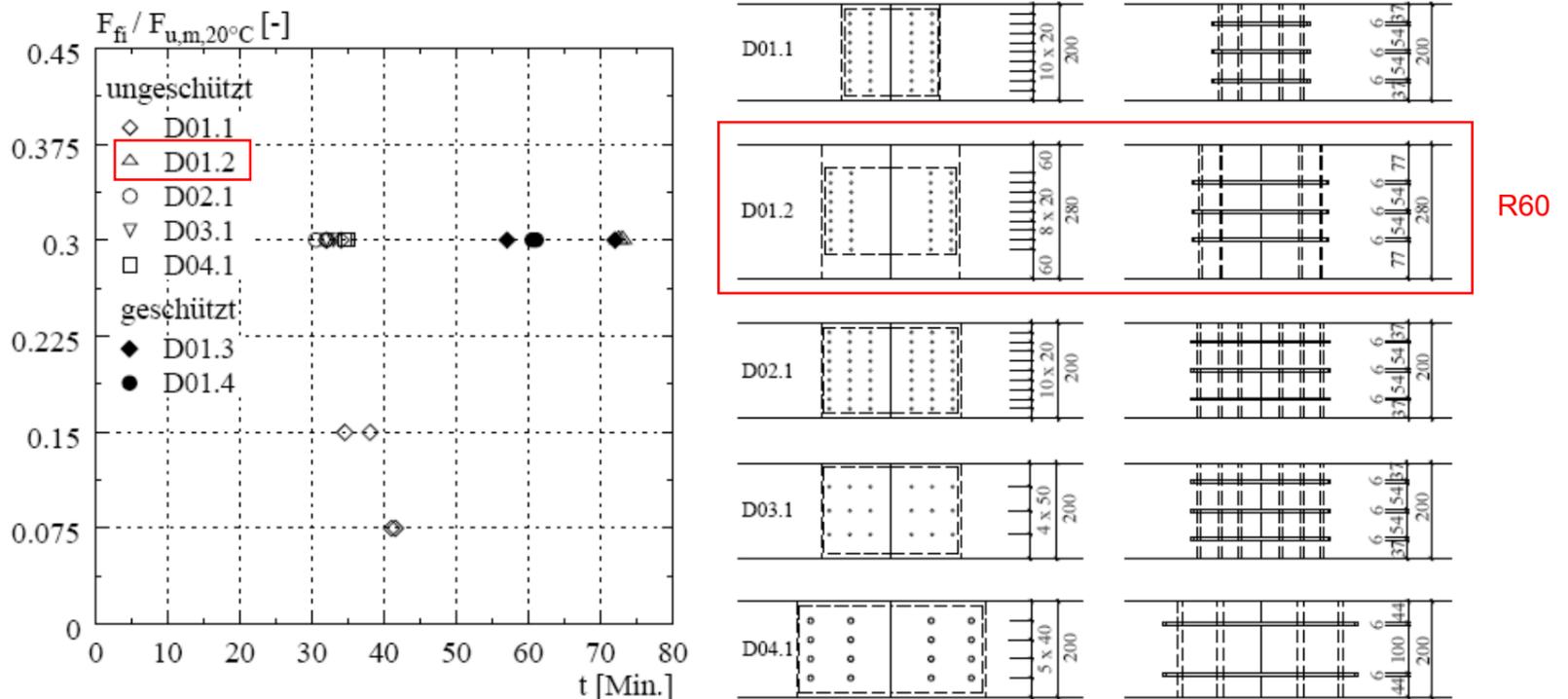


Abb. 5-34 Versuchsergebnisse zu Anschlussbeispielen aus ungeschützten Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen¹³

Begründet ist diese Festlegung dadurch, dass bei Fortschreiten der Branddauer die Stahlteile freigelegt werden wodurch ein gesteigerter Wärmeeintrag auf die Verbindung verursacht wird und es zu einem Anstieg des Brandeinflusses führt. An der ETH Zürich wurden zum Tragverhalten ungeschützter Verbindungen als mehrschnittige Stahl-Holz-Verbindungen Brandversuche durchgeführt.

Die von Erchinger abgeleiteten Berechnungsgrundlagen bieten einen Lösungsweg zur Berechnung des Abbrandverlaufes an ungeschützten ein- und mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen. Der Abbrandverlauf wird dabei über Blechstärke, Verbindungsmitteldurchmesser wie auch über die Querschnittsabmessungen beeinflusst. Die Einhaltung eines Vorhaltemaßes (Zurücksetzen) für Stahlblech und Stabdübel wirkt vorteilhaft beeinflussend.

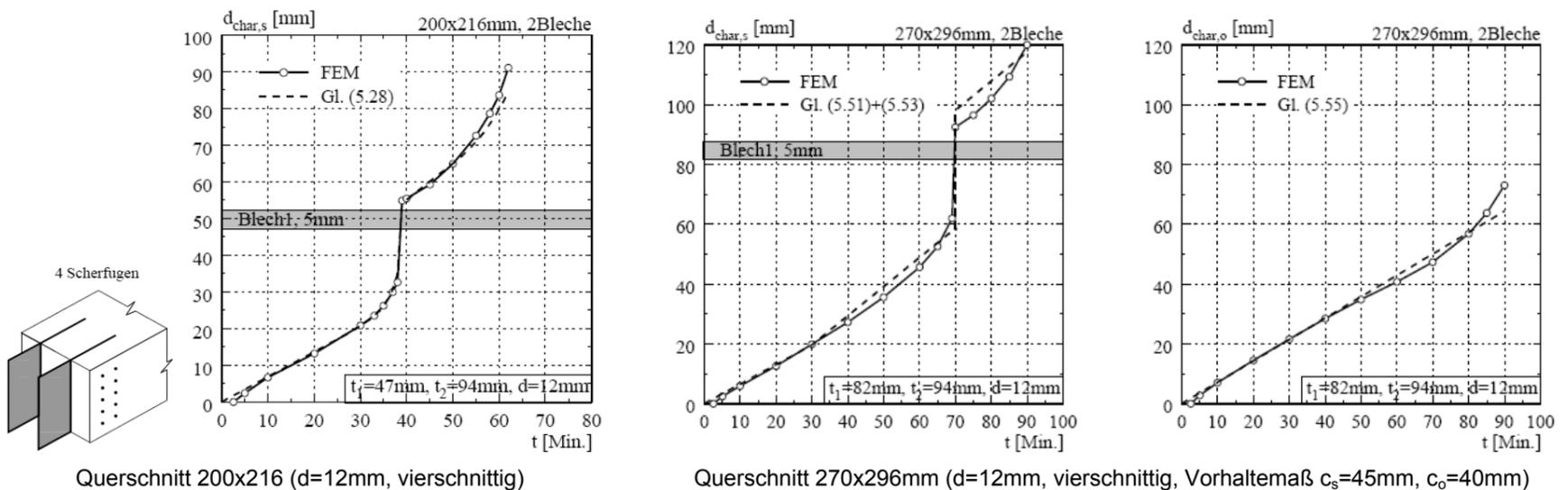


Abb. 5-35 Analytische Ermittlung des seitlichen Abbrandverlaufes von vierschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen¹⁴

¹³ C. Erchinger, Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall, ETH Zürich, 2009

¹⁴ C. Erchinger, Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall, ETH Zürich, 2009

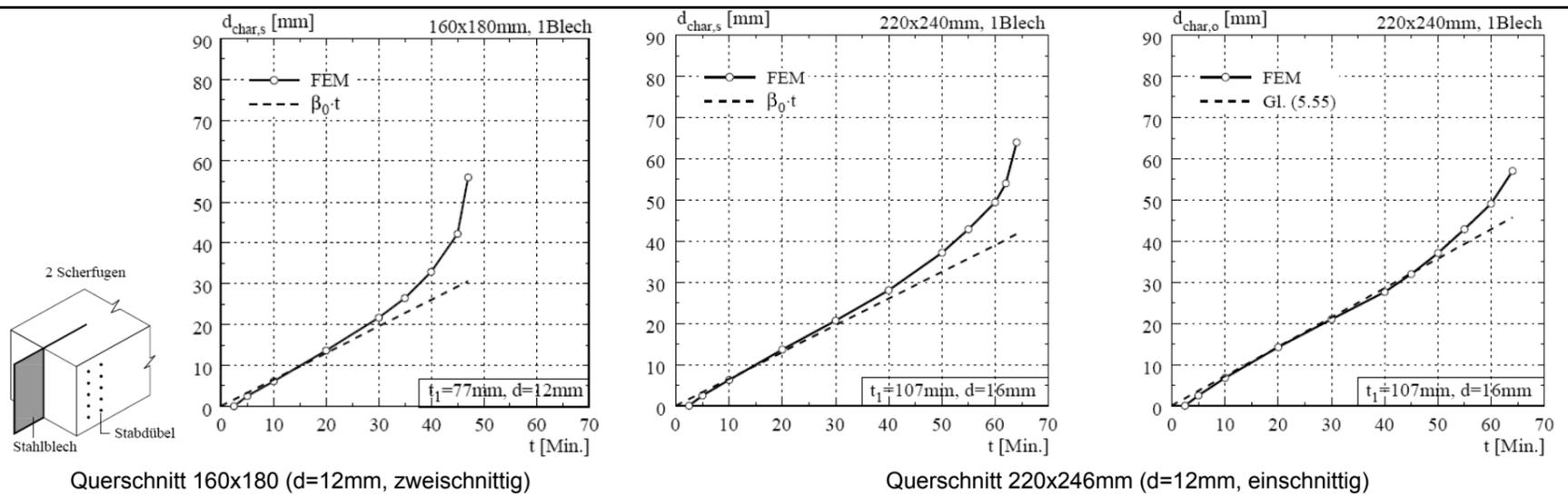


Abb. 5-36 Analytische Ermittlung des seitlichen Abbrandverlaufes von zweischnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen ⁽¹⁵⁾

Wegen der vielen Einflussfaktoren ist eine verallgemeinernde Aussage nicht möglich.

Für den Vorentwurf sollte bei gefordertem Brandwiderstand von 60min mit dem Ziel der Ausführung als ungeschützte Stahl-Holz-Verbindung die kürzere Kantelänge der Querschnittsabmessung min. 220-240mm lang sein, sowie eine Mindestseitenholzbreite von 105mm berücksichtigt werden. Eine Anpassung der Randabstände ist ebenfalls vorzunehmen.

Stützt man sich auf die Festlegungen der Norm können Anschlüsse für die Brandwiderstandsdauer R60 größtenteils nur über einen erhöhten Herstellungsaufwand durch Schützen der Verbindung gelöst werden. Allgemein gültige einfache Berechnungsverfahren für den Einsatz von ungeschützten Verbindungen bei 60minütiger Brandeinwirkung sind derzeit in der Norm nicht abgebildet. Eine entsprechende normative Anpassung ist für die Realisierung wirtschaftlicher Konstruktionen notwendig.

5.1.11 Auswirkungen bei Einsatz in Nutzungsklasse III

Aus den Witterungsbelastungen zufolge Regen und Sonneneinstrahlung kommt es im Holz und Holzwerkstoffen zu einer verstärkten Schwankung der Ausgleichsfeuchte. Dieses Verhalten ist verstärkt an den Stabenden, über den schnelleren Feuchtetransport längs der Faser im Holz zu beobachten. Klimaänderungen wirken sich dort rascher aus, wodurch es in diesen Bereichen nicht nur zu höheren Amplituden, sondern auch zu größerer Häufigkeit des Feuchtigkeitswechsels kommt. Das macht sich in Folge bei Verbindungen an Stabenden im Allgemeinen über höhere Langzeitverformungen bemerkbar.

Für Verbindungen beim Einsatz in der Nutzungsklasse III ist deshalb ein verstärkter Einfluss aus Quellen und Schwinden auf Verbindungen zu berücksichtigen.

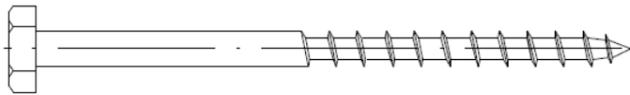
¹⁵ C. Erchinger, Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall, ETH Zürich, 2009

5.2 Holzschrauben

Mit Holzschrauben können Holz-Holz-Verbindungen wie auch Stahl-Holz-Verbindungen hergestellt werden. Die Weiterentwicklungen von Gewindegeometrien und der Einsatz von Kohlenstoffstahl oder nichtrostendem Stahl machen die Schrauben zu einem hochtechnologischem Produkt zur Übertragung hoher Lasten. Die geänderte Schraubengeometrie hat auch Vorteile für eine einfachere und schnellere Verarbeitung ergeben. Bei Verwendung selbstbohrender Holzschrauben kann das vorhergehende Vorbohren entfallen, wodurch sich eine Zeitersparnis bei der Montage ergibt.

5.2.1 Schraubentypen

5.2.1.1 Schrauben mit glattem Schaft



Das sind die klassischen Holzschrauben definiert nach DIN 571 (Sechskant-Holzschraube) mit einer Gewindeausbildung nach DIN 7998. Markant für diesen Schraubentyp ist, dass Schaftdurchmesser und Aussendurchmesser des Gewindes gleich groß sind. Das Verhältnis zwischen Innendurchmesser oder auch Kerndurchmesser des Gewindes, im Verhältnis zum Aussendurchmesser des Gewindes entspricht 0,75.

Nach den Verarbeitungshinweisen der EN 1995-1-1 sind diese Schrauben ab einem Durchmesser von 6mm vorzubohren. Für eine reduzierte Spaltwirkung sind diese Schrauben im Gewindebereich mit einem Bohrdurchmesser von ca. 0,7* Nenndurchmesser und über die Länge des Schaftes mit einem Bohrdurchmesser, der dem Nenndurchmesser entspricht vorzubohren.

Dieser Schraubentyp ist in seiner Gewindetechnologie schon veraltet und wird im Ingenieurholzbau durch selbstbohrende Holzschrauben ersetzt.

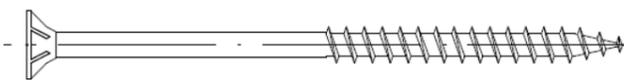
5.2.1.2 Selbstbohrende Schrauben

Im Unterschied zu den klassischen Holzschrauben können die selbstbohrenden Holzschrauben bis zu einem Durchmesser von 12mm ohne Vorbohren eingeschraubt werden. Hinsichtlich der geometrischen Unterschiede zu den klassischen Holzschrauben entspricht das Verhältnis zwischen Aussendurchmesser des Gewindes und dem Kerndurchmesser im Bereich des Gewindes meist 0,6. Durch die verbesserte Gewindegeometrie und die größeren Gewindeflanken können höhere Lasten übertragen werden.

Da die Schraubengeometrie dieser Schrauben keinen exakten Normvorgaben unterliegt, werden diese Schrauben über bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. Zwischen den Herstellern sind Abweichungen bei der Form des Schraubenkopfes, der Gewindegeometrie und der Schraubenspitze möglich.

Im Unterschied zu den DIN-Schrauben werden selbstbohrende Holzschrauben nach dem Aufrollen des Gewindes gehärtet und erhalten dadurch ihre hohe Festigkeit.

5.2.1.2.1 Selbstbohrende Schrauben mit glattem Schaft



Eine weitere geometrische Eigenschaft ist, dass der Schaft einen unwesentlich größeren Durchmesser als der Kerndurchmesser des Gewindes aufweist (ca. 1,1*Kerndurchmesser; dieser Wert korrespondiert auch mit den Angaben der EN 1995-1-1 für den wirksamen Durchmesser). Manche Hersteller bieten Schrauben mit einem zusätzlichen Reibschaff nach dem Gewinde an.

Die Gewindelänge dieser Schraubentypen beträgt bedingt über die Schraubenlänge bis zu ca. 10 - 12,5 *d*.

Im praktischen Einsatz wird dieser Schraubentyp für Beanspruchungen sowohl axial wie auch quer zur Verbindungsmittelachse eingesetzt.

Erstellt man dazu einen Vergleich zwischen selbstbohrenden Holzschrauben und der Holzschraube nach DIN 571 mit gleichem Gewinde-Aussendurchmesser ist eine wesentliche Laststeigerung bei axialer Beanspruchung erkennbar. Die Steigerung der Traglast bei axialer Beanspruchung resultiert aus der höheren Zugfestigkeit der Schraube und der daraus möglichen längeren Gewinde.

Die erreichbare Traglast bei Beanspruchung auf Abscheren bleibt bei selbstbohrenden Holzschrauben trotz geringerem Schaftdurchmessers, wegen ihrer höheren Stahlfestigkeit und der daraus resultierenden höheren Fließmomente annähernd unverändert.

Bei kombinierter Beanspruchung von Axial- und Abscherkräften empfiehlt der Eurocode die Überlagerung wie für Nägel *mit anderem als glatten Schaft*, woraus sich die in Abb. 5-38 abgebildete Funktion ergibt.

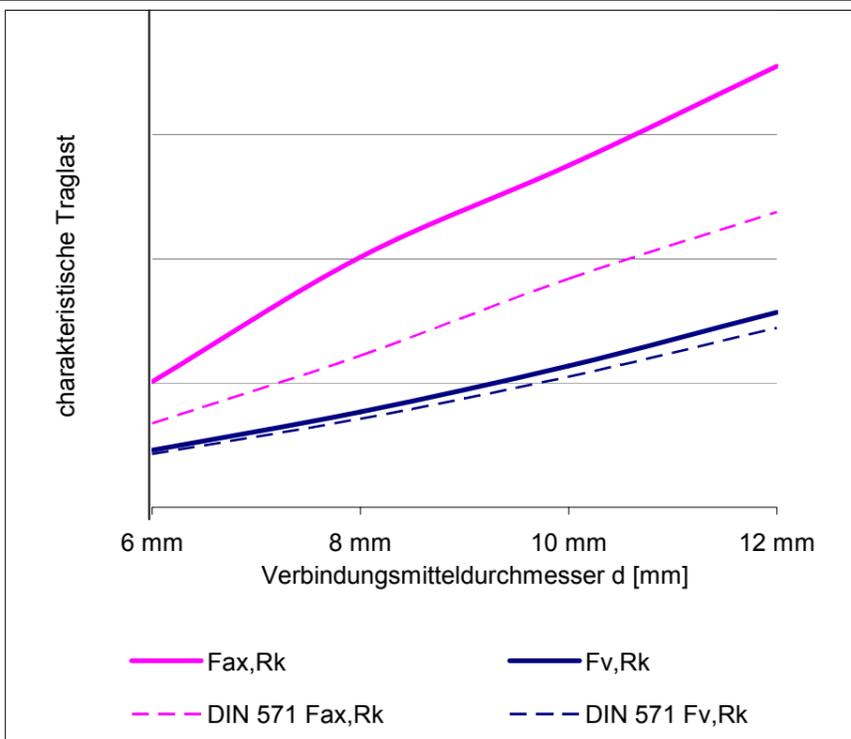


Abb. 5-37 charakteristische Traglasten von Schaftschrauben bei Beanspruchung axial oder auf Abscheren (definiert über zwei Fließgelenke)

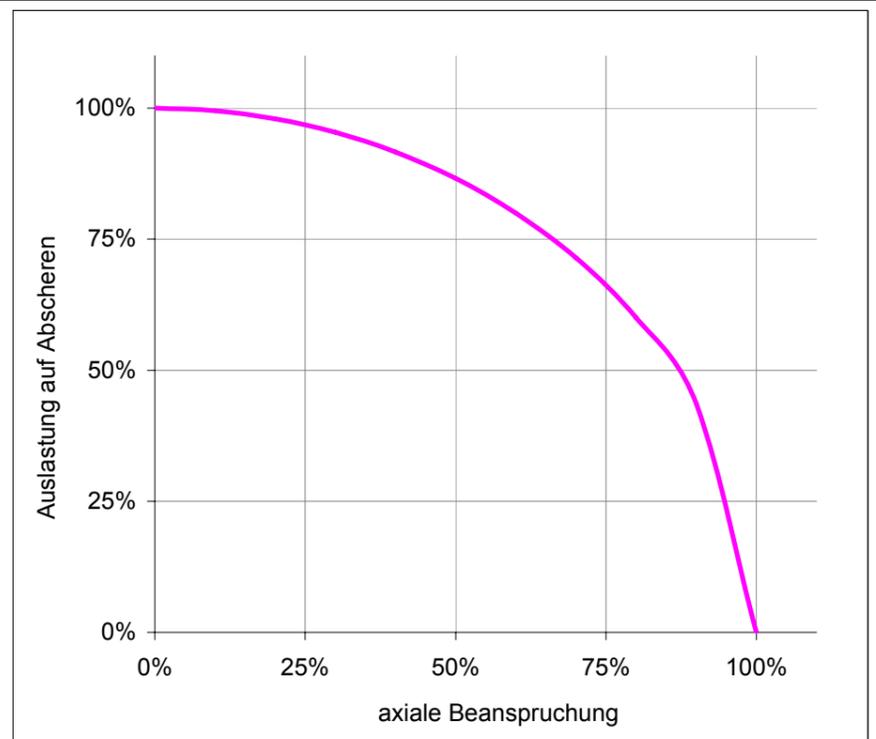
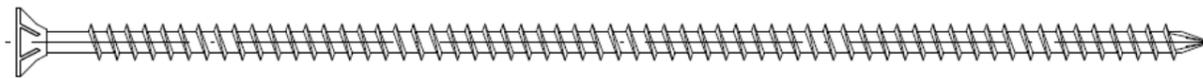


Abb. 5-38 Zusammenhang bei Kombination aus axialer Beanspruchung und Abscheren

5.2.1.2 Vollgewindeschrauben



Vollgewindeschrauben verfügen über ein Gewinde, welches bis zum Schraubenkopf führt. Die Gewindegeometrie ist annähernd gleich der von selbstbohrenden Schrauben mit Schaft. Die Erhöhung der Gewindelängen ermöglicht es die Verankerung im Holz bis zum Erreichen der Traglast der Schraube zu steigern. Wird dieser Zustand erreicht, kommt es je nach Einsatz zu einem Reißen der Schraube oder zum Abreißen des Schraubenkopfes. Durch den Einsatz von gehärteten Stählen mit Stahlzugfestigkeiten $f_{t,0.05}$ bis ca. 1.400N/mm^2 können dadurch Gewindelängen von bis zu $30 d$ im Holz verankert werden.

Vollgewindeschrauben verfügen meist über eine Bohrspitze oder Cut-Spitze die das Eindrehen der Schraube erleichtert. Das Schneiden der Bohrspitze reduziert auch die Spaltwirkung aus der geringeren Verdrängung der Holzfasern. Dadurch können die erforderlichen Mindestabstände reduziert werden. Bei längeren Schrauben werden diese auch teilweise kunststoffgleitbeschichtet (Wachs, Silikon, Polymere) damit das erforderliche Drehmoment zum Eindrehen der Schraube reduziert wird.

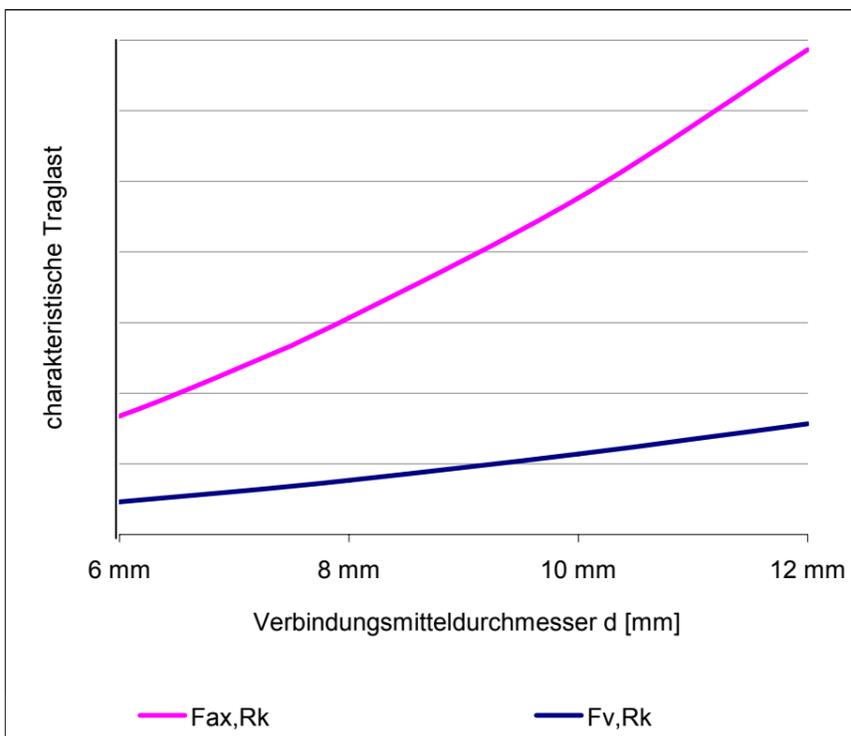


Abb. 5-39 charakteristische Traglasten von Vollgewindeschrauben bei Beanspruchung axial oder auf Abscheren (definiert über zwei Fließgelenke)

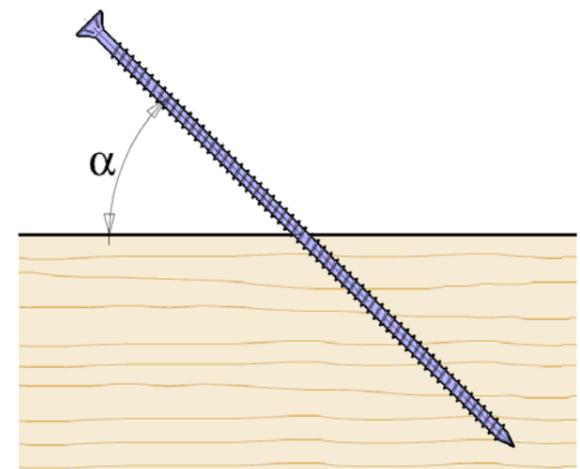


Abb. 5-40 Einschraubwinkel

Auf Grund ihrer ausgeprägten Taglast bei axialer Beanspruchung werden diese Schraubentypen primär für eine axiale Beanspruchung auf Zug oder Druck eingesetzt. Je nach Schraubenhersteller bieten diese Schrauben den statischen Einsatz bei Einschraubwinkeln von bis zu 30° zur Faserrichtung.

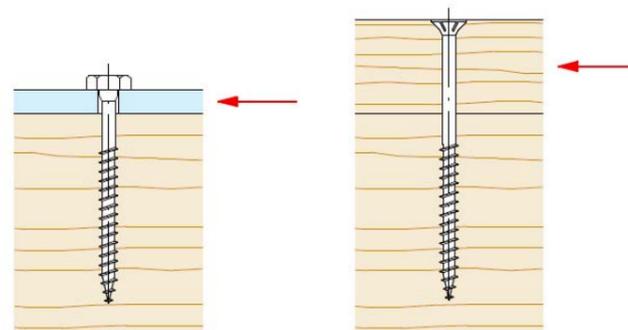
5.2.2 Bemessung von selbstbohrenden Schrauben

5.2.2.1 Beanspruchung auf Abscheren

Die Bemessung für die Berechnung auf Abscheren erfolgt nach den Berechnungsverfahren von Johansen, wie es auch bei Stabdübeln und weiteren stiftförmigen Verbindungsmitteln angewandt wird. Da Schrauben über die Verbindungsmittellänge einen glatten Schaftbereich und einen Gewindebereich aufweisen, werden im Folgenden die diesbezüglichen Unterschiede untersucht.

Bei Beanspruchung des Gewindeteiles in Voll- oder Brettschichtholz auf Abscheren ergibt sich im Vergleich zum Schaftbereich ein Unterschied in der Lochleibungsfestigkeit. Im Zuge einer Forschungsarbeit an der Universität Karlsruhe¹⁶ wurden zu dieser Thematik Versuche mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln durchgeführt und folgende Beziehung für die Lochleibungsfestigkeit ermittelt:

Lochleibungsfestigkeit im Gewindeteil:
$$f_{h,S,k} = \frac{0,019 * \rho_k^{1,24} * d^{-0,3}}{2,5 * \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad (5-15)$$



Diese Funktion stimmt mit der Lochleibungsfestigkeit für nicht vorgebohrte Nägel nach EN 1995-1-1 recht gut überein.

Lochleibungsfestigkeit für nicht vorgebohrte Nägel:
$$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} \quad (5-16)$$

d... Aussendurchmesser des Gewindes

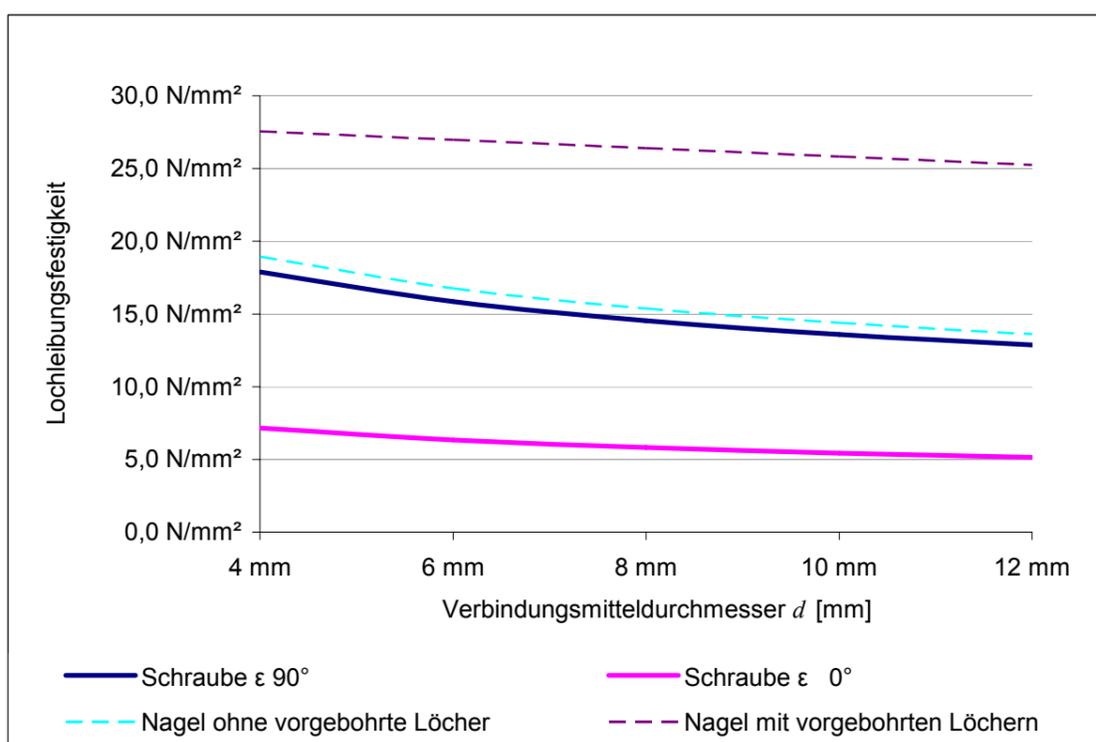


Abb. 5-41 Lochleibungsfestigkeit von Schrauben im Gewindebereich bezogen auf den Aussendurchmesser des Gewindes in Holz-C24

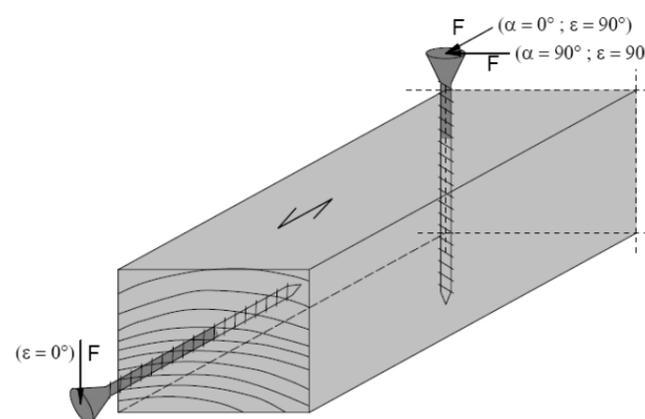


Abb. 5-42 Definition der Winkel α und ε

Stellt man den Gewindebereich mit Aussendurchmesser des Gewindes und der Lochleibungsfestigkeit nach (5-15) oder (5-16) mit dem Schaftdurchmesser und der Lochleibungsfestigkeit für vorgebohrte Nägel nach EN 1995-1-1 gegenüber, werden in beiden Bereichen gleich hohe zulässige Traglasten errechnet. Der größte Schaftdurchmesser liegt bei ca. 8mm ($d_{eff} = 12[d] * 0,6[d1/d] * 1,1$). Der Einfluss aus Kraft-Faserwinkel muss deshalb nicht berücksichtigt werden. Dieses Verhalten wurde auch bei den Versuchen an der Universität in Karlsruhe beobachtet.

¹⁶ H. J. Blaß, I. Bejtka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbst bohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Herausgeber: Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

Für auf Abscheren beanspruchte Schrauben kann eine vereinfachte Bemessung des Tragwiderstandes über den Aussendurchmesser des Gewindes und der Lochleibungsfestigkeit wie für nicht vorgebohrte Nägel ermittelt werden. Für die Berechnung ist der Biege- widerstand über den effektiv wirksamen Durchmesser ($1,1 \cdot$ Gewindekerndurchmesser) zu ermitteln oder der zulässige Wert laut Zulassung heranzuziehen.

5.2.2.2 Axiale Beanspruchung

Für die Bemessung der Verankerung einer Schraube im Holz weisen die einzelnen Schraubenzulassungen und Normen sehr unterschiedlich komplexe Formeln auf. In der EN 1995-1-1 wird die axiale Traglast über die verankerte Gewindelänge l_{ef} , den Aussengewindedurchmesser der Schraube d und die charakteristische Ausziehfestigkeit $f_{ax,k}$ bestimmt. Über die Ausziehfestigkeit werden die Einflüsse aus Rohdichte des Holzes, der Schraubendurchmesser und die verankerte Gewindelänge berücksichtigt. Vereinfacht kann gesagt werden, dass der Wert der Ausziehfestigkeit mit steigendem Durchmesser und steigender Gewindelänge sinkt. Die verankerte Gewindelänge kann so lange gesteigert werden, bis die mögliche verankerte Traglast, die Traglast der Schraube übersteigt und es daher zu einem Stahlzugversagen der Schraube kommt. Um eine Lastverteilung in der Verbindung zu ermöglichen sollte die verankerte Last im Holz nicht höher als die Traglast der Schraube gewählt werden.

Schrauben können sowohl auf Zug wie auch auf Druck beansprucht werden. Diese Eigenschaft wird bei Holz-Holz-Verbindungen über diagonal gekreuzt angeordnete Schrauben genutzt.

Auf Druck beanspruchte Schrauben bieten gegenwärtig die bestmögliche Form zur Querdruckverstärkung von normal zur Faser beanspruchten Bauteilen. Die eingebrachte Kraft wird über die Schraube weitergeleitet und bewirkt dadurch eine bessere Lastverteilung im Querschnitt.

Als mögliches Versagenskriterium für die Tragfähigkeit druckbeanspruchter schlanker Schrauben ist das Ausknicken im Holz zu prüfen. Vollgewindeschrauben können wegen der hohen Steifigkeit auch zum Aufnehmen von Querkzugkräften in Voll- und Brettschichtholzträgern eingesetzt werden. Einsatzbereich ist zum Beispiel bei gekrümmten Brettschichtholzträgern, im Bereich von Durchbrüchen und bei Ausklinkungen.

5.2.2.3 Einsatzbereiche für axiale Beanspruchung

Anbei werden exemplarisch einige der vielfältigen Möglichkeiten für den Einsatz axial beanspruchter Holzschrauben gezeigt.

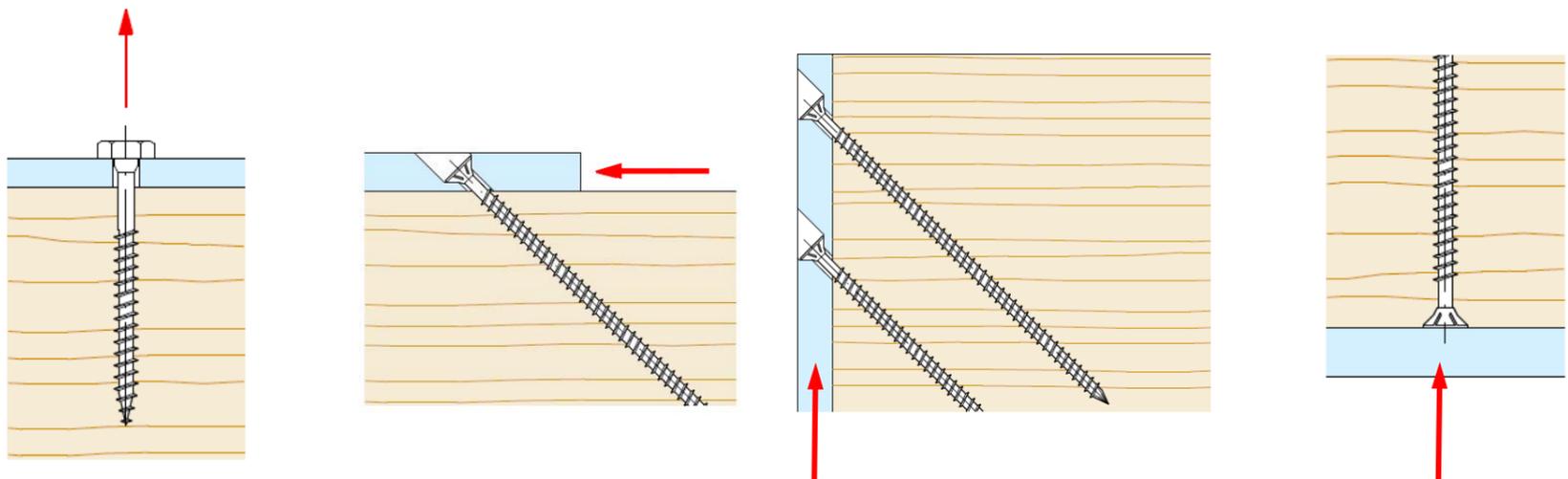


Abb. 5-43 Stahl-Holz-Verbindung bei axialer Beanspruchung der Schraube

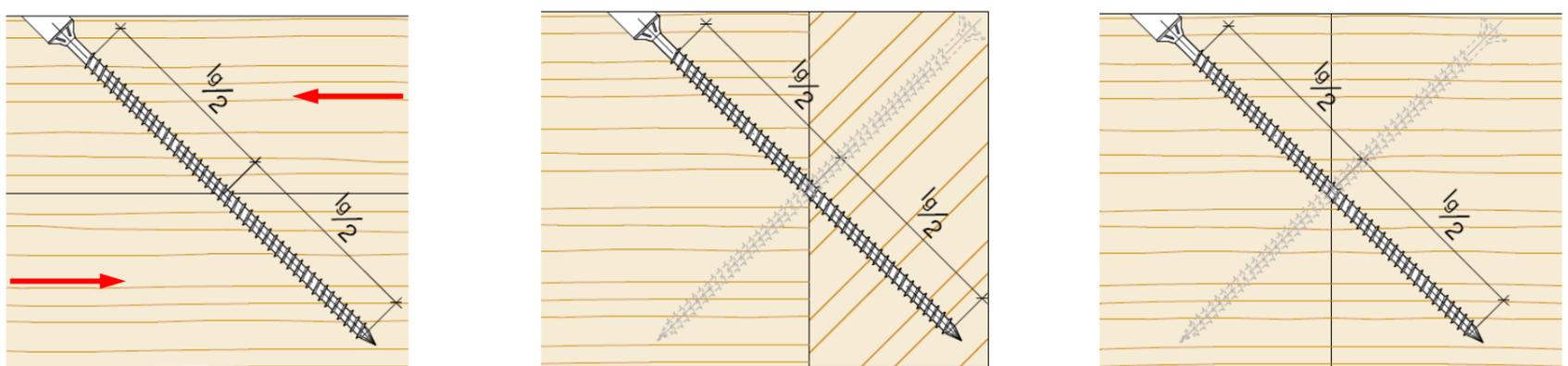


Abb. 5-44 Holz-Holz-Verbindung bei axialer Beanspruchung der Schraube

5.2.2.4 Lösungsvorschlag für hochbeanspruchte Zuganschlüsse

Die Ausführung von hochbelasteten Anschlüssen mit Vollgewindeschrauben erfolgt über Kombination mit aussen liegenden Stahlblechen. In den Blechen sind Bohrungen mit exakten Aussenkungen für den Schraubenkopf vorzusehen. Die Schrauben werden ins Holz eingeschraubt und über Kontakt zwischen Stahlplatte und Schraubenkopf auf Zug beansprucht.

Wegen der geringen Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel ist es wichtig, dass alle Schraubenköpfe des Verbindungsknoten exakt in den vorgesehenen Aussenkungen aufliegen. Zur Qualitätssicherung dieser Verbindungen müssen alle Schrauben mit einem drehmomentgesteuerten Schrauber eingedreht werden.

Da die Schrauben unter einem Winkel von $< 90^\circ$ zur Stahlplatte eingeschraubt werden ist sicherzustellen, dass beim Eindrehen der Schrauben das Nachrutschen der Stahlplatte ausgeschlossen ist.

Im Zwischenbericht über eine Forschungsreihe an der TU Graz¹⁷ werden bereits erste Ergebnisse für eine optimale Auslegung von Zuganschlüssen mit seitlichen Stahlblechen gezeigt.

So sind bei zwei seitlichen Laschen die Schrauben in der Holzmitte übergreifend vorzusehen. Ein Aufspalten des Holzes kann dadurch vermeiden werden. Zusätzlich sollten die Schrauben zum Einschraubwinkel in Krafrichtung abwechselnd aus der Ebene gedreht werden, um eine mögliche Beschädigung der Nachbarschraube beim Eindrehen ausschließen zu können.

Das Schrägstellen der Schrauben verbessert die Lasteinleitung in das Holz und verringert auch die Spaltgefahr.

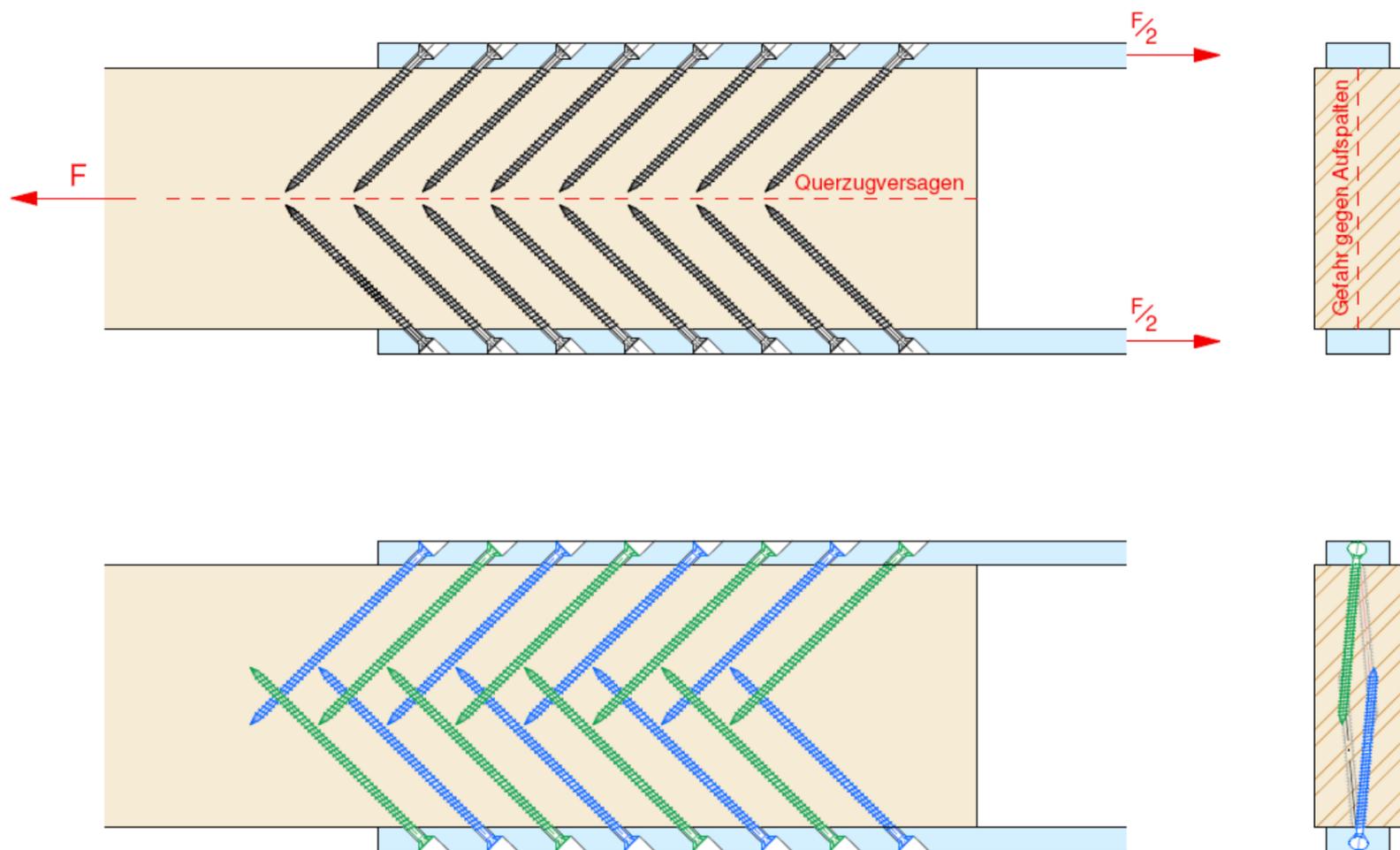


Abb. 5-45 Zuganschluss mit seitlichen Stahlblechen

Zufolge dieser Verbesserungen hinsichtlich der Konfiguration der Schrauben, kann das volle Tragpotenzial des Holzquerschnittes ausgenutzt werden.

5.2.3 Fazit zum Einsatz von selbstbohrenden Schrauben

Die unterschiedlichen Bemessungsformeln bei axialer Beanspruchung können je nach bauaufsichtlicher Zulassungen der Schraubentypen höhere Traglasten als bei Bemessung nach EC5 ermöglichen. *Im Zuge der Ausführung ist daher die Gleichwertigkeit der Traglast für die Schrauben zwischen Ausführung und Berechnung sicherzustellen.*

Bei den Kurzbezeichnungen für die Schraubengeometrie ist zu beachten, dass diese zwischen EN 1995-1-1 und den Zulassungen nicht übereinstimmen.

Um das Tragpotential von Verbindungsknoten mit axial belasteten Schrauben voll ausschöpfen zu können, sollte eine Belastung der Schrauben auf Abscheren vermieden werden. Konstruktions- und herstellungsbedingte Zusatzbelastungen aus Versatzmomenten,

¹⁷ 6.GraHFT'07, Kapitel G: Traglast von auf Zug beanspruchten Schraubenverbindungen mit Stahlblechen

Torsionsbelastungen und aus Querbeanspruchung der Verbindungsknoten sind durch die Anordnung zusätzlicher Schrauben zu berücksichtigen. Die Schrauben müssen so angeordnet werden, dass sie ebenfalls axial beansprucht werden.

Bei der Planung von Anschlüssen mit gekreuzten Schrauben sollten im Hinblick auf eine mögliche Kollisionsgefahr bei der Montage, die Abstände nicht zu knapp gewählt werden.

Zur Sicherstellung gegen ein Überschreiten des Torsionsmomentes und einer daraus resultierenden Beschädigung beim Eindrehen der Schrauben sind drehmomentgesteuerte Schrauben einzusetzen.

5.2.4 Bewertung der Steifigkeit und Duktilität des Verbindungsmittels

Die Steifigkeit in axialer Belastungsrichtung steigt mit zunehmender Einschraubtiefe. Im Vergleich zur Steifigkeit bei der Beanspruchung auf Abscheren können bis zu 8x höhere Steifigkeitswerte erreicht werden.

Verschiebungsmodul

- bei Beanspruchung auf Abscheren

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} * d^{0,8} / 30 \quad (5-17)$$

- bei axialer Beanspruchung

$$K_{ax} = 234 * (\rho * d)^{0,2} * l_s^{0,4} \quad (18) \quad (5-18)$$

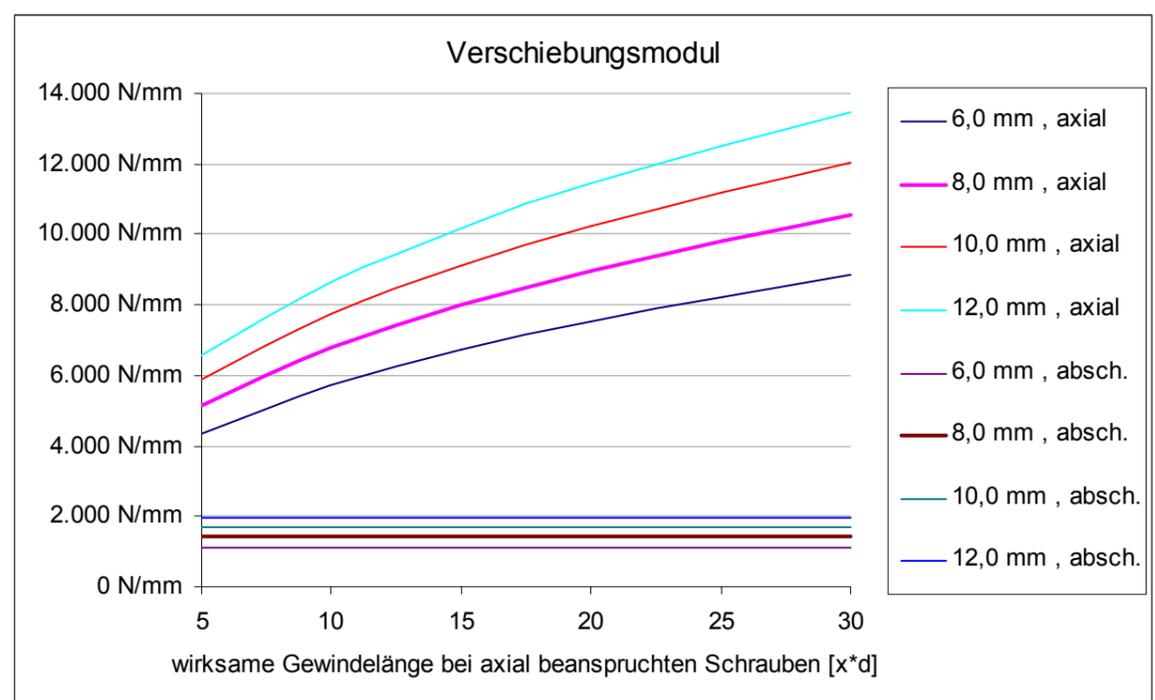


Abb. 5-46 Verschiebungsmodule je Vollgewindeschraube bei Belastung in axialer Richtung bzw. auf Abscheren

Verbindungen mit axial beanspruchten Vollgewindeschrauben weisen ein sprödes Versagensverhalten auf.

5.2.5 Auswirkungen und Anforderung bei Einsatz unter Brandbelastung (R30 und R60)

Für die Bemessung unter Brandbelastung wird in der EN 1995-1-2 eine Erhöhung der Abstände zur brandbeanspruchten Oberfläche des Trägers festgelegt. Über die erhöhten Abstände zu den brandbeanspruchten Rändern kann ein Anstieg der Temperatur des Verbindungsmittels und damit ein vorzeitiges Versagen ausgeschlossen werden. Die Berechnung der Tragfähigkeit erfolgt für diesen außergewöhnlichen Lastfall mit dem 20%-Fraktilwert.

Die Festlegungen in der Norm sind sehr minimal und können den Informationsbedarf des Tragwerksplaners nicht ausreichend abdecken.

Für den Einsatzfall auf das Herausziehen beanspruchter Bauteile mit außen liegendem Stahlteil, wie es auch im folgenden Vergleichsbeispiel angewendet wird, gibt es in der Norm keine genau definierten Regelungen. Allgemein gültige Festlegungen über die Anforderungen an den schützenden Brandschutzanstrich für Stahlteile in Kombination mit Holz fehlen.

¹⁸ H. J. Blaß, I. Bejtka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbst bohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Herausgeber: Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

5.3 Gewindestangen

5.3.1 Typen von Gewindestangen

Nach ihrer Verarbeitungstechnik können zwischen eingeschraubten und eingeklebten Gewindestangen unterschieden werden.

5.3.1.1 Eingeschraubte Gewindestangen

Gegenwärtig werden Systeme mit einem Gewinde Außendurchmesser von 16mm und 20mm angeboten. Das Verhältnis von Außen- zu Gewindekerndurchmesser entspricht ca. 0,75. Es können somit die Bemessungsregeln wie für Schrauben angewendet werden. Für die Ausführung sind eingeschraubte Gewindestangen mit ihrem Kerndurchmesser vorzubohren.

Durch den höheren Durchmesser und des daraus ergebenden höheren Torsionsmoments können Gewindestangen bis zu einer Länge von 3.000mm eingesetzt werden. Wegen der hohen verfügbaren Längen werden diese Gewindestangen vielfach zur Querkzugverstärkung hoher Brettschichtholzquerschnitte eingesetzt.

Für den zukünftigen Einsatz eingeschraubter Gewindestangen bei Fachwerkträgern werden Entwicklungen an der Universität Karlsruhe durchgeführt. In der Kombination mit Gurten in Brettschichtholz und Diagonalstäben aus Brettsper Holz ergeben sich effektiv wirkende Verbindungsknoten. Ein wesentlicher Vorteil dieser Verbindung liegt in der einfachen Ausführung.

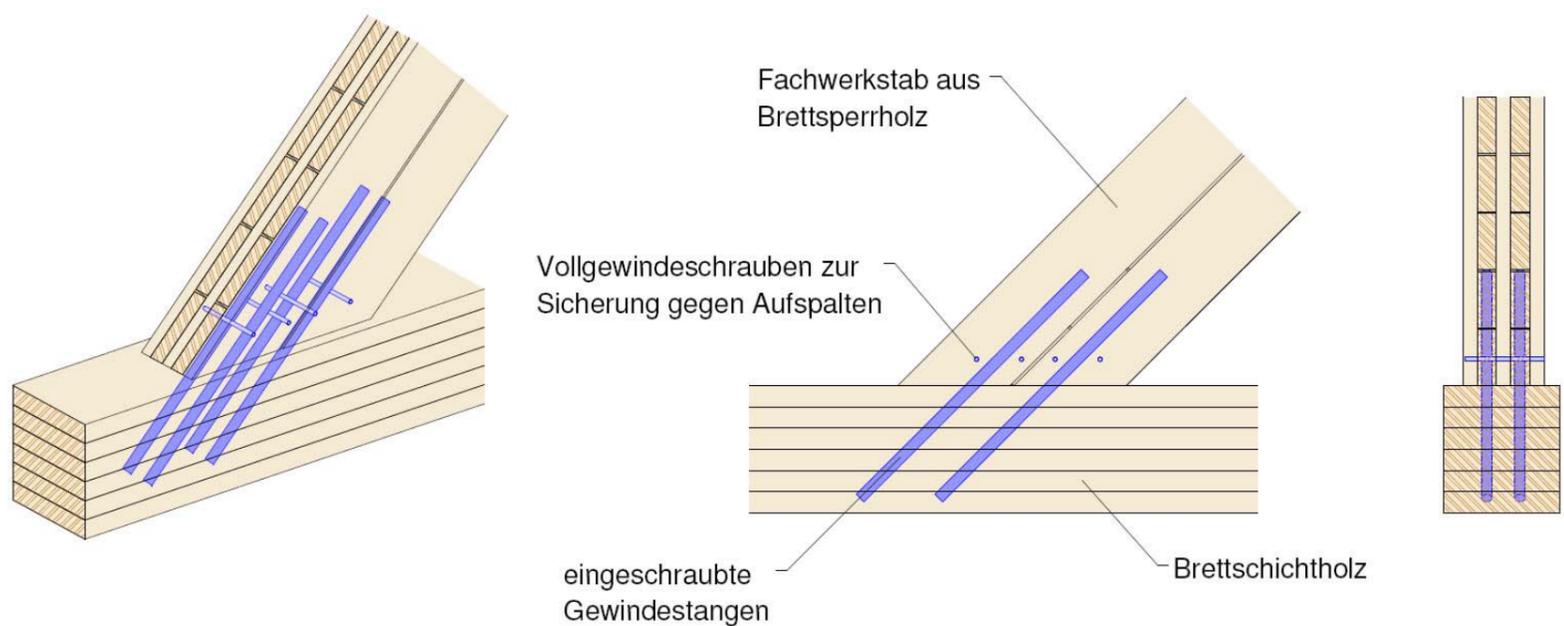


Abb. 5-47 Zugstabanschluss mit eingeschraubten Gewindestangen

5.3.1.2 Eingeklebte Gewindestange

Zum Thema der eingeklebten Gewindestange soll hier ein allgemeiner Systemeinblick gemacht werden, eine detaillierte Vertiefung erfolgt nicht.

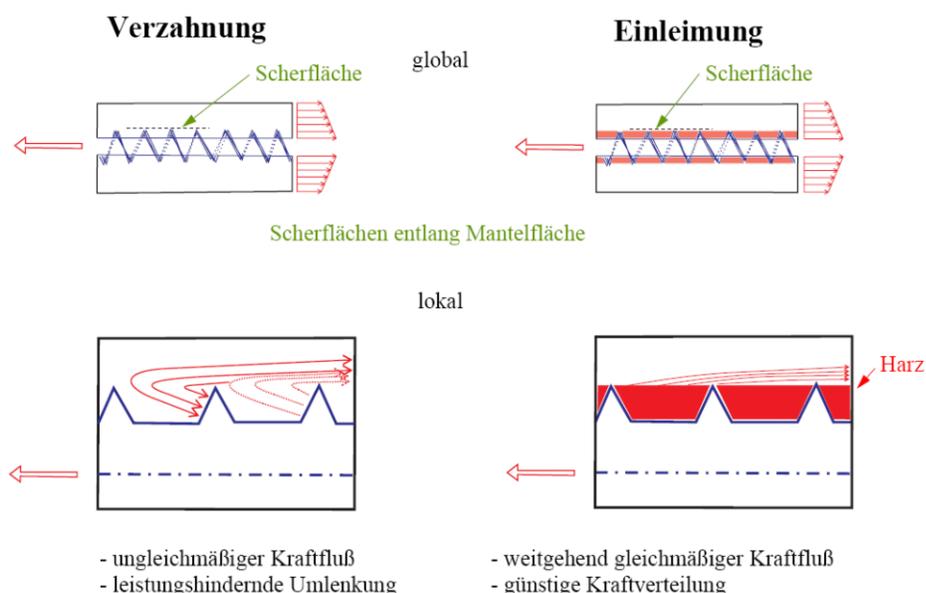
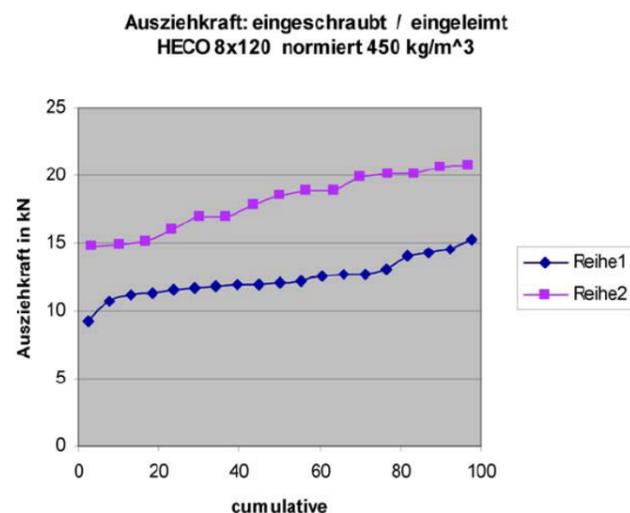


Abb. 5-48 Leisteinleitung bei Gewindestangen über Verzahnung Vergleich Einleimung, E.Gehri



Reihe 1: eingeschraubt (mechanisch verzahnt)
Reihe 2: eingeleimt (Schraube ≈ eingeleimter Stahlstab)

Abb. 5-49 Ausziehungskraft bei faserparallel eingeschraubten / eingeleimten Gewindestangen, E. Gehri

Im Unterschied zu eingeschraubten Gewindestangen bei welchen die Kraftübertragung über Kontakt zwischen Gewinde und Holz direkt passiert, erfolgt die Kraftübertragung bei eingeleimten Systemen über das Klebeharz. Das Harz ermöglicht einen gleichmäßigen direkten Kraftfluss in die Holzfaser. Dieser direkte Kraftfluss ist nur über eine Klebeverbindung möglich. Der Unterschied gegenüber eingeschraubten Gewindestangen in der lokalen Lasteinleitung führt im Vergleich zu höheren Traglasten. Durch das Vorbohren können weiters Spaltkräfte vermieden werden, wodurch die erforderlichen Mindestabstände der Gewindestangen sehr eng gewählt werden können. Die dadurch mögliche konzentrierte Lasteinleitung gewährt eine höchst mögliche Ausnutzung des Holzquerschnittes. Diesen hohen Ausnutzungsgrad im Holz ermöglichen zu können setzt voraus, den Anschlussbereich weitgehend frei von Strukturstörungen zu halten. Dies ist bereits in der Produktion der Brettschichtholzträger über eine gezielte Sortierung zu berücksichtigen. In realisierten Konstruktionen haben sich bei höchst beanspruchten Bereichen dabei Lamellen in Eschenholz bewährt.

6 Vergleichsbeispiel Fachwerkträger mit Spannweite 42,4m, Fachwerkhöhe 4,50m

6.1 Nachträgliche Analyse anhand des Ausführungsbeispiels

6.1.1 Objektbeschreibung

Das Berechnungsbeispiel bezieht sich auf die Dachkonstruktion eines kürzlich errichteten Gebäudes mit einer Veranstaltungshalle für kulturelle und sportliche Events. Die als Ingenieurholzbau umgesetzte Dachkonstruktion überspannt dabei eine Fläche im Grundriss von 42,5m x 73m.

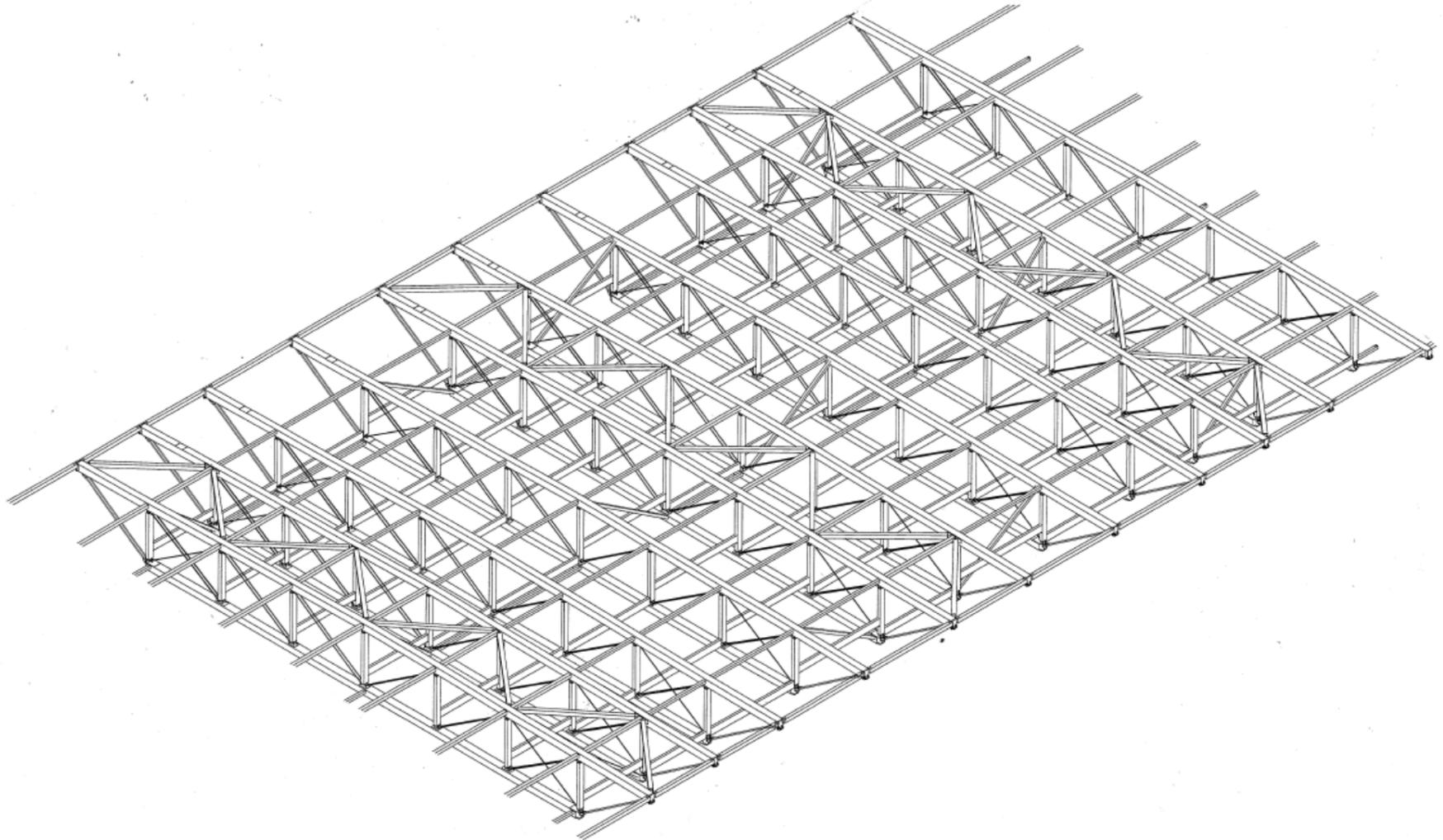


Abb. 6-1 Axonometrie der Dachkonstruktion

Planung: Architekturbüro DI Josef Knötzl, A-1130 Wien
Tragwerksplanung: RWT plus ZT GmbH, A-1010 Wien
Ausführung Holzkonstruktion: WIEHAG GmbH, A-4950 Altheim

6.1.2 Entscheidungsweg zur gewählten Tragwerkslösung und Baustoffwahl

Die Wahl zum Tragwerk wurde stark über die Anforderung an die Haustechnik geprägt. Da für die spätere Nutzung des Gebäudes als multifunktionale Sport- und Veranstaltungshalle viel an Technik (Lüftung, Versorgungsleitungen,...) im Bereich der Dachebene vorzusehen war, musste ein Dachtragwerk entwickelt werden, das großzügige Leitungsführungen in allen Richtungen ermöglicht. Daraus resultierte die Entscheidung zum Einsatz einer Fachwerkskonstruktion, die mit ihrer offenen Tragkonstruktion großzügige Bereiche für Leitungsführungen quer zur Trägerebene sicherstellt.

Der Einsatz des Werkstoffes Holz musste hier erst überzeugen, denn seitens der Architektur war der ursprüngliche Materialwunsch eine Lösung in Stahl. Im Hinblick auf die geforderten Brandschutzanforderungen von R-60 an die Tragkonstruktion wäre die Stahlkonstruktion mit einer Brandschutzbeschichtung zu schützen gewesen. Hier kam erstmals Holz als eine Alternative ins Gespräch. Nach mehreren Studien von Holz-Fachwerkträgern, ausgehend mit allen Stäben in Holz, fiel schlussendlich die Entscheidung ein *Hybrid-Tragwerk* als Holz-Stahl-Lösung auszuführen.

6.1.3 Beschreibung der Tragstruktur

Das Dachtragwerk besteht aus Hauptträgern, welche als Fachwerkträger ausgeführt sind und eine Weite von 42,4m überspannen. In der Obergurtebene sind zur Stabilisierung der Fachwerkgurte Druckriegeln und Verbände in Brettschichtholz angeordnet. Im Bereich des Untergurtes sind, für einen möglichen Lastwechsel bei Sogkräften aus der Windbelastung, drei Achsen mit quer zur Primärträgerachse laufenden Stabilisierungsriegeln angeordnet.

Die Dachfläche wird über gedämmte Hohlkastenelemente aus Holz gebildet welche normal zur Tragrichtung der Primärträger ausgerichtet sind und auf den Obergurten der Fachwerke aufliegen. Für die Möglichkeit der Befestigung einer Akustikdecke zwischen den Untergurten oder sonstiger technischer Einrichtungen sind in diesen Bereichen zusätzliche Brettschichholzträger an den vertikalen Fachwerkstäben angeschlossen.

Der Fachwerkträger selbst besteht aus einem Ober- und einem Untergurt aus Brettschichholz. Die überwiegend auf Druck beanspruchten Vertikalstäbe wurden ebenfalls in Brettschichholz ausgeführt. Die Diagonalstäbe sind als Zugstangen in Stahl mit hoher Stahlgüte (S460N) ausgeführt. Durch die Trägerlänge von 42,4m konnten die beiden Brettschichholzgurte je aus einem Stück gefertigt werden. Der Anschluss der Vertikal- und Diagonalstäbe mit den Gurten erfolgt über Stahlteile.

Aus transporttechnischen Gründen wurden die Träger als Einzelteile auf die Baustelle geliefert und vorort zusammengeschrubt. Um auf der Baustelle einen raschen Montagefortschritt zu erreichen wurden die Einzelteile über Stahl-Stahl-Verbindungen verbunden.



Abb. 6-2 Die Dachkonstruktion in der Bauphase

6.1.4 Berechnungsannahmen, Berechnung

Die Lastannahmen für Schnee- und Windlasten wurden standortbezogen nach den gültigen Normen (ÖNORM B 1991-1-3, ÖNORM B 1991-1-4) ermittelt. Das Eigengewicht der Dachelemente wurde als Flächenlast über die Wichte der eingesetzten Materialdicken errechnet.

Die Annahmen für die verschiedenen Nutzlasten aus Haustechnik, Beleuchtung, Medientechnik, Wartungsstegen und Lasten aus Akustikdecken erfolgte in Abstimmung mit den jeweiligen Fachplanern. Um eine optimale Ausnutzung der Konstruktion zu ermöglichen wurden für die Nutzlasten detaillierte Lastangriffspunkte festgelegt.

In der Entwurfsphase für die ersten Schnittgrößen und Querschnittsermittlungen wurde der Fachwerkträger als ebene Konstruktion berechnet. Aufgrund der Tatsache der sich ergebenden sehr komplexen Belastungsszenarien aus den unterschiedlichen Kombinationen von Nutzlasten und der wechselnden Achsabstände der Hauptbinder, erfolgte die weitere detaillierte Berechnung als räumliche Konstruktion. Für eine einfachere Planung und Ausführung wurden alle Fachwerkträger mit gleichen Querschnittsabmessungen und Anschlüssen dimensioniert. In dieser Phase wurde die Auslastung der Konstruktion über den Einsatz unterschiedlicher Brettschichholzqualitäten optimiert.

6.2 Ergebnisse aus den Vergleichen verschiedener Fachwerkstypen

6.2.1 Beschreibung der unterschiedlichen Fachwerkstypen

6.2.1.1 Fachwerk-Typ 1 (ausgeführte Konstruktion)

Die ausgeführte Konstruktion ist eine Holz-Stahl-Konstruktion. Die beiden Fachwerksgurte sowie die vertikalen Fachwerkstäbe sind in Brettschichtholz, auf Zug beanspruchten Fachwerksdiagonalen als Zugstangen in Stahl umgesetzt. Die Verbindung der Stäbe erfolgt über Stahlformteile, welche mittels Vollgewindeschrauben an den Brettschichtholzgurten angeschraubt werden. Die Belastung der Vollgewindeschrauben erfolgt in axialer Richtung auf Zug. Der Anschluss der Zugstangen erfolgt mittels Gabelköpfen als Stahlanschluss, die Einleitung von Druckkräften in die Stäbe über Flächenpressung.

6.2.1.1.1 Übersicht

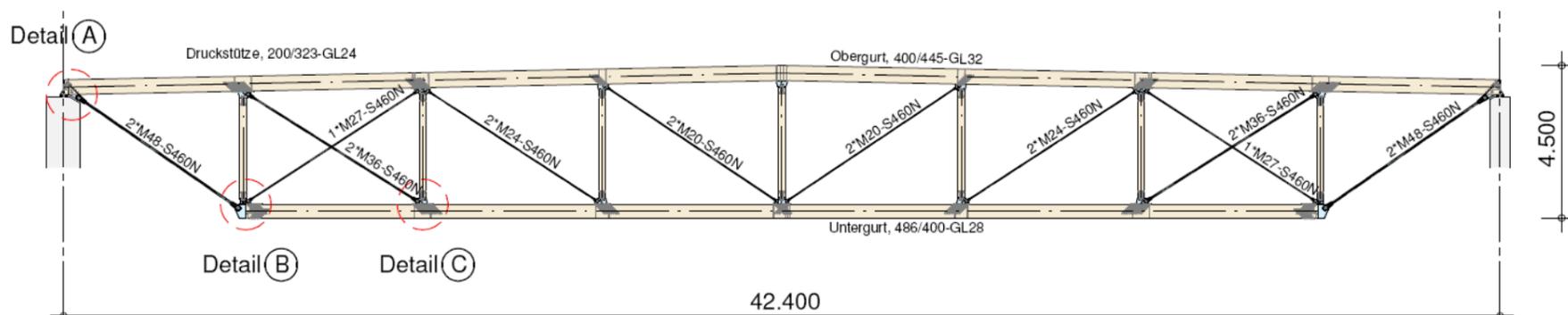


Abb. 6-3 Fachwerkträger Typ 1

6.2.1.1.2 Detail A

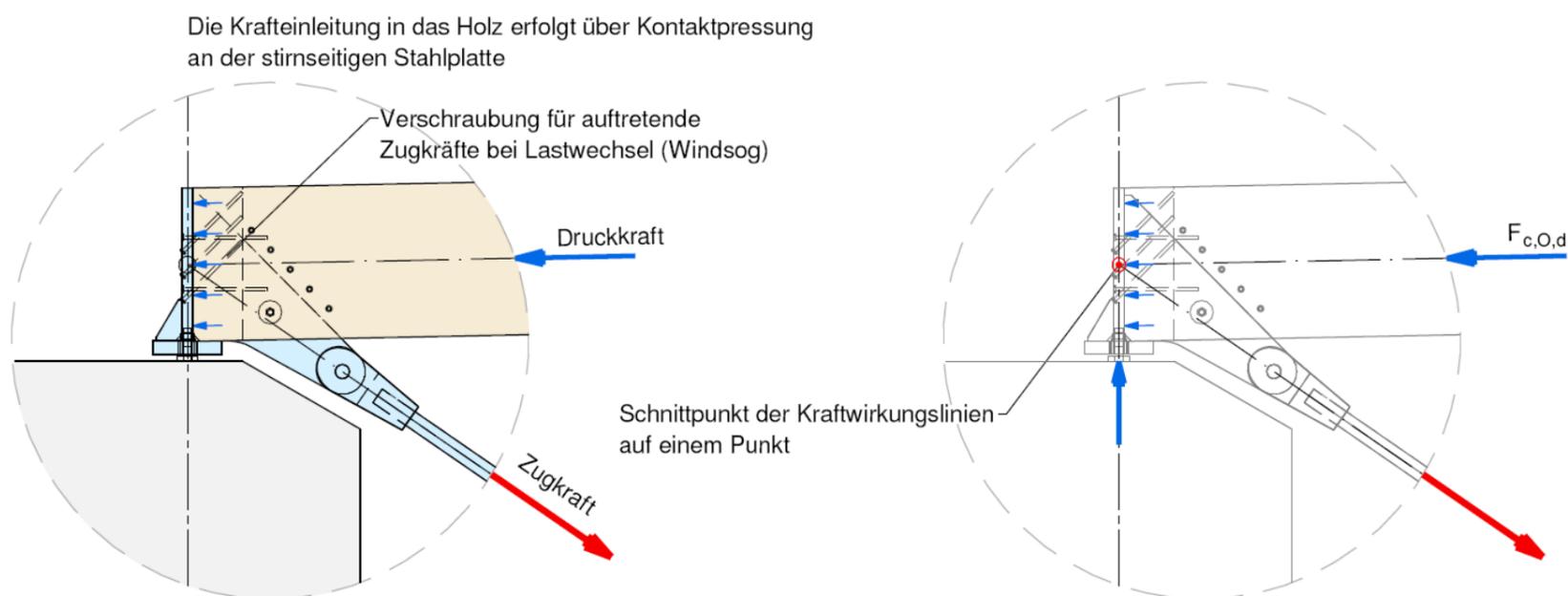


Abb. 6-4 Detail A, Anschlussknoten Zugstab am Obergurt beim Binderauflager

6.2.1.1.3 Detail B

Der Schnittpunkt der Kraftwirkungslinien aus Diagonalstab und Vertikalstab wird in die Stabachse des Fachwerkgurtes gelegt. Über die symmetrische Anordnung von Stahllaschen ist eine gleichmäßige Lasteinleitung der hohen Zuglasten in den Untergurt sichergestellt.

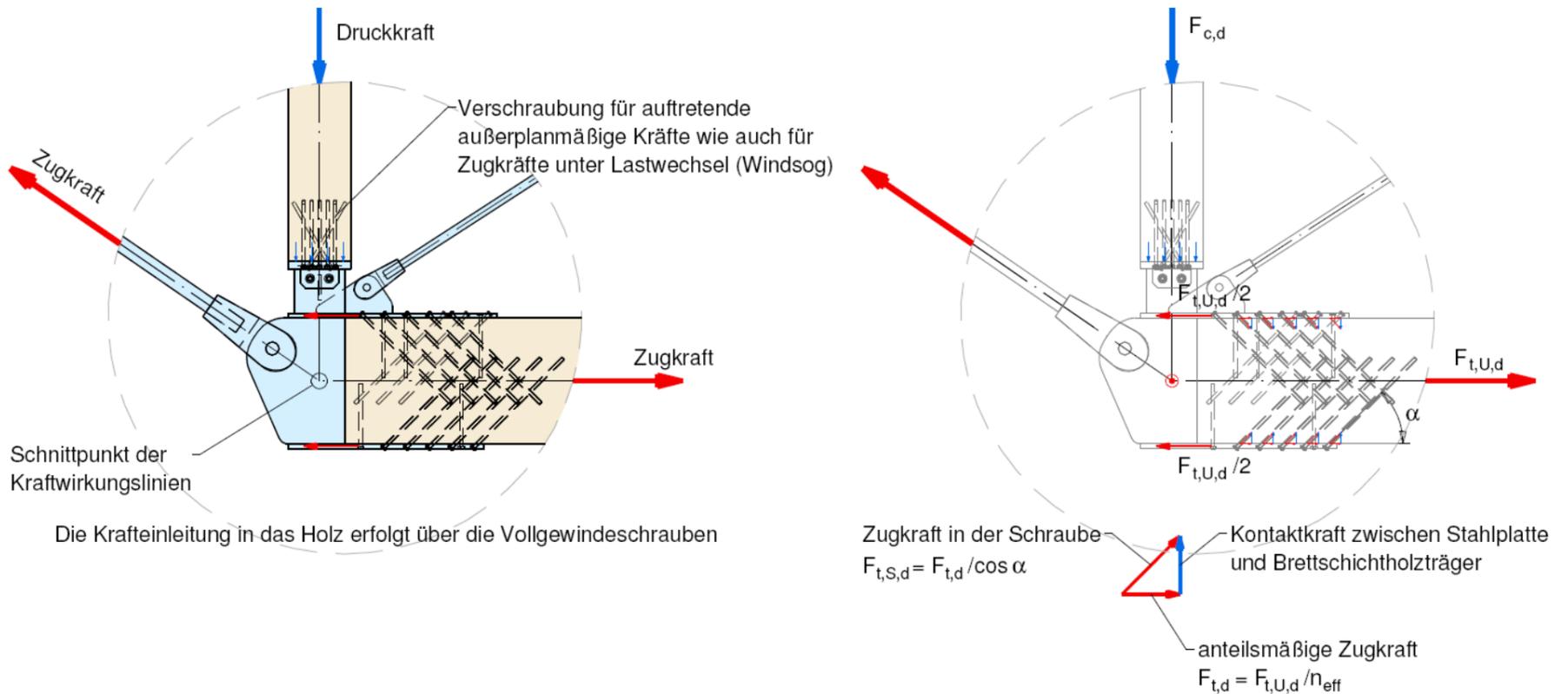


Abb. 6-5 Detail B, Anschlussknoten Zugstab am Untergurtende über Vollgewindeschrauben

6.2.1.1.4 Detail C

Der Schnittpunkt der Kraftwirkungslinien des diagonalen und des vertikalen Fachwerkstabes ist für die Umsetzung eines kompakten Anschlusses in der Scherfuge zwischen Stahlteil und Untergurt zu positionieren. Durch diese Konfiguration werden Rotationskräfte auf den Stahlteil vermieden und es ist nur die anteilmäßige Kraftkomponente aus dem Diagonalstab im Untergurt zu verankern. Für den Fachwerksgurt ergibt sich daraus ein Versatzmoment.

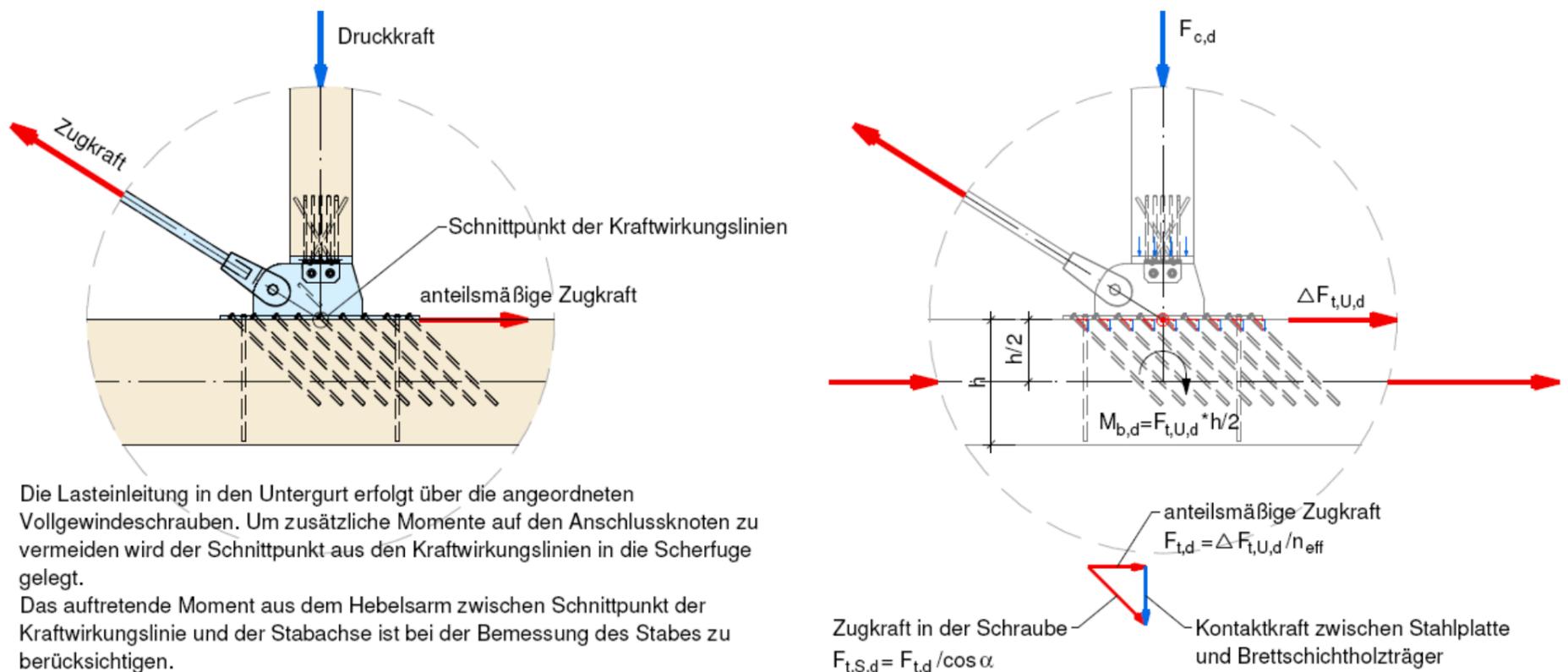


Abb. 6-6 Detail C, Anschlussknoten Zugstab am Untergurt über Vollgewindeschrauben

Die Lasteinleitung in den Untergurt erfolgt über die angeordneten Vollgewindeschrauben. Um zusätzliche Momente auf den Anschlussknoten zu vermeiden wird der Schnittpunkt aus den Kraftwirkungslinien in die Scherfuge gelegt. Das auftretende Moment aus dem Hebelsarm zwischen Schnittpunkt der Kraftwirkungslinie und der Stabachse ist bei der Bemessung des Stabes zu berücksichtigen.

6.2.1.1.5 Kriterien für das statische System der Anschlussknoten

Das statische System der Anschlussknoten ist so zu wählen, dass über die Fuge zwischen Stahlteil und Holzwerkstoff nur Schubkräfte übertragen werden. Daraus ergibt sich aus der Versatzkraft bei einseitig aufgeschraubten Stahlknoten ein zusätzliches Moment auf den Fachwerksgurt.

Bei Anschlüssen mit hoch axial beanspruchten Schrauben ist eine mögliche Querbewertung der Schrauben zu verhindern. Dies kann durch die gezielte Anordnung von zusätzlichen Schrauben über axiale Beanspruchung erfolgen.

Um Beschädigungen der Schrauben ausschließen zu können sind Auswirkungen auf den Kraftfluss bei auftretenden Maß- und Winkelungenauigkeiten im Endzustand, sowie mögliche außergewöhnliche Beanspruchungen bei der Montage der Konstruktion zu berücksichtigen.

6.2.1.2 Fachwerk-Typ 2

Zum Vergleich ist im Unterschied zu Fachwerk-Typ 1 der Anschluss der Stahlteile an den Gurten mittels auf Abscheren beanspruchter Verbindungsmittel berücksichtigt. Die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel wird wie für Stabdübel und Passbolzen berücksichtigt.

6.2.1.2.1 Übersicht

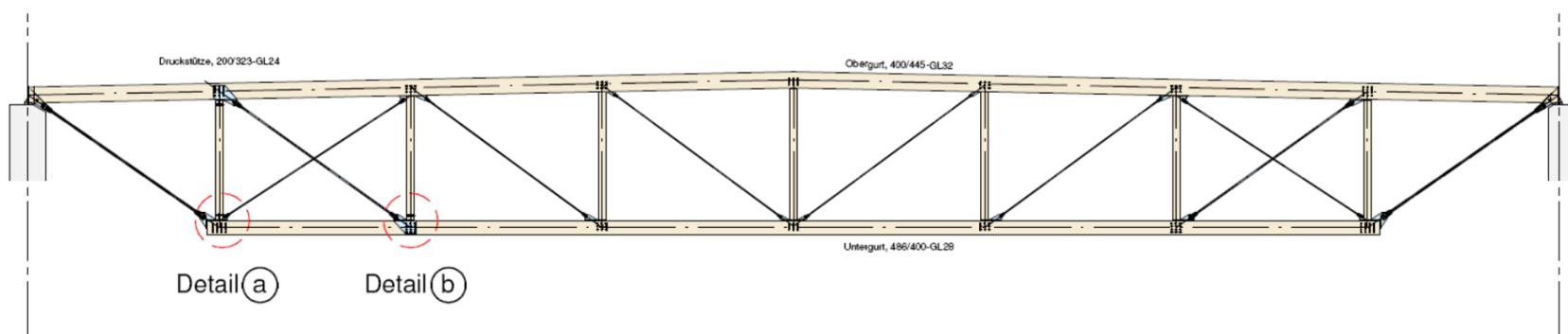


Abb. 6-7 Fachwerkträger Typ 2

6.2.1.2.2 Detail a

Der Schnittpunkt der Kraftwirkungslinien aus Diagonalstab und Vertikalstab wird in die Stabachse des Fachwerkgurtes gelegt. Dadurch werden auf den Stahlteil einwirkende Momente vermieden.

Über die Anordnung von mehreren Schlitzblechen wird ein optimales Tragverhalten der Stabdübel erreicht. Zur zusätzlichen Laststeigerung, wie auch zur Sicherung gegen Aufspalten können Vollgewindeschrauben als Querszugverstärkung angeordnet werden. Dadurch wird ein sprödes Versagen der Verbindung vermieden und das duktile Verhalten der Verbindung gesteigert.

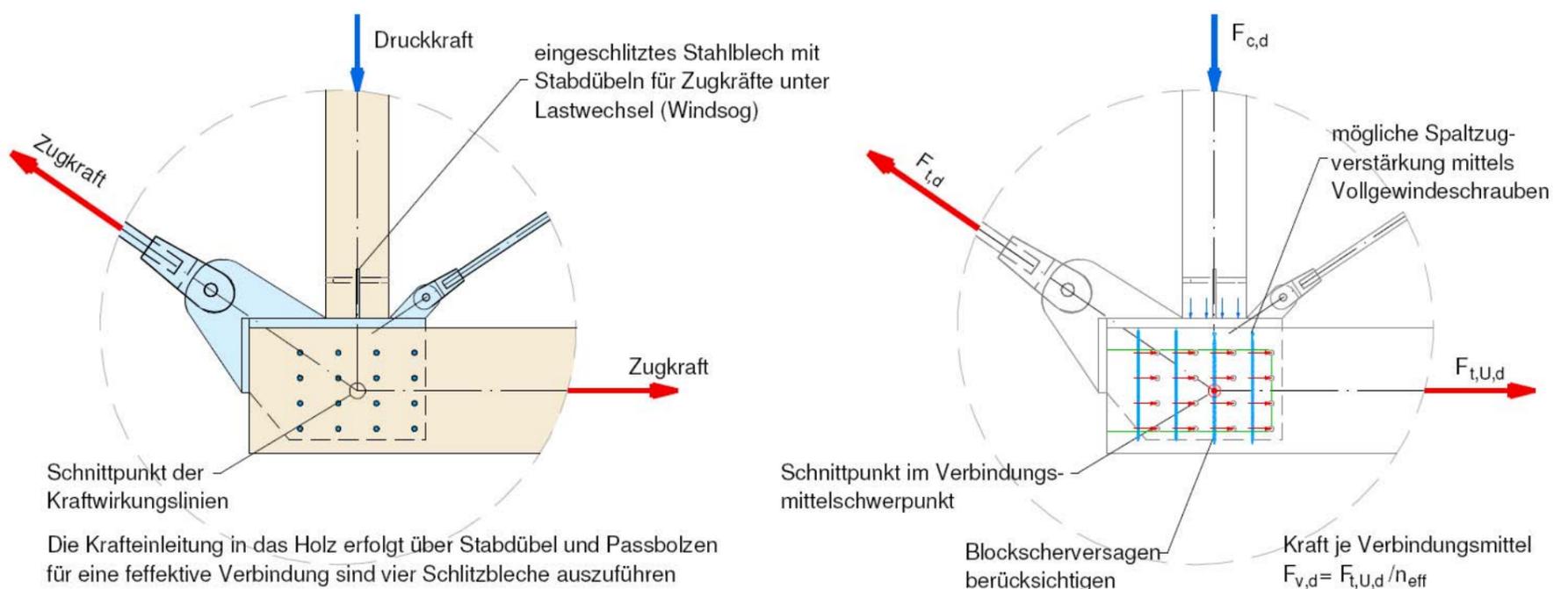


Abb. 6-8 Detail a, Anschlussknoten Zugstab am Untergurtende über auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel

6.2.1.2.3 Detail b

Querschnittsschwächungen aus Fräsungen für Schlitzbleche wie auch Borungen der Verbindungsmittel sind für die Bemessung des Fachwerkgurtes zu berücksichtigen (A_{netto})

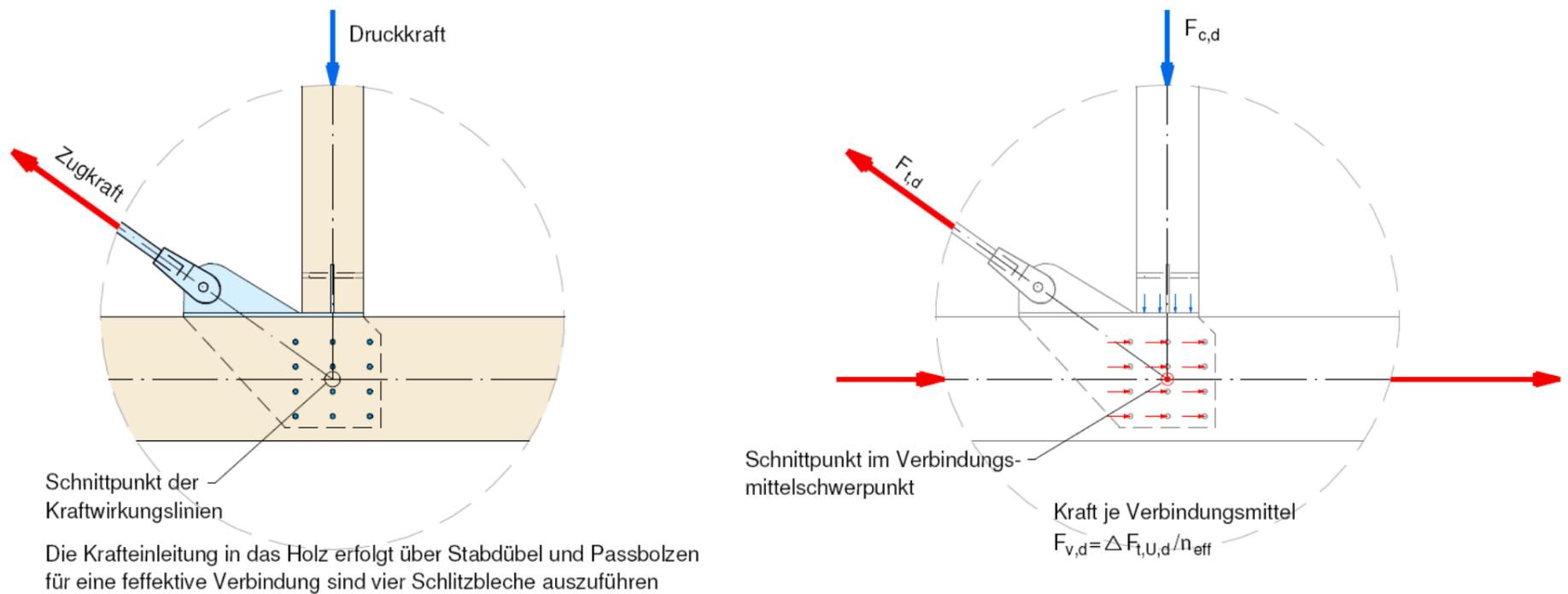


Abb. 6-9 Detail b, Anschlussknoten Zugstab am Untergurt über auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel

6.2.1.2.4 Kriterien für das statische System der Anschlussknoten

Für die Gestaltung der Anschlussknoten bei auf Abscheren beanspruchten stoffförmigen Verbindungsmitteln sollte versucht werden den Schnittpunkt der Wirkungslinien aus der Fachwerksdiagonale und dem vertikalen Fachwerkstab in den Schwerpunkt der stoffförmigen Verbindungsmittel zu legen. Dadurch können zusätzliche anzuschließende Momentbelastungen vermieden werden.

6.2.1.3 Fachwerk-Typ 3

Für eine Vergleichsberechnung sind beim Fachwerk-Typ 3 im Unterschied zu Fachwerk-Typ 1 und 2 die Fachwerkdagonalen ebenfalls in Brettschichtholz angenommen. Der Anschluss der Stahlteile an den Gurten und Zugstäben erfolgt mittels auf Abscheren beanspruchter Verbindungsmittel. Für die Berechnung wurde ebenfalls eine mehrschnittige Stahl-Holz-Verbindung angenommen. Die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel wird wie für Stabdübel und Passbolzen berücksichtigt.

6.3 Übersicht der Lasten für das betrachtete Fachwerk

Der Achsabstand zu den angrenzenden Fachwerkträgern nach links und rechts sind je 6,40m.

Durch die Ausführung der Dachelemente als Vier-Feldträger ergibt sich aus der Durchlaufträgerwirkung für das betrachtete Fachwerk ein erhöhter Lasteinfluss (Faktor 1,143). Das ist für am Dachelement angreifende Lasten zu berücksichtigen.

Das Eigengewicht der Tragstruktur wurde über das EDV-Programm berücksichtigt.

Einwirkung	KLED	Lastangriff	Flächenlast
Eigengewicht Dachelement	ständig	Linienlast am Obergurt / Lastangriff Dachelement	$g_k = 0,60\text{kN/m}^2$
Schneelasten lt. ÖNORM B 1991-1-3	kurz	Linienlast am Obergurt / Lastangriff Dachelement	$s_k = 1,10\text{kN/m}^2$
Windlasten lt. ÖNORM B 1991-1-4	kurz	Linienlast am Obergurt / Lastangriff Dachelement	$q_{p,0} = 0,46\text{kN/m}^2$ ⁽¹⁹⁾

Übersicht zu den Nutzlasten für den Fachwerkträger:

Einwirkung	KLED	Lastangriff	Flächenlast / Einzellast
Haustechnik	ständig	Linienlast am Obergurt / Lastangriff Dachelement	$q_k = 0,25\text{kN/m}^2$
sonstige Nutzlasten	lang	Linienlast am Obergurt	$q_k = 0,30\text{kN/m}^2$
Akustikdecke ⁽²⁰⁾	ständig	Einzellast auf vertikale Fachwerkstäbe	$q_k = 0,40\text{kN/m}^2$
sonstige Nutzlasten	lang	Linienlast am Untergurt	$q_k = 0,30\text{kN/m}^2$
Medientechnik	mittel	Einzellast auf vertikale Fachwerkstäbe	$Q_k = 10,0\text{kN}$
Trennvorhang	ständig	Linienlast am Untergurt	$q_k = 0,60\text{kN/m}$ ⁽²¹⁾

Festlegungen der Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen:

Einwirkung	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Schneelasten	0,5	0,2	0
Windlasten	0,6	0,2	0
Nutzlasten, KLED: ständig	1,0	1,0	1,0
Nutzlasten, KLED: lang	1,0	0,9	0,8
Nutzlasten, KLED: mittel	0,7	0,5	0,3

Modifikationsbeiwert bei Nutzungsklasse 1:

vorherrschende veränderliche Last	k_{mod}
kurz	0,9
mittel	0,8
lang	0,7
ständig	0,6

¹⁹ Basisgeschwindigkeitsdruck

²⁰ wird als veränderliche Last betrachtet

²¹ Laufmeterlast auf das betrachtete Fachwerk

6.4 Berechnete Bemessungsschnittgrößen

6.4.1 Fachwerkträger Typ 1

Der Lasteintrag aus den Stahlteilen, an welche die Zugstangen angeschlossen sind, erfolgt in die Fachwerkgurte über Vollgewinde-schrauben.

6.4.1.1 Übersicht

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Brettschichtholz GL24c EC5	1160.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
2	Brettschichtholz GL28h EC5	1260.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
3	Brettschichtholz GL32c EC5	1370.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
12	S460N	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

1.3 QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Kommentar
1	Rechteck 400/444	3	1776.00	291761.00	1480.00	
2	Rechteck 400/486y	2	1944.00	259200.00	1620.00	
3	Rechteck 200/323y	1	646.00	21533.30	538.33	
4	2RD 48-252	12	36.20	52.12	30.41	
5	2RD 36-236	12	20.40	16.49	17.14	
6	2RD 27-227	12	11.46	5.22	9.63	
7	2RD 20-224	12	6.28	1.57	5.28	
8	RD 20	12	3.14	0.79	2.64	
9	Dummy Rigid					Hilfsquerschnitt

1.5 STABEXZENTRIZITÄTEN

Exz. Nr.	Bezugs-system	Stabanfang [mm]		Stabende [mm]		Kommentar
		e _{i,x}	e _{i,z}	e _{j,x}	e _{j,z}	
1	Global	0.0	500.0	0.0	220.0	

LASTFÄLLE

LF Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Lastfalltyp	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1	Eigengewicht Tragkonstruktion	1.0000	Ständig	1.00	I. Ordnung
2	Eigengewicht Dachelement g = 0,60kN/m ²	0.6000	Ständig	-	I. Ordnung
11	Schneelast auf Dach sk = 1,10 * 0,80 = 0,88kN/m ²	0.8800	Veränderlich	-	I. Ordnung
21	Nutzlast Haustechnik q = 0,25kN/m ²	0.2500	Veränderlich	-	I. Ordnung
23	Nutzlast Medientechnik Einzellasten 10kN	10.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
24	Nutzlast Ballwurfnetz q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
25	Nutzlast Trennvorhang q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
26	Nutzlast Akustikdecke auf Medienriegel q = 0,40kN/m ²	0.4000	Veränderlich	-	I. Ordnung
31	Nutzlast sonstiges am Untergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
32	Nutzlast sonstiges am Obergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
41	Wind entlastend w = -0,94kN/m ²	-0.9400	Veränderlich	-	I. Ordnung

LASTFALLGRUPPEN

LG Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Lastfälle in LG	Berechnungs-Theorie
1	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,6)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2	II. Ordnung
2	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,7)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 0.75*LF11 + 1.5*LF21 + 1.05*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
3	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,8)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 0.75*LF11 + 1.5*LF21 + 1.5*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
4	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,9)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11 + 1.5*LF21 + 1.05*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
11	Bemessung bei Wind-Sog (k _{mod} = 0,9)	1.0000	LF1 + LF2 + 1.5*LF41	II. Ordnung
21	w _{G,inst}	1.0000	LF1 + LF2	II. Ordnung
22	w _{Q,inst(1)}	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
23	w _{Q,inst(2)}	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
24	w _{Q,inst(3)}	1.0000	LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung

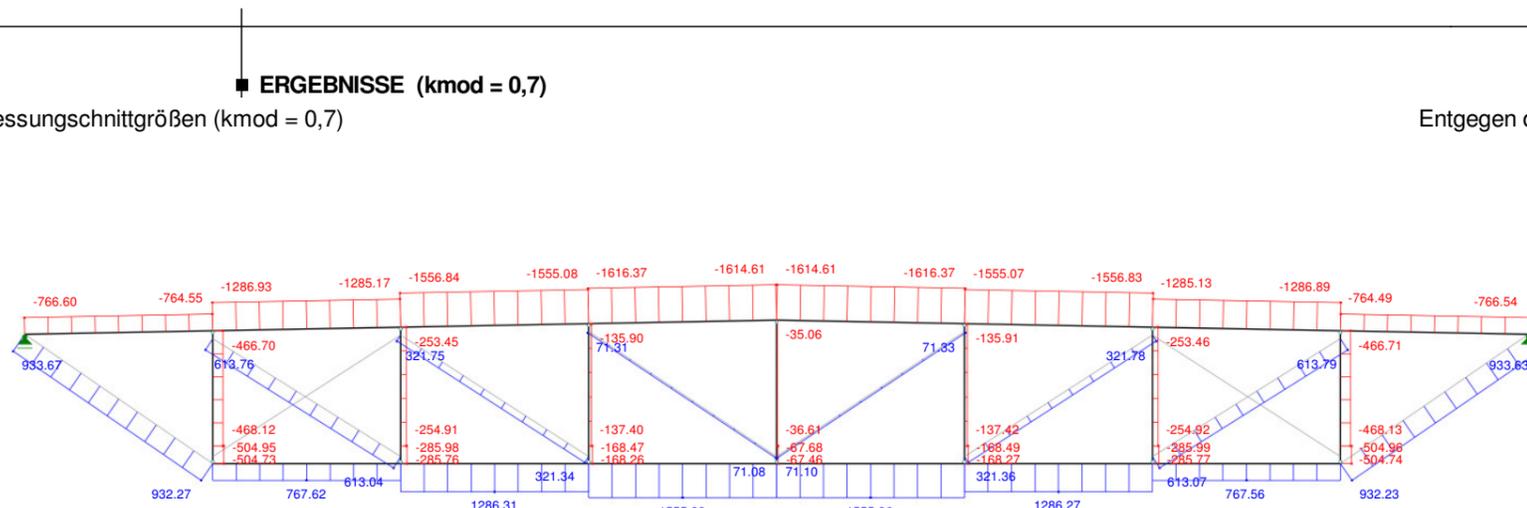
6.4.1.2 Bemessungsschnittgrößen für die Nachweisführung der Tragfähigkeit mit $k_{mod} = 0,7$

Wegen des hohen Anteils an *Lang-Zeitlasten* erweist sich die Kombination der Bemessungsschnittgrößen für den Modifikationsbeiwert $k_{mod} = 0,7$ als jene mit der höchsten rechnerischen Auslastung der Bauteile und ist maßgebend für die Bemessung des Tragwerks.

■ **ERGEBNISSE (kmod = 0,7)**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
N

Entgegen der Y-Richtung



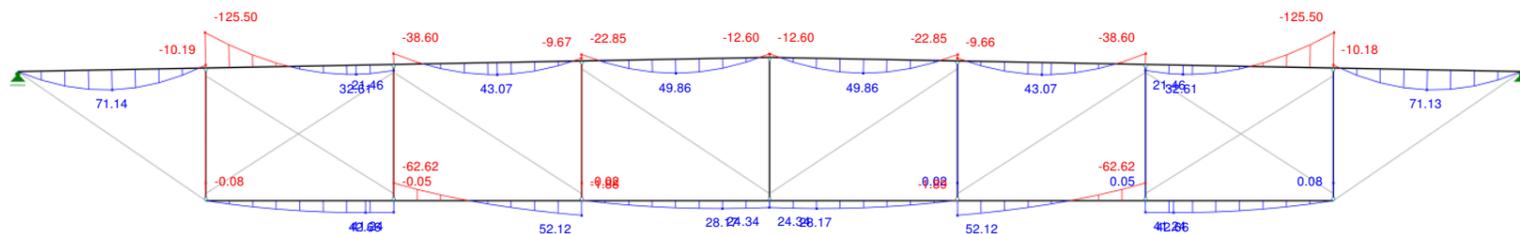
Max N: 1555.98, Min N: -1616.37 [kN]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
M-y

Entgegen der Y-Richtung



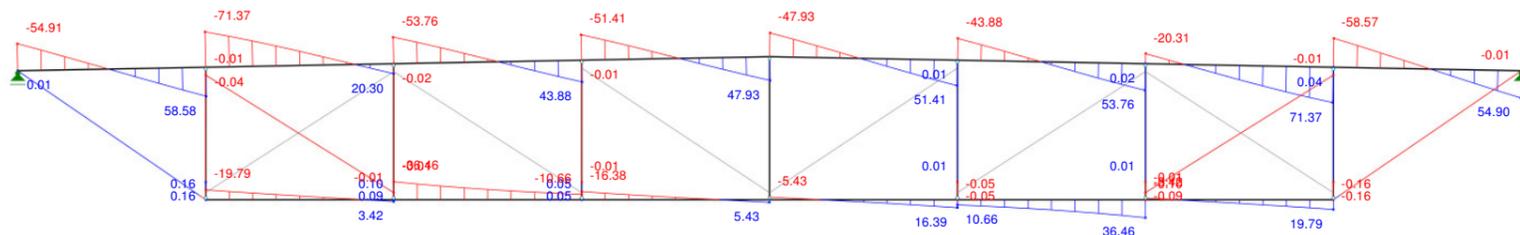
Max M-y: 71.14, Min M-y: -125.50 [kNm]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
V-z

Entgegen der Y-Richtung



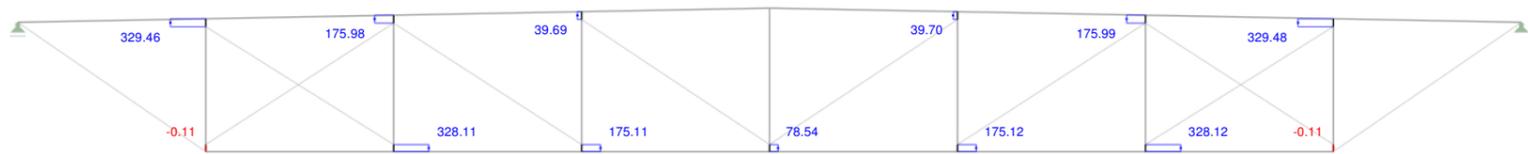
Max V-z: 71.37, Min V-z: -71.37 [kN]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
N

Entgegen der Y-Richtung



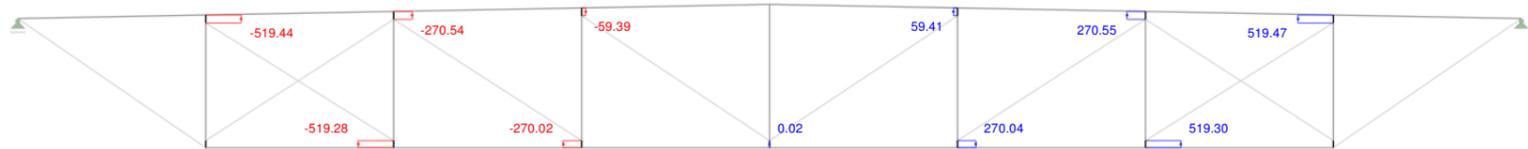
Max N: 329.48, Min N: -0.11 [kN]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
V-z

Entgegen der Y-Richtung



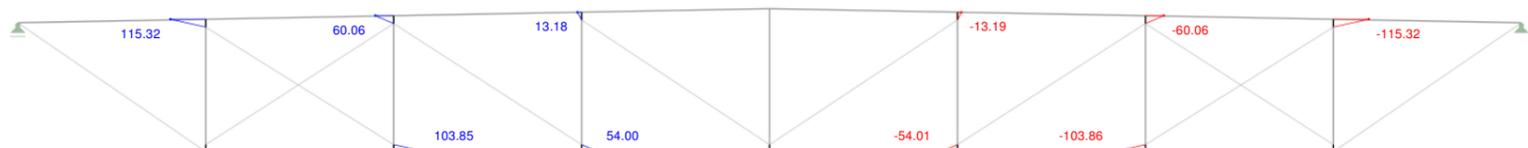
Max V-z: 519.47, Min V-z: -519.44 [kN]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen (kmod = 0,7)
M-y

Entgegen der Y-Richtung

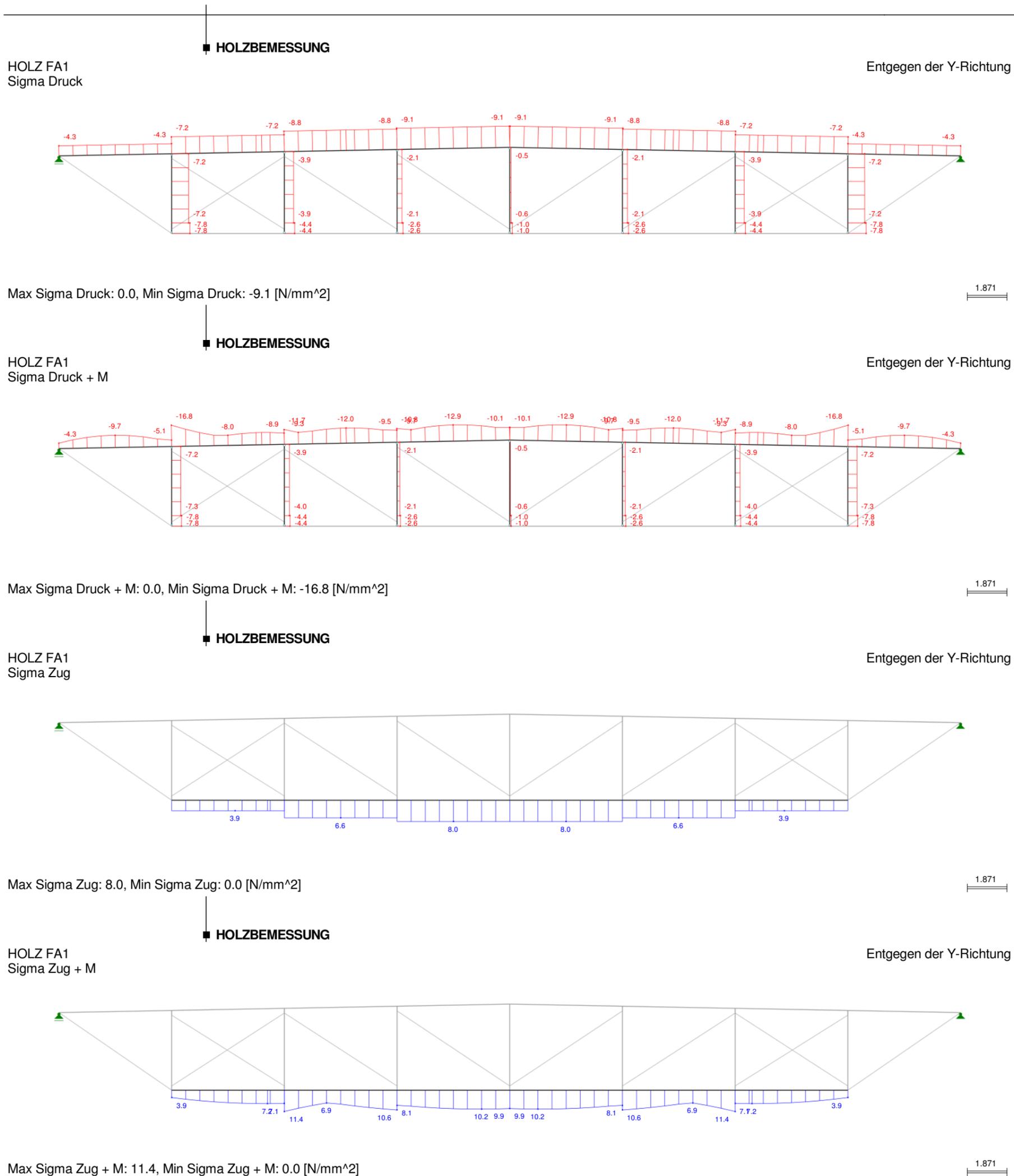


Max M-y: 115.32, Min M-y: -115.32 [kNm]

2.000 [m]

6.4.1.3 Vorherrschende Bemessungsspannungen

Die ermittelten Bemessungsspannungen beziehen sich auf den ungeschwächten Querschnitt. Querschnittsschwächungen bei Stäben mit auftretenden Zugspannungen wurden für die Erstellung der Spannungsverläufe nicht berücksichtigt.



6.4.2 Fachwerkträger Typ 2

Der Lasteintrag aus den Stahlteilen, an welche die Zugstangen angeschlossen sind, erfolgt in die Fachwerkgurte über auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel.

6.4.2.1 Übersicht

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Brettschichtholz GL24c EC5	1160.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
2	Brettschichtholz GL28h EC5	1260.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
3	Brettschichtholz GL32c EC5	1370.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
12	S460N	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

1.3 QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Kommentar
1	Rechteck 400/444	3	1776.00	291761.00	1480.00	
2	Rechteck 400/486y	2	1944.00	259200.00	1620.00	
3	Rechteck 200/323y	1	646.00	21533.30	538.33	
4	2RD 48-252	12	36.20	52.12	30.41	
5	2RD 36-236	12	20.40	16.49	17.14	
6	2RD 27-227	12	11.46	5.22	9.63	
7	2RD 20-224	12	6.28	1.57	5.28	
8	RD 20	12	3.14	0.79	2.64	
9	Dummy Rigid					Hilfsquerschnitt

1.5 STABEXZENTRIZITÄTEN

Exz. Nr.	Bezugs-system	Stabanfang [mm]		Stabende [mm]		Kommentar
		e _{i,x}	e _{i,z}	e _{j,x}	e _{j,z}	
1	Global	0.0	500.0	0.0	220.0	

LASTFÄLLE

LF Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Lastfalltyp	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1	Eigengewicht Tragkonstruktion	1.0000	Ständig	1.00	I. Ordnung
2	Eigengewicht Dachelement g = 0,60kN/m ²	0.6000	Ständig	-	I. Ordnung
11	Schneelast auf Dach sk = 1,10 * 0,80 = 0,88kN/m ²	0.8800	Veränderlich	-	I. Ordnung
21	Nutzlast Haustechnik q = 0,25kN/m ²	0.2500	Veränderlich	-	I. Ordnung
23	Nutzlast Medientechnik Einzellasten 10kN	10.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
24	Nutzlast Ballwurfnetz q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
25	Nutzlast Trennvorhang q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
26	Nutzlast Akustikdecke auf Medienriegel q = 0,40kN/m ²	0.4000	Veränderlich	-	I. Ordnung
31	Nutzlast sonstiges am Untergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
32	Nutzlast sonstiges am Obergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
41	Wind entlastend w = -0,94kN/m ²	-0.9400	Veränderlich	-	I. Ordnung

LASTFALLGRUPPEN

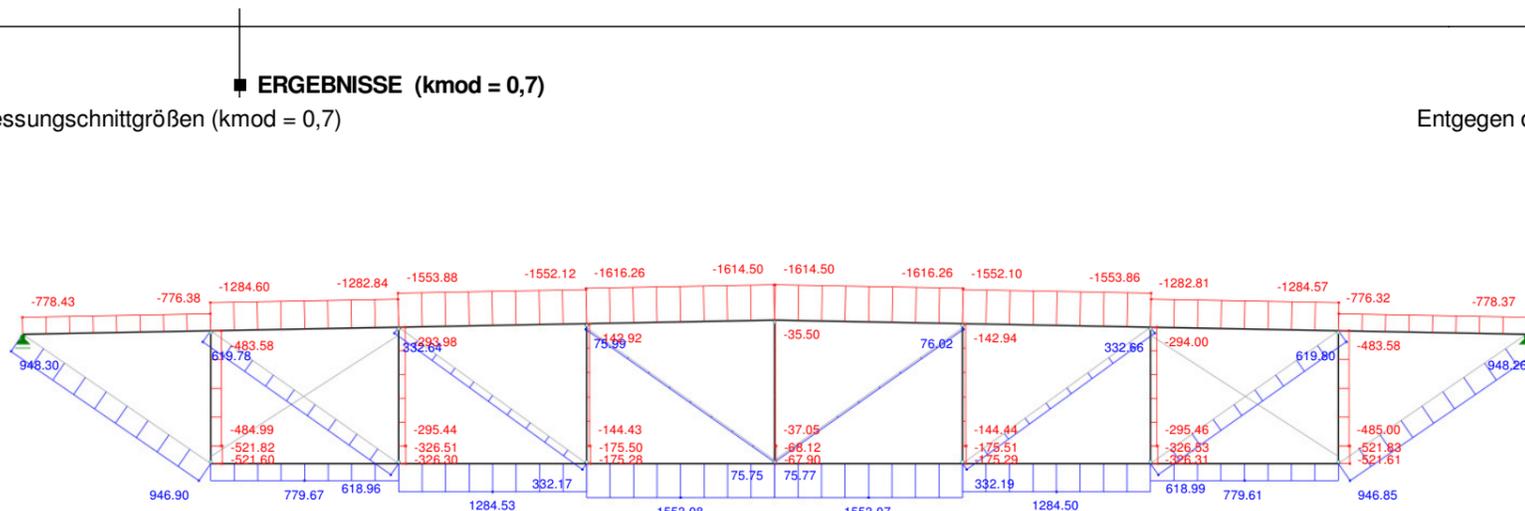
LG Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Lastfälle in LG	Berechnungs-Theorie
1	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,6)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2	II. Ordnung
2	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,7)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 0.75*LF11 + 1.5*LF21 + 1.05*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
3	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,8)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 0.75*LF11 + 1.5*LF21 + 1.5*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
4	Bemessungsschnittgrößen (k _{mod} = 0,9)	1.0000	1.35*LF1 + 1.35*LF2 + 1.5*LF11 + 1.5*LF21 + 1.05*LF23 + 1.5*LF24 + 1.5*LF25 + 1.5*LF26 + 1.5*LF31 + 1.5*LF32	II. Ordnung
11	Bemessung bei Wind-Sog (k _{mod} = 0,9)	1.0000	LF1 + LF2 + 1.5*LF41	II. Ordnung
21	w _{G,inst}	1.0000	LF1 + LF2	II. Ordnung
22	w _{Q,inst(1)}	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
23	w _{Q,inst(2)}	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
24	w _{Q,inst(3)}	1.0000	LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung

6.4.2.2 Bemessungsschnittgrößen für die Nachweisführung der Tragfähigkeit mit $k_{mod} = 0,7$

■ **ERGEBNISSE** ($k_{mod} = 0,7$)

LG2: Bemessungsschnittgrößen ($k_{mod} = 0,7$)
N

Entgegen der Y-Richtung



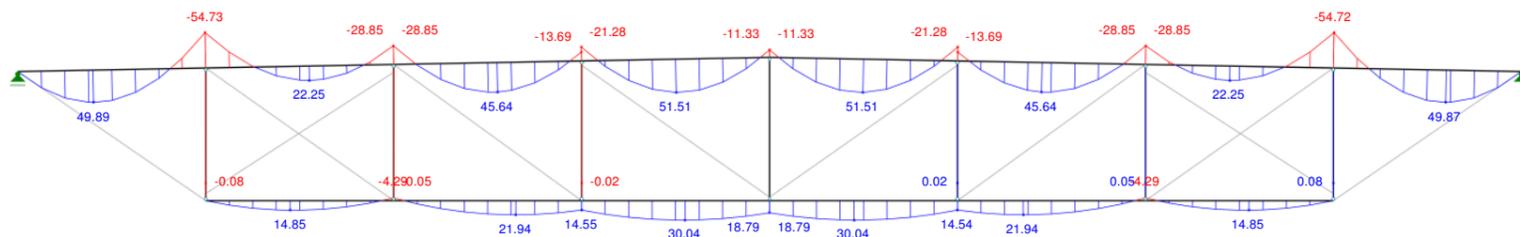
Max N: 1553.08, Min N: -1616.26 [kN]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen ($k_{mod} = 0,7$)
M-y

Entgegen der Y-Richtung



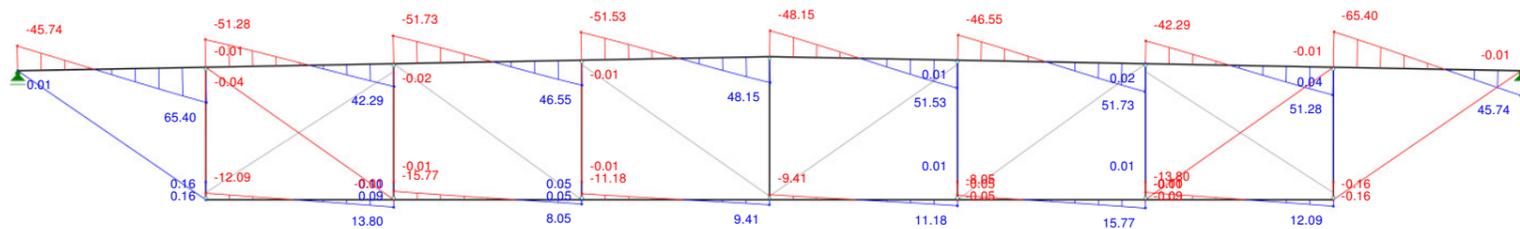
Max M-y: 51.51, Min M-y: -54.73 [kNm]

2.000 [m]

■ **ERGEBNISSE**

LG2: Bemessungsschnittgrößen ($k_{mod} = 0,7$)
V-z

Entgegen der Y-Richtung

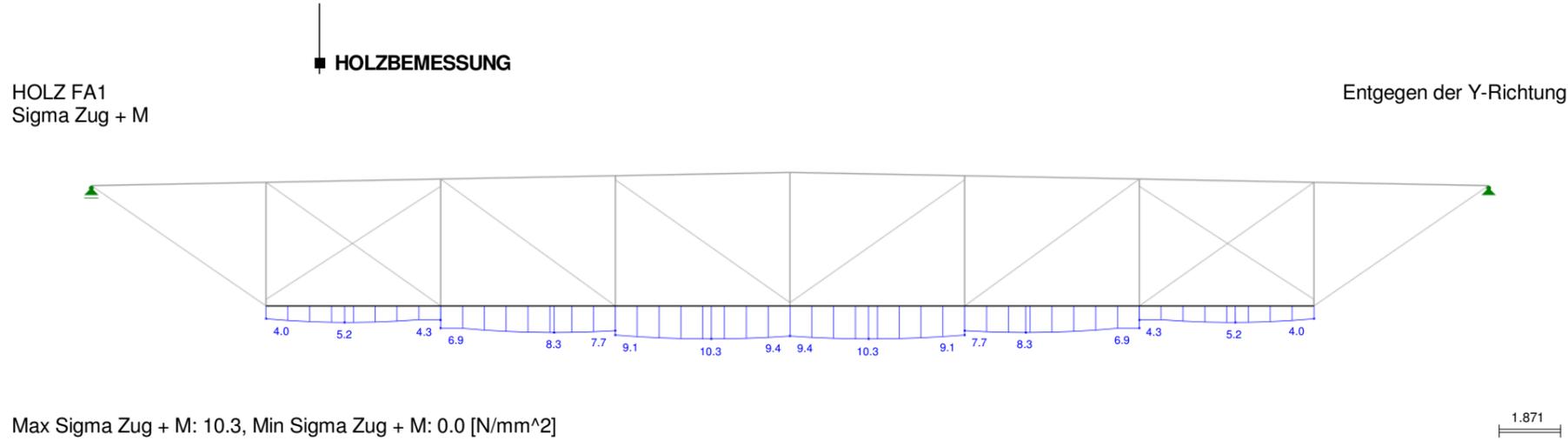
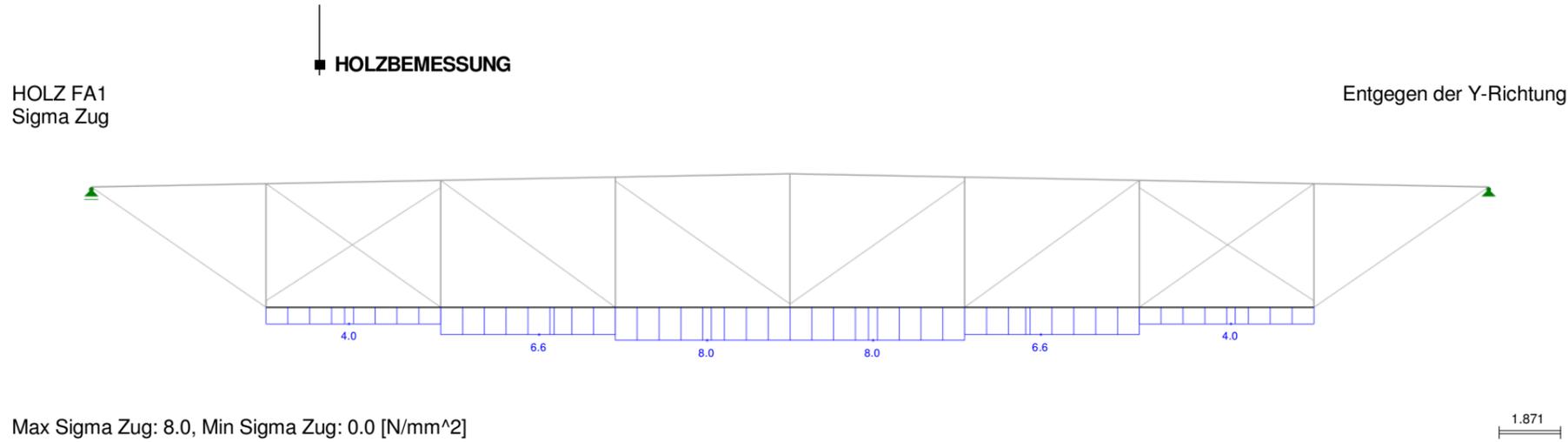
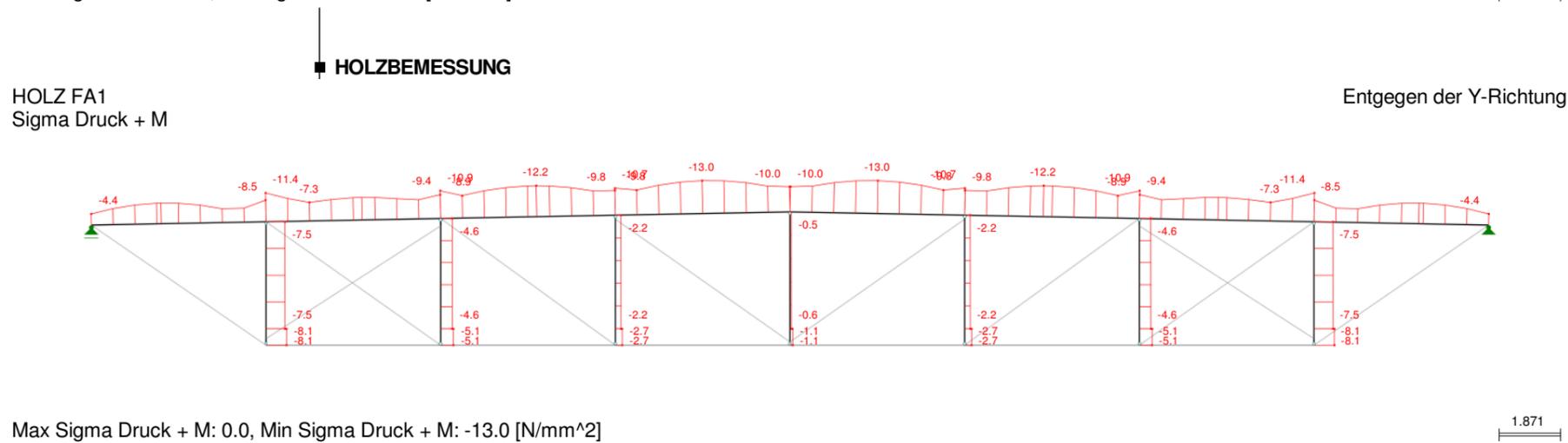
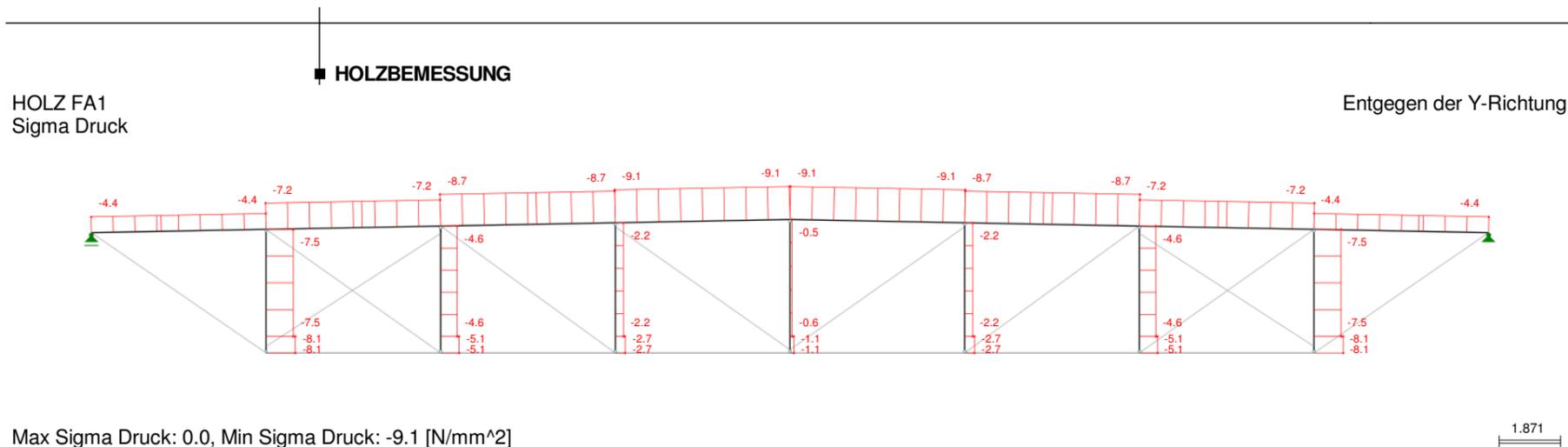


Max V-z: 65.40, Min V-z: -65.40 [kN]

2.000 [m]

6.4.2.3 Vorherrschende Bemessungsspannungen

Die ermittelten Bemessungsspannungen beziehen sich auf den ungeschwächten Querschnitt. Querschnittsschwächungen bei Querschnitten mit auftretenden Zugspannungen wurden für die Erstellung der Spannungsverläufe nicht berücksichtigt.



6.5 Berechnete Verformungen

6.5.1 Fachwerkträger Typ 1

6.5.1.1 Übersicht

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Brettschichtholz GL24c EC5	1160.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
2	Brettschichtholz GL28h EC5	1260.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
3	Brettschichtholz GL32c EC5	1370.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
5	Brettschichtholz GL24c EC5 1160*0,73	847.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
6	Brettschichtholz GL28h EC5 1260*0,73	920.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
7	Brettschichtholz GL32c EC5 1370*0,73	1000.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
13	S460N	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

1.3 QUERSCHNITTE mit Selektion

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Kommentar
1	Rechteck 400/444	3	1776.00	291761.00	1480.00	
2	Rechteck 400/486y	2	1944.00	259200.00	1620.00	
3	Rechteck 200/323y	1	646.00	21533.30	538.33	
4	2RD 48-252	13	36.20	52.12	30.41	
5	2RD 36-236	13	20.40	16.49	17.14	
6	2RD 27-227	13	11.46	5.22	9.63	
7	2RD 20-224	13	6.28	1.57	5.28	
8	RD 20	13	3.14	0.79	2.64	
11	Rechteck 400/444	7	1776.00	291761.00	1480.00	Obergurt mit reduzierter Steifigkeit
12	Rechteck 400/486y	6	1944.00	259200.00	1620.00	Untergurt mit reduzierter Steifigkeit
13	Rechteck 200/323y	5	646.00	21533.30	538.33	Vertikalstäbe mit reduzierter Steifigkeit

LASTFÄLLE

LF Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Lastfalltyp	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1	Eigengewicht Tragkonstruktion	1.0000	Ständig	1.00	I. Ordnung
2	Eigengewicht Dachelement g = 0,60kN/m ²	0.6000	Ständig	-	I. Ordnung
11	Schneelast auf Dach s _k = 1,10 * 0,80 = 0,88kN/m ²	0.8800	Veränderlich	-	I. Ordnung
21	Nutzlast Haustechnik q = 0,25kN/m ²	0.2500	Veränderlich	-	I. Ordnung
23	Nutzlast Medientechnik Einzellasten 10kN	10.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
24	Nutzlast Ballwurfnetz q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
25	Nutzlast Trennvorhang q = 0,60kN/m	0.6000	Veränderlich	-	I. Ordnung
26	Nutzlast Akustikdecke auf Medienriegel q = 0,40kN/m ²	0.4000	Veränderlich	-	I. Ordnung
31	Nutzlast sonstiges am Untergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
32	Nutzlast sonstiges am Obergurt q = 0,30kN/m ²	0.3000	Veränderlich	-	I. Ordnung
41	Wind entlastend w = -0,94kN/m ²	-0.9400	Veränderlich	-	I. Ordnung

LASTFALLGRUPPEN

LG Nr.	LG-Bezeichnung	Faktor	Lastfälle in LG	Berechnungs-Theorie
21	wG.inst / wG.fin / wG.fin	1.0000	LF1 + LF2	II. Ordnung
22	wQ.inst(1) / wQ.fin(1) / wQ.fin(1)	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
23	wQ.inst(2) / wQ.fin(2) / wQ.fin(2)	1.0000	0.6*LF11 + LF21 + LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung
24	wQ.inst(3) / wQ.fin(3) / wQ.fin(3)	1.0000	LF11 + LF21 + 0.7*LF23 + LF24 + LF25 + LF26 + LF31 + LF32	II. Ordnung

EINSTELLUNGEN FÜR NICHTLINEARE BERECHNUNG

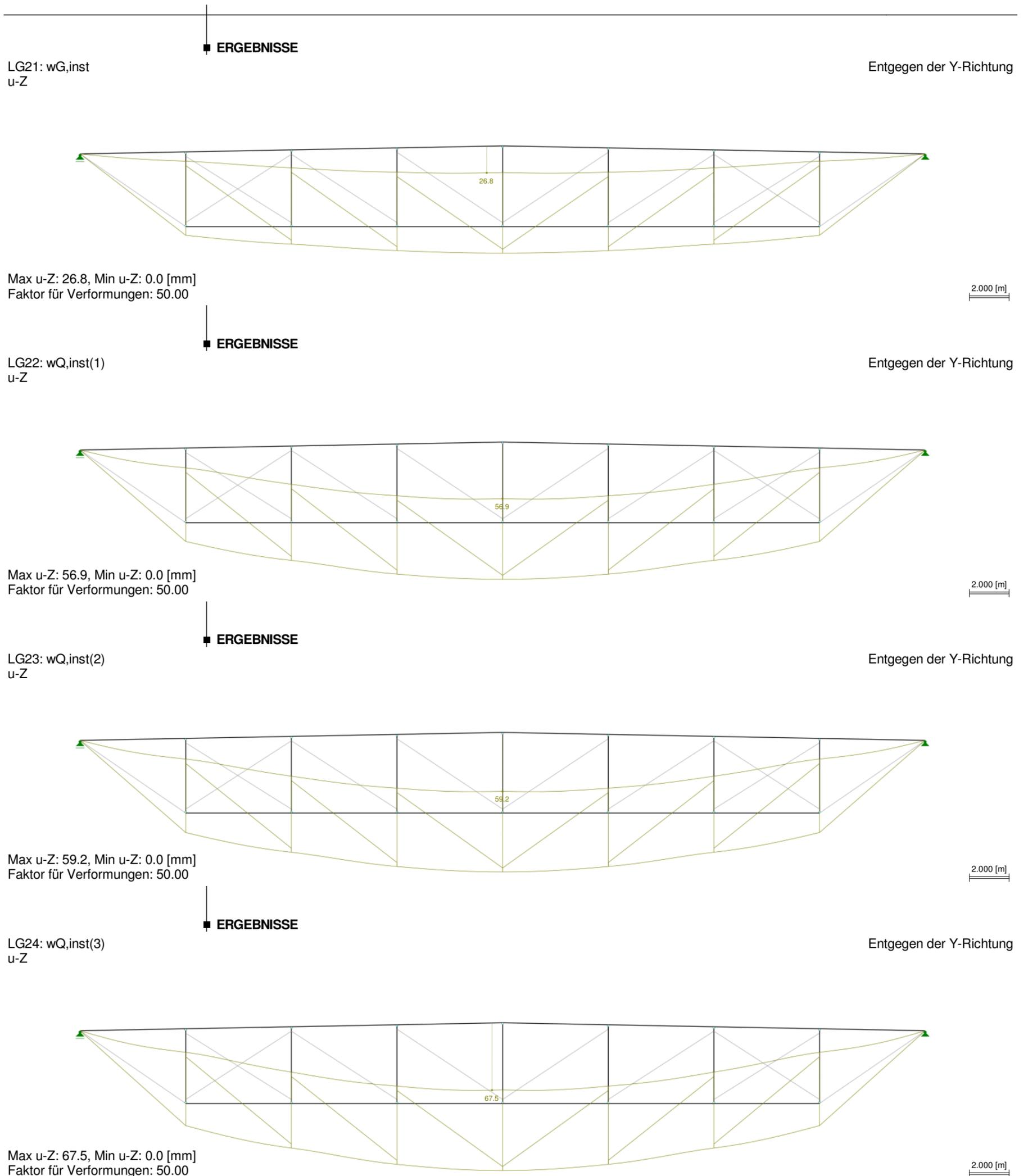
LG Nr.	LG-Bezeichnung	Entlastende Wirkung durch Zugkräfte	Ergebnisse zurückdividieren Faktor zurückdividieren	Steifigkeit durch Gamma-M reduzieren
21	wG.inst / wG.fin / wG.fin	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	wQ.inst(1) / wQ.fin(1) / wQ.fin(1)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	wQ.inst(2) / wQ.fin(2) / wQ.fin(2)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	wQ.inst(3) / wQ.fin(3) / wQ.fin(3)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LASTFALLKOMBINATIONEN

LK Nr.	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
1	winst / wfin / wfin	LG21 + LG22 oder LG23 oder LG24

6.5.1.2 Verformungsbilder

Die Anfangsverformungen infolge ständiger Last und veränderlicher Last bei unterschiedlicher Kombination aus der führenden veränderlichen Last ergeben sich wie folgt:



Die auftretenden Verformungen aus der errechneten Anfangsverformung w_{inst} (oberste Grafik) mit der errechneten Enddurchbiegung w_{fin} (mittlere und untere Grafik) werden gegenübergestellt.

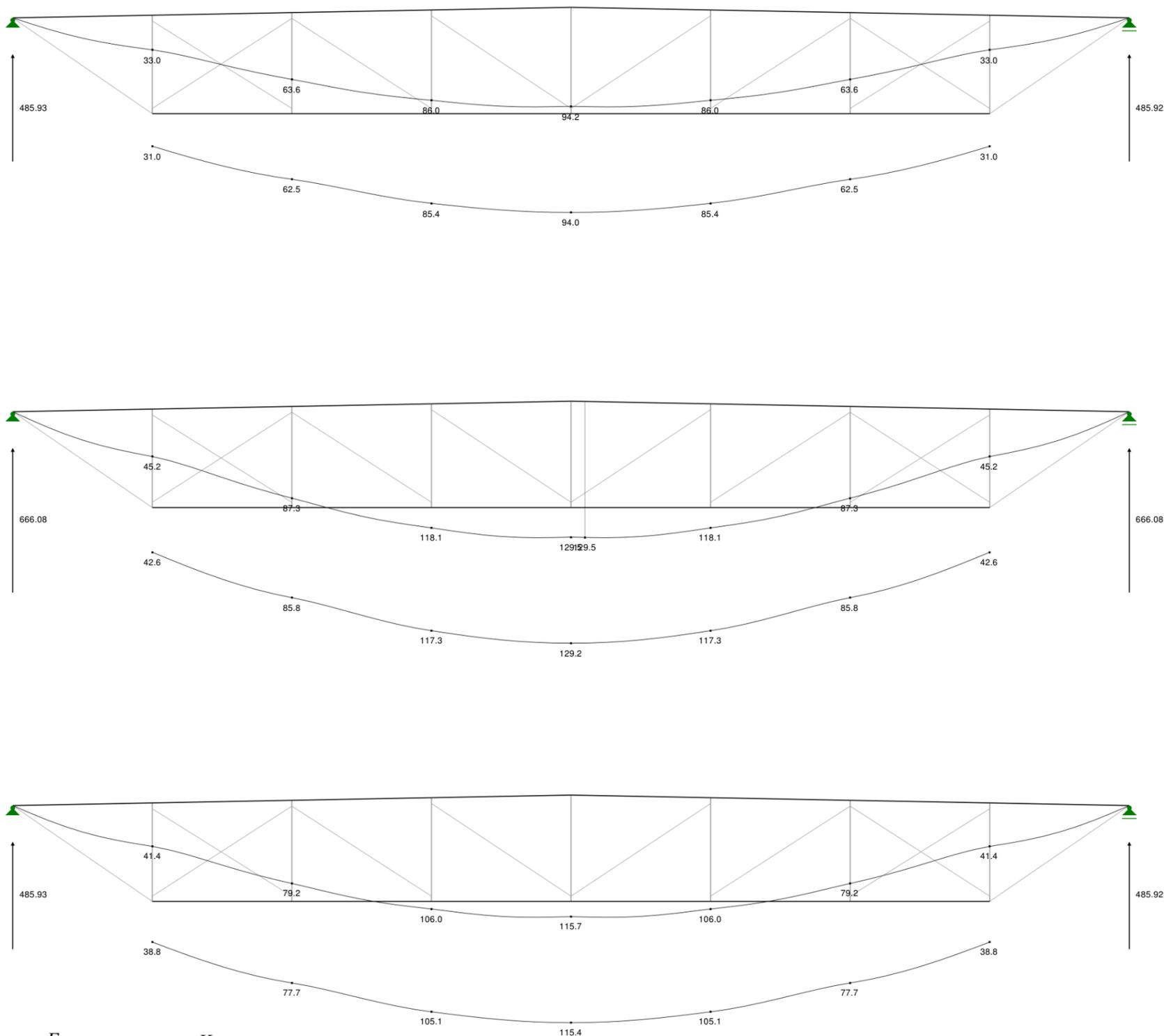
Die in der mittleren Grafik dargestellte Verformung wurde über die Erhöhung der Lasten ermittelt. Die Lasterhöhung erfolgte basierend auf den Vorgaben der EN 1995-1-1. Bei diesem Berechnungsverfahren kommt es zu einer Verfälschung des Ergebnisses, da bei der betrachtenden Stahl-Holz-Mischkonstruktion für die Zugstangen in Stahl entgegen der getroffenen Annahme keine Kriechverformungen zu erwarten sind.

Für das errechnete Ergebnis der Verformung, dargestellt in der untersten Grafik, wird diese Rechenungenauigkeit über den Ansatz mit reduzierten Steifigkeitswerten für das Holz ($E_{0,mean,fin}$, $K_{ser,fin}$) deutlich.

■ ERGEBNISSE

LK1: w_{inst} / w_{fin} / w_{fin}
Lagerreaktionen
u-Z

In Y-Richtung



$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1,37}, \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1,37}$$

Max u-Z: 129.5, Min u-Z: 0.0 [mm]
Faktor für Verformungen: 40.00

1.876 [m]



6.5.2 Fachwerkträger Typ 2

6.5.2.1 Übersicht

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Brettschichtholz GL24c EC5	1160.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
2	Brettschichtholz GL28h EC5	1260.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
3	Brettschichtholz GL32c EC5	1370.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
5	Brettschichtholz GL24c EC5 1160*0,73	847.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
6	Brettschichtholz GL28h EC5 1260*0,73	920.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
7	Brettschichtholz GL32c EC5 1370*0,73	1000.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
13	S460N	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

1.3 QUERSCHNITTE mit Selektion

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Kommentar
1	Rechteck 400/444	3	1776.00	291761.00	1480.00	
2	Rechteck 400/486y	2	1944.00	259200.00	1620.00	
3	Rechteck 200/323y	1	646.00	21533.30	538.33	
4	2RD 48-252	13	36.20	52.12	30.41	
5	2RD 36-236	13	20.40	16.49	17.14	
6	2RD 27-227	13	11.46	5.22	9.63	
7	2RD 20-224	13	6.28	1.57	5.28	
8	RD 20	13	3.14	0.79	2.64	
11	Rechteck 400/444	7	1776.00	291761.00	1480.00	Obergurt mit reduzierter Steifigkeit
12	Rechteck 400/486y	6	1944.00	259200.00	1620.00	Untergurt mit reduzierter Steifigkeit
13	Rechteck 200/323y	5	646.00	21533.30	538.33	Vertikalstäbe mit reduzierter Steifigkeit

1.4 STABENDGELENKE

Gelenk Nr.	Bezugs-system	Gelenk / Feder [N/mm], [Nm/rad]			Kommentar
		N	V _z	M _y	
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5150*8*12=494.400N/mm + 0,5mm Schlupf
4	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	5150*8*10=412.000N/mm + 0,5mm Schlupf
6	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5150*8*12*0,73=355.700N/mm + 0,5mm Schlupf
7	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	5150*8*10*0,73=297.000N/mm + 0,5mm Schlupf

1.4.2 STABENDGELENKE - NICHTLINEARITÄTEN - ARBEITSDIAGRAMM

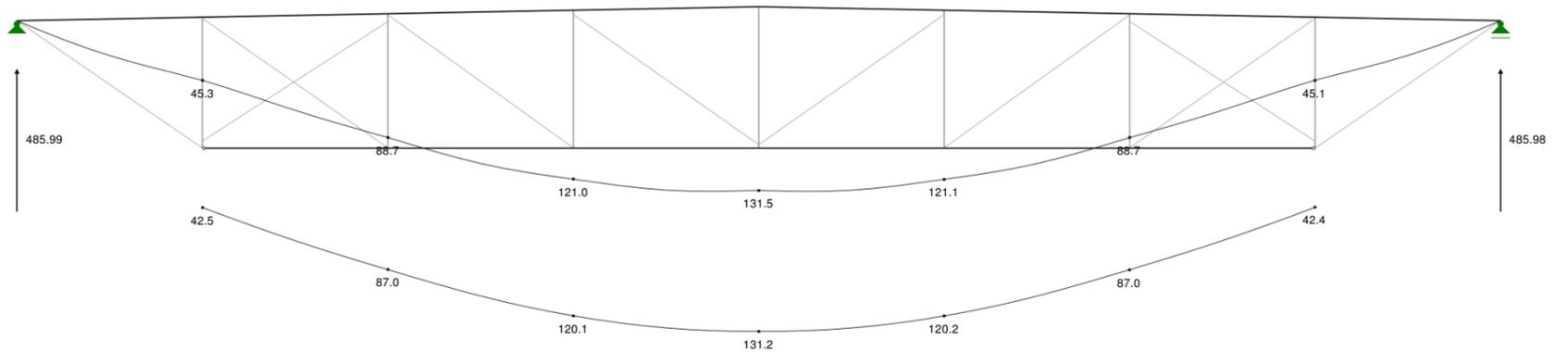
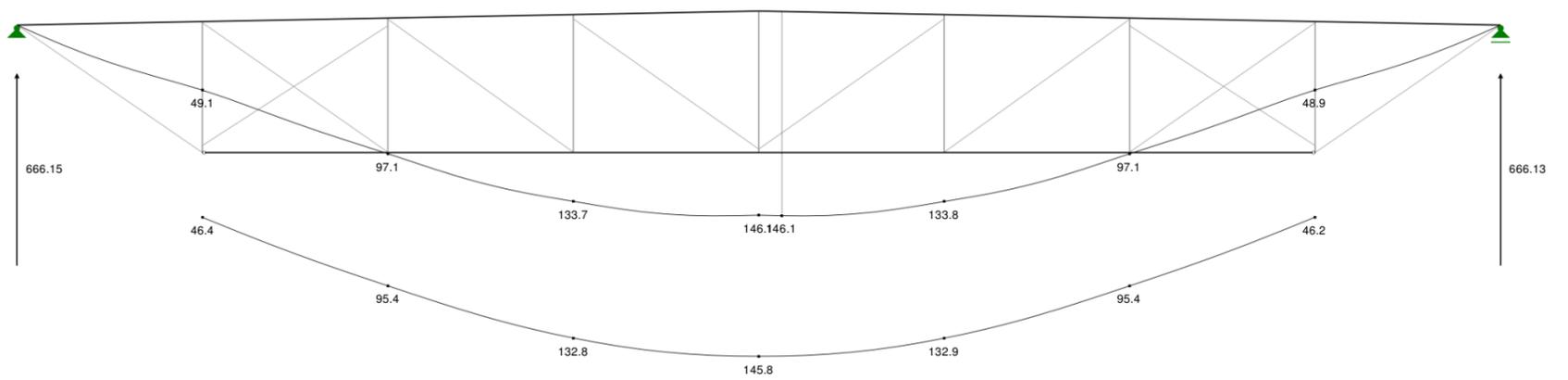
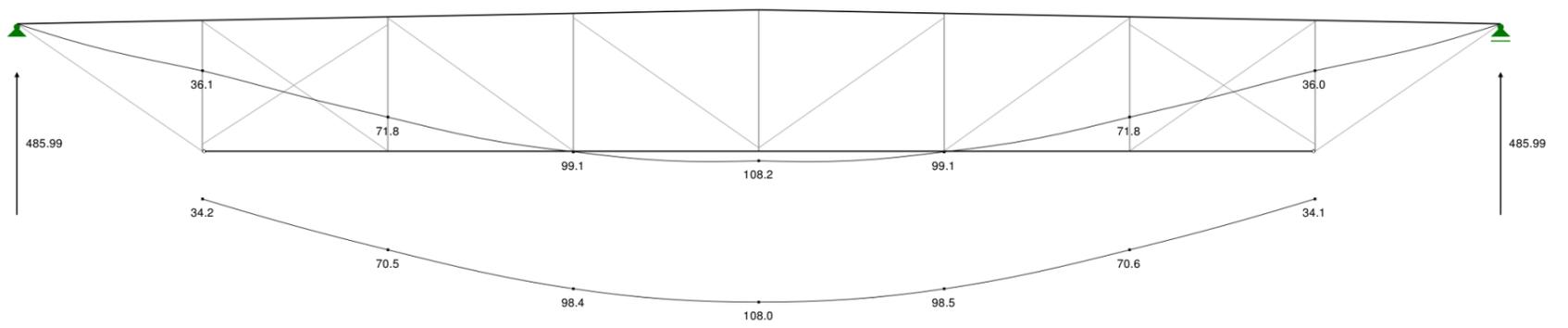
Gelenk Nr.	Freiheits-grad	u, φ [mm, rad]	P, M [N, Nm]	Kommentar
3	u _x	0.5	0.0	
		1.5	494400.0	
		> 1.5	fortlaufend	konstante Steifigkeit
4	u _y	0.5	0.0	
		1.5	412000.0	
		> 1.5	fortlaufend	konstante Steifigkeit
6	u _x	0.5	0.0	
		1.5	355700.0	
		> 1.5	fortlaufend	konstante Steifigkeit
7	u _y	0.5	0.0	
		1.5	297000.0	
		> 1.5	fortlaufend	konstante Steifigkeit

6.5.2.2 Verformungsbilder

■ ERGEBNISSE

LK1: winst / wfin / wfin
Lagerreaktionen
u-Z

In Y-Richtung



Max u-Z: 146.1, Min u-Z: 0.0 [mm]
Faktor für Verformungen: 40.00

1.876 [m]



6.5.3 Fachwerkträger Typ 3

Für einen weiteren Vergleich wurde ein Fachwerk mit allen Stäben in Brettschichtholz berechnet. Bei diesem Fachwerkstyp werden die Zugstäbe wie auch die Gurte über Stabdübel und Passbolzen an den Knotenblechen angeschlossen.

6.5.3.1 Übersicht

1.2 MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehn. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Brettschichtholz GL24c EC5	1160.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
2	Brettschichtholz GL28h EC5	1260.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
3	Brettschichtholz GL32c EC5	1370.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
5	Brettschichtholz GL24c EC5 1160*0,73	847.00	59.00	5.00	5.0000E-06	1.250
6	Brettschichtholz GL28h EC5 1260*0,73	920.00	72.00	5.00	5.0000E-06	1.250
7	Brettschichtholz GL32c EC5 1370*0,73	1000.00	78.00	5.00	5.0000E-06	1.250
13	S460N	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

1.3 QUERSCHNITTE mit Selektion

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]	Kommentar
1	Rechteck 400/444	3	1776.00	291761.00	1480.00	
2	Rechteck 400/486y	2	1944.00	259200.00	1620.00	
3	Rechteck 200/323y	1	646.00	21533.30	538.33	
4	Rechteck 360/360	3	1296.00	139968.00	1080.00	
5	Rechteck 320/360y	2	1152.00	98304.00	960.00	
6	Rechteck 240/360y	1	864.00	41472.00	720.00	
7	Rechteck 240/240	1	576.00	27648.00	480.00	
8	RD 20	2	3.14	0.79	2.64	
11	Rechteck 400/444	7	1776.00	291761.00	1480.00	Obergurt mit reduzierter Steifigkeit
12	Rechteck 400/486y	6	1944.00	259200.00	1620.00	Untergurt mit reduzierter Steifigkeit
13	Rechteck 200/323y	5	646.00	21533.30	538.33	Vertikalstäbe mit reduzierter Steifigkeit
14	Rechteck 360/360	7	1296.00	139968.00	1080.00	Zugstab mit reduzierter Steifigkeit
15	Rechteck 320/360y	6	1152.00	98304.00	960.00	Zugstab mit reduzierter Steifigkeit
16	Rechteck 240/360y	5	864.00	41472.00	720.00	Zugstab mit reduzierter Steifigkeit
17	Rechteck 240/240	5	576.00	27648.00	480.00	Zugstab mit reduzierter Steifigkeit

1.4 STABENDGELENKE

Gelenk Nr.	Bezugs-system	Gelenk / Feder [N/mm], [Nm/rad]			Kommentar
		N	V _z	M _y	
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5150*8*12=494.400N/mm + 0,5mm Schlupf
4	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	5150*8*10=412.000N/mm + 0,5mm Schlupf
5	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	625.000N/mm + 0,5mm Schlupf
6	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	410.500N/mm + 0,5mm Schlupf
7	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	210.000N/mm + 0,5mm Schlupf
9	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5150*8*12*0,73=355.700N/mm + 0,5mm Schlupf
10	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	5150*8*10*0,73=297.000N/mm + 0,5mm Schlupf
11	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	625.000*0,73 = 456.000N/mm + 0,5mm Schlupf
12	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	410.500*0,73 = 297.000N/mm + 0,5mm Schlupf
13	Lokal x,y,z	Nichtlinear	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	210.000*0,73 = 153.000N/mm + 0,5mm Schlupf

1.4.2 STABENDGELENKE - NICHTLINEARITÄTEN - ARBEITSDIAGRAMM

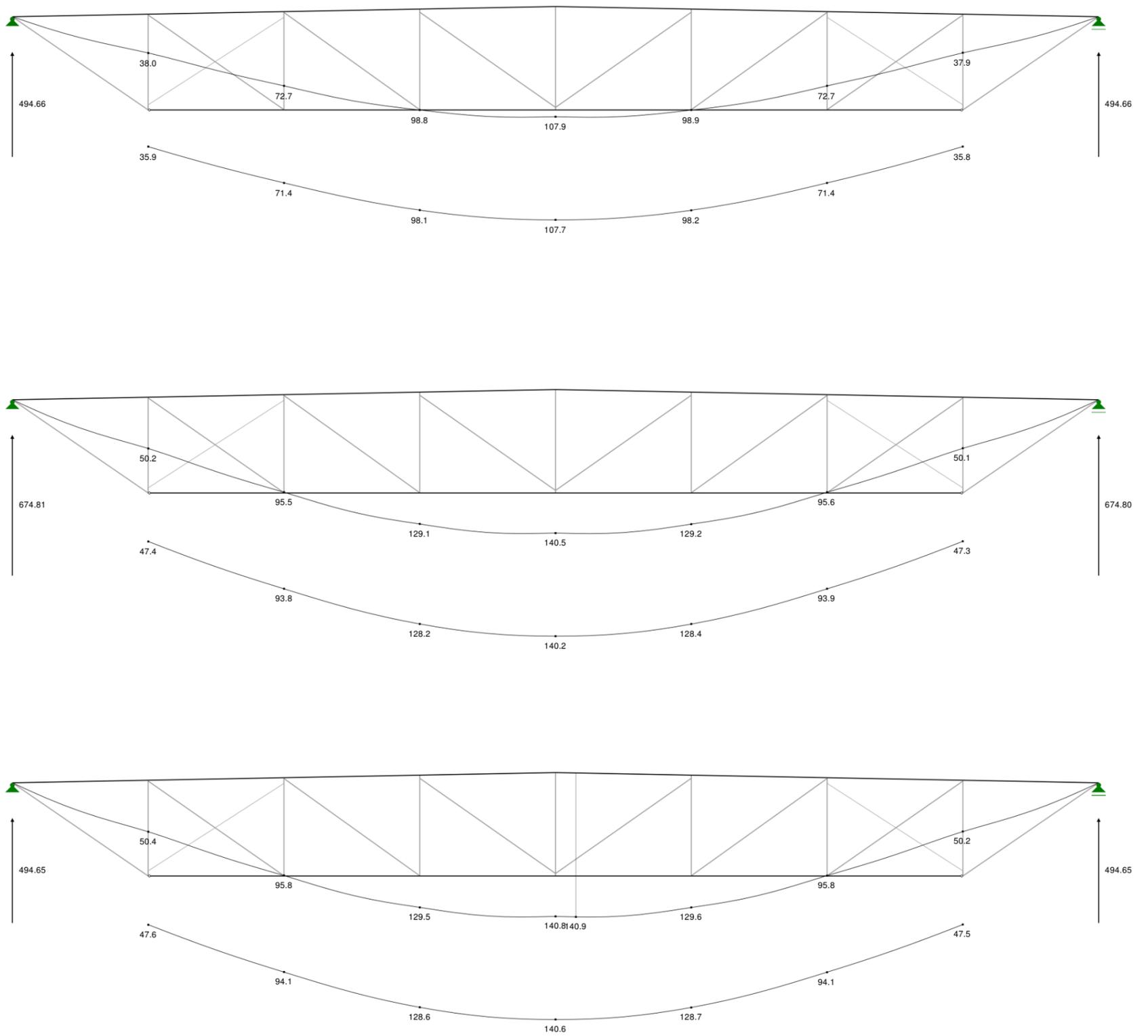
Gelenk Nr.	Freiheits-grad	u, φ [mm, rad]	P, M [N, Nm]	Kommentar
3	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	494400.0	
		> 1.5	fortlaufend	
4	u _y	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	412000.0	
		> 1.5	fortlaufend	
5	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	625000.0	
		> 1.5	fortlaufend	
6	u _y	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	410500.0	
		> 1.5	fortlaufend	
7	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	210000.0	
		> 1.5	fortlaufend	
9	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	355700.0	
		> 1.5	fortlaufend	
10	u _y	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	297000.0	
		> 1.5	fortlaufend	
11	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	456250.0	
		> 1.5	fortlaufend	
12	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	300000.0	
		> 1.5	fortlaufend	
13	u _x	0.5	0.0	konstante Steifigkeit
		1.5	153000.0	
		> 1.5	fortlaufend	

6.5.3.2 Verformungsbilder

■ ERGEBNISSE

LK1: winst / wfin / wfin
 Lagerreaktionen
 u-Z

In Y-Richtung



Max u-Z: 140.9, Min u-Z: 0.0 [mm]
 Faktor für Verformungen: 40.00

1.876 [m]



6.6 Erkenntnisse aus dem Vergleich

6.6.1 Konstruktiver Vergleich der Fachwerkstypen

Über die verschiedenen Verbindungsmitteltechnologien ergeben sich Vergleich zwischen Fachwerk-Typ 2 und Fachwerk-Typ-1 folgende Vorteile für die Verarbeitung.

Die Befestigung mit Vollgewindeschrauben ermöglicht eine Vereinfachung bei den Stahlteilen. Der Stahlteil wird auf den Fachwerkurt aufgesetzt und angeschraubt. Aufwändige Stahlteile mit Schlitzblechen sowie die dafür notwendigen Fräsungen im Brettschichtholzträger sind nicht erforderlich. Die Fertigungstoleranzen von Bohrungen im Stahlblech und im Holzträger stellen kein Problem dar, da im Unterschied zu den Stabdübeln und Bolzen für das Eindrehen der selbstbohrenden Vollgewindeschrauben kein zusätzliches Bohren im Holz notwendig ist.

Unter Berücksichtigung von notwendigen Fertigungstoleranzen bieten Fachwerksysteme mit Zugstangen in Stahl den Vorteil, dass die Länge der bei Zugstangensystemen mit Gabelköpfen über an den Enden vorgesehenen Gewinde, verändert werden können. Dadurch können Fertigungsungenauigkeiten einfach ausgeglichen werden.

6.6.2 Erkenntnisse aus den statischen Systemen

Für Fachwerkknoten nach Detail C ist aus den Bemessungsergebnissen (6.4.1.2) erkennbar, dass sich über den Anteil der Versatzmomente ein erheblicher Einfluss auf die Bemessung der Fachwerksturte ergibt.

Bei einem zu stark idealisierten System werden diese auftretenden Spannungen in der Konstruktion nicht berücksichtigt. Die geometrischen Einflüsse aus Anschlussknoten sind daher bei der Modellierung der Tragstruktur entsprechend zu berücksichtigen.

6.6.3 Erkenntnisse aus den Verformungsbildern

6.6.3.1 Gegenüberstellung der ermittelten Werte aus der Verformung

System	Anfangsverformung		Endverformung	
			Lasterhöhung	Reduziere Steifigkeiten
Fachwerk-Typ 1	94,0mm	100%	129,2mm	115,4mm
Fachwerk-Typ 2	108,0mm	115%	145,8mm	131,2mm
Fachwerk-Typ 3	107,7mm	115%	140,2mm	140,6mm

6.6.3.2 Erläuterung der Verformungsergebnisse

Die Erhöhung der Verformung zwischen den Fachwerks-Typen 1 und 2 ist auf die höhere Nachgiebigkeit der auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittel zurückzuführen. Beim Fachwerk-Typ 3 wird die höhere Nachgiebigkeit der Verbindungsknoten über die höhere Steifigkeit der Brettschichtholzdiagonalen ausgeglichen.

Für die Ermittlung der Endverformung, welche das Kriechverhalten der Holzkonstruktion berücksichtigt, wurde die Methode der erhöhten Belastung mit dem der reduzierten Steifigkeiten gegenübergestellt. Da in diesem betrachteten Fall die Stahlstäbe keinen Kriechverformungen unterliegen, ergeben sich nach der Berechnungsmethode mittels Simulation von Kriechverformungen bei Laststeigerung sehr konservative Werte für die Verformung.

Im Vergleich zu Verformungsberechnungen über die reduzierten Steifigkeitswerte weisen die rechnerisch ermittelten Ergebnisse eine Abweichung von ca.11% auf.

Der Reduktionsfaktor für reduzierte Steifigkeiten wurde wie folgt ermittelt:

Ermittelte Abminderung
$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1,37} \qquad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1,37}$$

Abminderung nach EN 1995-1-1
$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{(1 + \psi_2 * k_{def})} \qquad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 * k_{def})}$$

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{(1 + 0,8 * 0,6)} = \frac{E_{0,mean}}{1,48}$$

Stellt man diese beiden Annahmen gegenüber, ergibt sich eine gute Übereinstimmung. Die Abweichung der Gesamtverformung des Fachwerkes liegt bei 2%.

6.6.3.3 Fazit zu den Verformungsergebnissen

Die rechnerische Ermittlung der Endverformungen von *Hybrid-Konstruktionen* aus Holz und Stahl sollte unter Berücksichtigung der reduzierten Steifigkeiten erfolgen. Für eine effiziente Bemessung ist die einfache Methode für die Festlegung des Reduktionsfaktors erforderlich. Die Umlegung des Zusammenhanges mit dem Kombinationsbeiwert ψ_2 auf weitere Fälle wird im Zuge dieser Arbeit nicht weiter untersucht.

6.7 Schlussfolgerung

Zusammenfassend stellen sich anhand der verglichenen Systeme, Fachwerkträger aus Brettschichtholz in Kombination mit Fachwerksdiagonalen in Stahl und axial belastete Vollgewindeschrauben für die Verankerung der Lasten im Holz als eine gute Systemlösung heraus.

Im Vergleich zu Anschlusslösungen mit aus Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln ergeben sich geometrische Vereinfachungen bei den Stahlteilen und bei den Fertigungstoleranzen. Der geometrisch einfache Aufbau der Stahlteile bietet eine gute Basis zur Entwicklung von Systemanschlüssen.

Die Einflüsse aus dem zu erwartenden Tragwerksverhalten sind in der Modellierung des statisch idealisierten Stabsystems zu berücksichtigen. Eine Ausmitte bei hochbeanspruchten Knoten und Stäben verursacht ein entsprechend hohes Versatzmoment und führt zu einer erhöhten Spannungsbelastung.

Vollgewindeschrauben bieten ein hohes Tragpotenzial.

Da Vollgewindeschrauben bei axialer Beanspruchung wesentlich höhere Traglasten und höhere Steifigkeitseigenschaften im Vergleich zur Beanspruchung auf Abscheren aufweisen, sind Anschlüsse so auszubilden, dass die Schrauben nur axial beansprucht werden können. Bei Anschlüssen sind daher die Verschraubungen so anzuordnen, dass einer Querbeanspruchung der einzelnen Schrauben auszuschließen ist. Zusätzlich sind die Verschraubungen so anzuordnen, dass sie einen großen Bereich des Querschnittes erfassen und somit eine gleichmäßige Lasteinleitung in den Holzquerschnitt und eine gute Auslastung des Stabes ermöglichen.

Axial belastete Vollgewindeschrauben ermöglichen wegen ihrer hohen Steifigkeit eine nur geringe Verformungssteigerung der Gesamtkonstruktion.

7 Übersichtstabelle

		Stabdübel, Passbolzen, Bolzen	Vollgewindeschrauben
		Auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel	Hauptbelastung in Richtung der Verbindungsmittelachse
	Form der Stahlteile		++ Einfache Form der Stahlteile
		Sehr komplexe Form der Stahlteile - Hohe Anforderung an die Maßtoleranz der Bohrungen für die Verbindungsmittel	
$F_{R,k}$ $F_{R,d}$	Berechnung der Tragfähigkeit	++ Sehr genaue Festlegungen in den Normen Die Bemessung erfolgt nach der Theorie von Johansen	+ Regelung über die Norm gegeben Die Berechnung auf Abscheren erfolgt nach der Theorie von Johansen
			- Die Zulassungen der einzelnen Hersteller weisen unterschiedliche Bemessungsformeln für die Traglasten auf
n_{eff}	Effektiv wirksame Anzahl der Verbindungsmittel bei einem Anschluss	+ Ausreichende Regelung in der Norm	
			- Regelung in der EN 1995-1-1 vorhanden Größere Abweichungen zur DIN 1052:2004 schafft Unsicherheit (konservative Annahme in der EN 1995-1-1)
	Duktilität	+ Es kann ein hohes Duktilitätsmaß erreicht werden (zus. Spaltzugverstärkungen zur Vermeidung des Aufspaltens)	
		- Falsch ausgelegte Verbindungen können ein sprödes Versagen aufweisen	- Sehr geringes Duktilitätsmaß, sprödes Bruchversagen
	Steifigkeit		++ Hohe Steifigkeit, da eine schlupffreie Anbindung erfolgt
		+/- Abhängig von der Ausführungsqualität und den Fertigungstoleranzen Anfangsverschiebung aus Schlupf	

		Stabdübel, Passbolzen, Bolzen	Vollgewindeschrauben
K_{ser}	Verschiebungsmodul Gebrauchslast	+ Gute Übereinstimmung zwischen Versuchsergebnissen mit den Vorgaben der Norm	
			- Keine Festlegung in der Norm
K_u	Verschiebungsmodul unter Traglast	- Der Wert der Norm stimmt mit dem aus Versuchen ermittelten Werten schlecht überein Wird wesentlich über die Duktilität der Verbindung beeinflusst, der Einfluss aus sprödem Versagen wird nicht berücksichtigt	- Keine Festlegung in der Norm
R30 R60	Brandverhalten	++ Maßnahmen für R30 gut umsetzbar Erhöhung der Randabstände	
			+/- R30/R60 Mangelnde Regelung in der Norm Erhöhung der Randabstände
		- Regelungen für R60 in der Norm nicht ausreichend	
	Aufwand für das Einbringen der Verbindungsmittel		++ Einfache Herstellung; keine vorherige Bearbeitung des Holzes notwendig Direktes Eindrehen der Schraube bei selbstbohrenden Schrauben und Vollgewindeschrauben ist kein Vorbohren notwendig
		- Aufwändige Herstellung, Vorbohren der Löcher, eventuell zus. Einfräsungen für Stahlteile	
$F_{t,R}$ $F_{t,d}$	Zuganschluss		++ Steigerung der Tragfähigkeit bis zur vollen Auslastung der Zugtragfähigkeit des Holzstabes möglich 100% - Holz-Nettobruch
		- Steigerung der Tragfähigkeit des Anschlusses bis ca. 60% der Zugtragfähigkeit des Holzstabes möglich ca. 60% - Blockscherversagen	
$F_{v,R}$ $F_{v,d}$	Querkraftanschluss (es erfolgt keine weitere Thematisierung dieses Anschlusstyps)	++ Über entsprechende Anschlüsse können hohe Lasten übertragen werden Eine geringe Auflagerverdrehung kann aufgenommen werden. Bautoleranzen können gut aufgenommen werden die auftretende Querkraftbeanspruchung des Binders ist zu überprüfen	++ Die Übertragung hoher Querkräfte ist möglich die auftretende Querkraftbeanspruchung des Binders ist zu überprüfen Die auftretende Auflagerverdrehung des Binders ist wegen der hohen Anschlusssteifigkeit zu berücksichtigen
			- Bautoleranzen können wegen der hohen Anforderungen an die Maßgenauigkeit nur schwer kompensiert werden

		Stabdübel, Passbolzen, Bolzen	Vollgewindeschrauben
	Fehler und Mängel	!!! Die Wahl eines zu steifen Verbindungsmittels ermöglicht kein duktileres Verhalten spröder Bruch	!!! Eine Querbeanspruchung von Schrauben mit überwiegend axialer Beanspruchung führt zu einem erhöhten Tragverlust der Verbindung
		!! Bohrungen mit einer geringen Anforderung an die Passgenauigkeit verursachen: eine erhöhte Anfangsverschiebung – erhöhter Schlupf eine ungleichmäßige Beanspruchung der Verbindungsmittel eines Anschlusses	!!! Eine Beschädigung der Schraube beim Eindrehen ist zu vermeiden: Schraubekollision – und eine daraus folgende Beschädigung des Schraubengewindes führen zu einem sinken der Tragfähigkeit Eine Beschädigung der Schraube durch ein zu hoch aufgebrachtes Eindrehmoment ist durch einen Drehmomentgesteuerten Schrauber zu verhindern.
			!! Bei der Befestigung von Stahlteilen ist im Stahlteil eine exakt passende an den Schraubenkopf angepasste Aussenkung vorzusehen.

8 Zusammenfassung

Bei stiftförmigen mechanischen Verbindungsmitteln werden eingeschraubte axial beanspruchte Verbindungsmittel weiter an Bedeutung gewinnen. Die hohe Belastbarkeit eingeschraubter Verbindungsmittel wie auch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten erlauben einen breiten Einsatzbereich für den Ingenieurholzbau.

Die effiziente Umsetzung für die Berechnung bedingt eine Vereinheitlichung der Berechnungsformeln zur Ermittlung der Traglasten.

Bei Knotenanschlüssen in Kombination mit über Vollgewindeschrauben an Holzträgern befestigten Stahlteilen, liegt der Vorteil des geringeren Aufwandes in der Herstellung der Anschlussknoten gegenüber gleichwertigen Anschlüssen mit auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln.

Aufgrund der hohen Steifigkeit unter axialer Beanspruchung ist es für eine qualitative Sicherstellung notwendig, die Herstellung von Anschlüssen mit aufgeschraubten Stahlteilen über genaue Verarbeitungsrichtlinien zu definieren.

Bezüglich der Auslegung von Anschlüssen unter Brandbelastung bieten die gültigen Normen für den Tragwerksplaner keine ausreichende Basis für eine effiziente und vor allem zielsichere Bemessung. Forschungsberichte bieten zur Thematik Brand für einige Verbindungssysteme ergänzende Informationen.

Abb. 1-1	5%-Fraktile, Häufigkeitsverteilung der Festigkeit für Brettschichtholz (1) und Vollholz (2), (Abbildung: Svenskt Limträ)	9
Abb. 1-2	Beispiele für Brettschichtholzquerschnitte	10
Abb. 2-1	Einfluss des Kraftflusses auf das Dehnungsbild einer Verbindung	12
Abb. 3-1	Darstellung der „Medison curve“ und der Modifikationsbeiwerte k_{mod} in Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Klassen der Lasteinwirkungsdauer, Zeitachse mit logarithmischer Skalierung	13
Abb. 3-2	Darstellung der „Medison curve“ und der Modifikationsbeiwerte k_{mod} , Zeitachse mit linearer Skalierung	13
Abb. 3-3	Klassen der Lasteinwirkungsdauer nach Eurocode 5	14
Abb. 3-4	Relative Festigkeit im Abhängigkeit der Belastungsdauer	14
Abb. 3-5	Verlauf der Biege-Zeitstandfestigkeit von fehlerfreien (50mm x 100mm) Fichtenholzbalken nach Hoffmeyer in Abhängigkeit vom Belastungsgrad und der Zeit t (logarithmisch). Angaben bis zum Bruch bei Holzfeuchten von $u \approx 10\%$ und $u \approx 20\%$ sowie wechselnden Holzfeuchten ($u \approx 10\%$ bis $u \approx 20\%$). Angabe der Medison-Kurve als Gerade	14
Abb. 3-6	Nutzungsklassen in Abhängigkeit zu Holzaustragsfeuchte nach ÖNORM B 1995-1-1	15
Abb. 3-7	Quellmaße in Richtung der drei Hauptachsen von Fichtenholz in Abhängigkeit von der Gleichgewichtsholzfeuchte nach Noack/Schwab	15
Abb. 3-8	Differenzielles Schwindmaß einiger Baustoffe aus Holz	16
Abb. 4-1	Definition Stirn- und Seitenfläche, mögliche Anordnung von Verbindungsmitteln	17
Abb. 4-2	Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht	17
Abb. 4-3	Bezugsgröße Lochleibungsfestigkeit zu Rohdichte	18
Abb. 4-4	Reduktion der Lochleibungsfestigkeit bei einem Kraft-Faserwinkel von 90° in Abhängigkeit vom Verbindungsmitteldurchmesser	19
Abb. 4-5	Normenvergleich, Abfallen der Lochleibungsfestigkeit bei veränderlichem Kraft-Faserwinkel für einen Verbindungsmitteldurchmesser von 16mm	19
Abb. 4-6	Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser $d = 8\text{mm}$	20
Abb. 4-7	Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser $d = 16\text{mm}$	20
Abb. 4-8	Vergleich der Lochleibungsfestigkeit, Verbindungsmitteldurchmesser $d = 30\text{mm}$	20
Abb. 4-9	Axial beanspruchten Verbindungsmitteln	21
Abb. 4-10	Definition Schmal- und Seitenfläche, mögliche Anordnung von Verbindungsmitteln	21
Abb. 4-11	Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht	21
Abb. 4-12	Gegenüberstellen der charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten für Stabdübel, Passbolzen oder Bolzen in Brettsperrholz und Vollholz	22
Abb. 4-13	Axial beanspruchte Verbindungsmittel	22
Abb. 4-14	Last-Verschiebungsdiagramme für BSH und BSP, Versuchskonfiguration durchgeführt von der holz.bau forschungs gmbh in Graz	23
Abb. 5-1	vereinfachte Last-Eindrückungsbeziehung	24
Abb. 5-2	kein Fließgelenk im Stift, reine Translationsbewegung oder eine Kombination aus Translations- und Rotationsverformung	24
Abb. 5-3	ein oder zwei Fließgelenke im Stift	24
Abb. 5-4	Zusammenhang zwischen gemessener Lochleibungsfestigkeit und der Schlankheit	26
Abb. 5-5	Auswirkung der Reibung zwischen Verbindungsmittel und Holzoberfläche auf das Lochleibungsverhalten von kreisförmigen Stabdübeln	26
Abb. 5-6	Unterschied der Lochleibungsfestigkeit zwischen verzinkten und „rohen“ d.h. rauen Stabdübeln mit $d=20\text{mm}$	27
Abb. 5-7	Mögliche Versagenszustände für einschnittige Holz-Holz Verbindungen	28
Abb. 5-8	Mögliche Versagenszustände für zweischnittige Holz-Holz Verbindungen	29
Abb. 5-9	Mögliche Versagenszustände für einschnittige Stahl-Holz Verbindungen	30
Abb. 5-10	Mögliche Versagenszustände für Stahl-Holz Verbindungen mit aussen liegendem Stahlblech	31
Abb. 5-11	Mögliche Versagenszustände für Stahl-Holz Verbindungen mit innen liegenden Stahlblech	32
Abb. 5-12	Schematische Selektion für Stahl-Holz-Verbindungen mit mehreren innen liegenden Stahlblechen	32
Abb. 5-13	Einflüsse für die Vorfaktoren bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung	33
Abb. 5-14	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen	34
Abb. 5-15	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen	35
Abb. 5-16	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Holz-Holz-Verbindungen	36
Abb. 5-17	Vorfaktor bei einem Fließgelenk	37
Abb. 5-18	Vorfaktor bei zwei Fließgelenken	38
Abb. 5-19	Mindestschlankheit in Abhängigkeit der Zugfestigkeit des Verbindungsmittels für zwei Fließgelenke bei Holz-Holz-Verbindungen	39
Abb. 5-20	Einflüsse für die Vorfaktoren bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung	39
Abb. 5-21	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen	40
Abb. 5-22	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen	41
Abb. 5-23	Einflüsse für die Vorfaktoren bei Stahl-Holz-Verbindungen mit Bewertung der Gewichtung	43
Abb. 5-24	Vorfaktor für einschnittige Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk im Holz	44
Abb. 5-25	Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss zufolge Schlankheit	45
Abb. 5-26	Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss aus dem Biegezugwiderstand	45
Abb. 5-27	Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit einem Fließgelenk in der Scherfuge, Einfluss aus den Sicherheitsbeiwerten	46
Abb. 5-28	Vorfaktor Stahl-Holz-Verbindung mit zwei Fließgelenken, Einfluss aus den Sicherheitsbeiwerten	46
Abb. 5-29	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei einschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen	48
Abb. 5-30	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei zweischnittigen Stahl-Holz-Verbindungen mit Stahlblech als Seitenteil	48
Abb. 5-31	Verlauf der charakteristischen Tragfähigkeit nach EN 1995-1-1 bei Stahl-Holz-Verbindungen	49
Tab. 5-1	Größenfaktor für die Spaltkraft	52
Abb. 5-32	Typisches Last-Verformungs-Verhalten von spaltgefährdeten und unterschiedlich verstärkten und dadurch nicht spaltgefährdeten Verbindungen	53
Abb. 5-33	Arbeitslinie eines auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittels ¹⁾	54
Abb. 5-34	Versuchsergebnisse zu Anschlussbeispielen aus ungeschützte Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen	55
Abb. 5-35	analytische Ermittlung des seitlichen Abbrandverlaufes von vierschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen	55
Abb. 5-36	analytische Ermittlung des seitlichen Abbrandverlaufes einer zweischnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen	56
Abb. 5-37	charakteristische Traglasten von Schafschrauben bei Beanspruchung axial oder auf Abscheren (definiert über zwei Fließgelenke)	58
Abb. 5-38	Zusammenhang bei Kombination aus axialer Beanspruchung und Abscheren	58
Abb. 5-39	charakteristische Traglasten von Vollgewindeschrauben bei Beanspruchung axial oder auf Abscheren (definiert über zwei Fließgelenke)	58
Abb. 5-40	Einschraubwinkel	58
Abb. 5-41	Lochleibungsfestigkeit von Schrauben im Gewindebereich bezogen auf den Aussendurchmesser des Gewindes in Holz-C24	59
Abb. 5-43	Stahl-Holz-Verbindung bei axialer Beanspruchung der Schraube	60
Abb. 5-44	Holz-Holz-Verbindung bei axialer Beanspruchung der Schraube	60

Abb. 5-45	Zuganschluss mit seitlichen Stahllaschen	61
Abb. 5-46	Verschiebungsmodule für Vollgewindeschrauben in axialer Richtung und auf Abscheren	62
Abb. 5-47	Zugstabanschluss mit eingeschraubten Gewindestangen	63
Abb. 6-1	Axonometrie der Dachkonstruktion	65
Abb. 6-2	Die Dachkonstruktion in der Bauphase	66
Abb. 6-3	Fachwerkträger Typ 1	67
Abb. 6-4	Detail A, Anschlussknoten Zugstab am Obergurt beim Binderauflager	67
Abb. 6-5	Detail B, Anschlussknoten Zugstab am Untergurtende über Vollgewindeschrauben	68
Abb. 6-6	Detail C, Anschlussknoten Zugstab am Untergurt über Vollgewindeschrauben	68
Abb. 6-7	Fachwerkträger Typ 2	69
Abb. 6-8	Detail a, Anschlussknoten Zugstab am Untergurtende über auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel	69
Abb. 6-9	Detail b, Anschlussknoten Zugstab am Untergurt über auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel	70

Literatur

Helmut Neuhauser, Ingenieurholzbau, Grundlagen-Bemessung-Nachweise-Beispiele mit Literaturverweis auf: Hoffmeyer, P.: Holz als Baustoff. In: STEP 1 [47], Abschn. A4

Hoffmeyer, P.; "Wood as a building material", Chapter A4 aus „STEP 1 – Timber Engineering“; Erste Ausgabe, Centrum Hout, Niederlande, 1995

Kapitel 2 wurde von Petr KUKLÍK, Abteilung für Stahl und Holzbau, Tschechische Technische Universität in Prag / Tschechische Republik bearbeitet.

Rodd, P.D., Leijten A.J.M.: "High-performance dowel-type joints for timber structures", John Wiley & Sons, Ltd., Prog. Struct. Engng. Mater. 2003

I. Bejka, Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben, Band 2 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universitätsverlag Karlsruhe 2005

H. J. Blaß, I. Bejka, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbst bohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

H. J. Blaß, T. Uibel, Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln in Brettsperrholz, Band 8 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universitätsverlag Karlsruhe 2007

H. J. Blaß, I. Bejka, Numerische Berechnung der Tragfähigkeit und der Steifigkeit von querzugverstärkten Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, Band 10 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universitätsverlag Karlsruhe 2008

[Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau / Universität Karlsruhe \(TH\), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen](#)

C. Erchinger, M. Fontana, A. Mischler, A. Frangi, Versuche an mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen und Rillennagelverbindungen bei Raumtemperatur und Normbrandbedingungen, Februar 2006

C. Erchinger, Zum Verhalten von mehrschnittigen Stahl-Holz-Stabdübelverbindungen im Brandfall, ETH Zürich, 2009

M. Schmid, Anwendung der Bruchmechanik auf Verbindungen mit Holz, Karlsruhe 2002

6.GraHFT'07, 6. Grazer Holzbau-Fachtagung, Tagungsband, 2007

A. Steurer; Entwicklungen im Ingenieurholzbau, Der Schweizer Beitrag, 2006

C. Scheer, M. Peter, Holz Brandschutz Handbuch, 3. Auflage 2009

ÖNORM B 1995-1-2, Eurocode5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall, Ausgabe 2008-12-01

ÖNORM EN 1995-1-2, Eurocode5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall, Ausgabe 2006-10-01

ÖNORM B 1995-1-1, Eurocode5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten Teil 1-1: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Hochbau, Ausgabe 2009-07-01

ÖNORM EN 1995-1-1, Eurocode5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten Teil 1-1: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Hochbau, Ausgabe 2009-07-01

Erklärung

Erklärung zur Abgabe einer Diplom- bzw. Masterarbeit:

Name: Oster

Vorname: Anton

Matrikelnummer: 0875147

Titel der Masterarbeit: Hochbelastete Verbindungsknoten – als Basis für weit gespannte Tragwerke

Studienrichtung und Studienkennzahl: überholz – Universtätslehrgang für Holzbaukultur

BetreuerIn: DI Wolfgang Ritsch

1. Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.
2. Ich bestätige hiermit, dass die Diplom- bzw. Masterarbeit von den Begutachtern und Begutachterinnen approbiert ist. Die abgelieferten analogen Exemplare und das digitale Exemplar stimmen in Form und Inhalt vollständig mit der benoteten und approbierten Fassung überein.
3. Ich räume hiermit der Universität für künstlerische und industrielle Gestaltung Linz, der Österreichischen Nationalbibliothek und der Österreichischen Bibliothekenverbund und Service GmbH das zeitlich unbefristete Recht ein, die abgegebene digitale Publikation sowie alle damit verbundenen Begleitmaterialien einem unbestimmten Personenkreis (Zutreffendes bitte ankreuzen)

im weltweiten Internet

im gesamten Netz der Institution (Mehrfachzugriffe)

nur an einem Arbeitsplatz der Institution (Einzelzugriff)

unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

Die Kunstuniversität Linz, die Österreichische Nationalbibliothek und die Österreichische Bibliothekenverbund und Service GmbH sind weiters berechtigt, aber nicht verpflichtet, die digitalen Daten der Publikation zum Zweck der dauerhaften Archivierung und Zurverfügungstellung in andere Formate oder auf andere Speichersysteme zu migrieren. Es ist mir bewusst, dass bei einer Datenmigration eine Änderung von Form, Umfang oder Darstellung der Publikation aus technischen Gründen nicht ausgeschlossen werden kann.
Ich bin als (Zutreffendes bitte ankreuzen)

alleinige/r InhaberIn der Nutzungsrechte an der Publikation

Bevollmächtigte/r der InhaberInnen der Nutzungsrechte

zur Einräumung dieser Nutzungsbewilligung befugt. Sollte meine Berechtigung zur Einräumung dieser Nutzungsrechte von dritter Seite bestritten werden, haften ich der Kunstuniversität Linz, der Österreichischen Nationalbibliothek und der Österreichischen Bibliothekenverbund und Service GmbH für alle Schäden, die diesen Einrichtungen daraus entstehen.

4. Ich wurde davon in Kenntnis gesetzt und erkläre mich damit einverstanden, dass die Kunstuniversität Linz, die Österreichische Nationalbibliothek und die Österreichische Bibliothekenverbund und Service GmbH keine Haftung für aus technischen Gründen auftretende Fehler irgendwelcher Art übernehmen. Des Weiteren wird von der Kunstuniversität Linz, der Österreichischen Nationalbibliothek und der Österreichischen Bibliothekenverbund und Service GmbH keinerlei Haftung dafür übernommen, dass die Diplom- bzw. Masterarbeit oder Teile davon von dritter Seite unrechtmäßig heruntergeladen und verbreitet, verändert oder an anderer Stelle ohne Einwilligung aufgelegt werden.

5. Ich habe das Merkblatt zur Abgabe von Diplom- und Masterarbeiten der Universitätsbibliothek gelesen und zur Kenntnis genommen.

Linz, Datum

Unterschrift