

# Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen

## 1. Einleitung

Eine wirkungsvolle Maßnahme zur Erhöhung der Schubtragfähigkeit mit innen liegenden Verstärkungselementen gibt es im Ingenieurholzbau bislang nicht. Bei anderen Baustoffen wie beispielsweise im Massivbau sind Schubverstärkungen von Bauteilen hingegen gängige Praxis. Durch eine geeignete Schubverstärkung ist es möglich die Schubtragfähigkeit von Bauteilen zu erhöhen und damit größere Querkräfte zu übertragen. Durch die Simulation des Trag- und Versagensverhaltens schubverstärkter Träger mit einem numerischen Modell kann mit geringem Versuchsaufwand die Auswirkung einer Schubverstärkung auf die Tragfähigkeit ermittelt werden. Mit Hilfe von Versuchen mit schubverstärkten Trägern können die Ergebnisse des Rechenmodells überprüft werden.

## 2. Auswahl geeigneter Verstärkungselemente

Zur Schubverstärkung eignen sich sowohl Vollgewindeschrauben als auch Gewindestangen mit einem Gewinde nach DIN 7998. Vollgewindeschrauben sind in Durchmessern von 13 mm und Längen bis 1000 mm erhältlich. Gewindestangen sind in Durchmessern von 16 mm und 20 mm in Längen von bis zu 3,0 m verfügbar. Vor allem Gewindestangen eignen sich daher aufgrund ihrer Länge hervorragend Träger mit nahezu beliebiger Höhe zu verstärken.

## 3. Ermittlung einer optimalen Verstärkungskonfiguration

Ein numerisches Modell zur Berechnung der Tragfähigkeit schubverstärkter Träger wurde entwickelt. Die Interaktion von Schub- und Querspannungen wird dabei berücksichtigt. Durch die Schubverstärkung hervorgerufene Querdruckspannungen erhöhen lokal die Schubfestigkeit des Holzes im Bereich der Verstärkungsmittel. Die Schubtragfähigkeitssteigerung verstärkter Träger ergibt sich aus einer Verringerung der Schubspannung im Bereich der Verstärkungsmittel durch eine Lastumverteilung sowie durch eine Erhöhung der Schubfestigkeit durch die Querdruckspannungen. Berechnungen für unterschiedliche Trägerabmessungen und Beanspruchungen wurden durchgeführt um geeignete Verstärkungskonfigurationen für die vorgesehenen Bauteilversuche zu ermitteln. Abmessungen und Querschnittsaufbau wurden so gewählt, dass bei der Versuchsdurchführung auch bei hohen Tragfähigkeitssteigerungen ein Schubversagen noch möglich war.

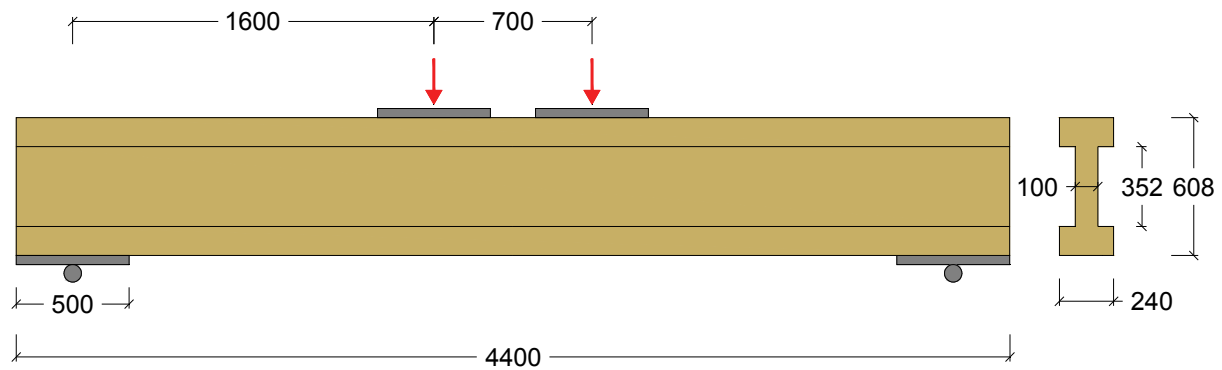


Bild 3-1 Einfeldträger mit konstanter Querkraft (EL 608 – 4400)

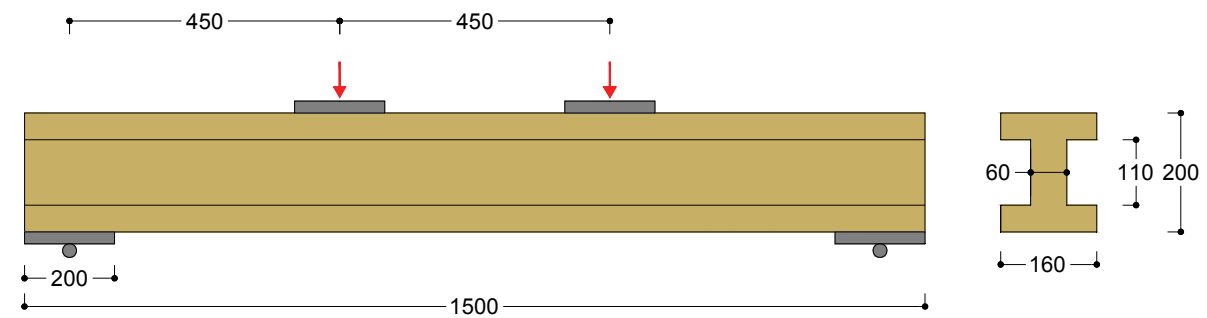


Bild 3-2 Einfeldträger mit konstanter Querkraft (EL 200 – 1500)

Verstärkungselemente sollten derart unter 45° zur Trägerachse angeordnet werden, dass sie durch Zugkräfte beansprucht werden. Abhängig von der Anzahl der Verstärkungselemente, der Trägerhöhe und der Art der Beanspruchung ergeben sich unterschiedliche Schubtragfähigkeitssteigerungen. Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen zeigen, dass die Schubfestigkeit durch Verstärkungsmittel wirkungsvoll erhöht werden kann.

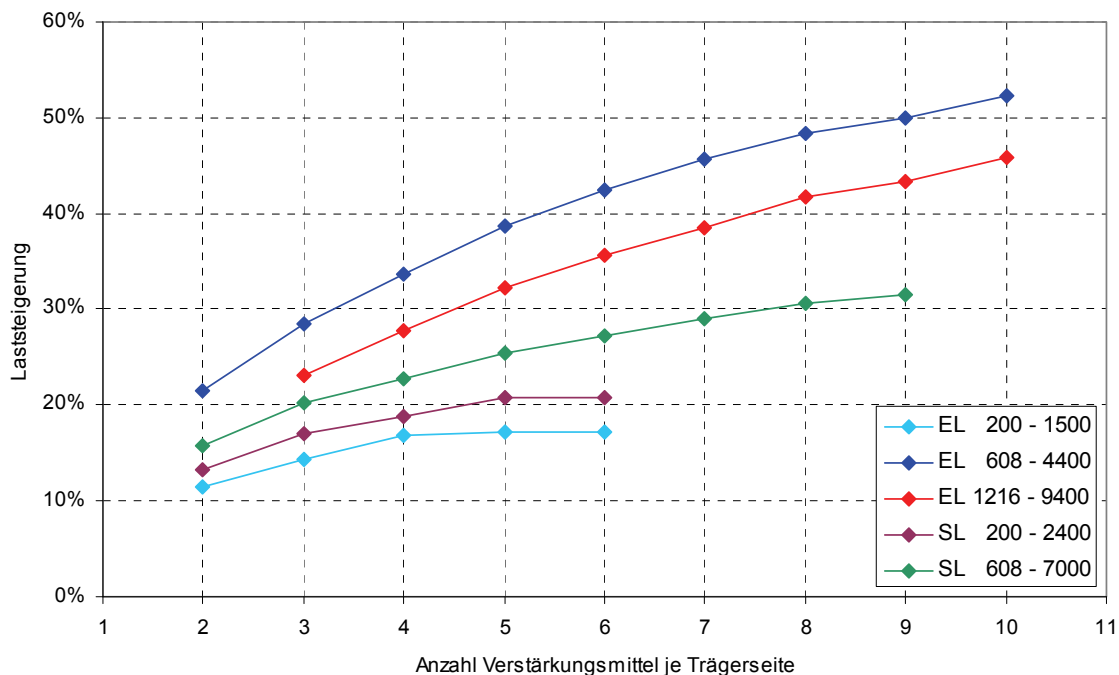


Bild 3-3 Berechnete Laststeigerungen für unterschiedliche Beanspruchungen (EL Einzellast, SL Streckenlast) und Trägerabmessungen

#### 4. Versuche mit schubverstärkten Biegeträgern

Auf Basis der numerischen Untersuchungen wurden zwei Versuchsreihen mit schubverstärkten Einfeldträgern unter Einzellasten durchgeführt. Für die erste Versuchsreihe standen insgesamt 25 Träger (Länge 4400 mm, Höhe 608 mm) für die zweite Versuchsreihe 22 Träger (Länge 1500 mm, Höhe 200 mm) zur Verfügung. Als Referenz für die Wirksamkeit der Schubverstärkungen wurden einige Träger unverstärkt geprüft. Die unverstärkten Träger wurden bis zum Versagen beansprucht und anschließend mit Verstärkungsmitteln saniert und erneut geprüft. Die Träger der ersten Versuchsreihe wurden mit Gewindestangen  $\varnothing 16$  mm verstärkt. Bei der Sanierung wurden auch Vollgewindeschrauben und eingeklebte Stahlstäbe verwendet. Bei der zweiten Versuchsreihe wurden ausschließlich selbstbohrende Vollgewindeschrauben 8x280 verwendet. Die Verstärkungselemente wurden stets unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Trägerachse angeordnet.

Die Versuchsergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den berechneten Tragfähigkeiten und bestätigen das verwendete Rechenmodell.

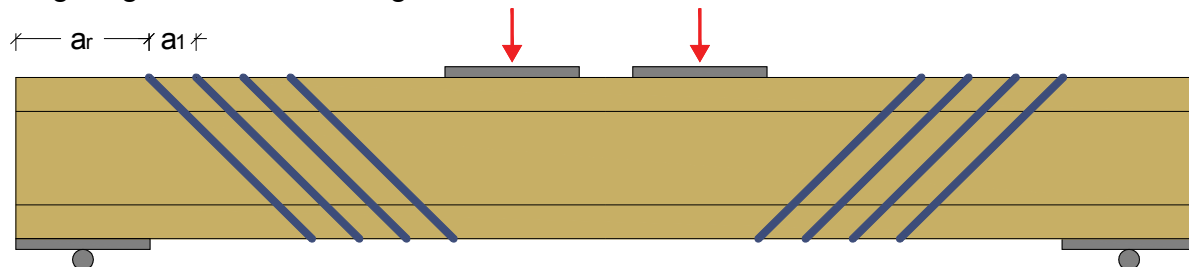


Bild 4-1 Verstärkter Träger mit vier Verstärkungsmitteln je Seite

Tabelle 4-1 Ergebnisse der Versuchsreihe 1

VM Stück/ Seite	$a_r$ mm	$a_1$ mm	Versu- che	$f_v$ N/mm <sup>2</sup>	COF	Laststeigerung	
						Versuch	Berechnung
-	-	-	10	4,35	12,7%	-	-
Zugbeanspruchte Verstärkungselemente							
3	528	208	3	5,39	8,7%	23%	28%
4	496	176	3	5,71	7,5%	31%	34%
6	16	240	3	5,77	3,1%	32%	31%
9	16	160	4	5,57*	3,3%	28%*	42%
Druckbeanspruchte Verstärkungselemente							
9	624	160	2	4,28	4,7%	-2%	-7%
* 3 von 4 Versuchen mit Biegeversagen							

Tabelle 4-2 Ergebnisse der Versuchsreihe 2

VM Stück/ Seite	$a_r$ mm	$a_1$ mm	Versu- che	$f_v$ N/mm <sup>2</sup>	COF	Laststeigerung	
						Versuch	Berechnung
-	-	-	7	5,57	16,9%	-	-
Zugbeanspruchte Verstärkungselemente							
3	150	60	5	5,89*	16,5%	6%	14%
4	130	60	5	6,56	10,3%	18%	17%
5	100	60	5	7,13**	4,7%	28%	17%
* 2 von 5 Versuchen mit Biegeversagen							
** 1 von 5 Versuchen mit Biegeversagen							

Bei der Sanierung der geschädigten Träger wurden in den Versuchen Tragfähigkeiten erreicht die im Bereich der Ausgangstragfähigkeit der unverstärkten Träger la-

gen. Die Anzahl der zur Sanierung benötigten Verstärkungselemente kann aus dem Auszieh Widerstand der Verstärkungselemente und der ertragbaren Querkraft berechnet werden.

## 5. Versuche zur Verhinderung der Rissbildung

Die durchgeführten Versuche an kurzen verstärkten Trägerabschnitten unter extremer klimatischer Beanspruchung ließen keinen Einfluss einer Verstärkung durch Vollgewindeschrauben auf die Rissentstehung erkennen.

## 6. Erstellung eines Bemessungsvorschlags

Parameterstudien mit dem entwickelten Rechenmodell wurden durchgeführt um Vorschläge zur Ausführung und Bemessung von schubverstärkten Trägern erarbeiten zu können. Die Tragfähigkeit schubverstärkter Einfeldträger ist abhängig von der Anzahl der Verstärkungsmittel. Bei einer Beanspruchung durch eine konstante Querkraft liegt der Schwerpunkt einer Verstärkungsmittelgruppe in der Mitte zwischen den Lasteinleitungsstellen. Bei einer veränderlichen Querkraft liegt der Schwerpunkt der Verstärkungsmittelgruppe in einem Abstand vom Auflager von etwa 8% der Träger-spannweite. Der Abstand  $l_1$  der beiden äußeren Verstärkungsmittel ist abhängig von der Anzahl der Verstärkungselemente.

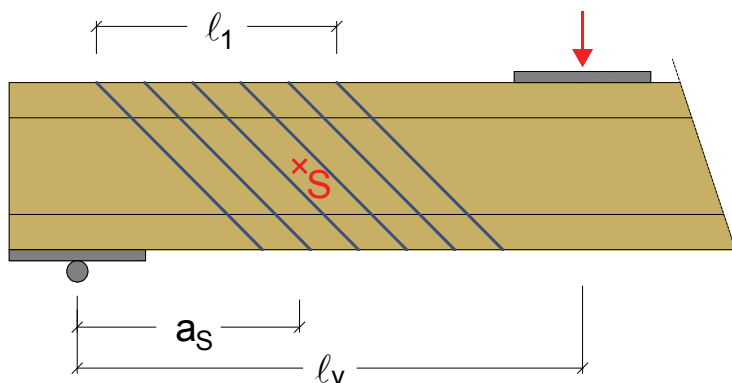


Bild 6-1 Definition der Abstände einer Verbindungsmittelgruppe

Zur Erstellung eines Bemessungsvorschlages sind die durchgeführten Untersuchungen nicht ausreichend. Die prinzipielle Anordnung der Verstärkungselemente bei schubverstärkten Trägern ist bekannt, für eine allgemeine Beschreibung des Tragverhaltens sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Dazu zählen auch numerische Simulationen mit streuenden lokalen Schubfestigkeiten zur Ableitung charakteristischer Werte der Tragfähigkeit. Das bestehende Rechenmodell muss dazu erweitert und ein Datensatz stochastischer Schubfestigkeiten erstellt werden.

## 7. Zusammenfassung

Die grundlegenden Materialeigenschaften zur numerischen Berechnung schubverstärkter Träger wurden ermittelt. Dies umfasst die Verbundeigenschaften der Verstärkungselemente sowie das Interaktionsverhalten des Holzes bei gleichzeitiger Beanspruchung aus Schub- und Querspannungen. Numerische Simulationen schubverstärkter Träger wurden durchgeführt und das Rechenmodell anhand der Versuchsergebnisse überprüft. Mit dem vorhandenen Rechenmodell können die zu erwartenden Schubtragfähigkeitssteigerungen beliebiger verstärkter Träger mit abweichender Geometrie und Verstärkungsanordnung berechnet werden. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass Schubverstärkungen mit Schrauben wirkungsvoll eingesetzt werden können.

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) und den Internationalen Verein für Technische Holzfragen (iVTH) gefördert, Förderkennzeichen: AZ-AiF: 14898 N.

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