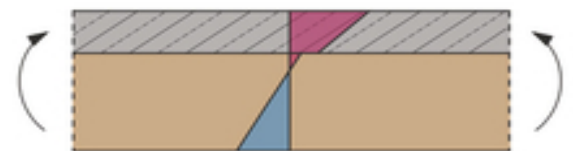
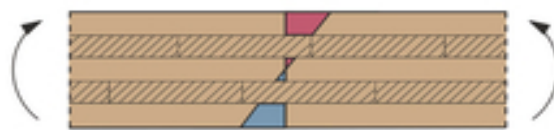


# Ingenieurholzbau

Vertiefung: Tragwerke und  
Berechnungsmethoden

Werner Seim

Bauingenieur-Praxis



# Inhaltsverzeichnis

[Cover](#)

[Titelseite](#)

[Impressum](#)

[Vorwort](#)

## [1 Theoretische Grundlagen](#)

[1.1 Festigkeiten und Maßstabeffekt](#)

[1.2 Bruchmechanik - sprödes Versagen](#)

[1.3 Plastizitätstheorie](#)

[1.4 Berechnungsverfahren für zusammengesetzte Querschnitte -  \$\gamma\$ -Verfahren](#)

[1.5 Verschieblicher Verbund einer geklebten Verbindung](#)

[1.6 Berechnung nach Theorie II. Ordnung](#)

[Literatur](#)

## [2 Bauteile](#)

[2.1 Träger und Stützen als zusammengesetzte Bauteile](#)

[2.2 Weit gespannte Träger](#)

[2.3 Platten und Scheiben aus Brettsperrholz](#)

[2.4 Rechnerische Modellierung von Bauteilen](#)

[Literatur](#)

## [3 Anschlüsse und Verbindungen](#)

[3.1 Formschlüssige Holz-Holz-Verbindungen](#)

[3.2 Gelenkige und biegesteife Anschlüsse](#)

[3.3 Verbindungen und Anschlüsse mit Brettsperrholz](#)

[3.4 Geklebte Verbindungen](#)

[3.5 Verstärkung bei Querkzugbeanspruchung](#)

[Literatur](#)

[4 Tragwerke unter dynamischen Einwirkungen](#)

[4.1 Dynamik und Schwingungen](#)

[4.2 Schwingungsverhalten von Decken](#)

[4.3 Erdbebensicheres Bauen](#)

[Literatur](#)

[5 Tragwerksentwurf](#)

[5.1 Mehrgeschossiger Holzbau](#)

[5.2 Hallentragwerke](#)

[5.3 Brücken](#)

[Literatur](#)

[Stichwortverzeichnis](#)

[End User License Agreement](#)

## **List of Illustrations**

Chapter 1

[Abb. 1.1 Kantholz mit Ästen: \(a\) zugbeansprucht, \(b\) biegebeansprucht und \(c\) Sp...](#)

[Abb. 1.2 \(a\) Statistische Verteilung unterschiedlicher Festigkeiten von Nadelhol...](#)

[Abb. 1.3 Balken mit B- und D-Bereichen infolge lokaler Diskontinuitäten.](#)

[Abb. 1.4 \(a\) Beanspruchungsmoden und \(b\) beispielhafte Spannungs-Dehnungs-Bezieh...](#)

[Abb. 1.5 Eingeschnittener Balken mit zwei Einzellasten.](#)

[Abb. 1.6 \(a\) Energiebilanz und \(b\) Last-Verformungs-Beziehung beim Rissfortschri...](#)

[Abb. 1.7 Ausgeklinktes Trägerauflager.](#)

[Abb. 1.8 Einschnittige Holz-Holz-Verbindung \(a\). Versagensmechanismus mit zwei Fl...](#)

[Abb. 1.9 Schubfeldmodell: \(a\) statisches System, \(b\) Annahme Schubfluss und \(c\) ...](#)

[Abb. 1.10 Zusammenwirken von Querschnitten: \(a\) zwei Einzelquerschnitte ohne Ver...](#)

[Abb. 1.11 Definition von Kräften und Verschiebungen im Bereich der Verbundfuge.](#)

[Abb. 1.12 Verbundträger: \(a\) Seitenansicht im Auflagerbereich, \(b\) geometrische ...](#)

[Abb. 1.13 Einfeldträger mit sinusförmiger Linienlast.](#)

[Abb. 1.14 Verlauf der Biege- und Schubspannungen am unterteilten Verbundquerschn...](#)

[Abb. 1.15 Beispiel für Verbundansätze mit plastischem Verhalten: \(a\) Bohrpfahl, ...](#)

[Abb. 1.16 Eingelebte Gewindestange mit verschieblichem Verbund: \(a\) Geometrie u...](#)

[Abb. 1.17 Eingelebte Gewindestange mit verschieblichem Verbund: \(a\) Randbedingu...](#)

[Abb. 1.18 Berechnung nach Theorie I., II. und III. Ordnung – schematischer Vergl...](#)

[Abb. 1.19 Ersatzkräfte für Imperfektionen: \(a\) Druckstab und \(b\) kipgefährdeter...](#)

[Abb. 1.20 Imperfektionen: \(a\) Schiefstellung, \(b\) Vorkrümmung und \(c\) Überlageru...](#)

## Chapter 2

[Abb. 2.1 Zusammengesetzte Querschnitte.](#)

[Abb. 2.2 \(a\) Wellstegträger mit aufgelösten Stegen infolge Feuchteeinwirkung \(Qu...](#)

[Abb. 2.3 \(a\) Steg- und Kastenträger mit flächiger Verklebung, \(b\) Biegespannung...](#)

[Abb. 2.4 Tafелеlement als Verbundquerschnitt: \(a\) Definition der mitwirkenden Br...](#)

[Abb. 2.5 \(a\) Hohlkastenelement Lignotrend, \(b\) Schubverformung der Querlage und ...](#)

[Abb. 2.6 Querschnittsformen von HBV-Decken.](#)

[Abb. 2.7 Anschauungsmodelle mit unterschiedlichen HBV-Verbindern: \(a\) mit eingek...](#)

[Abb. 2.8 Holzschrauben als Verbindungsmittel für Holz-Beton-Verbundträger: \(a\) s...](#)

[Abb. 2.9 \(a\) HBV-System mit eingeklebtem Streckmetall als Schubverbinder und \(b\)...](#)

[Abb. 2.10 Spannungsverteilung am Holz-Beton-Verbundquerschnitt: \(a\) Beton überdr...](#)

[Abb. 2.11 Anwendung Holz-Beton-Verbund: \(a\) Sanierung einer Decke mit HBV \(Quell...](#)

[Abb. 2.12 Holz-Beton-Verbund mit Stahlbetonfertigteilen: \(a\) Kunststoffhülsen fü...](#)

[Abb. 2.13 Zusammengesetzte Druckstäbe: \(a\) mit kontinuierlicher Verbindung, \(b\) ...](#)

[Abb. 2.14 Zusammengesetzte Druckstäbe mit kontinuierlicher Verbindung: \(a\)-\(d\) m...](#)

[Abb. 2.15 Zweiund dreiteilige gespreizte Druckstäbe: \(a\) mit Zwischenhölzern und...](#)

[Abb. 2.16 Gespreizte Stäbe - Beanspruchung der Bindehölzer \(Zwischenhölzer sinng...](#)

[Abb. 2.17 Gespreizte Stützen: \(a\) mit N-förmiger und \(b\) mit V-förmiger Vergitte...](#)

[Abb. 2.18 Krümmung einer Brettlamelle.](#)

[Abb. 2.19 Balkenelement aus einem gekrümmten Träger: \(a\) Dehnungen und Biegespan...](#)

[Abb. 2.20 \(a\) Gekrümmter Träger, \(b\) Satteldachträger und \(c\) Satteldachträger m...](#)

[Abb. 2.21 Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt: \(a\) aufgesetzter First und ...](#)

[Abb. 2.22 Beispielhafte Anschlüsse für Fachwerkträger.](#)

[Abb. 2.23 Geometrische Größen für Fachwerke.](#)

[Abb. 2.24 Gebäude in Brettsperrholzbauweise.](#)

[Abb. 2.25 Aufbau einer Brettsperrholzplatte - vom Einzelbrett zum Brettsperrholz...](#)

[Abb. 2.26 Herstellung von Brettsperrholzelementen: \(a\) Klebstoffauftrag und \(b\) ...](#)

[Abb. 2.27 Wandelemente aus Brettsperrholz: \(a\) CNC-gesteuerter Abbund und \(b\) mi...](#)

[Abb. 2.28 Definition der Schnittgrößen und Spannungen für Platten und Scheiben a...](#)

[Abb. 2.29 Verteilung der Biegespannungen für schubstarr und nachgiebigen Verbu...](#)

[Abb. 2.30 Geometrische Zusammenhänge und Übergang zum effektiven Querschnitt.](#)

[Abb. 2.31 Verformung der Lagen infolge Schub, Ermittlung der Ersatzschubsteifigk...](#)

[Abb. 2.32 Biege- und Schubspannungen bei Brettsperrholzplatten: \(a\) Haupttragric...](#)

[Abb. 2.33 Brettsperrholzplatten unter Schubbeanspruchung: \(a\) Schubbeanspruchung...](#)

[Abb. 2.34 Schnittgrößen \(Biegemomente  \$m\_x, m\_y\$ \) und Auflagerkräfte einer Platte: \(...\)](#)

[Abb. 2.35 Bereiche mit konzentrierter Lasteinleitung – Querdruck unter Einzellas...](#)

[Abb. 2.36 Lasteinleitung, kritischer Schnitt und mitwirkende Breite: \(a\) zentral...](#)

[Abb. 2.37 Wandscheibe aus Brettsperrholz unter horizontaler Beanspruchung in der...](#)

[Abb. 2.38 BSP-Wandelemente unter Schubbeanspruchung: \(a\) Mechanismus – reiner Sc...](#)

[Abb. 2.39 Brettsperrholzelement – kombinierte Beanspruchung aus Normalkraft und ...](#)

[Abb. 2.40 Modellierung von Tragwerken mit formschlüssigen Verbindungen – Stütze-...](#)

[Abb. 2.41 Modellierung von Tragwerken mit mechanischen Verbindungsmitteln: \(a\) T...](#)

[Abb. 2.42 Wandtafel: \(a\) Ersatzbiegesteifigkeit und \(b\) Ersatzschubsteifigkeit.](#)

[Abb. 2.43 Verformung  \$u\_\phi\$  infolge der Rotation des BSP-Elements.](#)

[Abb. 3.1 Formschlüssige Holzverbindungen der griechischen Antike. \(Quelle: Orlan...](#)

[Abb. 3.2 Innenansicht und Konstruktionsdetail des Tamedia-Gebäudes in Zürich.](#)

[Abb. 3.3 Anschluss unter reiner Druckbelastung.](#)

[Abb. 3.4 Druckkräfte aus Diagonalen – Kopfbänder.](#)

[Abb. 3.5 Druckkräfte aus Diagonalen – Sparrendach.](#)

[Abb. 3.6 Zug- und Druckkräfte aus Diagonalen: \(a\) Kopfbänder, \(b\) und \(c\) Kehlba...](#)

[Abb. 3.7 Querkraftanschluss zwischen Haupt- und Nebenträgern: \(a\) statisches Sys...](#)

[Abb. 3.8 Exzentrische Krafteinleitung in Diagonalen: \(a\) mit gleicher und \(b\) mi...](#)

[Abb. 3.9 Grundformen der Blattverbindungen: \(a\) liegendes Blatt, \(b\) stehendes B...](#)

[Abb. 3.10 Gerades Hakenblatt mit Bezeichnungen.](#)

[Abb. 3.11 Blattverbindungen: \(a\) Verlauf der Schubspannungen und \(b\) Sicherung g...](#)

[Abb. 3.12 \(a\) Schräges Hakenblatt mit Keilen und \(b\) gerades Blatt.](#)

[Abb. 3.13 Zugbeanspruchte schwalbenschwanzförmige Blattverbindung – Grundgeometr...](#)

[Abb. 3.14 Blattverbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln: \(a\) biegesteife...](#)

[Abb. 3.15 Versätze: \(a\) Stirnversatz, \(b\) Fersenversatz und \(c\) doppelter Versat...](#)

[Abb. 3.16 Lagesicherung von Versätzen: \(a\) Sondernagel, \(b\) Bolzen und \(c\) Streb...](#)

[Abb. 3.17 Konstruktive Regeln für den Stirnversatz.](#)

[Abb. 3.18 Konstruktive Regeln: \(a\) Fersenversatz und \(b\) doppelter Versatz.](#)

[Abb. 3.19 Kräftespiel am Stirnversatz: \(a\) Kontakt Rückenfläche und \(b\) Reibung ...](#)

[Abb. 3.20 \(a\) Zapfenverbindung an einer Stütze, \(b\) Zapfenverbindung an einem Ri...](#)

[Abb. 3.21 Bezeichnungen an einer Zapfenverbindung.](#)

[Abb. 3.22 Geometrische Bedingungen für Zapfenverbindungen.](#)

[Abb. 3.23 Fiktive Geometrie für die Berechnung der Tragfähigkeit von Zapfen: \(a\)...](#)

[Abb. 3.24 Schwalbenschwanzförmige Verbindung: \(a\) geometrische Randbedingungen u...](#)

[Abb. 3.25 Formschlüssige Verbindungen \(a\) Nachgiebigkeiten im Vergleich und \(b\) ...](#)

[Abb. 3.26 Vereinfachte Kennlinie und Nachgiebigkeiten von Holzverbindungen nach ...](#)

[Abb. 3.27 Zugstoß mit eingeschlitztem Stahlblech.](#)

[Abb. 3.28 Druck- oder Zugstoß mit seitlichen Laschen.](#)

[Abb. 3.29 Biegebeanspruchter Balkenstoß.](#)

[Abb. 3.30 Stützenfuß: \(a\) gelenkig, mit biegesteifer Verbindung zwischen Stahlei...](#)

[Abb. 3.31 \(a\) Fachwerkknoten, \(b\) ideale Situation, \(c\) realitätsnahe Modellieru...](#)

Abb. 3.32 „Langes Auflager“ mit seitlicher Halterung: (a) Rissbildung infolge un...

Abb. 3.33 Hoher Träger mit Gabellagerung (Seitenansicht): (a) Rissbildung infolg...

Abb. 3.34 Rahmenecke mit Dübelkreis.

Abb. 3.35 Biegesteifer Balkenstoß mit eingeschlitztem Stahlblech: (a) Vektoraddi...

Abb. 3.36 Zugstoß: (a) mit außenliegender Lasche, (b) ohne zugfeste Verbindungsm...

Abb. 3.37 Elementstöße bei Brettsperrholzkonstruktionen: (a) Eckstoß/T-Stoß, (b)...

Abb. 3.38 Auflagerbereich, Wand-Decken-Anschluss mit Stahlblechformteilen und El...

Abb. 3.39 Lastfluss an einer BSP-Wandscheibe: (a) ohne und (b) mit vertikalem St...

Abb. 3.40 (a) Lastfluss bei einer Deckenscheibe unter horizontaler Belastung und...

Abb. 3.41 Geschraubte Anschlussschmalseite mit Verstärkung.

Abb. 3.42 Erste Beispiele für die Brettschichtholzbauweise: (a) Brücke über die ...

Abb. 3.43 Einteilung der Klebstoffe.

Abb. 3.44 Pressvorrichtung für Brettschichtholz.

Abb. 3.45 Schäftung: (a) Seitenansicht; (b) Kraftzerlegung.

Abb. 3.46 Geometrie der Keilzinkenverbindung.

Abb. 3.47 Herstellung von Verbindungen mit eingeklebten Stahlstangen nach Steige...

[Abb. 3.48 Schraubenpressklebung.](#)

[Abb. 3.49 Verstärkungsmaßnahmen am Beispiel einer Ausklinkung: \(a\) Vollgewindesc...](#)

[Abb. 3.50 Qualitativer Verlauf der Schubspannungen und Querkzugspannungen im Bere...](#)

[Abb. 3.51 Verstärkung einer Ausklinkung mit eingeklebten Gewindestangen und effe...](#)

[Abb. 3.52 Ausklinkung mit beidseitiger, außenliegender Verstärkung.](#)

[Abb. 3.53 Beispiele für Anschlüsse mit Querkzugbeanspruchung.](#)

[Abb. 3.54 Beispiel eines Queranschlusses mit Zangen und zwei Verbindungsmittelgr...](#)

[Abb. 3.55 Beispiel von Verstärkungen für Queranschlüsse: \(a\) innen liegend mit V...](#)

[Abb. 3.56 Ermittlung der Biegerandspannungen an Durchbrüchen über die Anteile au...](#)

[Abb. 3.57 Lage der potenziellen Rissebene und mögliche Verstärkung mit innen lie...](#)

[Abb. 3.58 Erhöhte Schubspannungen durch Umlagerungen der Schubspannungen vom B-i...](#)

[Abb. 3.59 Schematische Anordnung von Querkzugverstärkungen bei: \(a\) Satteldachträ...](#)

[Abb. 3.60 \(a\) Verteilung der Biegespannungen in einem gekrümmten Träger und \(b\)...](#)

[Abb. 3.61 Verteilung der Verstärkungselemente in Trägerlängsachse.](#)

[Abb. 3.62 Maximale und effektive Schubspannung in einer Klebefuge der Querkzugver...](#)

[Abb. 3.63 Verstärkung einer Stahlblech-Holz-Verbindung mit Stabdübeln durch eing...](#)

[Abb. 3.64 Last-Verformungs-Verhalten von Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Stabdü...](#)

[Abb. 3.65 Spaltversagen eines Dübelkreises mit Verstärkungsmöglichkeit.](#)

## Chapter 4

[Abb. 4.1 Einmassenschwinger: \(a\) Masse-Feder-System, \(b\) Einfeldträger und \(c\) K...](#)

[Abb. 4.2 Freie, ungedämpfte Schwingung des Einmassenschwingers: \(a\) Verschiebung...](#)

[Abb. 4.3 Freie und gedämpfte Schwingung des Einmassenschwingers.](#)

[Abb. 4.4 Mehrmassenschwingermodell für ein viergeschossiges Gebäude zur Bestimmu...](#)

[Abb. 4.5 Zweifeldträger mit \(a\) gleichen und \(b\) unterschiedlichen Spannweiten.](#)

[Abb. 4.6 Balkenlage mit Träger: \(a\) Träger als nachgiebiges Auflager und \(b\) Bie...](#)

[Abb. 4.7 Balkenlage mit Beplankung – Definition von Längsund Quersteifigkeit.](#)

[Abb. 4.8 Schwingungstechnisches Bewertungsschema für Deckenkonstruktionen nach H...](#)

[Abb. 4.9 Brettsperrholzwandelemente unter zyklischer Belastung: \(a\) Versuchsaufb...](#)

[Abb. 4.10 Abgrenzung duktiler und nicht duktiler Bereiche mit der „Kettenanalogi...](#)

[Abb. 4.11 Anordnung von aussteifenden Wänden: \(a\) ungünstig und \(b\) günstig.](#)

[Abb. 4.12 Gliederung von Gebäudegrundrissen: \(a\) ungünstig und \(b\) günstig, nach...](#)

[Abb. 4.13 Steifigkeit aussteifender Wände über die Höhe eines Gebäudes: \(a\) ungü...](#)

[Abb. 4.14 \(a\) Horizontales Antwortspektrum, siehe auch Gln. \(4.36\)–\(4.38\), und \(...\)](#)

[Abb. 4.15 Spektrale Antwortbeschleunigung im Plateaubereich für Deutschland für ...](#)

[Abb. 4.16 Schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen in Deutsch...](#)

[Abb. 4.17 Beispielhaftes Gebäude, vereinfachtes Modell \(Ersatzstab\).](#)

[Abb. 4.18 Verteilung der Gesamterdbebenkraft über die Höhe eines Gebäudes.](#)

[Abb. 4.19 \(a\) Mehrmassenschwinger multimodal und \(b\) räumliche modale Analyse.](#)

[Abb. 4.20 Duktile und nicht duktile Elemente einer Wandtafel.](#)

[Abb. 4.21 Duktile und nicht duktile Elemente einer Brettsperrholzwand.](#)

[Abb. 4.22 Definition der gegenseitigen Stockwerksverschiebung.](#)

## Chapter 5

[Abb. 5.1 Beispiele für mehrgeschossigen Holzbau: \(a\) Blockbau Saas-Balen \(Quelle...](#)

[Abb. 5.2 Schalltechnisch entkoppelte Wand-Decken-Knoten: \(a\) mit Elastomerlager ...](#)

[Abb. 5.3 Anordnung von Erschließungskernen: \(a\) zentral und \(b\) am Rand.](#)

[Abb. 5.4 Beispiele für mehrgeschossigen Holzbau: \(a\) C13 Berlin \(Quelle: Kaden +...](#)

[Abb. 5.5 Deckenaufleger ohne Querdruck: \(a\) Wandtafeln mit Schwellen aus Furnier...](#)

[Abb. 5.6 Historische Dachtragwerke: \(a\) Marienmünster Reichenau, ca. 1235 und \(b...](#)

[Abb. 5.7 Vergleich der Marktanteile von Holz, Stein, Stahl und Beton bei Tragkon...](#)

[Abb. 5.8 \(a\) Vergleich genagelter Brettbinder mit Stahlquerschnitt aus Kersten \(...\)](#)

[Abb. 5.9 Beispielhafte schematische Hallengrundrisse mit Nutzungsbereichen und E...](#)

[Abb. 5.10 Haupttragelemente im Grundriss: \(a, b\) linear gerichtete Systeme, \(c\) ...](#)

[Abb. 5.11 Haupttragelemente im Querschnitt mit Varianten zur Installationsführun...](#)

[Abb. 5.12 Hallenkonstruktion \(a\) ohne und \(b\) mit Nebenträgern.](#)

[Abb. 5.13 Tragsystem für Hallentragwerke: \(a\) linear addiert \(Quelle: Jens Marku...](#)

[Abb. 5.14 Aussteifungskonzepte für Hallentragwerke: \(a\) steife Deckenscheibe mit...](#)

[Abb. 5.15 \(a\) Kranbahn aus Holz \(Quelle: picslix-fotografie\) und \(b\) Anprallschu...](#)

[Abb. 5.16 Bogentragwerke: \(a\) Auflagerkräfte und Normalkraftbeanspruchung und \(b...](#)

[Abb. 5.17 Konstruktionsprinzipien: \(a\) Bohlenbinder \(Gilly 1797\) und \(b\) Zolling...](#)

[Abb. 5.18 Multihalle Mannheim: \(a\) Innenansicht und \(b\) Detail Knotenpunkt.](#)

[Abb. 5.19 Elefantenhaus im Zoo Zürich: \(a\) Innenansicht und \(b\) Detail \(Quelle: ...](#)

[Abb. 5.20 Holzbrücken in der Antike: \(a\) Modell der Rheinbrücke bei Köln \(Quelle...](#)

[Abb. 5.21 Rheinbrücke bei Säckingen: \(a\) Seitenansicht und \(b\) Innenansicht.](#)

[Abb. 5.22 Querschnittstypen für Brücken: \(a\) Deckbrücke, \(b\) Trogbrücke und \(c\) ...](#)

[Abb. 5.23 Holzbrücken in Nordamerika: \(a\) Mountain-Creek Bridge, British Columbi...](#)

[Abb. 5.24 Fußgängerbrücke über die Dreisam bei Ebnet. \(a\) Seitenansicht, \(b\) Det...](#)

[Abb. 5.25 Verlauf der Brückenachse im Lageplan mit Anschluss an den Verkehrsweg:...](#)

[Abb. 5.26 Radwegebrücke bei Breisach: \(a\) Untersicht und \(b\) Detail Aufhängung.](#)

[Abb. 5.27 Brücke als Teil des Verkehrsweges im Höhenplan: \(a\) mit Einschnitt und...](#)

[Abb. 5.28 Typische Brückenquerschnitte mit Angaben zu den Gebrauchsklassen \(aus ...](#)

[Abb. 5.29 Bohlenbeläge: \(a\) ohne und \(b\) mit Nuten zur Rutschsicherung, aus Qual...](#)

[Abb. 5.30 Unplanmäßiges Fahrzeug auf einer Fußgängerbrücke.](#)

[Abb. 5.31 Horizontale Einwirkungen aus Wind \(mit Verkehrsband\) und Holmlasten.](#)

[Abb. 5.32 Queraussteifung \(schematisch\) von Brücken: \(a, b\) Trogbrücken, \(c\) Dec...](#)

## List of Tables

## Chapter 1

[Tab. 1.1. Verformungsmoduln für die Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ord...](#)

## Chapter 2

[Tab. 2.1. Elastizitäts-, Schubund Verschiebungsmodul für zusammengesetzte Bautei...](#)

[Tab. 2.2. Werte der mitwirkenden Breite der Beplankung.](#)

[Tab. 2.3. Rollschubfestigkeit von Holz und Holzwerkstoffen.](#)

[Tab. 2.4. Verschiebungsmoduln unterschiedlicher Verbindungsmittel für eine HBV-K...](#)

[Tab. 2.5. Beiwert  \$\eta\$  für gespreizte Druckstäbe aus EC5.](#)

[Tab. 2.6. Beiwert  \$\mu\$  für Gitterstäbe nach EC5.](#)

[Tab. 2.7. Materialkennwerte von Brettsperrholz.](#)

[Tab. 2.8. Querdruckbeiwert  \$k\_{c,90}\$ .](#)

[Tab. 2.9. Beiwerte  \$k\_R\$  und  \$k\_A\$  nach Mestek \(2011\).](#)

[Tab. 2.10. Knickbeiwerte  \$k\_c\$  für  \$f\_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2\$ ,  \$E\_{0,05} = 9167 \text{ N/mm}^2\$  und  \$\beta\_c = 0...\$](#)

## Chapter 3

[Tab. 3.1 Gleitreibungsbeiwerte für unterschiedliche Oberflächen, Mittelwerte und...](#)

[Tab. 3.2 Geometrische Randbedingungen für schwalbenschwanzförmige Zapfen.](#)

[Tab. 3.3 Mindestabstände für Verbindungen mit Stabdübel, Passbolzen, Nägeln und ...](#)

[Tab. 3.4 Mindestdicken und Mindesteinbindetiefen für Verbindungen in der Schmals...](#)

[Tab. 3.5 Klebstoffe zum Kleben tragender Holzbauteile nach Neuhaus \(2009\).](#)

[Tab. 3.6 Pressdrücke und Presszeiten für Brettschichtholz aus Nadelholz nach Rad...](#)

[Tab. 3.7 Bescheinigungen der Eignung zum Kleben von tragenden Holzbauteilen nach...](#)

[Tab. 3.8 Festigkeiten und Spannungsquerschnitt von Gewindestangen und Betonrippe...](#)

[Tab. 3.9 Rechenwerte für charakteristische Festigkeitskennwerte für Klebefugen b...](#)

[Tab. 3.10 Wirksame Anschlusstiefe  \$t\_{ef}\$  der Verbindungsmittel.](#)

[Tab. 3.11 Geometrische Randbedingungen für unverstärkte Durchbrüche nach EC5/NA.](#)

[Tab. 3.12 Geometrische Randbedingungen für verstärkte Durchbrüche nach EC5/NA.](#)

[Tab. 3.13 Außenliegende Verstärkung des querzugbeanspruchten Bereiches mit aufge...](#)

## Chapter 4

[Tab. 4.1. Hilfswerte zur Ermittlung der Eigenfrequenzen von Biegebalken.](#)

[Tab. 4.2. Hilfswerte zur Ermittlung der Eigenfrequenzen von Zweifeldträgern.](#)

[Tab. 4.3. Empfindlichkeit von Menschen gegenüber vertikalen harmonischen Schwing...](#)

[Tab. 4.4. Grenzwerte für die schwingungstechnische Bewertung von Decken im Holzb...](#)

[Tab. 4.5. Geeignete Konstruktionsarten für Decken mit unterschiedlichen Anforder...](#)

[Tab. 4.6. Lehrsches Dämpfungsmaß für unterschiedliche Deckenkonstruktionen.](#)

[Tab. 4.7. Intensitätsskala und Richterskala in Anlehnung an Landesstelle für Bau...](#)

[Tab. 4.8. Maximale Bodenbeschleunigungen im europäischen Vergleich \(exemplarisch...](#)

[Tab. 4.9. Definition von Regelmäßigkeitskriterien nach EC8.](#)

[Tab. 4.10. Zuordnung von Regelmäßigkeitskriterien und Modellierungsvarianten nac...](#)

[Tab. 4.11. Definition von Bedeutungsbeiwerten  \$\gamma\_I\$  nach EC8.](#)

[Tab. 4.12. Baugrund und Untergrundklassen.](#)

[Tab. 4.13. Kontrollperioden zur Beschreibung des elastischen Antwortspektrums \(T...](#)

[Tab. 4.14. Bodenparameter  \$S\$  aus EC8.](#)

[Tab. 4.15.  \$q\$ -Werte für Aussteifungssysteme im Holzbau \(aus EC8/NA\).](#)

[Tab. 4.16. Beiwerte  \$\phi\$  \(aus EC8/NA\).](#)

[Tab. 4.17. Kombinationsbeiwerte  \$\phi\_2\$  \(nach EC0 und EC8/NA\).](#)

[Tab. 4.18. Beiwerte  \$k\_T\$  nach EC8.](#)

## Chapter 5

[Tab. 5.1. Äquivalente statische Anprallkräfte für häufige Fälle \(nach DIN EN 199...](#)

[Tab. 5.2. Wirkungshöhe für statische Anprallkräfte.](#)

[Tab. 5.3. Anhaltswerte für Bauteilhöhen unterschiedlicher Hallentragwerke.](#)

[Tab. 5.4. Kurvenradien und Steigungen für Radwege und barrierefreie Fußwege nach...](#)

[Tab. 5.5. Anhaltswerte für Lichtraumprofile.](#)

[Tab. 5.6. Brückenbauteile und zugeordnete Gebrauchsklassen, aus Qualitätsgemeins...](#)

[Tab. 5.7. Mindestquerschnitte für Brückenbauteile nach DIN EN 1995-2.](#)

[Tab. 5.8. Maximale Transportabmessungen, aus Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenba...](#)

[Tab. 5.9. Windeinwirkung auf Brücken mit Verkehr für häufige Fälle nach DIN EN 1...](#)

[Tab. 5.10. Anhaltswerte zur Vordimensionierung von Haupttragelementen für Fußgän...](#)

[Tab. 5.11. Theoretische Nutzungsdauer und Unterhaltskosten für Brücken gemäß der...](#)

# Ingenieurholzbau

## Vertiefung: Tragwerke und Berechnungsmethoden

*Werner Seim*

Mit Beiträgen von Johannes Hummel

 **Ernst & Sohn**  
A Wiley Brand

## **Autor**

***Prof. Dr.-Ing. Werner Seim***

Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau Institut für Konstruktiven  
Ingenieurbau Universität Kassel

Kurt-Wolters-Straße 3

## **Titelbild**

Kaeng Krachan Elefantentpark, Zoo Zürich (Foto: Wolfram Kübler, Walt  
Galmarini AG); Grafik: Werner Seim

Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch  
übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich  
des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und  
Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2022 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische  
Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen,  
vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder  
irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen,  
insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache  
übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen,  
Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu  
der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr  
kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige  
gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche  
markiert sind.

**Print ISBN** 978-3-433-03234-3

**ePDF ISBN** 978-3-433-60930-9

**ePub ISBN** 978-3-433-60931-6

**oBook ISBN** 978-3-433-60929-3

**Umschlaggestaltung** Stefanie Eckert-Kimmig, stilvoll, Kappelrodeck

**Satz** le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

# Vorwort

Die Geschwindigkeit, mit der im Holzbau neue Produkte in die Praxis eingeführt werden, ist im Vergleich mit den übrigen Konstruktionswerkstoffen des Bauwesens schon fast atemberaubend. Dies führt dazu, dass der Holzbau bei weit gespannten Hallentragwerken und im Industriebau seinen Marktanteil kontinuierlich vergrößert und dass mit dem mehrgeschossigen Bauen nach und nach ein neues Anwendungsgebiet erschlossen wird. Hier vergeht derzeit kaum ein Monat, in dem nicht über einen neuen Höhenrekord berichtet wird, und das immer wieder auch aus Ländern, die man bisher nicht zu den klassischen Holzbaunationen zählt.

Bei einer solchen Innovationsgeschwindigkeit können normative Regeln zur Bemessung von Tragelementen und Verbindungen nicht immer Schritt halten. Sie müssen es auch nicht, wenn Ingenieurinnen und Ingenieure mit den allgemeinen Berechnungsmethoden gut vertraut sind und mit den Grundlagen, auf denen diese Methoden aufbauen. Auf dieser Basis können auch neue, auf den ersten Blick ungewohnte Regelungen zu einzelnen Produkten eingeordnet und sicher interpretiert werden. Und bereits beim Tragwerksentwurf können innovative Produkte für neuartige Lösungen vorgeschlagen werden.

In diesem Sinn bilden im vorliegenden zweiten Band „*Ingenieurholzbau – Vertiefung*“ das erste Kapitel zu den theoretischen Grundlagen und das fünfte Kapitel zum Tragwerksentwurf eine Klammer für das zweite und dritte Kapitel, in denen Berechnungsmethoden für Tragelemente und Verbindungen vorgestellt und erläutert werden, welche im ersten Band „*Ingenieur-Holzbau – Basiswissen*“ keinen Platz mehr fanden. Wichtige Schwerpunktthemen sind

Verbundbauteile sowie geklebte und formschlüssige Verbindungen. Ein eigenes Kapitel ist der Schwingungsberechnung und der Erdbebenbemessung gewidmet. Die einzelnen Kapitel sind inhaltlich eigenständig strukturiert. Man muss das Buch nicht von vorne nach hinten durcharbeiten, sondern kann, wenn man möchte, mit demjenigen Thema einsteigen, welches einen am meisten interessiert.

Der Inhalt des Buches deckt sich weitgehend mit den Inhalten der „Holzbau-Vertiefung“ im Masterstudiengang Bauingenieurwesen an der Universität Kassel und baut auf den Vorlesungsunterlagen auf, welche in den vergangenen Jahren dort am Fachgebiet Bauwerkserhaltung und Holzbau erarbeitet wurden. Carsten Pörtner, Martin Schäfers, Heiko Koch, Lars Eisenhut, Tobias Vogt, Johannes Hummel, Michael Schick, Timo Claus, Sascha Schwendner, Giuseppe D'Arenzo und Jens Frohnmüller haben in dieser Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiter ganz wesentlich zur Entwicklung unseres Lehrkonzeptes beigetragen. Bianca Böhmer hat für die Inhalte des zweiten Bandes eine Vielzahl handschriftlicher Notizen in Textform gebracht. Ai Phien Ho und Ann-Katrin Westermann haben sich als studentische Mitarbeiterinnen mit großer Sorgfalt um eine gute und einheitliche grafische Darstellung gekümmert. Wichtige Hinweise zum Abschnitt Brücken gehen auf Matthias Gerold zurück. Bei allen möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Johannes Hummel, der die Herausgabe der gedruckten Vorlesungsmanuskripte, auf denen dieser Band beruht, betreut und das vierte Kapitel mit verfasst hat.

Kassel, im September 2021

*Werner Seim*

# 1

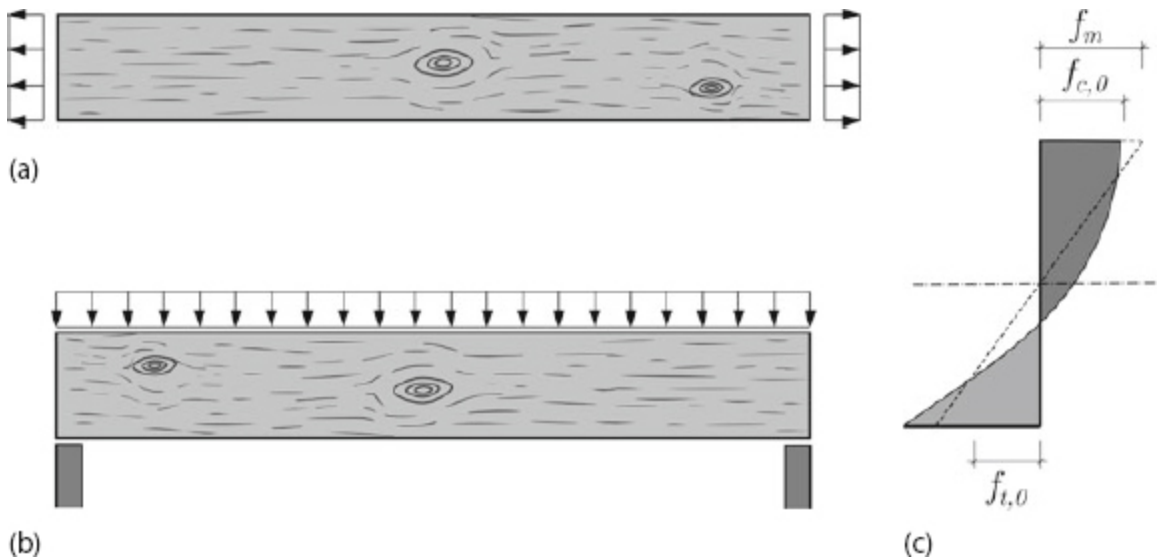
## Theoretische Grundlagen

Es ist immer wieder erstaunlich, wie elegant und ökonomisch Holztragwerke konzipiert und umgesetzt werden können. Und das bei einem Werkstoff, der den Wachstumsbedingungen in der Natur unterliegt und dadurch erhebliche Unregelmäßigkeiten und ausgeprägte anisotrope Festigkeitseigenschaften aufweist. Die ingenieurtechnische Beherrschung dieser Besonderheiten erfolgt auf der Grundlage von ganz unterschiedlichen theoretischen Ansätzen. Diese stammen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und wurden für die Fragestellungen des Holzbaus adaptiert. Bei manchen Bemessungsregeln – so z. B. bei den sogenannten „Johansen- Formeln“ – sind diese Grundlagen gut nachvollziehbar. Andere normative Regelungen verwenden Formulierungen mit dimensionsgebundenen Beiwerten, deren Herleitung ohne aufwendige Recherche nicht mehr nachvollziehbar ist. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten theoretischen Grundlagen, welche bei gewöhnlichen Bemessungsaufgaben im Holzbau eine Rolle spielen, erläutert und es wird die Anwendung mit Bezug zum jeweiligen Ingenieurmodell erklärt.

### 1.1 Festigkeiten und Maßstabeffekt

Die Festigkeiten des Holzes hängen von der Dichte, von der Faserstruktur und von den wuchsbedingten Unregelmäßigkeiten ab. Eine besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Äste. Dieser Einfluss wiederum hängt von der Art der Belastung ab: Bei Zug wird der Ast zur Fehlstelle, bei Druck wird der lineare

Lastfluss gestört (siehe Band 1, [Abschn. 1.2.2](#)). Bei einer Biegebeanspruchung, wo nun gleichzeitig Druck- und Zugspannungen auftreten, hängt der Einfluss eines Astes nicht nur von dessen Größe, sondern ganz entscheidend von seiner Lage ab. Dies wird in [Abb. 1.1](#) veranschaulicht: Aufgrund der Äste ist die Zugtragfähigkeit des Kantholzes im Vergleich zu einer ungestörten, astfreien Probe erheblich reduziert, und zwar mehr oder weniger unabhängig von der Lage des Astes. Im Gegensatz dazu haben Äste nur dann einen Einfluss auf die Biegetragfähigkeit, wenn diese im Bereich des maximalen Biegemoments am zugbeanspruchten Rand liegen. Das ist eine Situation, die eher selten auftritt. Zusätzlich und unabhängig von diesen statistischen Betrachtungen ist auf der Druckseite des biegebeanspruchten Querschnitts ein gewisser Plastifizierungseffekt möglich.



**Abb. 1.1** Kantholz mit Ästen: (a) zugbeanspruchte, (b) biegebeanspruchte und (c) Spannungsverlauf zur Biegebeanspruchung.