

1 Einleitung

In Deutschland erfordern die meisten Bauvorhaben eine Genehmigung der zuständigen Bauaufsichtsbehörde, welche im Rahmen eines Bauantragsverfahrens erteilt werden kann. Zu den erforderlichen Nachweisen gehört u. a. eine von einem Tragwerksplaner erstellte statische Berechnung des Bauwerks. Diese dient dem Nachweis der Standsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit.

Bauantrag

Bauvorhaben werden in drei Schwierigkeitsstufen unterschieden:

- Vorhaben geringer Schwierigkeit (u. a. Wohngebäude geringer Höhe)
- Vorhaben mittlerer Schwierigkeit
- Sonderbauten (u. a. Hochhäuser, Messebauten, Krankenhäuser, Sporthallen, Brücken)

Nach den letzten Bauordnungsrechtsnovellen ist allerdings nur noch bei Sonderbauten die Statik zusammen mit dem Bauantrag einzureichen. Für alle anderen Bauvorhaben ist eine spätere Vorlage beispielsweise bei der Bauabnahme ausreichend. Für Bauwerke mittlerer Schwierigkeit muss der Bauherr die Statik durch einen verantwortlichen Sachverständigen für Standsicherheit überprüfen lassen. Bei Sonderbauten erfolgen diese Prüfungen im Auftrag der Bauaufsichtsbehörde durch Prüfengeure. Für einfache Projekte wie Ein- und Zweifamilienhäuser ist eine Prüfung im Regelfall nicht erforderlich. Die Aufstellung der statischen Berechnungen erfolgt durch Tragwerksplaner, die über hinreichende Kenntnisse und Erfahrungen verfügen. In den meisten Bundesländern werden Listen mit bauvorlageberechtigten Tragwerksplanern geführt.

statische Berechnung

Im Rahmen der statischen Berechnung ist zu überprüfen, ob die Konstruktion unter den zu erwartenden Einwirkungen mit ausreichender Sicherheit nicht versagt (beispielsweise durch Bruch oder Ausknicken). Die Belastungen und Materialkennwerte werden daher mit Teilsicherheitsbeiwerten modifiziert, um u.a. Vereinfachungen der Berechnungsverfahren sowie Streuungen der Lastannahmen und Materialeigenschaften auszugleichen. Des Weiteren ist die Gebrauchstauglichkeit (keine übermäßigen Verformungen oder Schwingungen) einzelner Bauteile zu gewährleisten.

Ziel der Tragwerksplanung ist es, die erforderliche Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion über die vorgesehene Lebensdauer mit der Forderung nach Wirtschaftlichkeit und Ästhetik in Einklang zu bringen. Daher sind die Wahl der Materialien, die Verbindungsmitteltechnik, die Konzeption der Tragsysteme sowie die Detailausbildung von besonderer Bedeutung.

Wirtschaftlichkeit

Bei der Berechnung und Bemessung von Holzkonstruktionen sind mehrere, aufeinander aufbauende Schritte zu differenzieren:

1) *Statische Systeme*

Die Wahl eines geeigneten statischen Systems für ein Bauteil ist die wichtigste Voraussetzung für eine vernünftige Konstruktion. Ist dieses bereits ungünstig gewählt, so ergeben sich häufig schwer realisierbare und teure Konstruktionen.

2) *Lastannahmen und Lastkombinationen unter Berücksichtigung des Sicherheitskonzeptes (→ Abschnitt 3)*

Annahme und Zusammenstellung aller Lasten, die auf das Bauwerk wirken (Eigenlasten, Nutzlasten, Wind- und Schneelasten). Diese sind hauptsächlich in der DIN 1055 (Lastannahmen für Bauten) geregelt. In besonderen Fällen muss die Lastannahme mit dem Bauherrn und der zuständigen Baubehörde abgestimmt werden. Bei Bauwerken in erdbebengefährdeten Bereichen ist zudem DIN 4149 (Bauten in deutschen Erdbebengebieten) zu beachten.

3) *Schnittgrößen*

Bestimmung der Schnittgrößen auf der Grundlage von 1) und 2) nach den allgemein anerkannten Regeln der Statik.

4) *Nachweise auf der Grundlage der maßgebenden Normen und Technischen Regelwerke (→ Abschnitt 4/5).*

Die Bemessung hölzerner Tragkonstruktionen einschließlich ihrer Verbindungen erfolgt nach der DIN 1052:2008-12. Bei der Bemessung der Holzbauteile kann zwischen zwei Hauptbereichen unterschieden werden:

- Tragverhalten der Einzelbauteile
- Ausreichende Dimensionierung der Anschlüsse

Vielfach ist im Holzbau nicht das Tragvermögen der Tragglieder sondern der Anschluss an andere Bauteile für die Dimensionierung maßgebend.

Bestandteil der statischen Berechnung sind weiterhin Übersichtspläne (Positionspläne), aus denen die einzelnen Positionen der Berechnung unter Angabe der Bauteilabmessungen, Baustoffe etc. hervorgehen.

2 Einwirkungen und Tragwiderstand

2.1 Allgemeines

Die Bemessung von Tragwerken und Tragwerksteilen im Holzbau wird durch die DIN 1052:2008 geregelt. Die Nachweisführung erfolgt auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts (DIN 1055-100:2001), das mit den aktuellen Einwirkungs- und Bemessungsnormen im Bauwesen Einzug gehalten hat. Dabei handelt es sich um eine differenzierte Sicherheitsbetrachtung, bei der die Sicherheiten durch Beiwerte auf der Seite der Einwirkungen und des Materials getrennt betrachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens aller Einwirkungen zur gleichen Zeit und mit voller Intensität wird durch Kombinationsbeiwerte berücksichtigt. Zudem werden weitere Faktoren zur Berücksichtigung der Nutzungsbedingungen (Belastungsdauer, Umgebungsklima) verwendet.

Sicherheitskonzept
nach DIN 1055-100

Bei der Nachweisführung wird zwischen dem Grenzzustand der Tragfähigkeit und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unterschieden. Der Nachweis der Tragfähigkeit von Holzbauteilen und mechanischen Verbindungen beruht auf der Gegenüberstellung des Bemessungswertes für die Beanspruchung und des Bemessungswertes für den Tragwiderstand. Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit werden die Verformungen eines Tragwerks mit den empfohlenen Grenzwerten verglichen. Sofern keine separaten Vereinbarungen mit dem Bauherrn getroffen werden, sind die empfohlenen Grenzwerte der DIN 1052 einzuhalten. Dabei wird angeraten, ausschließlich strengere Anforderungen mit dem Bauherrn zu vereinbaren. Der durch die empfohlenen Grenzwerte sichergestellte Standard sollte in keinem Fall herabgesetzt werden.

Tragfähigkeit
Gebrauchstauglichkeit

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen den allgemeinen Ablauf einer Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

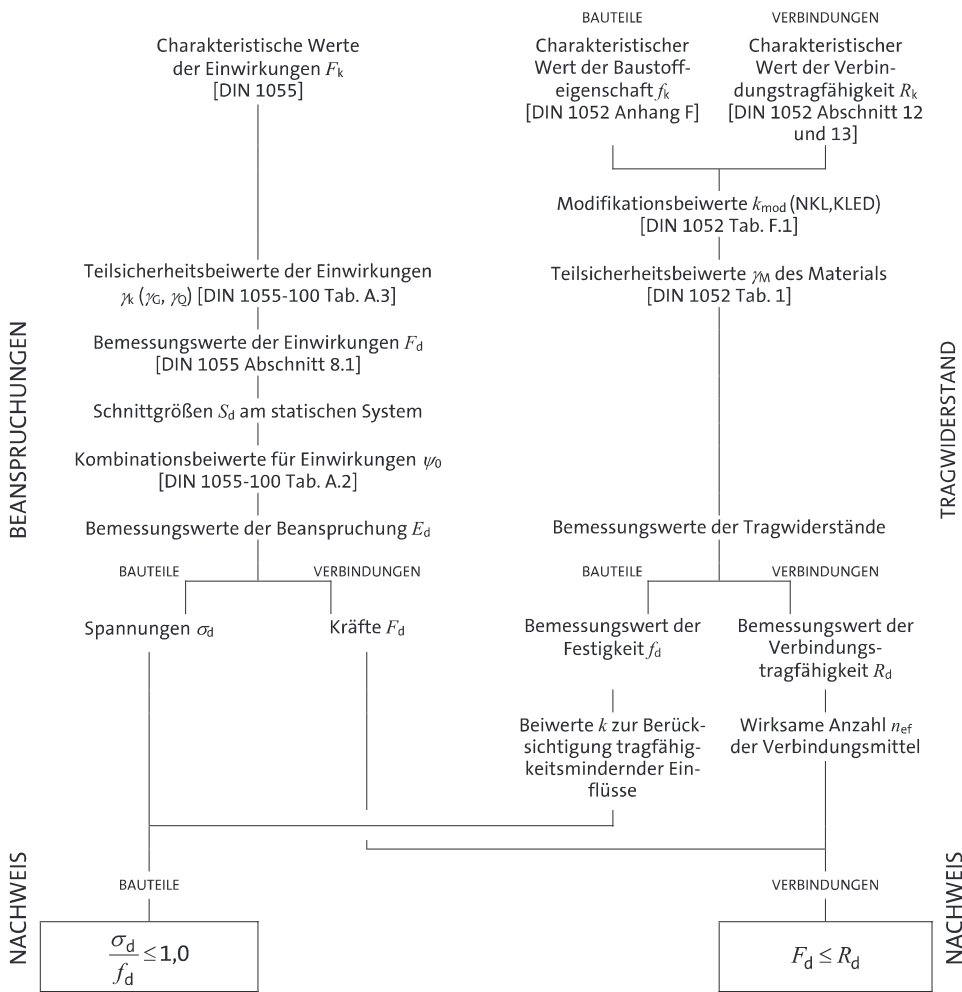


Abbildung 1: Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Bauteile und Verbindungen

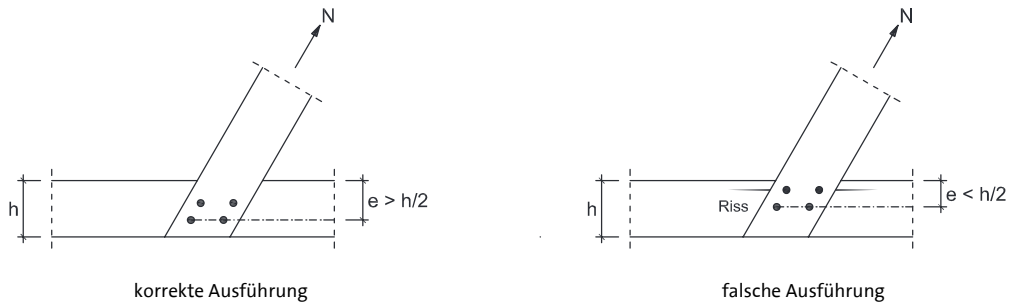


Abbildung 61: Beispiel – Queranschluss

Bei der Planung der Verbindungsmittelanordnungen sind zusätzlich Auswirkungen möglicher Feuchteänderungen zu bedenken. In Bereichen, in denen das Quellen und Schwinden durch die Verbindungsmittel behindert wird, entstehen Zusatzbeanspruchungen. Um entsprechende Querspannungen zu vermeiden, sind die Verbindungsmittel zusammen auf einer Seite anzuordnen. Klemmbolzen, die lediglich der Lagesicherung dienen, sind in Langlöchern anzuordnen.

Querzug infolge Quellen / Schwinden

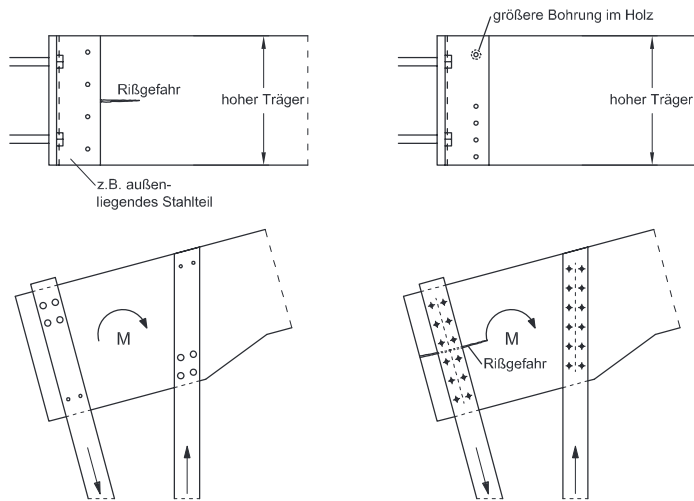


Abbildung 62: links: Anschlüsse mit Querzugrisen infolge Schwinden
rechts: Anschlüsse unter Vermeidung von Querzugspannungen durch Ausführung mit Langlöchern für die Klemmbolzen

den. Dabei beschreibt der Verschiebungsmodul K_{ser} [N/mm] die Kraftaufnahme F [N] pro Verschiebung u [mm] und ist abhängig von der Rohdichte des Holzes und dem Verbindungsmitteldurchmesser.

$$K_{ser} = \frac{F}{u}$$

Tabelle 41: Verschiebungsmoduln K_{ser} [N/mm] je Scherfuge stiftförmiger Verbindungsmittel und je Verbindungseinheit mit Dübeln besonderer Bauart

Verbindungsmittel	Verbindungen Holz-Holz, Holz-Holzwerkstoff, Stahl-Holz		
Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d^{1)}$		
Nägeln, Holzschrauben	vorgebohrt	nicht vorgebohrt	
	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$	$\frac{\rho_k^{1,5}}{25} \cdot d^{0,8}$	
Klammern	$\frac{\rho_k^{1,5}}{60} \cdot d^{0,8}$		
Dübel besonderer Bauart	Typ A1 + B1 $0,6 \cdot d_c \cdot \rho_k$	Typ C1 bis C5 $0,3 \cdot d_c \cdot \rho_k$	Typ C10 + C11 $0,45 \cdot d_c \cdot \rho_k$
¹⁾ Bei mit Übermaß gebohrten Löchern ist bei Bolzen und Gewindestangen (nicht bei eingeklebten Gewindestangen und Passbolzen) mit einem zusätzlichen Schlupf von 1 mm zu rechnen! Bei Bauteilen mit unterschiedlichen charakteristischen Rohdichtekennwerten $\rho_{k,1}$ und $\rho_{k,2}$ gilt: $\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$			

Die Nachgiebigkeit der Verbindungen ist u. a. in folgenden Berechnungen zu berücksichtigen:

- genauere Verformungsberechnungen
Beispielsweise führen bei Fachwerkträgern die Nachgiebigkeiten in den Anschlüssen zu größeren Durchbiegungen.
- Stabilitätsnachweise
Bei Stabilitätsproblemen stellt sich infolge der Nachgiebigkeit im Anschlussbereich gegenüber einer starren Verbindung eine andere Knickfigur ein, die rechnerisch durch eine vergrößerte Knicklänge berücksichtigt werden muss (Tabelle 18).
- Spannungsnachweise statisch unbestimmter Systeme
Bei statisch unbestimmten Systemen haben die Steifigkeiten der Bauteile und Verbindungen Einfluss auf die Beanspruchungen. „Weiche“ Tragelemente geben die Kräfte an „starre“ Teile ab, so dass hier die Nachgiebigkeit bereits bei der Schnittgrößenermittlung berücksichtigt werden muss.

Einfluss der Nachgiebigkeit auf die Konstruktion

5.7 Beispiel: Gegenüberstellung einiger Ausführungsvarianten eines Zugstoßes

Wahl eines geeigneten Verbindungsmittels = Optimierungsproblem

Häufig stellt sich die Frage, welches Verbindungsmittel für welche Verbindung das günstigste ist. Neben den statischen Anforderungen sollte der Planer immer auch die Material- und Herstellungskosten des Anschlusses sowie konstruktive und gestalterische Ansprüche bedenken. Die Wahl des geeigneten Verbindungsmittels stellt somit ein Optimierungsproblem dar, bei dem sämtliche Vor- und Nachteile abzuwägen sind.

Anhand des Beispiels eines Zugstoßes sollen im Folgenden die wesentlichen Verbindungsmittelcharakteristiken hinsichtlich des Trag- und Verformungsverhaltens dargestellt werden.

Betrachtet wird ein 2-schnittiger Zugstoß mit einem Mittelholz 120/180 mm und zwei Laschen 60/180 mm gemäß Abbildung 111. Die Berechnung erfolgt für eine Bemessungszugkraft $Z_d \approx 100$ kN. Der Stoß wird mit verschiedenen Verbindungsmitteln ausgeführt.

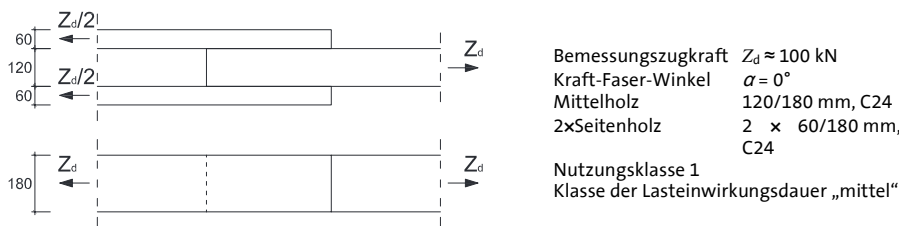


Abbildung 111: Zugstoß

Anschlussvarianten:

- a) Stabdübel $\varnothing 10$ mm, S235
- b) Stabdübel $\varnothing 20$ mm, S235
- c) Nägel 42×100 , einschnittig, glattschaftig, nicht vorgebohrt
- d) Nägel 42×100 , einschnittig, glattschaftig, vorgebohrt
- e) Holzschraube 5×100 , Senkkopf, Vollgewinde
- f) Einlassdübel, Typ A1, $\varnothing 65$ mm
- g) Einpressdübel, Typ C5, $\varnothing 130$ mm + Bolzen M24, Festigkeitsklasse 4.6

Ergebnisse:

Die Ergebnisse sind in und Abbildung 113 dargestellt. Obwohl mit den gewählten Anschlussvarianten annähernd die gleiche Tragfähigkeit erreicht wird, sind die Unterschiede in der Anfangsverschiebung offensichtlich. Neben dem Verformungsverhalten lässt sich die Leistungsfähigkeit des Anschlusses anhand des Anschlusswertes beurteilen. Dieser wird definiert als die Kraft, die pro Flächeneinheit des Anschlussbildes übertragen werden kann. Große Anschlusswerte sind somit optimal, da die größtmögliche Kraft über die kleinste Fläche abgetragen wird. Das Anschlussbild wird durch das gewählte