

# Vereinfachte Bemessung von Brettschichtholzträgern variabler Höhe für das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung

---

IGF-Vorhaben 17398 N

Forschungsstelle:  
Universität Stuttgart  
Institut für Konstruktion und Entwurf  
Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

## Aufgabenstellung

In dem von der AiF geförderten Forschungsvorhaben soll durch numerische Untersuchungen an weitgestützten gabelgelagerten Brettschichtholzträgern eine vereinfachte, praxisorientierte Methode zur Bestimmung des Torsionsmoments aus Kippstabilisierung im Querschnitt am Auflager entwickelt werden.

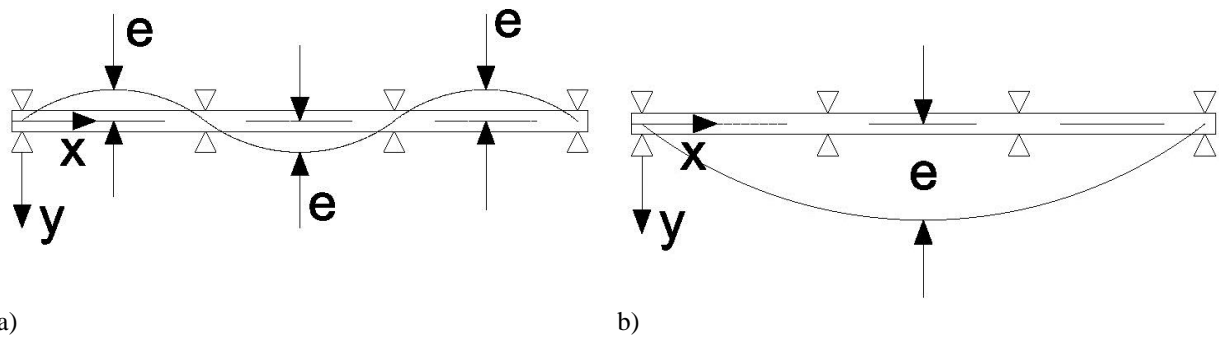
In der bisherigen Bemessungspraxis lässt sich der Stabilitätsnachweis für kippgefährdete Brettschichtholzträger mit vertretbarem Aufwand auf der Grundlage einer Schnittgrößenberechnung nach Theorie I. Ordnung nach dem Ersatzstabverfahren führen. Aus dieser Bemessungspraxis lässt sich aber das auftretende Torsionsmoment aus Kippstabilisierung nicht ableiten. Nach DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12 [1] kann das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung näherungsweise mit  $M_d/80$  angenommen werden. Dieser einfache Ansatz ist auf der sicheren Seite liegend am geraden gabelgelagerten Träger ohne Seitenstützung mechanisch herleitbar. Auf Grundlage der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Parameterstudie kann das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung nun für verschiedene Trägertypen auch unter Berücksichtigung aussteifender Verbände ohne wesentliche Erhöhung des Rechenaufwands bestimmt werden.

## Lösungsweg

Für die im Ingenieurholzbau häufig vorkommenden Trägerformen wurde mit der Methode der finiten Differenzen ein numerisches Verfahren zur Lösung des Biegetorsionsproblems II. Ordnung gewählt. Dabei wurden in der Programmierung sowohl veränderliche Querschnittshöhen als auch horizontale Stützungen des Trägers berücksichtigt.

Für diese nichtlinear-elastische Berechnung kippgefährdeter Biegeträger werden die Werkstoffkennwerte des anisotropen Werkstoffs Holz benötigt. Die im Vergleich zur Biegefestigkeit recht geringe Schubfestigkeit ist maßgebend für die Untersuchung des Torsionsmoments aus Kippstabilisierung. Aus der Literatur sind zahlreiche Untersuchungen bekannt (vgl. [2], [3], [4], [5]), die die Grundlage für den Schubspannungsnachweis unter Berücksichtigung der Torsion bilden.

Neben den Werkstoffkennwerten wirkt sich der gewählte Vorkrümmungsansatz maßgeblich auf das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung aus. Demzufolge wurde auf die untersuchten Trägerkonfigurationen je ein sinuswellenförmiger (vgl. Abb. 1a) und ein sinushalbwellenförmiger (vgl. Abb. 1b) Vorkrümmungsansatz aufgebracht.



a) b)  
 Abb. 1: Draufsicht auf einen gabelgelagerten Einfeldträger mit seitlichen Stützungen des Druckgurts in den Drittelpunkten und a) sinuswellenförmiger Vorkrümmung und b) sinushalbwellenförmiger Vorkrümmung

## Parameterstudie an Einzelträgern unter Berücksichtigung einer Vorkrümmung

Zunächst wurden ausschließlich Einzelträger mit starrer Stützung des Druckgurts in diskreten Einzelpunkten, wie sie bei Trägern mit Stützung gegen einen als starr angenommenen Kern vorliegen, unter Berücksichtigung einer Vorkrümmung untersucht.

Im Rahmen dieser Parameterstudie wurden parallelgurtige gerade Träger, parallelgurtige Träger mit angehobenem Untergurt, Satteldach- und Fischbauchträger untersucht, vgl. [6]. Der Berechnungsparameterbereich umfasste Spannweiten von 10m bis 30m und Trägerhöhen von 64cm bis 200cm bei einem  $h/b$ -Verhältnis von 4 bis 10. Alle Träger wurden mit einer Gleichlast  $q_{zOG}$  am Obergurt belastet. Für parallelgurtige gerade Träger tritt das ungünstigste Torsionsmoment im Querschnitt am Auflager für die sinushalbwellenförmige Vorkrümmung, vgl. Abb. 2, auf. Die Schubspannungsausnutzung infolge Torsion liegt für alle untersuchten Trägerkonfigurationen dieser Trägerform bei maximal 12%, wobei das  $h/b$ -Verhältnis des Trägers sowie die bezogene Kippschlankheit  $\lambda_{rel,m}$  sich kaum auswirken. Bei parallelgurtigen Trägern mit angehobenem Untergurt führt die sinuswellenförmige Vorkrümmung, vgl. Abb. 1, zum maßgebenden Torsionsmoment aus Kippstabilisierung. Für die untersuchten Trägerkonfigurationen dieser Trägerform bis zu einem Gurtneigungswinkel von  $15^\circ$  beträgt die maximale Schubspannungsausnutzung infolge Torsion ebenfalls maximal 12%. Die Trägerformen Satteldach- und Fischbauchträger weisen die maßgebende Schubspannungsausnutzung infolge Torsion, genau wie der parallelgurtige Träger mit angehobenem Untergurt, unter sinuswellenförmiger Vorkrümmung auf. Die auftretende Schubspannungsausnutzung infolge Torsion beträgt bis zu 18% der durch den Querschnitt aufnehmbaren Schubspannungen. In einigen Fällen wird aufgrund der unterschiedlich starken Querschnittsverjüngung zum Auflager hin der Schubspannungsnachweis für die Bemessung maßgebend. Dadurch reduzieren sich die Effekte aus Biegetorsionstheorie II. Ordnung, so dass die Schubspannungsausnutzung infolge Torsion sich in diesen Fällen reduziert und geringere Werte annimmt als in Fällen, in denen die volle Biegespannung ausgenutzt werden kann.

## Parameterstudie an Einzelträgern mit Aussteifungsverbänden unter Berücksichtigung der Vorkrümmung und der Verbandsverformung

Neben den geometrischen und strukturellen Imperfektionen bewirken nachgiebige Aussteifungsverbände durch ihre Verformung eine Zunahme des Torsionsmoments aus Kippstabilisierung am Einzelträger. Die Modellierung der Verbandsverformung im numerischen Modell erfolgte mittels zusätzlicher Vorkrümmung, da die Verbandsverformung durch die Holzbaunormung im Grenzzustand der Tragfähigkeit infolge äußerer Lasten und Binderseitenlasten auf

1/500 begrenzt ist und so eine Obergrenze für die Zusatzverformung bekannt ist. Werden nun die Vorkrümmungsanteile aus Imperfektion und Verformung des Verbands überlagert und anschließend eine Berechnung der Verformungen und Schnittgrößen am Einzelträger nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung vorgenommen, ist ein Anstieg der Schubspannungsausnutzung infolge Torsion bei parallelgurtigen geraden Trägern im Querschnitt am Auflager von zuvor 12% auf maximal 19% (vgl. Abb. 3) festzustellen.

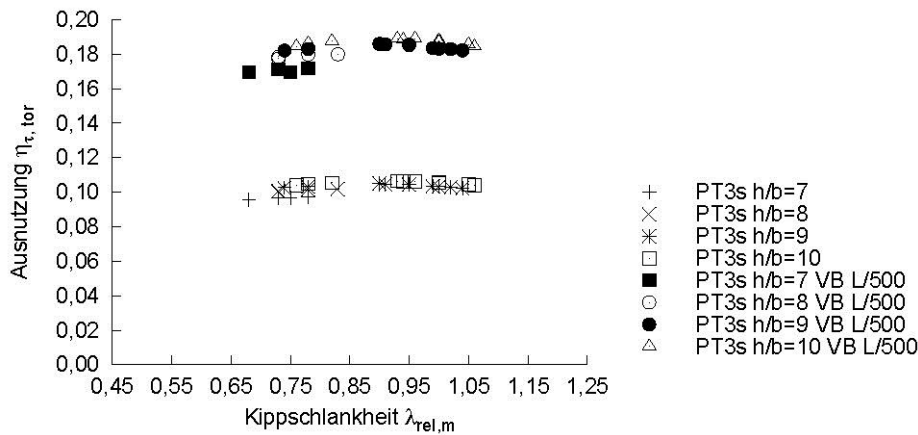


Abb. 3: Schubspannungsausnutzung infolge Torsionsmoment am Auflager nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung an parallelgurtigen, geraden Einfeldträgern mit drei seitlichen Stützungen des Druckgurts bei sinushalbwellenförmiger Vorkrümmung

## Vereinfachter Bemessungsansatz für das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung

Um das räumliche Tragverhalten kippgefährdeter Biegeträger weiterhin mit dem Ersatzstabverfahren auf der Grundlage einer Schnittgrößenermittlung nach Theorie I. Ordnung nachweisen zu können, wurde ein Näherungsansatz formuliert. Damit ist es möglich, das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung unter Berücksichtigung aussteifender Verbände abzuschätzen, ohne eine computergestützte Berechnung der Schnittgrößen nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung durchführen zu müssen.

Für den kippgefährdeten Einzelträger und den Träger mit diskreten seitlichen starren Stützungen des Druckgurts, zeigten die Untersuchungen, dass die Schubspannungsausnutzung infolge Torsion bei allen untersuchten Konfigurationen mit parallelgurtigen, geraden Trägern und parallelgurtigen Trägern mit angehobenem Untergurt bei maximal 12% der aufnehmbaren Schubspannung liegt. Das Torsionsmoment im Querschnitt an den Endauflagern kippgefährdeter Einzelträger kann also bei starrer Stützung der Druckgurtes näherungsweise zu

$$M_{tor,d}^{Kern} = 0,04 \cdot \frac{h \cdot b^2}{\eta_2} \cdot k_{shape} \cdot f_{tor,d}$$

angenommen werden.

Eine höhere Schubspannungsausnutzung infolge Schub aus Torsion entsteht, wie die Studie zeigte, wenn die Druckgurte der kippgefährdeten Träger durch nachgiebige Horizontalverbände in diskreten Punkten gestützt sind. Dabei wurde in der Untersuchung an parallelgurtigen, geraden Trägern neben der Imperfektion als Vorkrümmung die maximal zulässige Verformung des Horizontalverbands von 1/500 als zusätzliche Vorkrümmung berücksichtigt.

Als Näherung für das Torsionsmoment im Querschnitt an den Endauflagern kippgefährdeter Träger mit diskreter Stützung der Druckgurte durch nachgiebige Horizontalverbände kann folgende Gleichung angegeben werden:

$$M_{tor,d}^{vb} = 0,065 \cdot \frac{h \cdot b^2}{\eta_2} \cdot k_{shape} \cdot f_{tor,d}$$

Die Herleitung dieser Näherungsgleichungen erfolgte an Trägern mit drei diskreten seitlichen Stützungen des Druckgurts. Da die Zahl der seitlichen Stützungen, wie Voruntersuchungen gezeigt haben, nur einen sehr geringen Einfluss auf das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung im Querschnitt am Auflager hat, erscheint der vorgestellte Näherungsansatz übertragbar auch auf Träger mit einer anderen Anzahl seitlicher Stützungen.

## **Danksagung**

Das IGF-Vorhaben 17398 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V., Bienroder Weg 54E, 38108 Braunschweig wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Für diese Förderung bedanken sich die Autoren herzlich.

## **Literatur**

- [1] DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12. Nationaler Anhang- National festgelegte Parameter- Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten- Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2010.
- [2] Möhler, K.; Hemmer, K. Verformungs- und Festigkeitsverhalten von Nadelvoll- und Brettschichtholz bei Torsionsbeanspruchung. Holz als Roh- und Werkstoff 35, pages 473 – 478, 1977.
- [3] Schickhofer, G. Determination of Shear Strength Values for GLT using Visual and Machine Graded Spruce and Laminations. Paper 34-12-6, CIB-W18-Meeting, August 2001.
- [4] Glos, P.; Denzler, J. K. Kalibrierung der charakteristischen Schubfestigkeitskennwerte für Vollholz in EN 338 entsprechend den Rahmenbedingungen der nationalen Sortiernorm. Technische Universität München, Bericht Nr. 04502, August 2004.
- [5] Klapp, H.; Brüninghoff, H. Shear strength of glued laminated timber. Paper 38-6-3, CIBW18-Meeting, August 2005.
- [6] Kuhlmann, U.; Hofmann, R.: Vereinfachte Bemessung von Brettschichtholzträgern variabler Höhe für das Torsionsmoment aus Kippstabilisierung. Forschungsbericht zum IGF-Forschungsvorhaben 17398N, 2013.

Das Forschungsvorhaben 17398 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:  
Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH e.V.)  
Bienroder Weg 54E  
38108 Braunschweig