



*Andreas Müller  
Professor für Holzbau und Baukon-  
struktion, Leiter Studiengang Master  
of Science in Engineering,  
Leiter F+E Holz- und Verbundbau  
Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau  
Biel, Schweiz*

## **Konstruieren mit Konzept**

### **Konzeptionelle Überlegungen beim Entwickeln und Konstruieren von Verbindungen**



# Konstruieren mit Konzept

## Konzeptionelle Überlegungen beim Entwickeln und Konstruieren von Verbindungen

Verbindungen beeinflussen wesentlich die Wirtschaftlichkeit von Holzkonstruktionen. Die richtige Wahl der Verbindung entscheidet daher oft, ob eine Bauaufgabe in Holz realisiert wird oder eben nicht. Verbindungen sind aber noch mehr. Sie sind Gestaltungselemente und müssen daher abhängig von der Bauaufgabe und der zukünftigen Gebäudenutzung teilweise sehr hohe formale Anforderungen erfüllen. In diesen Fällen müssen sie nicht nur richtig bemessen, sondern auch nach allen Regeln der Kunst gestaltet werden. Mit den Verbindungen können aber auch die Schnittkräfte und somit die Querschnitte einer Holzkonstruktion beeinflusst werden.

Neben diesen Aspekten entscheiden die Verbindungen auch darüber, ob eine Gebäudestruktur zuverlässig, robust und ggf. duktil ist. Der Holzbau spielt heute gegenüber früher nicht nur im Wohnungsbau durch die immer grösser werdenden Geschosshöhen in einer anderen Liga. Spannweiten über 100 m sind auch im Ingenieurholzbau heute schon oft gebaute Realität. In diesen Fällen spielen die Zuverlässigkeit und die richtige Bemessung dieser in einer bislang noch eher kaum da gewesener Form sehr hoch beanspruchten Verbindungen eine wesentliche Rolle. Unerlässlich ist es dabei oft, den durch die Art der Verbindung verursachten zusätzlichen Eigenspannungen grosser Querschnitte und Dimension Beachtung zu schenken. Bei sehr hoch beanspruchten Verbindungen muss neu ggf. sogar das sogenannte Blockscher versagen berücksichtigt werden.

### Verbindungen im Holzbau (Überblick)

Dem Holzbau stehen mehrere Arten von Verbindungen zur Verfügung. Von der reinen Holz-Holz-Verbindung über eine Vielzahl von mechanischen Verbindungen unterschiedlicher Ausprägung bis hin zu immer häufiger eingesetzten geklebten Verbindungen.

#### Holz-Holz-Verbindungen:

Die moderne Abbundtechnik macht die Holz-Holz-Verbindungen wieder wirtschaftlich möglich. Ein sehr gutes und beliebtes Beispiel sind die sogenannten Schwalbenschwanzverbindungen, die wir uns heute bei einer üblichen Holzkonstruktion schon gar nicht mehr wegdenken können. Diese Verbindung ist bei fachgerechter Montage zudem noch weitgehend schlupffrei.

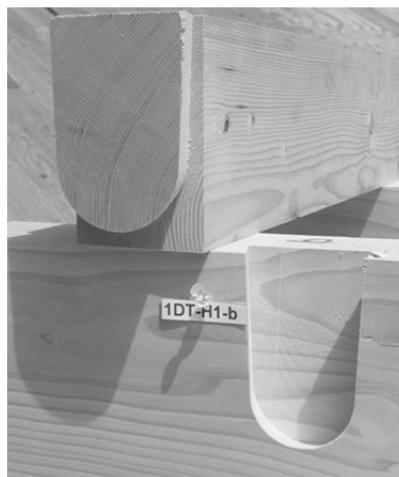


Abbildung 1: Schwalbenschwanzverbindung [1]

### Mechanische Verbindungen:

Neben den sehr leistungsfähigen Stabdübel-Verbindungen in Kombination mit ein bzw. mehreren eingeschlitzten Stahlblechen werden heute im Ingenieurholzbau immer mehr stiftförmige Verbindungsmittel in axialer Richtung beansprucht eingesetzt. Die Verbindungsmittel weisen dann durch die über die Schrauben- bzw. Gewindelänge kontinuierliche Krafteinleitung in das Holz, eine sehr viel höhere Leistungsfähigkeit auf. Die oft bemessungsrelevante Lochleibungs- festigkeit bzw. die Beanspruchung des Holzquerschnittes vor allem in den Randzonen der auf Abscheren beanspruchten stiftförmigen Verbindungen wird so vermieden.

Die Hersteller von Formteilen haben auf diesen Trend reagiert und zahlreiche neuen Verbindungsteile auf den Markt gebracht. Mit diesen Formteilen können heute je nach Grösse und Anwendung Anschlusskräfte bis zu 280 kN übertragen werden (Abbildung 2).

Die für eine Verbindung notwendige Anschlussfläche ist ein wichtiges Kriterium für die Wahl eines geeigneten mechanischen Verbindungsmittels. Hier sind dünne stabförmige Verbindungsmittel meist anderen Verbindungen z.B. den Dübeln besonderer Bauart überlegen.

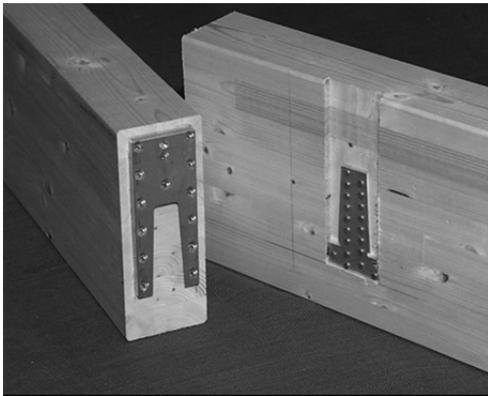


Abbildung 2: Sherpa®-Verbinder

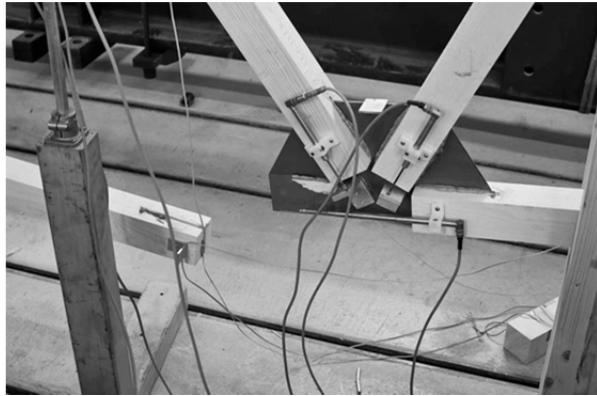


Abbildung 3: Fachwerk mit eingeklebtem Stahlblech [2]

### Geklebte Verbindungen:

Neben der Verwendung von Vollgewindeschrauben verzeichnen wir heute auch eine deutliche Tendenz hin zu geklebten Verbindungen. Mehrere Hersteller haben „geschützte“ Verbindungen auf Basis von eingeklebten Stahl- bzw. Gewindestangen zur Marktreife entwickelt. Diese zeichnen sich durch eine sehr hohe Leistungsfähigkeit bzw. Steifigkeit aus. In Zukunft werden aber auch immer mehr Stahlbleche bzw. -platten als Verbindungselemente in die Holzbauteile eingeklebt werden (Abbildung 3). Erfolgversprechende Versuche [2] sind hierzu bereits abgeschlossen.

Zu Recht gibt es hier aber im Moment auch noch Vorbehalte. So muss die Zuverlässigkeit der Verklebung bei einem Einbau unter den unterschiedlichsten Klimabedingungen noch bewiesen und Handlungsvorschriften ausgearbeitet werden.

Klebeverbindungen beeindrucken mit einer hohen Steifigkeit. Von Nachteil hinsichtlich der Robustheit einer Konstruktion und im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bemessung der Erdbbensicherheit ist aber das sehr spröde Versagen.

Holz und Holzwerkstoffe weisen ein sprödes Bruchverhalten auf. Im Holzbau können die Gebäudestrukturen nur durch die Verbindungen duktil ausgebildet werden.

Dabei ist zu beachten dass das Kraft-Verformungsverhalten der einzelnen Holzverbindungen sehr unterschiedlich ist (Abbildung 4). Dies muss bei der Konzeption der Verbindungen berücksichtigt werden. Die Verbindungen müssen laut [3] derart gestaltet sein, dass sie mehrere Zyklen grosser plastischer Verformungen mit vernachlässigbarer Reduktion des Tragwiderstandes durchlaufen können, was mit Versuchen geprüft wird. Damit die Verbindungen auch wirklich als duktile Bereiche aktiviert werden können, müssen die übrigen, elastisch bleiben-

den Bereiche gemäss Norm SIA 265 (2003), Ziffer 4.6.3.1 [4] auf den 1,2-fachen Tragwiderstand der duktilen Bereiche bemessen werden.

### Mischungsverbot:

Da die unterschiedlichen Verbindungen ein sehr unterschiedliches Kraft-Verformungsverhalten aufweisen, dürfen an einem Anschluss keine verschiedenartige Verbindungen bzw. Verbindungsmittel eingesetzt werden. Dies leuchtet ein, da beispielsweise eine sehr steife (starre) Klebeverbindung bereits versagt hat bevor die ggf. in Kombination eingebauten mechanischen Verbindungen überhaupt ansprechen.

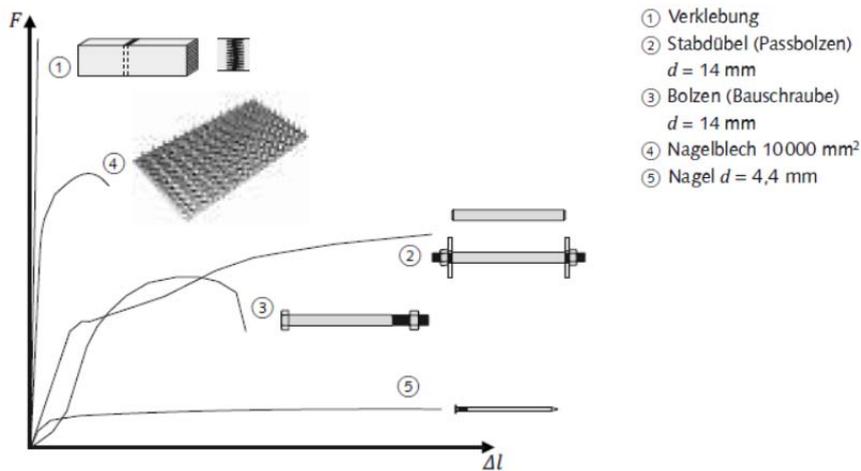


Abbildung 4: Tragverhalten von verschiedenen Holzverbindungen [3]

### Entwurfskriterien von Verbindungen

Neben einer hohen Zuverlässigkeit müssen die Verbindungen wie einleitend beschrieben, eine schnelle, sichere, passgenaue und damit auch wirtschaftliche Baustellenmontage zulassen. Eine optimale Verbindung zeichnet sich dadurch aus, dass bei der Montage auf der Baustelle nur noch ein Gelenk- oder Sicherungsbolzen gesetzt werden muss. Nahezu vorbildlich war und ist hierfür heute noch die BSB-Verbindung bei der in der Werkstatt durch CNC gesteuerte Maschine die Hauptarbeit in hoher Präzision geleistet wird und auch bei biegesteifen Trägerstössen vor Ort nur noch wenige Stahlbolzen bei der Fügung auf der Baustelle als sehr leistungsfähige, reine Stahl-Stahlverbindung gesetzt werden müssen (Abbildung 5 und 6).

Ähnlich wirkungsvoll und mit kleinster Auflagerfläche optimiert ist die Ausbildung von z.B. Stützenanschlüssen (Trägerauflager) mit sogenannten Hakenplatten oder Einhängeträger bei denen die Auflagerplatten durch schräg eingedrehte Vollgewindeschrauben ebenfalls im Werk bereits vormontiert sind und das anzuschliessende Bauteil nur noch vor Ort eingehängt werden muss (Siehe Abbildung 2).

Immer noch zeitgemäss sind auch hochbeanspruchte Verbindungen im Ingenieurholzbau bei denen Stahlplatten vorab im Werk mit Spezialnägeln auf den Bauteilen befestigt werden und die Verbindung vor Ort ebenfalls nur noch mit einem oder wenigen Bolzen als Stahl-Stahlverbindung vollendet hergestellt werden muss.

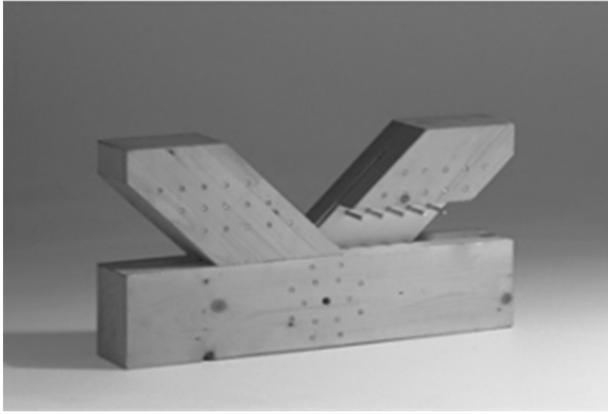


Abbildung 5: BSB Verbindung [5]

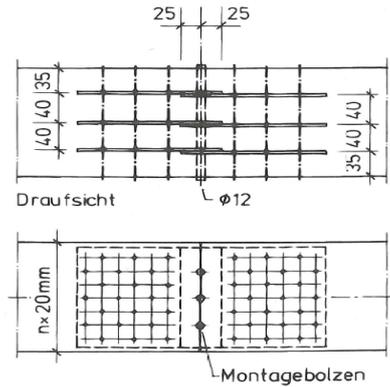


Abbildung 6: Montagegestoss mit Reihenanschluss [6]

Hat man früher die Platten noch orthogonal auf dem Bauteil befestigt und dadurch die stiftförmigen Verbindungen auf Abscheren bzw. auf die Lochleibungsfestigkeit im Holz hin beansprucht, werden diese heute teilweise auch bei eindeutiger und bei allen Lastfällen gleichbleibender Krafrichtung durch unter einem Winkel von z.B.  $45^\circ$  eingedrehte Vollgewindeschrauben befestigt. Die Verbindungsmittel sind dann wie beschrieben (überwiegend) axial beansprucht und weisen durch die über die Schrauben/Gewindelänge kontinuierliche Krafteinleitung in das Holz eine hohe Leistungsfähigkeit auf. Es ist für eine leistungsfähige Verbindung jedoch nicht zulässig nur durch vergrößerte Bohrungen im Blech die Verbindungsmittel quasi führungslos in dem Holzquerschnitt zu befestigen. Hier würde die mechanische Verbindung in einem viel höheren Maße beansprucht, da die Kraft in das Blech nur „über die Kante“ übertragen wird.

Neben der schnellen und einfachen Montage auf der Baustelle muss aber auch im Werk eine möglichst einfache Herstellung ohne spezielle Vorrichtungen und Maschinen möglich sein. Viele neuentwickelte Verbindungen scheitern oft daran, dass Spezialwerkzeuge und besonderes Knowhow erforderlich ist oder aber die Verwendung durch teure Schutzrechte verteuert/erschwert wird.

Neben der guten Montierbarkeit jeder Einzelverbindung kann durch die richtige Wahl der Verbindung und durch die konstruktive Ausbildung der Knotenpunkte auch die Montierbarkeit der Gesamtkonstruktion erleichtert werden. So wurden bei der in Abbildung 7 und 8 dargestellten Produktionshalle, die beiden Fusspunkte des Brettschichtholz-Rahmentragwerkes zunächst für die Montage als Gelenk ausgebildet und erst später nach dem Aufrichten die notwendigen Stahlbetonsockel ausbetoniert.



Abbildung 7: Firstgelenk Halle Bernhard Wangen



Abbildung 8: Rahmenfusspunkt Halle Bernhard Wangen

## Zwängungsfrei konstruieren/montieren (Quellen und Schwinden)

Immer wieder gerät in Vergessenheit, dass durch Quellen und Schwinden von z.B. hohen Trägern ebenfalls Zwängungsspannungen in Form von Querkzugspannungen auftreten können. Durchgehende Stahlbleche über die gesamte Trägerhöhe sind deshalb zu vermeiden. Bei biegesteifen Stößen von hohen Trägern oder Rahmenecken ist es oft erforderlich, die Anschlüsse für die unterschiedlichen Beanspruchungen aufzuteilen (Abbildung 9). Für das Biegemoment führt die Aufteilung des Anschlusses in ein Kräftepaar zu einer einfachen Trennung des Anschlusses. Hierbei sollte dann schon der Schwerpunkt des Anschlusses im Schwerpunkt der Druck- bzw. Zugspannungsfläche also in der Regel bei einem durch ein Biegemoment resultierenden linearen Spannungsverlauf jeweils in den 1/6 Punkten der Trägerhöhe angeordnet werden. Die Querkraft wird dann getrennt über Hirnholzdübel o.ä. eher konzentriert in der Mittelzone übertragen.

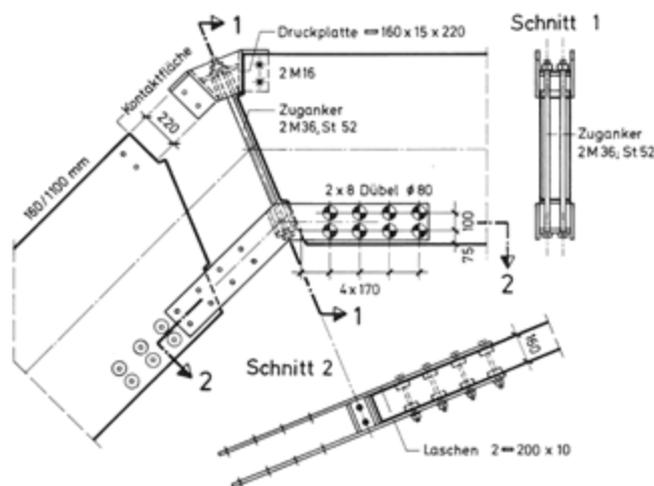


Abbildung 9: Biegesteifer Stoss [7]

## Vermeidung von Querkzug

Um eine Querkzugbeanspruchung des Holzes im Anschluss zu vermeiden, muss der Anschlussschwerpunkt und damit die Lasteinleitung über der Schwer-/Nulllinie liegen. Es ist unzulässig ohne Querkzugsicherung z.B. Lasten unten an einen Träger anzuhängen. Dies sollte allgemein bekannt sein.

## Vermeidung von Ausmitten

Beim Konstruieren von Verbindungen hat es sich bewährt - die Mühe und der Aufwand lohnt immer - den Knotenpunkt vollständig mit allen auf ihn wirkenden Kräften und deren Wirkungslinien aufzuzeichnen. Nur so kann erkannt werden, ob durch einen ausmittigen Anschluss ein Zusatzmoment verursacht wird.

Das Beispiel der Brücke über die Kander bei Kandersteg zeigt sehr schön diesen Entwurfsprozess [8] (Abbildung 10). Bei der abgespannten Brücke „hanging logs“ war zunächst angedacht, die Querträger der Brücke unter der Gehbahn anzuordnen. Der Vorteil dieser Variante ist zunächst eine sehr einfache Montage und Auflagerung einer durchgehenden Gehbahn.

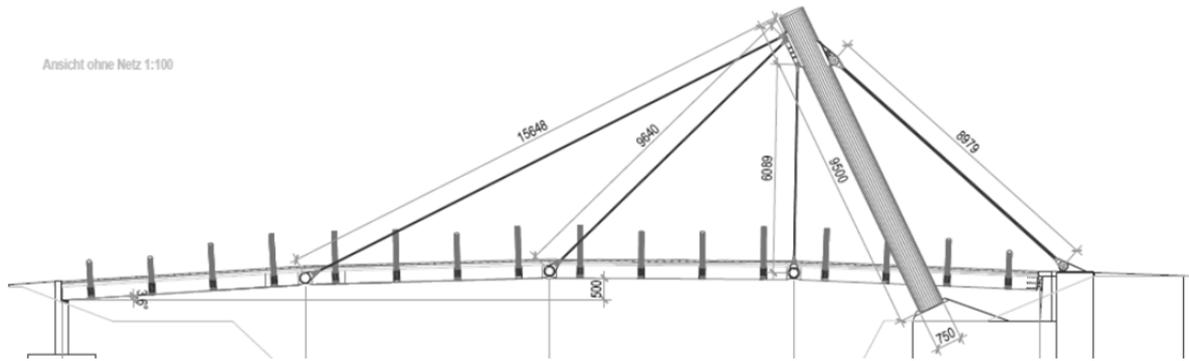


Abbildung 10: Ansicht der Brücke "hanging logs" [8]

Die in eine Gesamtskizze eingezeichneten Kräfte und deren Wirkungslinien zeigten dann sehr schnell, dass sich nicht alle Kräfte in einem Punkt treffen (Abbildung 11). Die durch die Gehbahnträger aufzunehmenden Horizontalkräfte der Abhängekonstruktion, können so nur mit einer grossen Ausmitte zwischen dem darunterliegenden Querträger und der Schwerachse der Gehbahnträger aufgenommen werden. Zusätzlich wurde deutlich, dass das Stahlprofil des Querträgers auf „Doppelbiegung“ in beiden Hauptrichtungen beansprucht wird und das gewählte IPE-Profil wohl nicht geeignet ist.

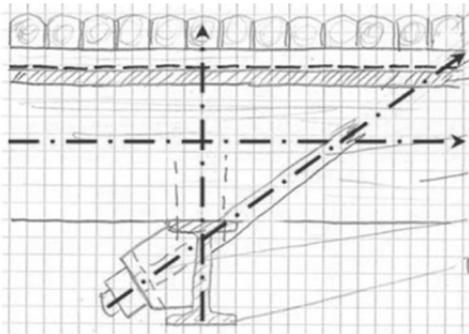


Abbildung 11: Ausmittige Aufhängung" [8]

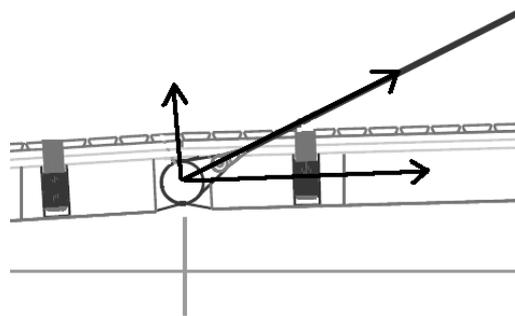


Abbildung 12: Optimierte Aufhängung" [8]

Die Abwägung aller Fakten führte in der Entwurfsphase zu dem Entscheid, die Querträger in Höhe der Gehbahnträger zu führen (Abbildung 12). Diese müssen zwar jetzt für die Ausbildung als Durchlaufträger biegesteif an beiden Seiten des Rohrs angeschlossen werden. Die Betrachtung des Gesamtaufwandes, die statisch sinnvollere und damit robustere Konstruktion und die Einsparung an Bauhöhe führten zu dem Entscheid für diese Lösung.

### Gelenkig oder biegesteif?

... dazwischen gibt es nichts.

Immer wieder erlebt man den Wunsch der Ingenieure nur einen Teil der Biegemomente anzuschließen. Man fragt sich dann, woher weiss die Verbindung das? Werden diese Informationen z.B. per RFID der Verbindung mitgegeben?

Viel mehr tritt bei voller Momentenbeanspruchung dann eine Überbeanspruchung der Verbindung ein. Diese ist mit grossen Verformungen, Überbeanspruchung der Lochleibungsfestigkeit bis zum Aufreissen der Hölzer verbunden bis sich ein Fliessgelenk nach der Versagenstheorie von stabförmigen Verbindungsmitteln einstellt.

## Biegesteife Verbindungen

Biegesteife Verbindungen und Anschlüsse sind eine gute Möglichkeit eine Zusatzbeanspruchung in den Hauptträgern und in Stützen zu vermeiden. Oft wird übersehen, dass konsolartige Auflager ein Zusatz- bzw. Torsionsmoment in den lastweiterleitenden Bauteilen erzeugt. Da Schub aus Querkraft und Schub aus einer Torsionsbeanspruchung bei der Bemessung überlagert werden muss, kann dies bei hochbelasteten Hauptträgern bemessungsrelevant werden.

Da bei Geschossdecken immer mit feldweise wirkenden veränderlichen Einwirkungen gerechnet werden muss, sind fast immer biegesteife Balkenanschlüsse notwendig. Einzige Ausnahme bilden nur die auf den Hauptträger durch ein Lager zentriert aufgelegten Nebenträger. Je nach Anschluss- bzw. Anschlussstyp liegen nachfolgend dargestellte statische Systeme vor (Abbildung 13 und 14).

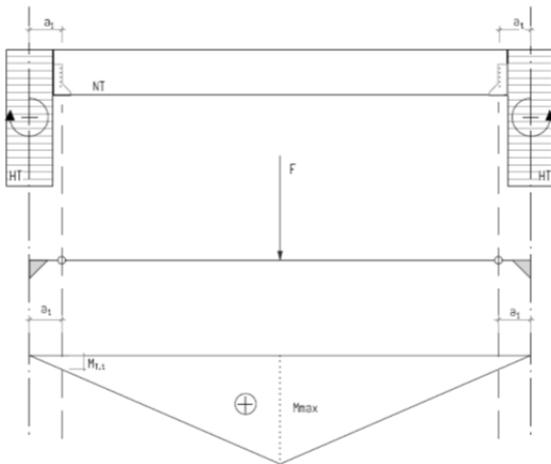


Abbildung 13: Exzentrische Lasteinleitung

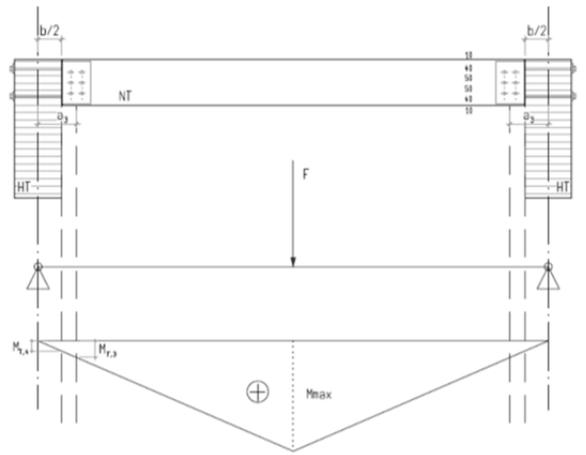


Abbildung 14: Zentrische Lasteinleitung

Will man die Lasten zentrisch in den Hauptträger einleiten, muss man alle Anschlüsse/Verbindungen bis zur gedachten Auflagerlinie biegesteif ausbilden (Abbildung 14). In Abbildung 15 ist dies zunächst einmal der Anschluss des Balkens an das eingeschlitze Blech. Die Stabdübelverbindung wird unter Berücksichtigung des polaren Flächenmomentes 2. Ordnung als „Dübelkreis“ biegesteif angeschlossen. Dabei ist dieser Anschluss neben dem Anschlussmoment  $Q \times a$ , auch noch für die Auflagerkraft  $V (Q)$  und ggf. noch für eine Normalkraft  $N$  (z.B. aus einem Verband) zu bemessen.

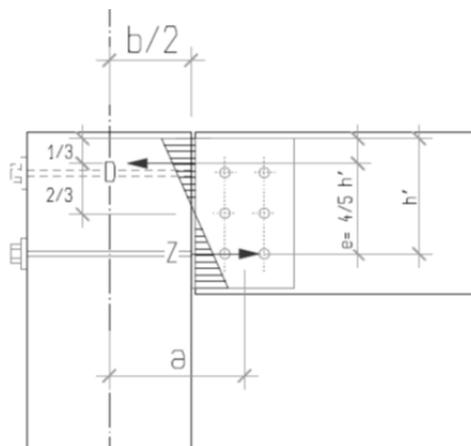
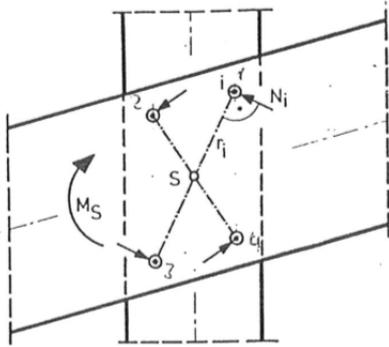


Abbildung 15: Kopfplattenanschluss

In einem 2. Schritt muss der Kopfplattenanschluss biegesteif mit dem Hauptträger/Unterzug verbunden werden. Der Kopfplattenanschluss kann nur dann konsequent biegesteif ausgebildet werden, wenn die (unteren) Verbindungsmittel auch Zugkräfte aufnehmen können. Hierfür eignen sich deshalb besonders sogenannte Passbolzen (Stabdübel mit eingeschnittenem Gewinde) mit denen eine Klemmwirkung erzeugt werden kann.

Die Zugkraft in der Bolzenverbindung beträgt dann  $Q \times b / 2 / e$  wobei nach Abbildung 15  $e = 4/5$  des Abstandes des Zugbolzens vom druckbeanspruchten Rand (Blechkante) entspricht.

Die Berechnung des polaren Flächenmomentes 2.Ordnung (Flächenträgheitsmoment) kann am besten anhand einer einfachen Verbindung hergeleitet werden.



Als Voraussetzung für die Verbindung gilt:  $\Sigma M_s = 0$  (1)

Wenn das äussere Moment durch die Belastung bekannt ist, können die einzelnen Verbindungsmittel wie folgt berechnet werden:

$$N_1 \cdot r_1 + N_2 \cdot r_2 + N_3 \cdot r_3 + N_4 \cdot r_4 - M_s = 0 \quad (2)$$

Unter Annahme gleicher Steifigkeiten kann folgende Substitution vorgenommen werden:

$$N_2 = \frac{N_1}{r_1} \cdot r_2, \quad N_3 = \frac{N_1}{r_1} \cdot r_3 \dots \quad (3)$$

Daraus ergibt sich:

$$N_1 \cdot r_1 + \frac{N_1}{r_1} \cdot r_2^2 + \frac{N_1}{r_1} \cdot r_3^2 + \frac{N_1}{r_1} \cdot r_4^2 = M_s \quad (4)$$

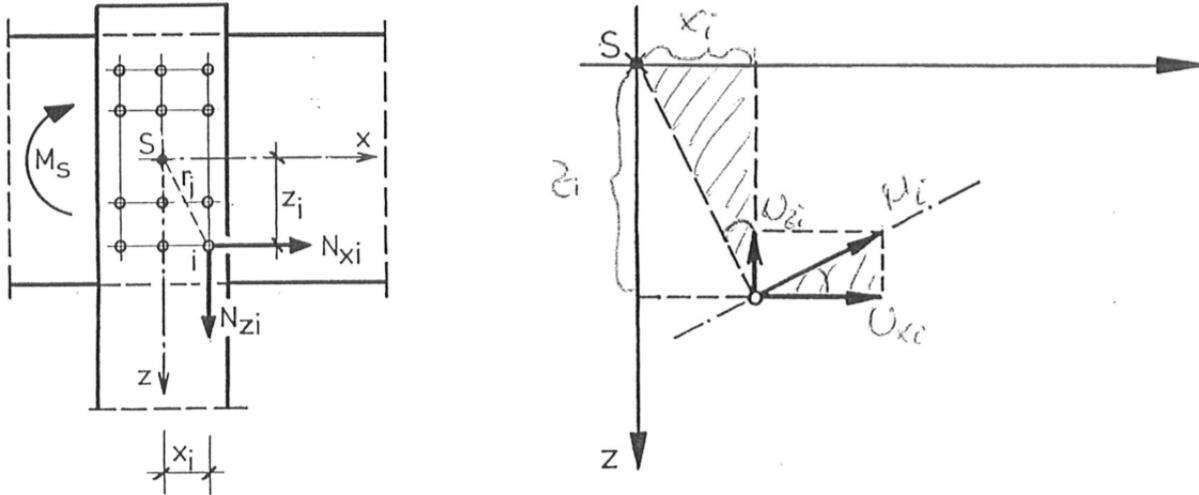
Ist:

$$\frac{N_1}{r_1} (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2) = M_s \quad (5)$$

Verallgemeinert für die Belastung des  $i$ -ten Verbindungsmittels ergibt sich:

$$\frac{N_i}{r_i} = \frac{M}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad \text{wobei } \sum_{i=1}^n r_i^2 \text{ das polare Flächenträgheitsmoment ist.} \quad (6)$$

Wenn die Verbindungsmittel nicht kreisförmig angeordnet sind, muss die Komponentenschreibweise gewählt werden. Folgende Situation wird betrachtet:



Gemäss Pythagoras kann  $r$  in der Komponentenschreibweise wie folgt ausgedrückt werden:

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + z_i^2} \quad (7)$$

In Formel (X) eingesetzt ergeben sich folgende  $x$  und  $z$  Komponenten:

$$N_{xi} = \frac{M_s}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \cdot z_i, \quad N_{zi} = \frac{-M_s}{\sum x_i^2 + \sum z_i^2} \cdot x_i \quad (8,9)$$

Die resultierende Belastung ergibt sich zu:

$$N_i = \sqrt{N_{xi}^2 + N_{zi}^2} \quad (10)$$

### Verbindungen beeinflussen die Schnittkräfte einer Gesamtkonstruktion

Anschlüsse und Verbindungen beeinflussen die Schnittkräfte von mehrfach statisch unbestimmten Systemen. Aus diesem Grund ist es bei solchen Systemen unerlässlich, die Federsteifigkeit der Verbindungen zu bestimmen und bei der numerischen Modellierung dieser Systeme z.B. im räumlichen Stabwerksprogramm zu berücksichtigen (Abbildung 16 und 17).



Abbildung 16: Prüfung eines Bauteiles an der AHB

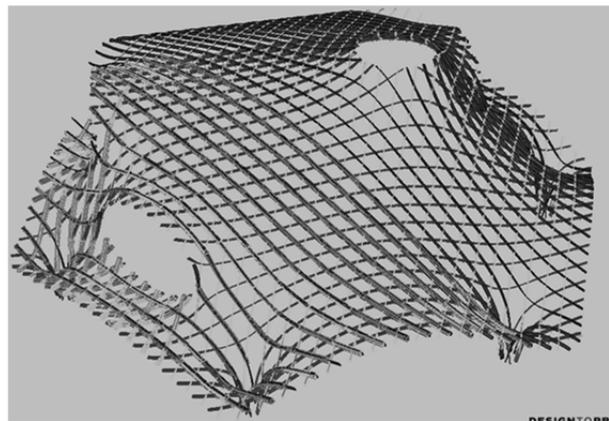


Abbildung 17: Numerisches Modell des Centre Pompidou [9]

Man kann durch die (Feder)-Steifigkeit einer Verbindung aber auch die Schnittkräfte bzw. den Schnittkraftverlauf einer Konstruktion beeinflussen und diese bzw. deren Querschnitte so optimieren. Manchmal hilft der Einbau eines Gelenkes oder eines Stosses genau dort, wo sich

extreme Schnittkräfte aufbauen, um die Stabquerschnitte z.B. einer Fachwerkkonstruktion zu optimieren. Das Gesamtverformungsverhalten der Konstruktion darf dabei natürlich nicht unberücksichtigt bleiben.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel aus der Trickkiste der Optimierung ist z.B. nach der Montage bzw. dem Aufbringen der Ständigen Lasten die Lagersituation zu ändern. Bei einem einhüftigen Fachwerkrahmen führte dieser Trick zu einer Optimierung der Gurtkräfte und in Folge zu einer sehr filigranen Fachwerkkonstruktion (Abbildung 18). Das zunächst horizontal verschieblich ausgebildete Lager wurde erst nach der Montage durch verschweissen blockiert. Infolge der veränderlichen Einwirkungen ergibt dies ein sehr günstiges Verformungsverhalten der Gesamtkonstruktion und die angrenzenden Oberlichtbänder müssen so nicht grosse Verschiebewege in der Nutzung mitmachen. Als positiven Nebeneffekt sind auch die horizontalen Auflagerkräfte / -reaktionen geringer. Dies wirkt sich sehr positiv auf deren Weiterleitung durch die angrenzenden Bauteile aus.

An dieser Stelle sei der Hinweis erlaubt, dass bei einhüftigen Rahmen meist sehr grosse horizontalen Verschiebewege auftreten. Dies gilt es auch bei den üblicherweise verschieblich gelagerten gekrümmten Biegeträgern wie z.B. Satteldachbindern.

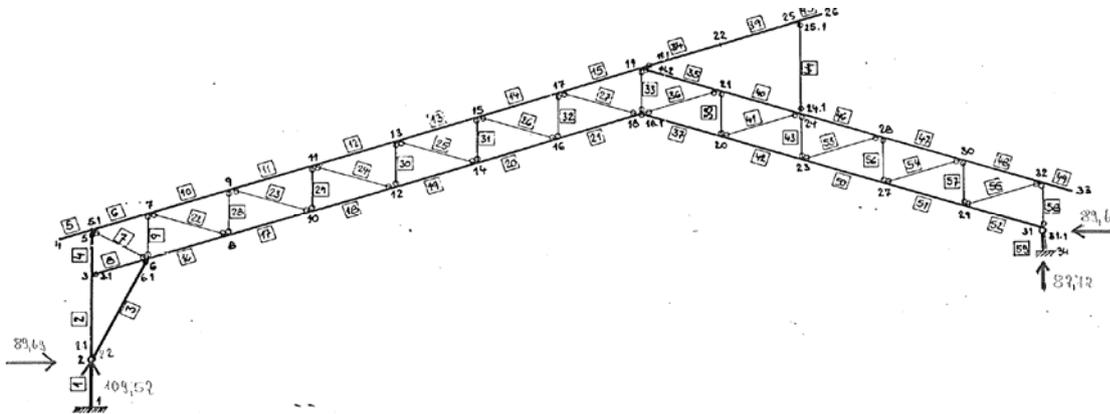


Abbildung 18: Statisches System Mehrzweckhalle Trochtelfingen [10]

### Statische Systeme beeinflussen die Anschlusskräfte

Da die Wahl des statischen Systems auch die Auflagerreaktionen und damit die anzuschliessende Kräfte beeinflusst, ist es bei hochbeanspruchten Anschlüssen an die weiterleitenden Bauteile (Stützen) oft sinnvoll, über das gewählte statische System der Tragkonstruktion nachzudenken. So sind Durchlaufträger bezüglich ihres Verformungsverhaltens z.B. bei weitgespannten Konstruktionen eher günstiger und führen meist zu einer Optimierung des Querschnitts. In Folge treten aber z.B. bei Zweifeldträgern bis zu 25% höhere Auflagerkräften auf, die oft auf engstem Raum und geringere zur Verfügung stehender Anschlussfläche beispielsweise an den Stützen angeschlossen werden müssen. Im Beispiel des Kompetenz- und Ausbildungszentrums Holz in De-Biberach wurde bei den hoch belasteten Unterzügen auf die Durchlaufwirkung verzichtet. Dies ergab neben den geringeren Auflagerkräften hier auch noch geringere Querschnitte der Unterzüge, da eh die Schubbemessung am Auflager massgebend war. Da bedingt durch die Grösse des Gebäudes immerhin 30 gleiche Anschlüsse an die durchlaufenden Stützen anstanden, lohnte sich eine Optimierung der Anschlüsse für die Eingangs beschriebene schnellen und einfachen Montage vor Ort bzw. zur Realisierung eines hohen Vormontagegrads im Werk besonders. So wurden sogenannte Hakenplattenanschlüsse konstruiert, bei denen die Anschlusskraft auf geringster Fläche als Stahl-Stahlverbindung übertragen wird und die Lagesicherung bei der Montage nur durch den Einbau eines Sicherungsbolzens sicher gestellt werden musste.

## Zusammenfassung

Verbindungen sind mehr als das Zusammenfügen mehrerer Stäbe. Mit den Verbindungen kann die Eleganz aber auch die Robustheit eines Gebäudes bzw. einer Holzstruktur beeinflusst werden. Die Wahl der Möglichkeiten ist gross. Die Ingenieure sind gefordert dies bei dem Entwurf und der Bemessung von Konstruktionen im Ingenieurholzbau auch entsprechend ambitioniert zu nutzen.

Für das normale Tagesgeschäft und Regelaufgaben stehen im Holzbau noch kaum typisierten Verbindungen entsprechend dem Stahlbau zur Verfügung. Die in kürze erscheinende Holzbautabellen II könnten ein Schritt in diese (richtige) Richtung darstellen. Jedoch verwenden wir im Holzbau keine standardisierten Querschnitte. Wir sind besonders stolz darauf, dass wir jeden Querschnitt optimieren können.

## Literatur

- [1] Tannert, T. and Lam, F. (2006). Geometry parameters of Rounded Dovetail Connections. Proceedings, 9th World Conference on Timber Engineering, Portland, USA, 3-13-4.
- [2] Tannert, T., Hehl, S., Vallée, T. Probabilistische Bemessung von geklebten Anschlüssen im Holzbau. Bautechnik, 87, 2010.
- [3] Jung P., Steiger R., Wenk T. (2008): Lignatec 23/2008 Erdbebengerechtes Entwerfen und Konstruieren von mehrgeschossigen Holzbauten. LIGNUM Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- [4] Norm SIA 265 (2003): Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- [5] Blumer BSB AG, Mooshalde, Waldstatt
- [6] Milbrandt, E. (1981): Konstruktionsbeispiele Berechnungsverfahren Teil 5, INFORMATIONSDIENST HOLZ, EGH Entwicklungsgemeinschaft Holzbau , DGfH, München
- [7] Milbrandt, E. (1979): Konstruktionsbeispiele Berechnungsverfahren Teil 4, INFORMATIONSDIENST HOLZ, EGH Entwicklungsgemeinschaft Holzbau , DGfH, München
- [8] Egli, C., Renfer, C. Berner Fachhochschule Projektarbeit im HS 2010/11 des 6. Semesters TST Bachelor Holz
- [9] SJB.Kempter.Fitze AG, Frauenfeld (2009): Modellierung Gitterschale Centre Pompiou, Metz
- [10] Nebgen, N., Müller, A., Reutlingen; Statische Modellbildung, Mehrzweckhalle Trochtelfingen