

Tragverhalten von ausgewählten Stützenfüßen im Holzbau

Überprüfung von Versuchen, Modellierung und vollständige Bemessung



Michael Endres, M.Eng.

Hochschule Augsburg

Fakultät für Architektur
und Bauwesen

Telefon +49(0)821 5586-3139
michael.endres@hs-augsburg

Stützenfüße aus Stahlblechformteilen kommen u.a. bei Pergolen und Carports regelmäßig zum Einsatz. Doch wie tragen Stützenfüße im Holzbau eine auf sie aufgebrachte Last ab? Wie groß ist der Widerstand gegen diese Einwirkungen? Wie kann dies möglichst anschaulich in einer Zulassung dargestellt werden? Dies waren die Leitfragen, die in der Masterarbeit „Tragverhalten von ausgewählten Stützenfüßen im Holzbau“ behandelt wurden und wesentliche Beiträge bei der Erlangung einer europäischen Zulassung lieferten.

Ursprünglich begonnen hatte das Projekt „Stützenfüße“ im Sommersemester 2013, als von einer studentischen Projektgruppe des Masterstudiengangs „Allgemeiner Ingenieurbau“ der Fakultät Architektur und Bauwesen die entsprechenden Zulassungsversuche unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. François Colling geplant und durchgeführt wurden (s. Beitrag von Prof. Dr.-Ing. F. Colling, Seite 90). Insgesamt wurden innerhalb weniger Wochen in 27 Versuchsserien über 160 Einzelversuche durchgeführt. Endgültige Aussagen zum Tragverhalten oder die Erstellung von Bemessungsmodellen und deren abschließende Bewertung waren zum Ende des studentischen Projekts aufgrund Zeitmangels und des enormen Umfangs dieser Arbeiten nicht mehr möglich, weswegen sich eine Masterarbeit mit diesen Themenkomplex auseinandersetzen sollte.

Bevor im Rahmen der Bearbeitung mit der Modellfindung begonnen werden konnte, mussten die Versuche und die Versuchswerte auf Richtigkeit geprüft werden. In einigen Fällen war eine Korrektur der Maximallast nach unten erforderlich, da in den Versuchen die nach Norm maximal erlaubte Verformung von 15 mm bereits zuvor erreicht worden war. Es war nach dieser Verformung noch eine Laststeigerung zu verzeichnen, die allerdings nicht berücksichtigt werden darf. Ebenso war

das Kriterium des „ersten Bruchs“ nicht immer ausreichend berücksichtigt worden: sobald im Last-Verformungsdiagramm ein deutlicher Bruch des Prüfkörpers zu erkennen ist, darf eine danach stattfindende Laststeigerung nicht berücksichtigt werden. Eine Besonderheit stellten zudem die Momentenversuche der Stützenfüße Vario und Vario K1 dar, die aufgrund von Reibungseffekten neu bewertet werden mussten.

Um den Nachweis der Tragfähigkeiten unter Zug-/Druckbeanspruchung, Querkraftbeanspruchung sowie Momentenbeanspruchung auf sicherer Seite liegend führen zu können, wurden auf Grundlage dieser endgültig festgestellten Versuchsergebnisse Rechenmodelle entworfen und rechnerisch nachgewiesen.

Nachfolgend wird eines dieser Rechenmodelle am Beispiel der Momententragfähigkeit des Stützenfußes Typ Vario aufgezeigt (Abbildung 1)

Grundlage dieses Rechenmodells ist, dass das einwirkende Moment in ein Kräftepaar (Druck und Zug) zerlegt wird. Die resultierende Druckkraft wirkt am oberen Rand der Kopfplatte auf eine Fläche mit der Höhe $h_{pl}/8$. Diese Druckkraft wird ins Gleichgewicht gesetzt durch den Widerstand des Stabdübels in Form der beiden Kräfte $F_{v,Rb}$ in den Scherfugen mit den jeweils zugehörigen Hebelarmen a_1 und a_2 . Mit Summe der Momente um den Schwerpunkt der Druckfläche = 0 kann die Momententragfähigkeit dann wie folgt berechnet werden:

$$M_{V2,exp} = F_{v,Rb} \cdot \left(\frac{a_1}{a_2} \cdot a_1 + a_2 \right)$$

- $M_{V2,exp}$ = erwartete Momententragfähigkeit
- $F_{v,Rb}$ = Widerstand des Stabdübels pro Scherfuge nach DIN EN 1995-1-1
- $a_{1,2}$ = innerer Hebelarm

Die aus dem Modell resultierenden Tragfähigkeiten wurden anschließend mit den vorhandenen Versuchsergebnissen auf der Basis statistischer Methoden verglichen (Tabelle 1).

Die Berechnungsergebnisse erlauben eine Abschätzung der Tauglichkeit des zugrunde gelegten Modells ($M_{V2,exp}$ im Vergleich zu $M_{V2,test}$) sowie eine Einschätzung des zugehörigen Sicherheitsniveaus ($M_{V2,test}/M_{V2,k}$). Aufgrund der geringen Versuchsanzahl ist ein Sicher-

Abb.1: Modell zur Berechnung der Momententragfähigkeit des Typ Vario.

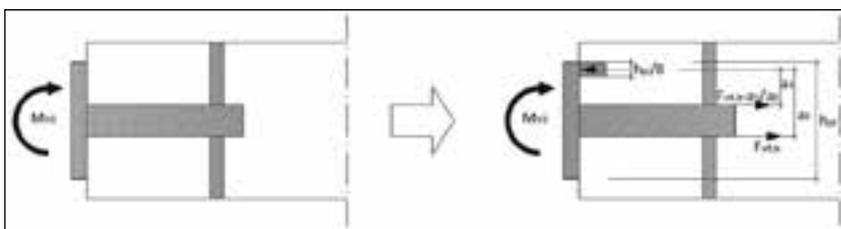


Tabelle 1: Vergleich der berechneten Werte mit den Versuchswerten für M_{V2} , Typ Vario.

Typ	Probekörper	$M_{V2, \text{test}}$ [kNm]	$M_{V2, \text{exp}}$ [kNm]	$M_{V2, k}$ [kNm]	$M_{V2, \text{test}}/M_{V2, k}$ [kNm]
Vario	Versuchskörper mit $\omega \approx 12\%$				
	1	0,84	0,514	0,470	1,79
	2	0,81	0,563		1,73
	3	0,78	0,629		1,66
	4	0,66	0,540		1,41
	5	0,79	0,525		1,68
	m	0,776	0,554	m	1,65
	v	8,9%	8,2%	v	8,9%
	$x_5^{\text{a)}}$	0,615	0,454	$x_5^{\text{a)}}$	1,31

a) der charakteristische Wert x_5 berechnet sich nach DIN EN 14358:2007-03 unter Annahme einer Log-Normalverteilung und einem Vertrauensniveau von $\alpha = 75\%$.

- $M_{V2, \text{test}}$ = Versuchswert
- $M_{V2, \text{exp}}$ = erwarteter Wert nach vorhandenem Modell
- $M_{V2, k}$ = charakteristischer Wert nach vorhandenem Modell
- m = Mittelwert
- v = Variationskoeffizient
- x_5 = 5%-Quantil

heitsniveau > 1 dabei als „beruhigend“ zu bezeichnen. Je nach Versagensart (zum Beispiel ein Versagen durch Zug quer zur Faserrichtung) kann sogar ein sehr viel höheres Sicherheitsniveau wünschenswert sein.

Auf diese Weise wurden im Verlauf der Arbeit insgesamt 19 verschiedene Berechnungsmodelle entwickelt.

Unter Verwendung der so bestätigten Rechenmodelle wurde anschließend eine vollständige statische Bemessung der Stützenfüße einschließlich der Nachweise der Stahlelemente der Stützenfüße nach Eurocode 3 und des angeschlossenen Holzes nach Eurocode 5, vorgenommen. Insgesamt waren hierzu über 250 Einzelnachweise nötig.

Zusätzlich zu den statischen Berechnungen wurde eine Berechnungshilfe auf Excel-Basis entwickelt. Vorhandene Stahlfestigkeiten und/oder Abmessungen aller Stützenfußteile sind variabel einstellbar und können entsprechend dem gewünschten Entwicklungsziel verändert werden. Mit Hilfe dieser Bemessungshilfe kann sich der Stützenfußhersteller, bei einer Weiterentwicklung der Stützenfüße, einen Überblick über die Auswirkungen der Änderungen verschaffen und somit eine Optimierung des Systems aus statischer und betriebswirtschaftlicher Sicht erreichen.

Weiteres Ziel der Bearbeitung war es, die Bemessungsregeln für eine europäische Zulassung vorzubereiten. Die Gestaltung der ETA sollte leicht verständlich und eingängig sein, so dass sie in der Anwendung möglichst unkompliziert ist. Dies wurde durch eine graphische Darstellung der Nachweisinteraktionen (Abbildung 2) und durch die Reduzierung auf für den Planer wesentliche Elemente erreicht. Dies wird nachfolgend an einem Beispiel aufgezeigt.

Gegeben: Stützenfuß Royal PS. Unter Berücksichtigung der klimatischen Umgebungsbedingungen und der Dauer der Lasteinwirkung darf der k_{mod} -Wert zu 0,9 angesetzt werden. Aus Abbildung 2 ist zu erkennen, dass dieser Stützenfuß bei einer einwirkenden Querkraft von $V_d = 5,0$ kN gleichzeitig noch eine Zugkraft von $N_{\text{r,d}} = 25$ kN aufnehmen kann. Als maßgebend für die Bemessung erweist sich dabei die Fußplatte des Stützenfußes.

Im April 2014 wurde die angestrebte ETA beantragt. Die einmonatige Kommentierungsperiode endete ohne Einsprüche im Mai 2014. Bereits einen

Monat später wurde die entsprechende europäische Zulassung der Stützenfüße (ETA 14/0114) ausgestellt. Das Gesamtprojekt „Stützenfüße“ fand somit für den Hersteller sowie für das IfH ein sehr befriedigendes Ende. Es konnten viele Erfahrungen gesammelt und weitere Kompetenzen erworben werden. Firmen, die eine europäische Zulassung nach einem europäischen Bewertungsdokument anstreben, finden mit dem Institut für Holzbau an der Hochschule Augsburg einen kompetenten Partner, der Ihnen bei diesem Anliegen umfassend – von Planung und Versuchsdurchführung, bis hin zur Bewertung der Ergebnisse und einem Zulassungsentwurf – behilflich sein kann.

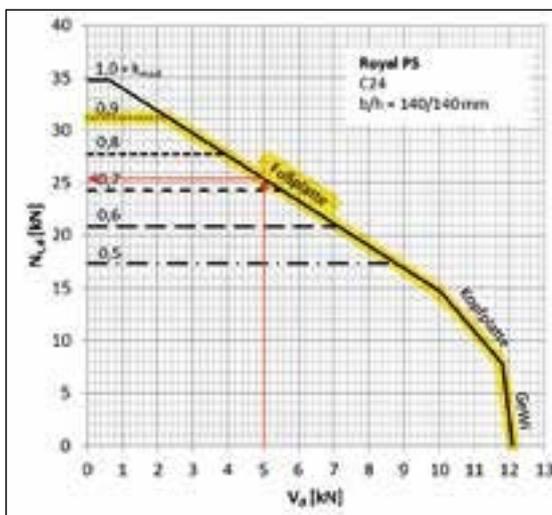


Abb. 2: Beispiel für ein Bemessungsdiagramm für den Stützenfuß Royal PS.