

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

1 Vorbemerkungen – Begründung und Ziel des Forschungsvorhabens

Die Berechnungsgrundsätze für Pultdachträger, Satteldachträger mit geradem oder gekrümmtem Untergurt sowie gekrümmte Träger sind nach DIN EN 1995-1-1:2010 (kurz EC 5) und DIN 1052:2008 prinzipiell gleich. Jedoch wird in DIN 1052:2008 der Faseranschnittwinkel für Pultdachträger und Satteldachträger mit geradem Untergurt auf 10° und der Dachneigungswinkel im Firstbereich von Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt auf 20° beschränkt. Eine solche Deckelung des Faseranschnittwinkels bzw. des Dachneigungswinkels ist im Eurocode nicht enthalten.

Dem seinerzeitigen Projektteam zum Forschungsvorhaben "DIN EN 1995 - Eurocode 5 Holzbauten - Anwendungserprobung", aber auch den Mitgliedern des für den EC 5 zuständigen DIN-Spiegelausschusses sind keine systematischen Untersuchungen mit größeren Winkeln bekannt. Das seinerzeitige Projektteam setzte sich zusammen aus Harrer Ingenieure GmbH, Karlsruhe, Ingenieurbüro Trabert und Partner, Geisa, sowie Holzleim-Ingenieurbüro Paul Stephan, Gaildorf.

Im Hinblick auf ein mögliches Sicherheitsdefizit haben die Harrer Ingenieure beim DIBt einen ergänzenden Forschungsauftrag zur Durchführung von Untersuchungen der drei Trägerformen Pultdachträger, Satteldachträger mit geradem Untergurt und Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt mit verschiedenen Faseranschnittwinkeln bzw. Dachneigungswinkeln beantragt.

Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Softwarefirma DLUBAL, welche die Träger mit dem Programm RFEM modelliert und berechnet hat. Im Vergleich dazu wurden die Binder nach den Berechnungsgrundsätzen der DIN EN 1995-1-1 Ausgaben Juni 1994 (Vornorm) sowie Dezember 2010, der DIN 1052 Ausgaben April 1988 sowie Dezember 2008 und nach den Diagrammen in der Veröffentlichung von BLUMER 1972/1979 *Spannungsberechnungen an anisotropen Kreisbogenscheiben und Satteldachträgern konstanter Dicke* - soweit vorhanden - nachgewiesen. Die Ergebnisse wurden als Kurverscharen aufgetragen.

Wird im folgenden Bericht von EC 5 gesprochen, bezieht sich dies immer auf die aktuelle Version des Eurocodes 5, nämlich die DIN EN 1995-1-1:2010. Gleiches gilt für DIN 1052: sofern nicht anders angegeben, ist hiermit immer die neuste Fassung aus dem Jahr 2008 gemeint. Wird ein Bezug auf andere Ausgaben dieser beiden Normen gemacht, so wird dies jeweils explizit vermerkt.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

2 Auswahl der Systeme und Durchführung der Berechnungen

Für die Materialeigenschaften wurden für alle Trägertypen die Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte der Brettschichtholzfestigkeitsklasse Gl 24 h bzw. BS 11 festgelegt.

Im Gegensatz zur DIN 1052 sind im EC 5 selbst keine Angaben zu den Festigkeits- und Steifigkeitskennwerten für Brettschichtholz enthalten. Diese sind der zugehörigen Bezugsnorm der DIN EN 1194:1999 zu entnehmen.

Für die Nachweise, die nach dem neuen Sicherheitskonzept geführt wurden, d.h. nach DIN EN 1995-1-1:1994 (Vornorm) und 2010, DIN 1052:2008, sowie bei den Berechnungen mit DLUBAL, wurden die charakteristischen Festigkeitskennwerte mit $k_{\text{mod}} = 0,9$ und $\gamma_M = 1,3$ beaufschlagt. Für die Nachweise nach dem altem Sicherheitskonzept (DIN 1052:1988 und BLUMER 1972 / 1979) wurden zulässige Spannungen angesetzt.

Die Binderbreite sowie die Spannweite wurden ebenfalls für alle Trägertypen gleich gewählt, nämlich zu einer Breite b von 18 cm und einer Spannweite l von 24,0 m.

Weiterhin wurden nur Berechnungen für die Satteldachträger mit geradem und gekrümmtem Untergurt durchgeführt. Die Biegebeanspruchungen bei Pultdachträgern am unteren und oberen Biegezug bzw. -druckrand werden durch die Berechnungen der Satteldachträger mit geradem Untergurt abgedeckt.

Für die Satteldachträger mit geradem Untergurt wurde die Traufhöhe mit einer Höhe h von 50 cm konstant gehalten. Die Firsthöhe wurde in Abhängigkeit des Faseranschnittwinkels berechnet. Für den Faseranschnittwinkel wurden die Varianten $\alpha = 5^\circ / 10^\circ / 15^\circ / 20^\circ$ und 24° untersucht.

Für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt wurde die Traufhöhe ebenfalls mit einer Höhe h von 50 cm konstant gehalten. Die Lamellendicke wurde zu $t = 20$ mm gewählt. Der Innenradius des Krümmungsbereiches wurde aus dem RFEM-Modell herausgelesen. Die Firsthöhe sowie die Länge des Abrundungsbereiches wurden in Abhängigkeit des Dachneigungs- bzw. Faseranschnittwinkels berechnet. Für den Dachneigungswinkel wurden die Varianten $\delta = 25^\circ / 30^\circ$ und 35° mit jeweils zugehörigem Untergurtneigungswinkel $\beta = 5^\circ / 10^\circ$ und 15° untersucht. Daraus ergibt sich ein Faseranschnittwinkel von $\alpha = 20^\circ$.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g **Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung**

Da die Berechnungsformeln der Norm auf der Balkentheorie basieren, ist ein Längen-zu-Höhenverhältnis ≥ 6 einzuhalten. Diese Forderung ergibt, dass ein Faseranschnittwinkel über 25° für sinnvolle Geometrien nicht ausführbar ist, womit das ursprünglich angedachte Spektrum an zu untersuchenden Winkeln bis zu 40° Faseranschnittwinkel nicht mehr abgedeckt werden konnte.

Als Belastung wurde eine Gleichstreckenlast von $q = 45,0 \text{ kN/m}$ (altes Sicherheitskonzept) bzw. $q_d = 65,3 \text{ kN/m}$ (gamma-fach) in Ansatz gebracht.

Mit den zuvor festgelegten Materialgütern, Geometrien und Belastungen wurden die Berechnungen an den Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt mit Hilfe einer Tabellenkalkulation (Excel) durchgeführt.

Dabei wurde für die Satteldachträger mit geradem Untergurt das Nachweisformat Biegerandspannungen unten (Zug) im Firstquerschnitt sowie außerhalb des Firstquerschnittes bei $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} und an der Stelle $\max M(x) / W(x)$, wobei x von der Trägermitte aus gemessen wird, untersucht. Weiterhin wurden die Biegerandspannungen oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes an der angeschnittenen Faser bei $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} und an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ nachgewiesen. Zuletzt waren noch die Nachweise der Querkzugspannungen im Firstquerschnitt zu führen.

Für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt wurden prinzipiell die gleichen Nachweise geführt. Allerdings wurde hinsichtlich der Biegerandspannungen unten (Zug) nur die Spannungen im Firstquerschnitt sowie an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ untersucht. Am oberen Rand wurden die Biegerandspannungen ebenfalls lediglich an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ nachgewiesen.

Innerhalb des Tabellenkalkulationsblattes wurden für jedes Nachweisformat die Berechnungen nach verschiedenen Normen oder Literaturquellen (DIN EN 1995-1-1 Ausgaben 1994 (Vornorm) und 2010, DIN 1052 Ausgaben 1988 und 2008 sowie BLUMER 1972/1979) durchgeführt. Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurde jeweils der Ausnutzungsgrad η ermittelt. Dadurch können die Ergebnisse nach dem alten denen nach dem neuen Sicherheitskonzept gegenüber gestellt werden.

Die Ausnutzungsgrade stellen dabei lediglich einen Vergleichswert dar, sodass sich auch Ausnutzungen über 100 % ergeben können.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

Weiterhin wurden Berechnungen mit dem Programm RFEM von DLUBAL, welche überwiegend vom Softwarehersteller selbst durchgeführt und anschließend Harrer Ingenieure zur Verfügung gestellt wurden, ausgewertet. Aus den Berechnungsergebnissen konnten sowohl die Biege- und Querspannungen, als auch die Querspannungen an verschiedenen Schnitten im und außerhalb des Firstquerschnittes ausgegeben werden (siehe Bild 1). Diese Bemessungswerte wurden in das Tabellenkalkulationsblatt aufgenommen und einerseits den Festigkeitskennwerten nach der europäischen Norm für Brettschichtholz DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) und andererseits den Kennwerten nach DIN 1052 gegenübergestellt. Für den Nachweis der Querspannungen wurden auf der Widerstandsseite der Verteilungsbeiwert k_{dis} und der Volumenfaktor k_{vol} (EC 5) bzw. der Höhenfaktor k_h (DIN 1052) berücksichtigt.

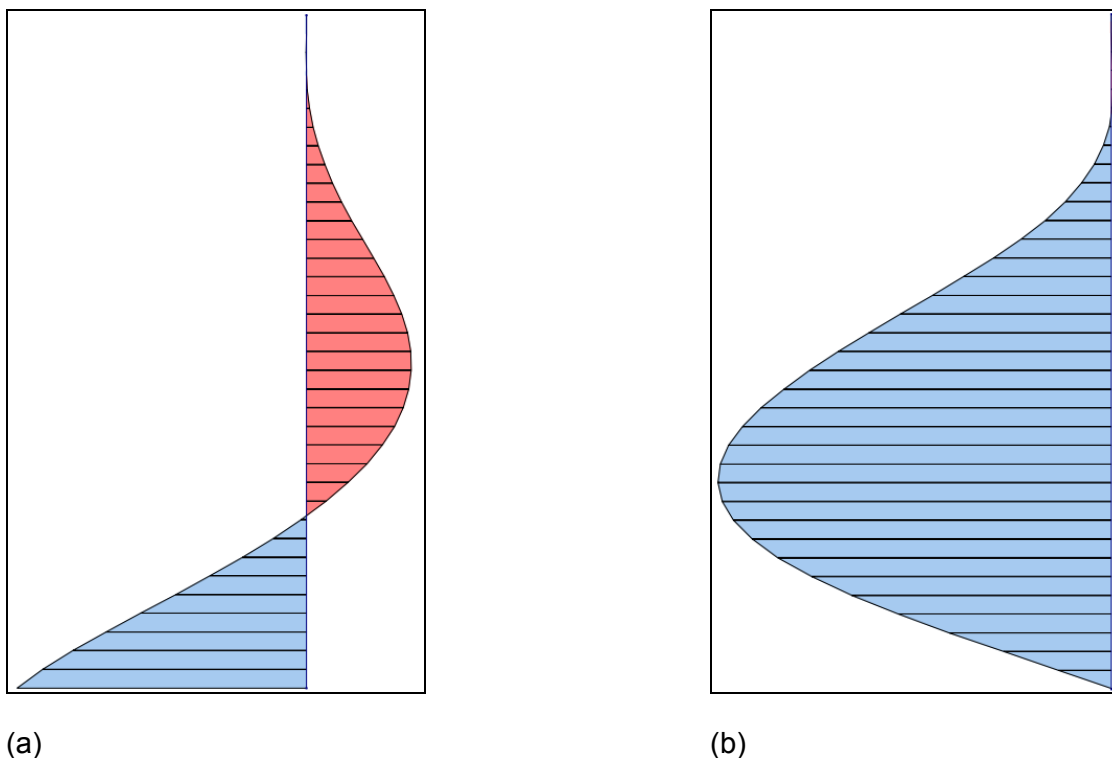


Bild 1: Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt (Dachneigungswinkel 30°) – Verlauf der Biegespannungen (a) und Querspannungen (b) im Firstquerschnitt

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden in Form der Ausnutzungsgrade angegeben. Somit konnten auch die Berechnungen auf Grundlage unterschiedlicher Sicherheitskonzepte sowie auf Basis unterschiedlicher Materialkennwerte z.B. nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) und DIN 1052:2008 miteinander verglichen werden.

Für eine bessere Veranschaulichung wurden die Ergebnisse in Diagrammen, in welchen die Ausnutzungsgrade über den Faseranschnittwinkel bei den Satteldachträgern mit geradem Untergurt bzw. über den Dachneigungswinkel bei den Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt aufgetragen wurden, zusammengefasst. Hieraus war schnell zu erkennen, dass sowohl für die Satteldachträger mit geradem, als auch für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt, jeweils der Nachweis der Biegerandspannung oben (Druck) an der angeschnittenen Faser bemessungsrelevant wird.

Der Nachweis der Querkzugspannungen ist grundsätzlich unabhängig zu bewerten. Betrachtet man die Ausnutzungsgrade, so liegen diese bei den Satteldachträgern mit geradem Untergurt für die betrachteten Geometrien immer unterhalb des Ausnutzungsgrades des maßgebenden Nachweises der Biegerandspannung oben an der Stelle $\max M(x) / W(x)$. Somit wird der Querkzugnachweis global gesehen hier nicht maßgebend. Bei den Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt kann obige Aussage nicht bestätigt werden. Hier zeigt sich beim Nachweis nach EC 5 sowie insbesondere bei der Berechnung mit DLUBAL mit den Festigkeitswerten der DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5), dass der Querkzugnachweis global betrachtet durchaus bemessungsrelevant werden kann.

Daher werden in den beiden nachfolgenden Diagrammen zum Einen der maßgebende Bemessungsfall hinsichtlich der Biegespannungen (Diagramm 1) für die vier o.g. Nachweisformate übereinander gelegt und zum Anderen die Ergebnisse für den Nachweis der Querkzugspannungen (Diagramm 2).

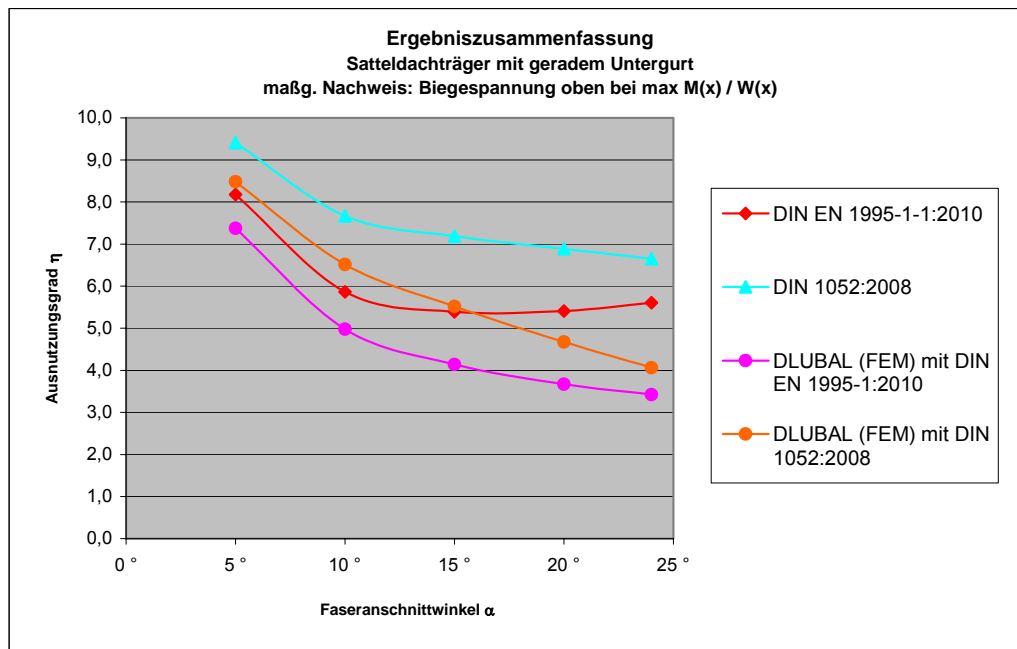
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

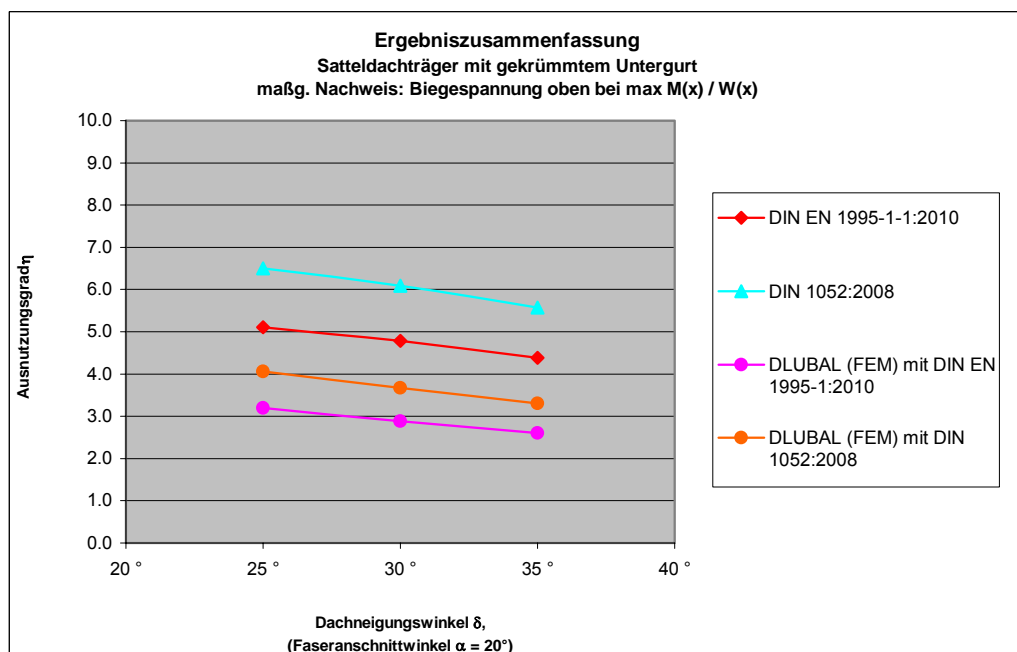
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung



(a)



(b)

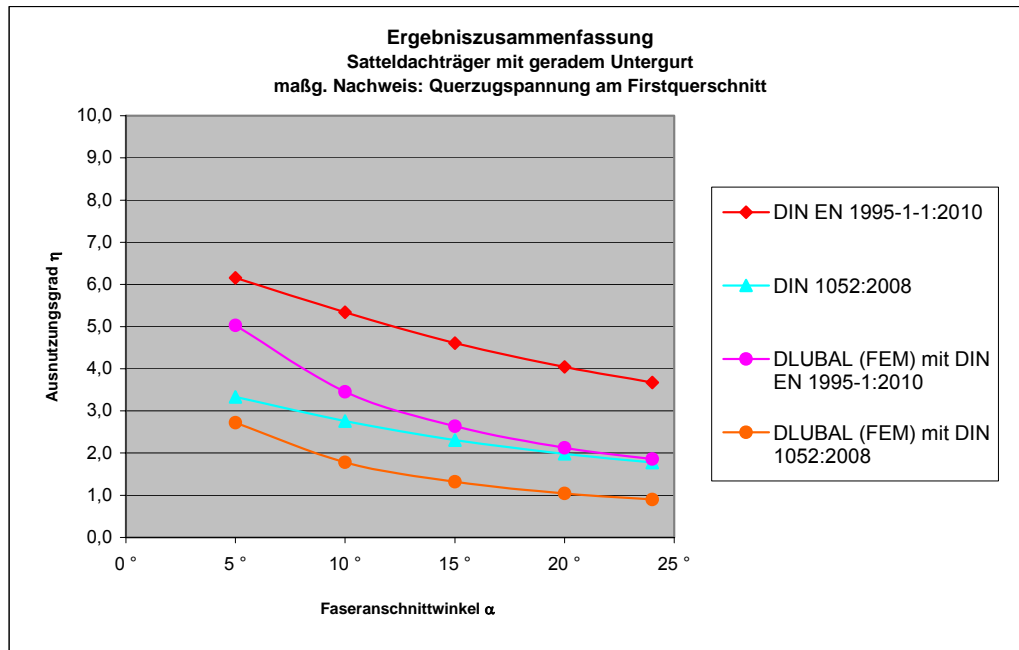
Diagramm 1: maßgebender Nachweis Biegespannungen für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

Ergänzung Forschungsvorhaben

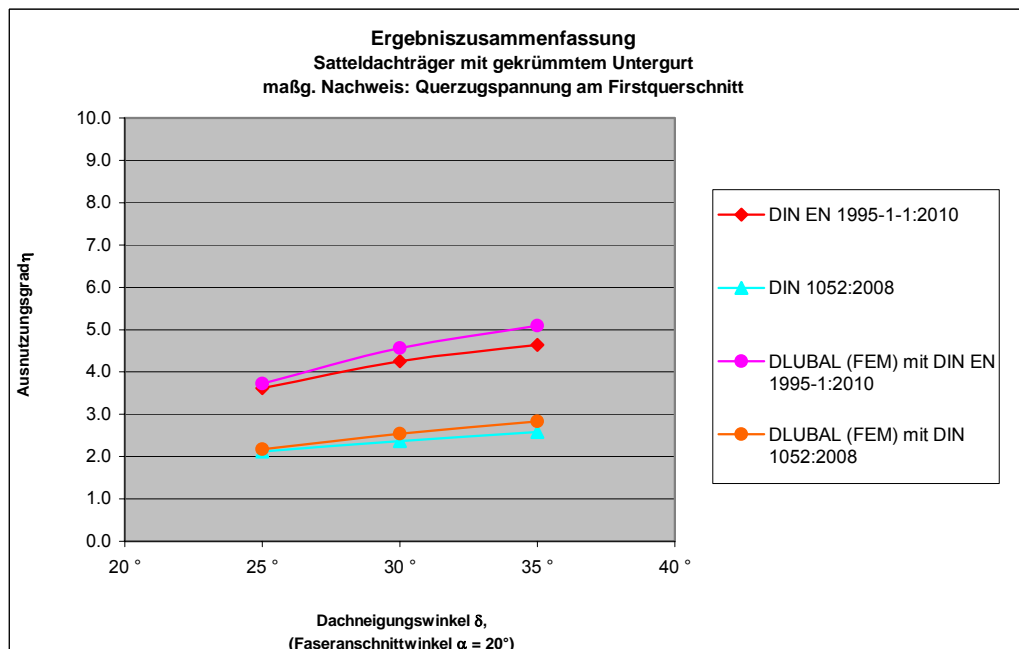
DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung



(a)



(b)

Diagramm 2: Querzugspannungen für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g **Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung**

Aus Diagramm 1 (a) und (b) ist zu erkennen, dass der maßgebende Nachweis der Biegespannung nach EC 5 gegenüber den Nachweisen nach DIN 1052 bzw. der RFEM-Berechnung von DLUBAL mit den Festigkeitskennwerten nach DIN 1052 zwar geringere Werte liefert; dass im Vergleich mit den Ergebnissen der RFEM-Berechnung mit den Festigkeitskennwerten nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) sich jedoch höhere Ausnutzungsgrade ergeben.

Die Unterschiede in den Nachweisen nach EC 5 und DIN 1052 ergeben sich aus der unterschiedlichen Berechnung der Biegefestigkeit am angeschnittenen Rand $f_{m,\alpha,d}$. Diese unterschiedliche Berechnung wurde bereits innerhalb des Hauptauftrages zu diesem Forschungsvorhaben bemerkt und ist nach Meinung der Experten des DIN-Spiegelausschusses kein Sicherheitsproblem.

Hinsichtlich der Querkzugspannungen liegt der Nachweis nach EC 5 für die Satteldachträger mit geradem Untergurt (Diagramm 2(a)) gegenüber allen anderen Nachweisformaten deutlich auf der sicheren Seite. Für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt (Diagramm 2(b)) ergibt die Berechnung mit DLUBAL mit den Festigkeitskennwerten nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) maximal 10 % höhere Ausnutzungsgrade. Allerdings wurde bereits im Hauptauftrag des Forschungsvorhabens darauf hingewiesen, dass die Berücksichtigung des querkzugbeanspruchten Volumens über den Faktor k_{vol} nach EC 5 einen sehr viel strengeren Einfluss auf die Bemessung hat als die Berücksichtigung der querkzugbeanspruchten Höhe über den Faktor k_h nach DIN 1052. Daher liegt insgesamt sowohl der Nachweis nach EC 5, als auch die Berechnung mit DLUBAL unter Berücksichtigung der Festigkeitskennwerte nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) und der Beiwerte k_{dis} und k_{vol} , gegenüber allen anderen Nachweisformaten auf der sicheren Seite.

Somit besteht für die untersuchten Fälle kein Sicherheitsproblem trotz Überschreitung der maximal zulässigen Faseranschnitt- bzw. Dachneigungswinkel gemäß den deutschen Normen.

Ein Formulierungsvorschlag zur Ergänzung des Normtextes für das A1-Papier zum NA des EC 5, entsprechend dem Untersuchungsumfang den Faseranschnittwinkel auf 24° und den Dachneigungswinkel auf 35° zu begrenzen, wurde dem für den EC 5 zuständigen DIN-Spiegelausschusses vorgelegt.