

**Ergänzungsauftrag zum
Forschungsvorhaben "DIN
EN 1995 – EC 5 Holzbauten –
Anwendungserprobung"**

Untersuchung von Pultdachträgern und
Satteldachträgern mit geradem und
gekrümmtem Untergurt zur Abschätzung
des Einflusses des Faseranschnittwinkels
bzw. Dachneigungswinkels

T 3273

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8706-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Ergänzung Forschungsvorhaben
DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten
Untersuchung verschiedener Trägerformen**



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Schlussbericht

**Ergänzungsauftrag zum Forschungsvorhaben
„DIN EN 1995 – EC 5 Holzbauten – Anwendungserprobung“**

**„Untersuchung von Pult- und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt
zur Abschätzung des Einflusses des Faseranschnittwinkels bzw. Dachneigungswinkels“**

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
Kolonnenstr. 30 L
10829 Berlin

Antragsteller: Harrer Ingenieure GmbH
Reinhold-Frank-Str. 48b
76133 Karlsruhe

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Inhaltsverzeichnis

- 1 Vorbemerkungen – Begründung und Ziel des Forschungsvorhabens**
- 2 Projektbeteiligte**
 - 2.1 Projektteam
 - 2.2 Betreuergruppe
 - 2.3 Arbeitsgruppe
- 3 Arbeitsplan (zeitlicher Ablauf)**
- 4 Auswahl der Systeme**
 - 4.1 Festlegung der Materialien, Geometrien und Belastungen
 - 4.2 Durchführung der ersten Berechnungen
 - 4.3 Berechnungen mit dem Programm RFEM von DLUBAL
 - 4.4 Überarbeitung der Systeme
 - 4.5 Durchführung weiterer Berechnungen
 - 4.6 Ergebnisse
 - 4.7 Schlussfolgerungen
 - 4.8 Vorschlag
- 5 Zusammenfassung**

Normen und Literatur

Anlagen

- Anlage 1 Modellierung mit dem Programm RFEM von DLUBAL
- Anlage 2 Behandlung der orthotropen Materialmodelle in RFEM
- Anlage 3 Protokoll zur Sitzung am 25.02.2011 mit Anlage
- Anlage 4 Berechnungen und Ergebnisse der Satteldachträger mit geradem Untergurt
- Anlage 5 Berechnungen und Ergebnisse der Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

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 - 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

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

2 Projektbeteiligte

Die Projektbeteiligten des Ergänzungsauftrages setzten sich zusammen aus dem u. g. Projektteam und der nachgenannten Betreuergruppe sowie Arbeitsgruppe.

Das Projektteam führte die Berechnungen durch und stellte die Ergebnisse aus den Berechnungen zusammen.

Die Betreuergruppe begleitete das Projektteam. Die Arbeitsgruppe stellte eine Ergänzung zur Betreuergruppe dar.

2.1 Projektteam

FSt 1: Harrer Ingenieure (Antragsteller)
Gesellschaft Beratender Ingenieure VBI mbH
Straße: Reinhold-Frank-Straße 48b
PLZ - Ort: 76133 Karlsruhe

Projektleiter: Dipl.-Ing. Matthias Gerold
Tel.: 0721/1819-25
Fax: 0721/1819-60
E-Mail: m.gerold@harrer-ing.de
Mitarbeiterin: Dipl.-Ing. Marion Kleiber

FSt 2: Ingenieursoftware DLUBAL GmbH
Straße: Am Zellweg 2
PLZ - Ort: 93464 Tiefenbach

Projektleiter: Dipl.-Ing. Bastian Kuhn
Tel.: 09673 / 9203-0
Fax: 09673 / 9203-51
E-Mail: Bastian.Kuhn@dlubal.com

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

2.2 Betreuergruppe

Herr Schäpel	Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt, bewilligende Stelle)
Herr Kühnemann	jetzt Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft ehem. Wirtschaftsministerium BW, Stuttgart (Vertr. ARGEBAU, Initiator)
Herr Prof. Winter	TU München

2.3 Arbeitsgruppe

Herr Prof. Brüninghoff	Universität Wuppertal
Herr Dr. Wiegand	Studiengemeinschaft Holzleimbau

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

3 Arbeitsplan (zeitlicher Ablauf)

Aufgliederung der einzelnen Forschungsabschnitte nach Art und Umfang der Leistungen.

Forschungsabschnitt	Leistungsbeschreibung
1. Dez 2010 - Jan 2011	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einarbeitung in das Themengebiet, Literaturrecherche etc. ▪ Festlegung der geometrischen Abmessungen, Materialkennwerte und Lastansätze für die drei zu untersuchenden Trägerformen ▪ Durchführung der „Handberechnungen“
2. Jan 2011 - Feb 2011	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modellierung der Trägerformen mit dem Programm RFEM von Dlubal ▪ Auswertung der Ergebnisse aus der EDV-Berechnung und Abgleich mit den Ergebnissen aus der „Handberechnung“ ▪ Aufbereitung der Ergebnisse
3. 25.02.2011	<ol style="list-style-type: none"> 1. Betreuer- und Arbeitsgruppensitzung Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse zu den Trägern mit geradem Untergurt, Harrer Ingenieure, Karlsruhe
4. Feb 2011 – Juni 2011 20.06.2011	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anpassung der Systeme und Durchführung weiterer Berechnungen <ol style="list-style-type: none"> 2. Betreuer- und Arbeitsgruppensitzung Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse zu allen Trägerformen beim WM BW im Rahmen einer Arbeitskreissitzung EC5/NA/A1
5. Juli 2011	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ergebnisbericht

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4 Auswahl der Systeme, Durchführung der Berechnungen, Ergebnisse

4.1 Festlegung der Materialien, Geometrien und Belastungen

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 Produktnorm 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 $k_{mod} = 0,9$ 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 8,0 m.

Bei den Pultdachträgern wurde die Trägerhöhe in Feldmitte h_m konstant mit 2,5 m gehalten. Für den Faseranschnittwinkel wurden die Varianten $\alpha = 10^\circ / 20^\circ / 25^\circ$ und 30° untersucht. Entsprechend dem Faseranschnittwinkel wurde die Trägerhöhe an der Traufe und am First angepasst.

Bei den Satteldachträgern mit geradem Untergurt wurde die Firsthöhe h_{ap} konstant mit 2,5 m gehalten. Die Abstufung der Faseranschnittwinkel erfolgte analog zu den Pultdachträgern d.h. $\alpha = 10^\circ / 20^\circ / 25^\circ$ und 30° . Die Traufhöhe wurde entsprechend der Faseranschnittwinkel angepasst.

Die Untersuchung an den Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt wurde in einem späteren Stadium (s. Kapitel 4.4) durchgeführt.

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

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.2 Durchführung der ersten Berechnungen

Mit den in Kapitel 4.1 festgelegten Materialgütern, Geometrien und Belastungen wurden die ersten Berechnungen an den Pultdachträgern und den Satteldachträgern mit geradem Untergurt mit Hilfe einer Tabellenkalkulation (Excel) durchgeführt.

Dabei wurde für jedes Nachweisformat ein separates Tabellenblatt erstellt.

Folgende Nachweisformate waren zu untersuchen:

- Nachweis der Biegeandspannungen unten (Zug) in Feldmitte (Firstquerschnitt),
- Nachweis der Biegeandspannungen unten außerhalb des Firstquerschnittes bei $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} , wobei x von der Trägermitte aus gemessen wird,
- Nachweis der Biegeandspannungen oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes an der angeschnittenen Faser bei $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} , wobei x von der Trägermitte aus gemessen wird,
- Nachweis der Querkzugspannungen.

Innerhalb dieses 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 den nach dem neuen Sicherheitskonzept gegenüber gestellt werden.

Weiterhin wurden die mit dem Programm RFEM von DLUBAL (siehe Kapitel 4.3) ermittelten Spannungen angegeben und die daraus berechneten Ausnutzungsgrade in den Vergleich mit einbezogen.

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

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.3 Berechnungen mit dem Programm RFEM von DLUBAL

Die Berechnungen mit dem Programm RFEM von DLUBAL wurden überwiegend vom Softwarehersteller selbst durchgeführt und die Dateien anschließend Harrer Ingenieure zur Verfügung gestellt.

Aus den Dateien konnten sowohl die Biegerandspannungen, als auch die Querkzugspannungen an verschiedenen Schnitten im Modell ausgegeben werden (Bild 3).

Bei der Modellierung der Satteldachträger mit geradem Untergurt wurden zwei verschiedene Lastansätze gewählt: zur Ermittlung der Biegerandspannungen wurde eine Gleichstreckenlast in Ansatz gebracht (siehe Bild 1). Zur Ermittlung der Querkzugspannungen dagegen wurden Einzellasten im Abstand 1 m angesetzt, wobei am Firstpunkt keine Last aufgebracht wurde. Weiterhin wurde in diesem Modell am oberen Rand eine Netzverdichtung vorgenommen (siehe Bild 2). Dies war erforderlich, da es in den Elementen am oberen Trägerrand infolge der Lasteinleitung zu einer lokalen Überdrückung der Querkzugspannungen kam, welche den Verlauf die Spannungsverteilung verfälscht hat.

Eine solche Überdrückung kann gemäß EC 5 rechnerisch berücksichtigt werden. Dort werden in Kapitel 6.4.3 die beiden Gleichungen (6.54) und (6.55) als alternative Bemessungsgleichungen angegeben:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap}}{bh_{ap}^2} \quad (6.54)$$

oder alternativ

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap}}{bh_{ap}^2} - 0,6 \frac{p_d}{b} \quad (6.55)$$

mit p_d als gleichmäßig verteilte Auflast im Firstbereich.

Die Wahl der anzusetzenden Gleichung ist ein NDP, d.h. ein national festzulegender Parameter. Somit hatten Deutschland wie auch die anderen europäischen Länder die Möglichkeit durch die Vorgabe der Gleichung (6.54) als anzusetzende Bemessungsgleichung die Überdrückung auszuschließen.

Ergänzung Forschungsvorhaben DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

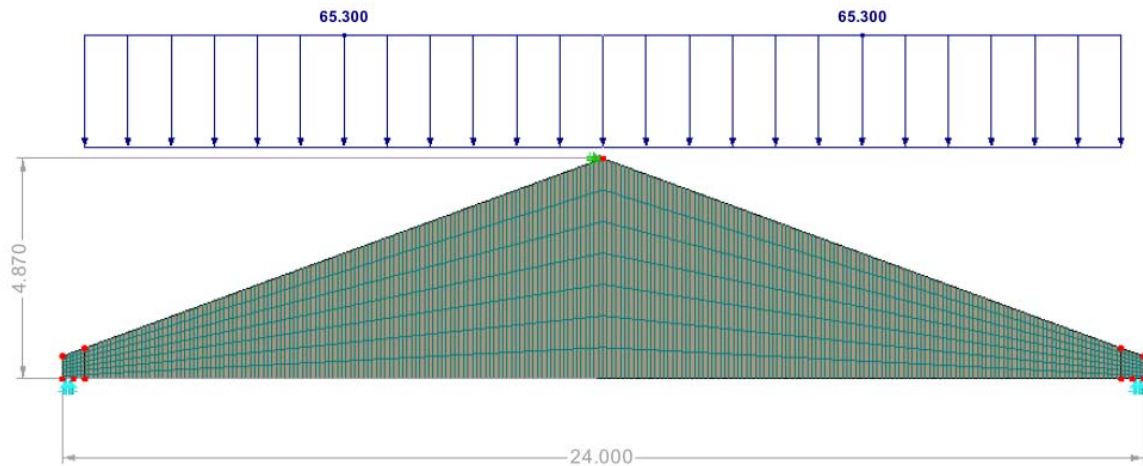


Bild 1: RFEM-Modell Satteldachträger mit geradem Untergurt – Faseranschnittwinkel 20°, Ansatz einer Gleichstreckenlast

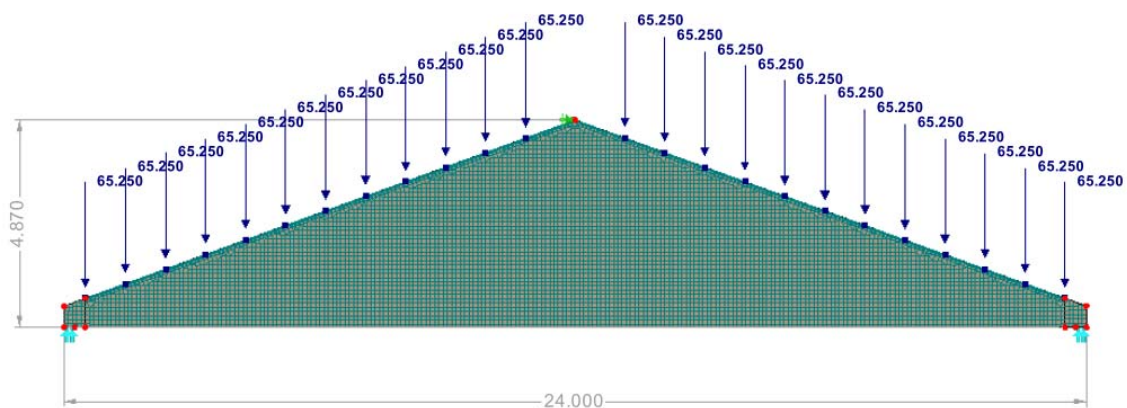


Bild 2: RFEM-Modell Satteldachträger mit geradem Untergurt – Faseranschnittwinkel 20°, Ansatz von Einzellasten

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

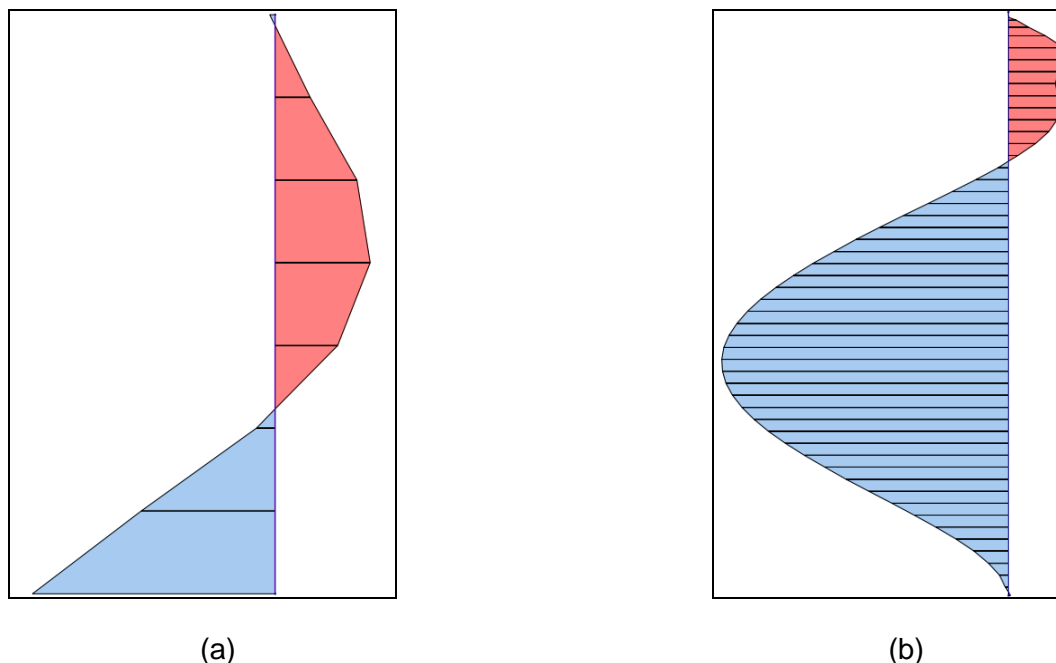


Bild 3: Schnitt im Firstquerschnitt – Verlauf der Biegespannungen (a) und Querkzugspannungen (b)

Aus den wie in Bild 3 beispielhaft dargestellten Spannungsverläufen konnten dann die Biegespannungen am unteren Rand im und außerhalb des Firstquerschnittes, die Biegespannungen am oberen Rand außerhalb des Firstquerschnittes sowie die maximalen Querkzugspannungen entnommen werden. Diese Bemessungswerte wurden einerseits den Festigkeitskennwerten nach der europäischen Produktnorm für Brettschichtholz DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) und andererseits den Kennwerten nach DIN 1052 gegenübergestellt. Für den Nachweis der Querkzugspannungen wurden auf der Widerstandsseite der Verteilungsbeiwert k_{dis} und der Volumenfaktor k_{vol} (EC 5) bzw. der Höhenfaktor k_h (DIN 1052) berücksichtigt.

Angaben zur Modellierung sowie zu den verwendeten Materialmodellen sind in Anlage 1 und Anlage 2 enthalten.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.4 Überarbeitung der Systeme

In einer Betreuer- und Arbeitsgruppensitzung wurden die Ergebnisse aus den o.g. ersten Berechnungen vorgestellt und diskutiert.

Ein Ergebnis dieser Besprechung war, dass die gewählten Geometrien zu verändern sind, auch wenn dadurch nicht mehr das angedachte Spektrum der Ansnittwinkel α berücksichtigt werden konnte. Die Berechnungsformeln der Norm basieren auf der Balkentheorie, sodass ein Längen-zu-Höhenverhältnis ≥ 6 eingehalten werden sollte. Diese Forderung ergibt, dass ein Faseranschnittwinkel über 25° für sinnvolle Geometrien nicht ausführbar ist.

Das Protokoll zur Sitzung mit Anlage ist in Anlage 3 enthalten.

Aufgrund der o.g. Ergebnisse der Sitzung wurden für die weiteren Berechnungen die Systeme überarbeitet: Die Trägerbreite wurde mit $b = 18$ cm beibehalten. Als Spannweite wurde die größte Länge von $l = 24$ m gewählt.

Weiterhin wurden nur noch 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 Ausrundungsbereiches 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

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Der Lastansatz im RFEM-Modell wurde bei den Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt folgendermaßen gewählt: Aus den bereits im Abschnitt 4.3 dargestellten Gründen wurden im First- bzw. Ausrundungsbereich keine Lasten aufgebracht. In den geraden Trägerbereichen wurden Einzellasten im Abstand 1 m aufgebracht (siehe Bild 4). Diese wurden mit einem entsprechenden Lastfaktor versehen, so dass die Summe der Lasten entsprechend dem ursprünglichen Lastansatz einer Streckenlast $q_d = 65,3 \text{ kN/m}$ (gamma-fach) gleich kommt.

Um die Ergebnisse aus dem RFEM-Modell und den Handberechnungen miteinander vergleichen zu können, wurden die maßgebenden Bemessungsmomente am Firstquerschnitt sowie an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ für die Nachweise nach DIN EN 1995-1-1:1994 (Vornorm) und 2010, DIN 1052:1988 und 2008 und BLUMER 1972/1979 mit Hilfe eines Ersatzsystems ermittelt (siehe Bild 5).

Bild 6 zeigt die zugehörigen Biege- und Querkraftbeanspruchungen im Firstquerschnitt.

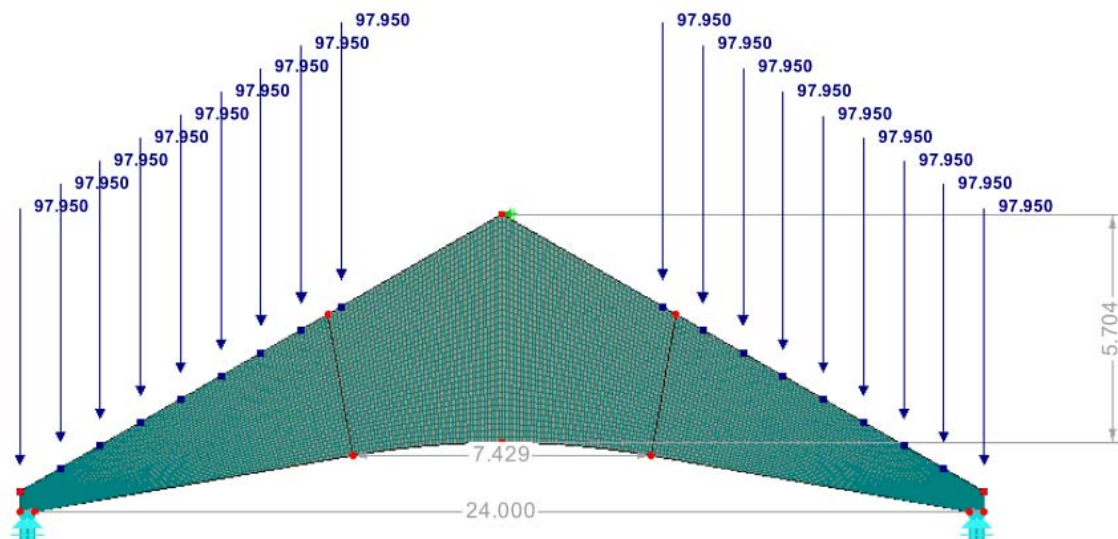


Bild 4: RFEM-Modell Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt – Dachneigungswinkel 30°

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

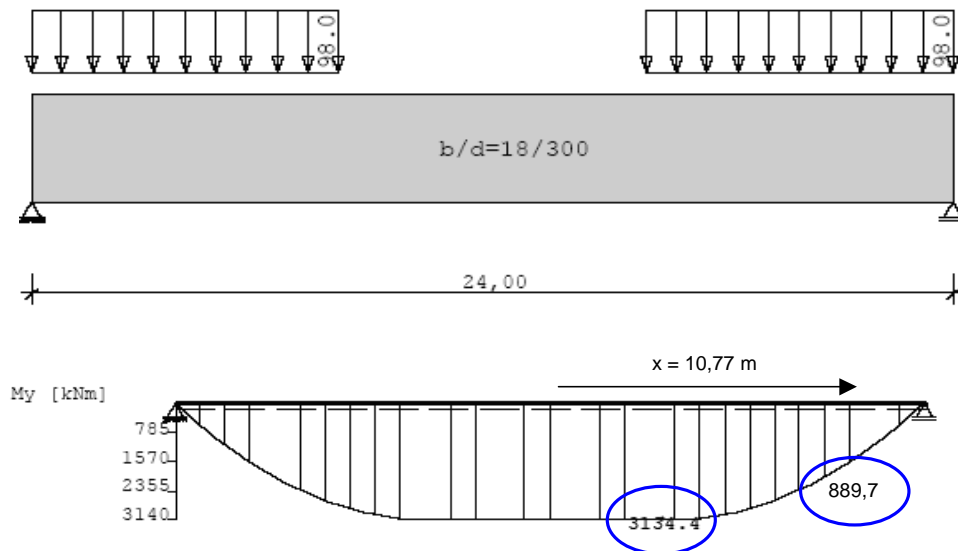


Bild 5: Ersatzsystem zur Ermittlung der Bemessungsmomente (Berechnung mit dem Programm DLT von F+L)

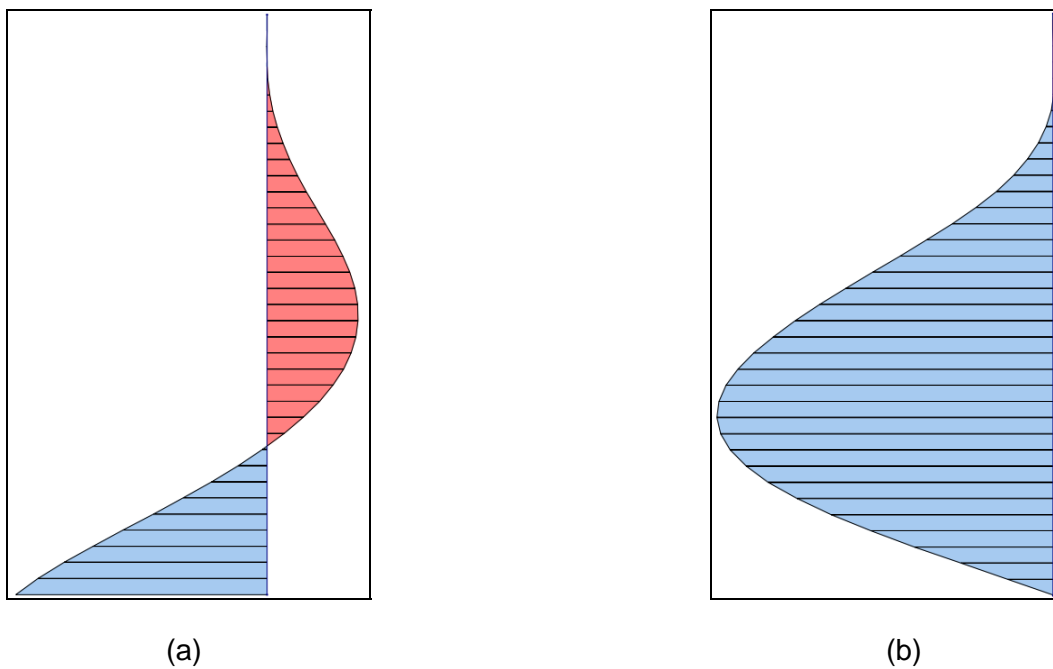


Bild 6: Schnitt im Firstquerschnitt – Verlauf der Biegespannungen (a) und Querzugspannungen (b)

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.5 Durchführung der weiteren Berechnungen

Die Berechnungen der Satteldachträger mit geradem Untergurt wurden prinzipiell wie in Kapitel 4.2 beschrieben durchgeführt.

Für die Nachweise der Biegerandspannung am unteren Zugrand wurde neben den Untersuchungen am Firstquerschnitt und den Stellen $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} auch die Stelle $\max M(x) / W(x)$ überprüft. Für den Nachweis der Biegerandspannung am oberen Druckrand (angeschnittene Faser) wurde ebenfalls neben den Stellen $x = h_{ap}/4$, $h_{ap}/2$ und h_{ap} auch die Stelle $\max M(x) / W(x)$ untersucht. Der Nachweis der Querkzugspannung wurde im Firstquerschnitt geführt.

Für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt wurde der Nachweis der Biegerandspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt sowie an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ geführt. Am oberen Rand wurde die Biegerandspannung ebenfalls an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ nachgewiesen. Der Nachweis der Querkzugspannung wurde im Firstquerschnitt geführt.

4.6 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden weiterhin 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 der Ergebnisse wurde für jedes Nachweisformat ein Diagramm erstellt, in welchem der Ausnutzungsgrad über den Faseranschnittwinkel bei den Satteldachträgern mit geradem Untergurt bzw. über den Dachneigungswinkel bei den Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt aufgetragen wurde. Hieraus war schnell zu erkennen, welche Berechnung maßgebend wird.

In der Ergebniszusammenfassung wurde für jede der vier Berechnungsvarianten nach EC 5, DIN 1052 und DLUBAL bei Ansatz der Festigkeitskennwerte einerseits nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) sowie andererseits nach DIN 1052 ein Diagramm erstellt. Darin wurden die Ergebnisse (Ausnutzungsgrad über den Faseranschnitt- bzw. Dachneigungswinkel) aus den vier Nachweisformaten Biegerandspannung unten im First, Biegerandspannung unten und oben an der Stelle $\max M(x) / W(x)$ sowie Querkzugspannung im First ausgewiesen. Hieraus konnte entnommen werden, welcher Nachweis bemessungsrelevant ist (siehe Diagramm 1 bis 4).

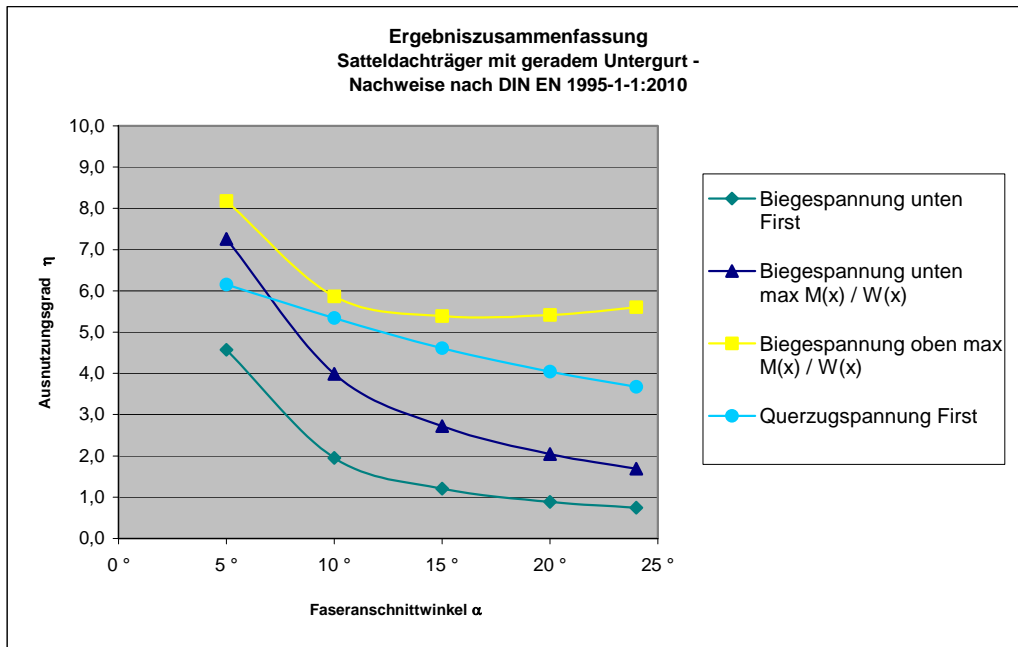
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

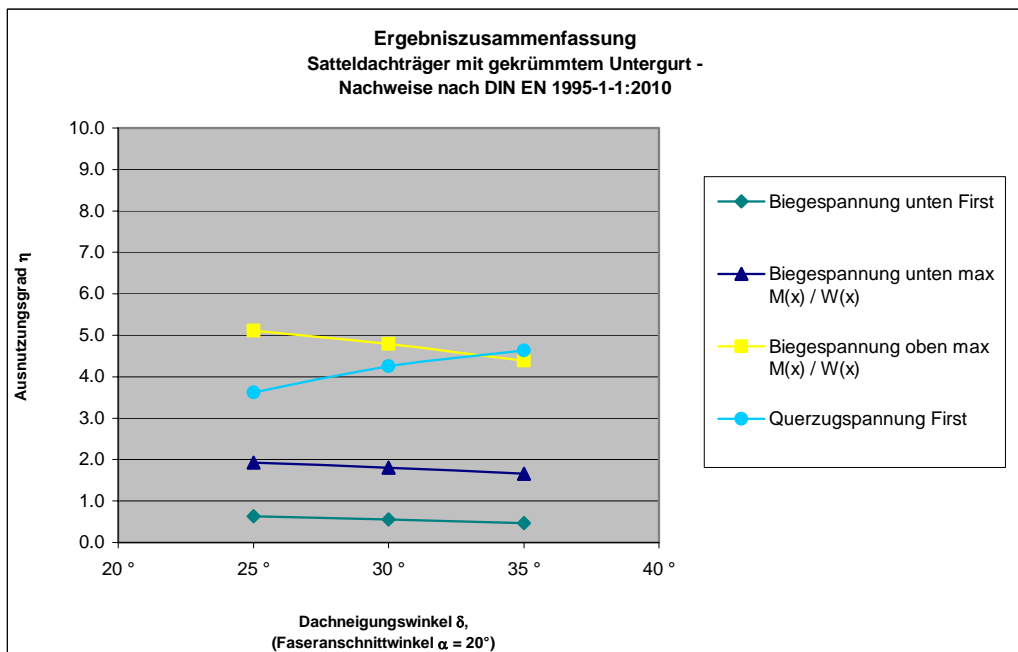
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 1: Nachweisformate nach DIN EN 1995-1-1:2010 für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

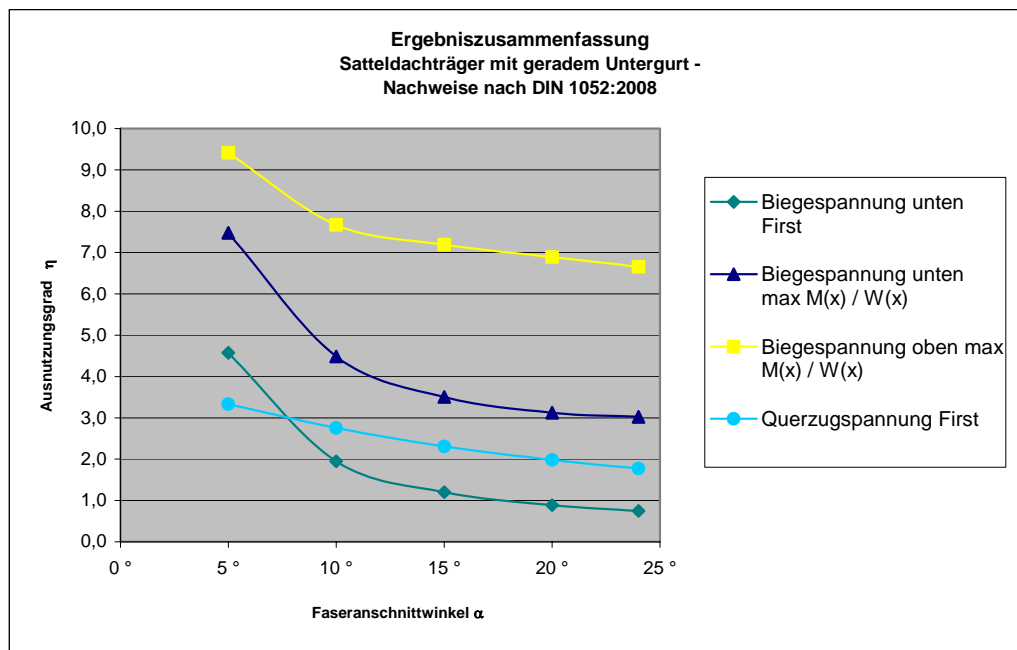
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

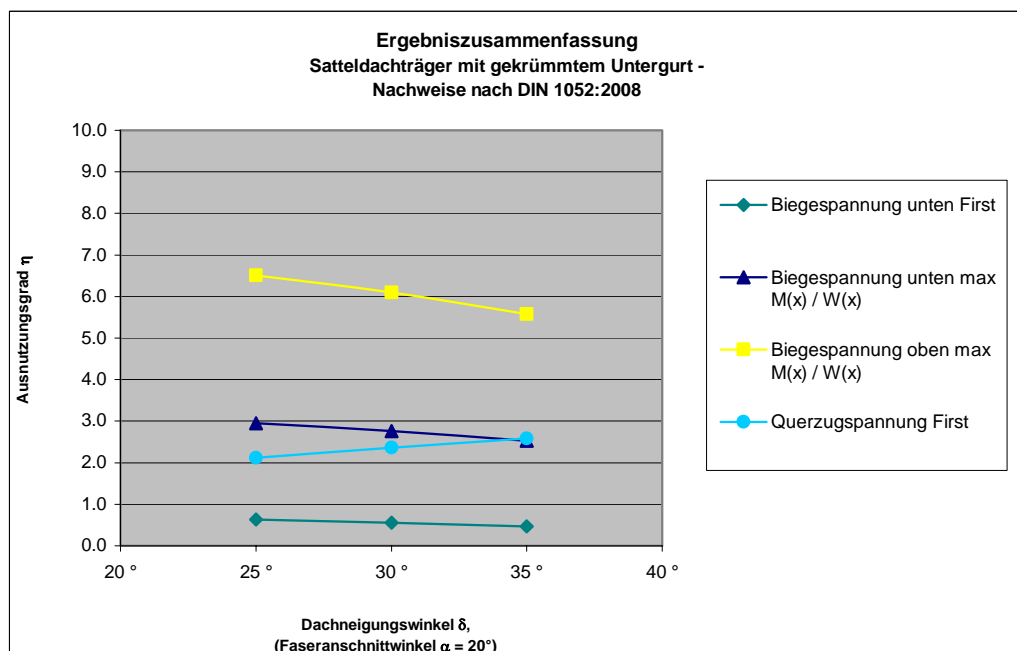
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 2: Nachweisformate nach DIN 1052:2008 für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

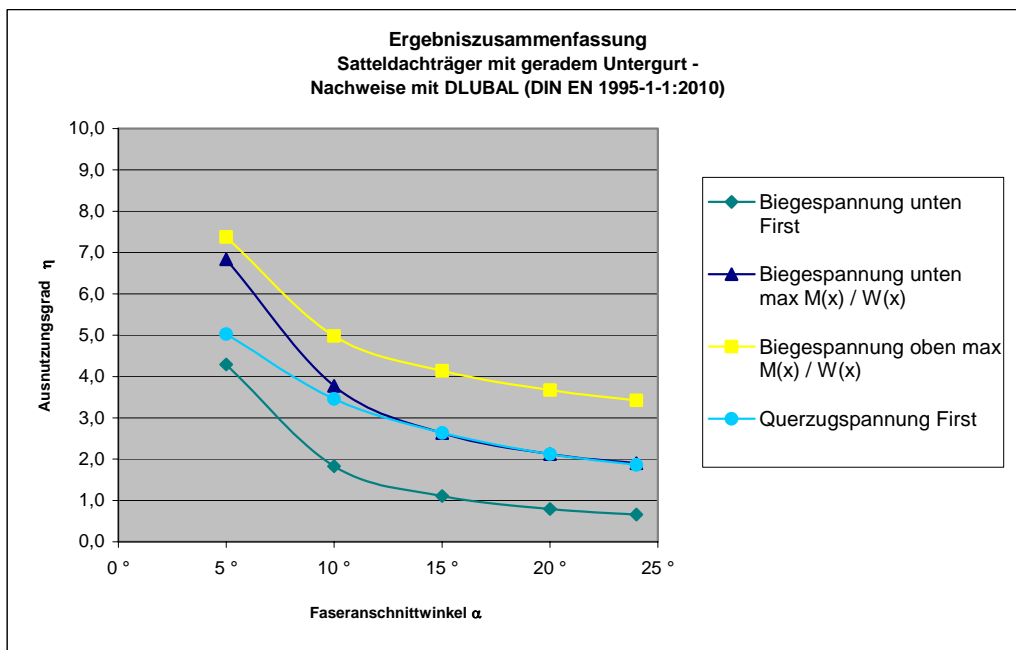
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

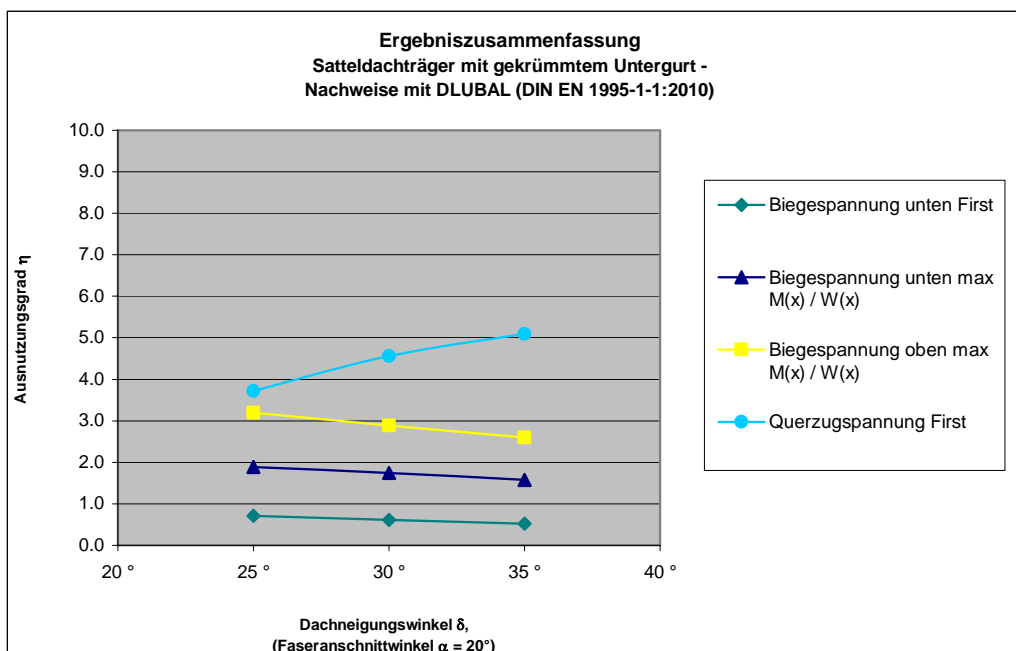
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 3: Nachweisformate nach DLUBAL Festigkeitswerte nach DIN EN 1194:1999 (bezieht sich auf EC 5) für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

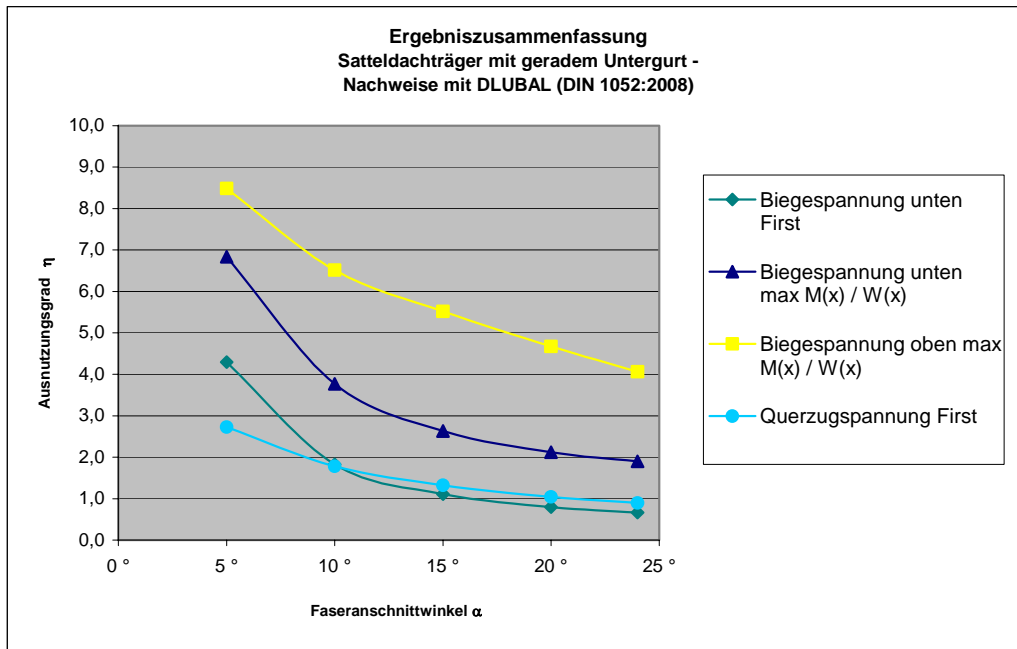
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

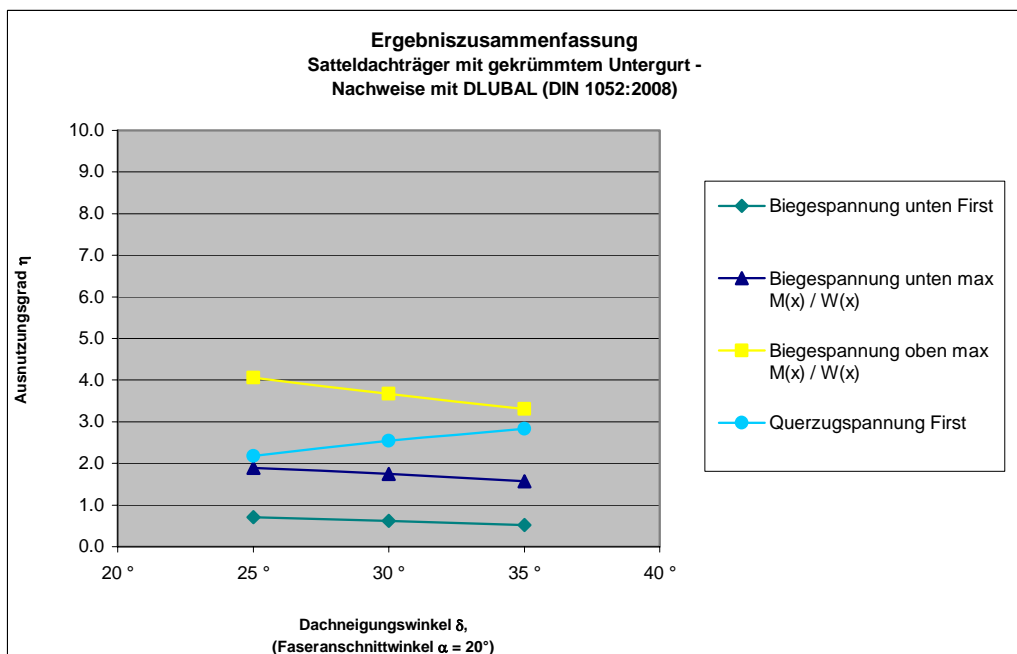
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 4: Nachweisformate nach DLUBAL Festigkeitswerte nach DIN 1052 für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Aus den Diagrammen 1 bis 4 ist 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 Querspannungen 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 Querspannungsnachweis 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 Querspannungsnachweis global betrachtet durchaus bemessungsrelevant werden kann.

Daher werden in den beiden nachfolgenden Diagrammen zum Einen der maßgebende Bemessungsfall hinsichtlich der Biegespannungen (Diagramm 5) für die vier o.g. Nachweisformate übereinander gelegt und zum Anderen die Ergebnisse für den Nachweis der Querspannungen (Diagramm 6).

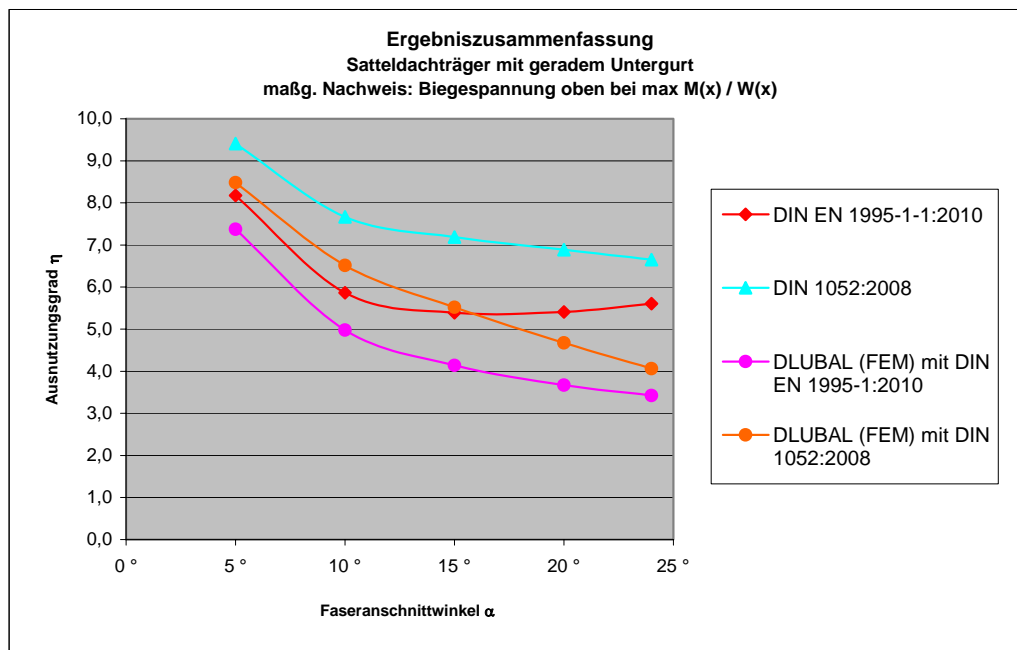
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

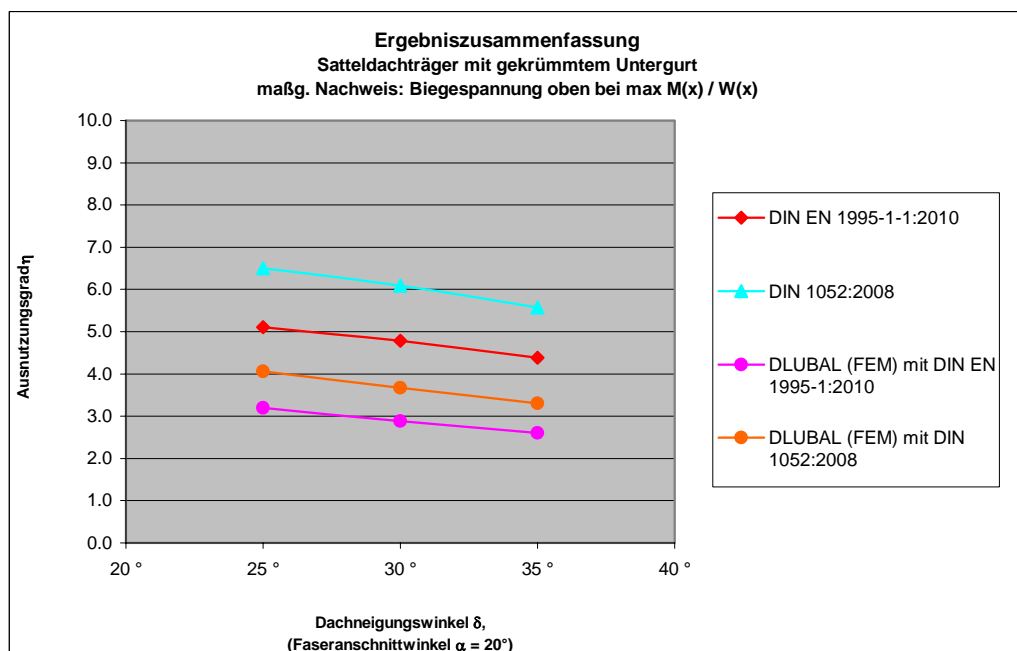
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 5: maßgebender Nachweis Biegespannungen für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

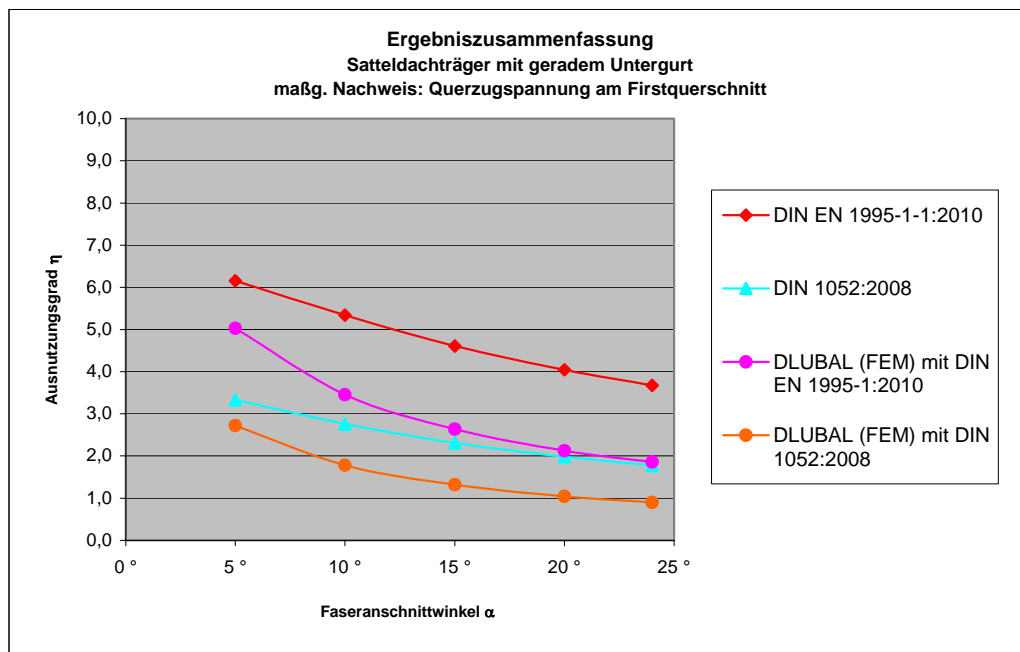
Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

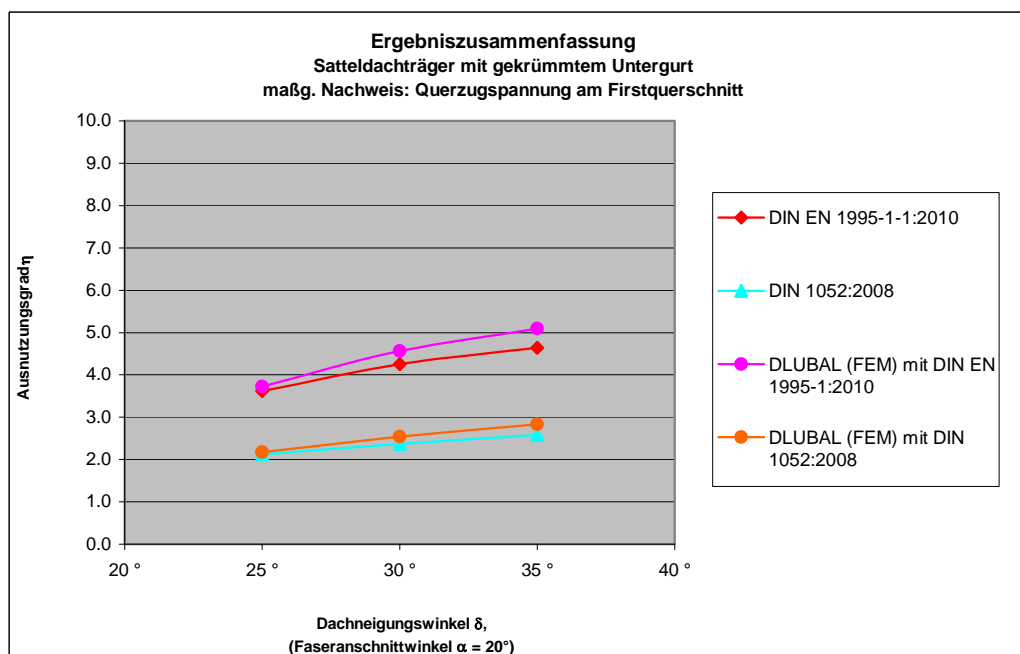
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011



(a)



(b)

Diagramm 6: Querkzugspannungen für Satteldachträger mit geradem (a) und gekrümmtem (b) Untergurt

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Aus Diagramm 5 (a) und (b) ist zu erkennen, dass der maßgebenden 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 6(a)) gegenüber allen anderen Nachweisformaten deutlich auf der sicheren Seite. Für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt (Diagramm 6(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} 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.

Die Berechnungen und Ergebnisse zu den Satteldachträgern mit geradem Untergurt sind in der Anlage 4, zu den Satteldachträgern mit gekrümmten Untergurt in der Anlage 5 enthalten

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.7 Schlussfolgerungen

Aus den obigen Berechnungen und deren Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- 1) Die Berechnungsansätze in den Normen bzw. in der Literatur basieren auf der Balkentheorie. Demnach gelten sie nur für Träger, deren Geometrie ein Längen-zu-Höhenverhältnis ≥ 6 aufweist.
- 2) Der bemessungsrelevante Nachweis hinsichtlich der Biegespannungen ist sowohl für die Satteldachträger mit geradem als auch für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt der Nachweis der Biegerandspannung am oberen Rand (Druck) d.h. an der angeschnittenen Faser. Damit werden auch die Pultdachträger abgedeckt, da dieser Nachweis entsprechend den Vorgaben wie für Pultdachträger zu führen ist.
- 3) Für den Nachweis der Biegerandspannung am oberen Rand muss die Biegefestigkeit am angeschnittenen Rand $f_{m,\alpha,d}$ ermittelt werden. Diese wird nach EC 5 und DIN 1052 unterschiedlich berechnet. Dadurch liefern die Ergebnisse aus den Berechnungsansätzen nach EC 5 und nach der RFEM-Berechnung / EC 5 (Festigkeitskennwerte nach DIN EN 1194:1999) gegenüber den Ergebnissen nach DIN 1052 und der RFEM-Berechnung / DIN 1052 (Festigkeitskennwerte nach DIN 1052) geringere Werte. Die Berechnungsansätze nach EC 5 selbst ergeben im Vergleich mit den RFEM-Berechnung / EC 5 (Festigkeitskennwerte nach DIN EN 1194:1999) jedoch höhere Ausnutzungsgrade. Die unterschiedliche Berechnung der Biegefestigkeit am angeschnittenen Rand ist nach Meinung der Experten des DIN-Spiegelausschusses kein Sicherheitsproblem.
- 4) Für den Nachweis der Querkzugfestigkeit liegen die Nachweise nach EC 5 sowohl für die Satteldachträger mit geradem, als auch für die Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt auf der sicheren Seite.

Somit liegt für die untersuchten Fälle, d.h. für einen Faseranschnittwinkel bis 24° und einen Dachneigungswinkel bis 35° , kein Sicherheitsdefizit vor.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

4.8 Vorschlag

Es sind folgende Ergänzungen im Nationalen Anhang zu Kapitel 6.4.2 und 6.4.3 vorzunehmen:

NCI zu 6.4.2 Pultdachträger

„Bei der Anwendung der Bemessungsgleichungen Gl. (6.37) bis Gl. (6.40) sind die Voraussetzungen für die Balkentheorie, d.h. ein Längen-zu-Höhenverhältnis ≥ 6 , einzuhalten.

Weiterhin ist der Faseranschnittwinkel auf 24° zu begrenzen.“

NCI zu 6.4.3 Satteldachträger, gekrümmte Träger und Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

„Bei der Anwendung der Bemessungsgleichungen Gl. (6.41) bis G. (6.59) sind die Voraussetzungen für die Balkentheorie, d.h. ein Längen-zu-Höhenverhältnis ≥ 6 , einzuhalten.“

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

5 Zusammenfassung

Die Harrer Ingenieure, Gesellschaft Beratender Ingenieure VBI mbH, Karlsruhe (Projektleitung), wurde vom DIBt Berlin mit dem Ergänzungsforschungsvorhaben „Untersuchung von Pult- und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt zur Abschätzung des Einflusses des Faseranschnittwinkels bzw. Dachneigungswinkels“ zum Forschungsvorhaben "DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten Anwendungserprobung" beauftragt.

Ziel dieses Ergänzungsauftrages war es zu überprüfen, ob und inwiefern die nach oben unbegrenzten Winkel in DIN EN 1995-1-1:2010 gegenüber der in DIN 1052:2008 begrenzten Faseranschnittwinkel von maximal 10° bzw. Dachneigungswinkel von maximal 20° ein Sicherheitsdefizit darstellen.

Die Berechnungen wurden sowohl nach den aktuell gültigen Normen DIN EN 1995-1-1:2010 und DIN 1052:2008, als auch nach den alten Normen DIN V ENV 1995-1-1:1994 und DIN 1052:1988 durchgeführt. Weiterhin wurden die Diagramme der Veröffentlichung von BLUMER 1972/1979 herangezogen. Unterstützt wurde das ergänzende Forschungsvorhaben vom Softwarehaus DLUBAL, welches Berechnungen mit dem Programm RFEM durchführte und die Ergebnisse zur Verfügung stellte.

Die Ergebnisse der verschiedenen Nachweisformate wurden einander gegenüber gestellt und die bemessungsrelevanten Nachweise ermittelt.

Damit konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass für die untersuchten Fälle, d.h. für Faseranschnittwinkel bis maximal 24° sowie für Dachneigungswinkel bis maximal 35° kein Sicherheitsproblem besteht.

Eine sich selbst regulierende Begrenzung der Faseranschnitt- bzw. Dachneigungswinkel ergibt sich dabei aus der Forderung eines Längen-zu-Höhenverhältnisses ≥ 6 , um die Voraussetzungen für die Balkentheorie zur erfüllen.

Ein Vorschlag zur Ergänzung des Normtextes im Nationalen Anhang ist in Kapitel 4.8 gegeben.

Ergänzung Forschungsvorhaben DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten Untersuchung verschiedener Trägerformen

Harrer
Ingenieure



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Karlsruhe, den 16.09.2011

Dipl.-Ing. Matthias Gerold
(Harrer Ingenieure)

Dipl.-Ing. Marion Kleiber
(Harrer Ingenieure)

Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
(Dlubal Ingenieursoftware GmbH)

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Literatur und Normen

- DIN EN 1995-1-1:2010-12
Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –
Teil 1-1: Allgemeines –
Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau;
Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008
NABau im DIN (Hrsg.)
- 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;
NABau im DIN (Hrsg.)
- DIN EN 1194:1999-05
Holzbauwerke –
Brettschichtholz –
Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte
Deutsche Fassung EN 1194:1999
NABau im DIN (Hrsg.)
- DIN V ENV 1995-1-1:1994-06
Eurocode 5: Entwurf, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau;
Deutsche Fassung ENV 1995-1-1:1993
NABau im DIN (Hrsg.)
- DIN 1052:2008-12
Entwurf, Berechnung und Bemessung Holzbauwerken –
Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau;
NABau im DIN (Hrsg.)

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

- DIN 1052-1:1988-04
Holzbauwerke –
Berechnung und Ausführung;
NABau im DIN (Hrsg.)
- BLUMER, H.
Karlsruhe 1972/1979
„Spannungsberechnungen an anisotropen Kreisbogenscheiben und Sattelträgern konstanter Dicke“
Veröffentlichung

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Harrer
Ingenieure



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Anlage 1

Modellierung mit dem Programm RFEM von DLUBAL

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

Inhalt

1. Festlegungen:	2
1.1. Material und Geometriewahl:	2
1.2. Ausgewertete Spannungspunkte:	2
1.3. FE-Netz:	2
1.4. FE-Achsensysteme:	3
2. Ergebnisdarstellung:	5
2.1. Glättung:	5
2.2. Definition der Spannungen:	5
2.3. Materialmodell Orthotrop Extra	7

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

1. Festlegungen:

1.1. Material und Geometriewahl:

Bei der Material und Geometriewahl der Pultdachträger wurden folgende Änderungen vorgenommen.:

- $f_{t,90,k}=0,4\text{MN/m}^2$ (entsprechend DIN EN 1194)
- Teilsicherheitsbeiwert 1,25
- Pultdachträger 10°_1 $h_{ap}=3,20\text{m}$
- Pultdachträger 20°_1 $h_{ap}=3,95\text{m}$
- Pultdachträger 25°_1 $h_{ap}=4,36\text{m}$

Die Änderungen habe ich in Ihrem Excel ebenfalls gelb unterlegt und in der Datei angehängen.

1.2. Ausgewertete Spannungspunkte:

Entsprechend der Vorgaben in dem Excel Dokument habe ich die Spannungen jeweils für den Knoten 3 und 7 der Pultdachträger ausgewertet. Diese befinden sich in Feldmitte und somit nicht an der Stelle der maximalen Spannung. Die Unterschiede sind aber gering.

In den beiliegenden Diagrammen habe ich die Spannungen im Biegedruck- und Biegezugbereich ausgewertet.

1.3. FE-Netz:

Die FE- Elemente wurden mit 10 cm festgelegt. Diese Größe ist ausreichend genau um ein ausgewogenes Verhältnis von Genauigkeit und Rechendauer zu erreichen.

Bei den Pultdachbindern wurde zusätzlich eine Netzverdichtung der Linie des Obergurtes (Linie 5 + 8) vorgenommen. Andernfalls wäre das FE-Netz aufgrund der Ausrichtung am Untergurt zu unsauber geworden.

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

1.4. FE-Achsensysteme:

Die FE-Achsensysteme wurden am Untergurt (Linie 1+ 4) ausgerichtet. Damit wird die Ausrichtung der Fasern parallel zum unteren Rand des Trägers modelliert.

Beim Pultdachträgers war es ausreichend die Achsensysteme parallel mit der globalen x-Achse durchlaufen zu lassen (vgl. Bild 1,2).

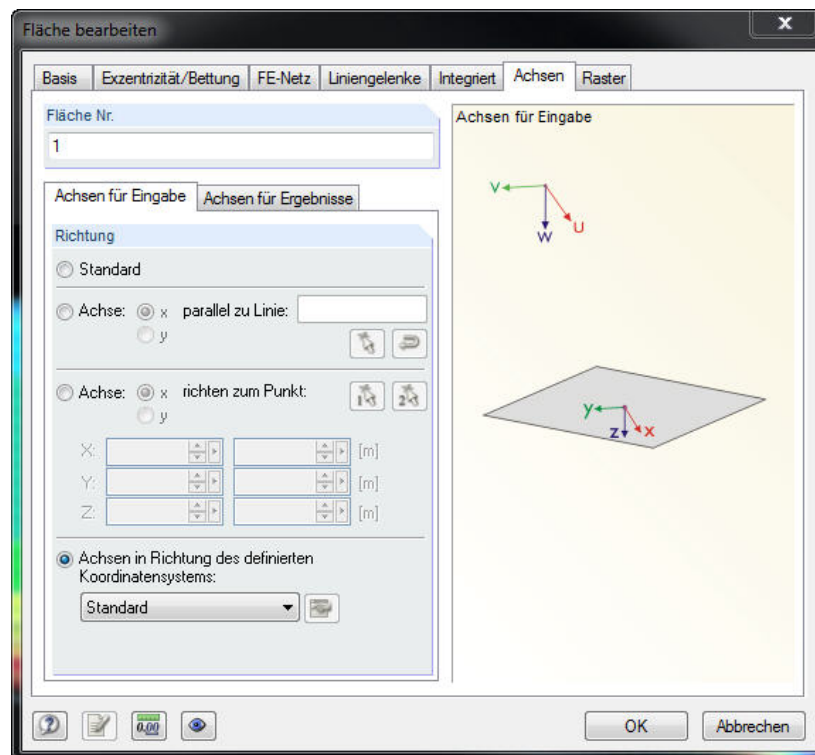


Bild 1: Ausrichtung der FE-Achsen

Die lokale z-Achse der Fläche zeigt hierbei aus dem Träger heraus.

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pulldachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

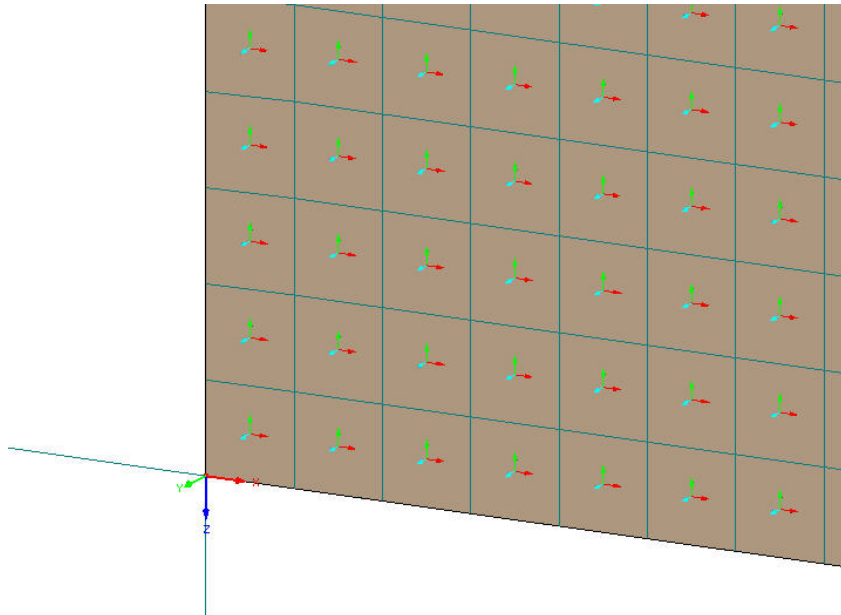


Bild 2: Achsen entsprechend globaler Koordinaten ausgerichtet

Beim Satteldachträger wurden die Flächen aufgeteilt und die Achsensysteme auf die jeweilige Linie bezogen (vgl. beiliegende Positionen).

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

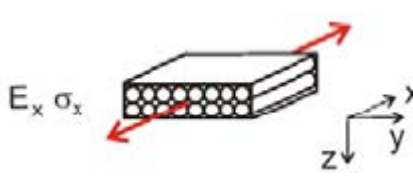
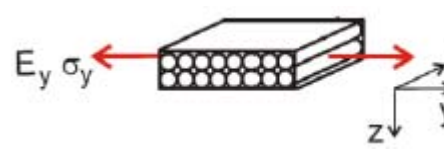

2. Ergebnisdarstellung:

2.1. Glättung:

Zur Glättung der Ergebnisse wurde durchlaufend innerhalb Flächen gewählt. Bei dieser Glättung werden die Ergebnisse jedes FE-Knotens gemittelt (siehe auch Handbuch Seite 326).

2.2. Definition der Spannungen:

In der Methode der FEM werden die Spannungen immer aus den Dehnungen/Verzerrungen der Elemente berechnet. Aus diesen Spannungen werden im Weiteren die Schnittgrößen zurückberechnet. Folgende Tabelle enthält die für die hier dargestellten wichtigsten Spannungen noch einmal aufgeführt.:

σ_x	<p>Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der jeweiligen Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $\sigma_x = \frac{n_x}{d} + \frac{6 \cdot m_x}{d^2}$ <p>mit d: Dicke der Fläche</p> 
σ_y	<p>Spannung in Richtung der lokalen y-Achse</p> $\sigma_y = \frac{n_y}{d} + \frac{6 \cdot m_y}{d^2}$ 
σ_{xy}	<p>Schubspannung tau_xy aus der Verdrillung. Dies bezeichnet die klassische Querkraftbeanspruchung der Platte</p> $\sigma_{xy} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 \cdot m_{xy}}{d^2}$ 

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pulldachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

Tabelle 1: Spannungen

Analog zu dieser Auflistung lassen sich die notwendigen Spannungen wie folgt auflisten (siehe hierzu auch Erläuterung der DIN 1052).

- σ_x Biegespannung in x-Richtung
- σ_y Querzug in y-Richtung (im Bild 2 lässt sich hierzu erkennen, dass die lokale y-Achse der Elemente nach oben ausgerichtet ist)
- σ_{xy} Schub in x und y

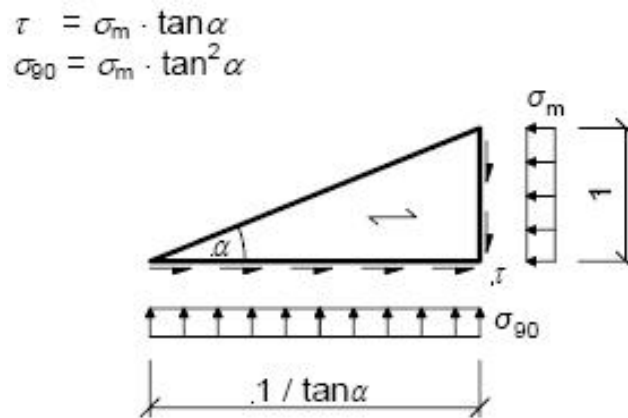


Bild 3: Dreieckselement am Trägerend (Quelle Erläuterungen DIN 1052)

Erwarteter Spannungsverlauf in Feldmitte:

Aufgrund der größeren Dehnung am unteren Punkt des Trägers müssen sich nach dem Hookeschen Gesetzes auch größere Spannungen am unteren Rand des Trägers ergeben. Zumindest bei den gekrümmten Trägern dürfen wir dieses Ergebnis erwarten.

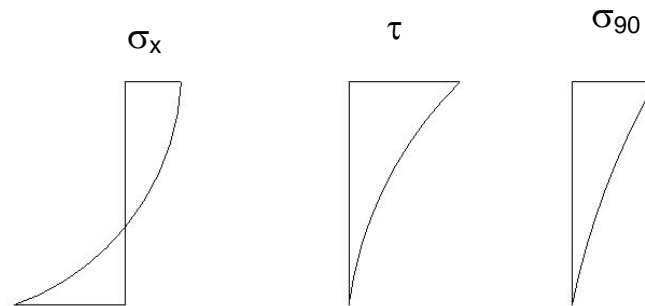
$$\varepsilon_i = \frac{\Delta dl_i}{dl_i} > \frac{\Delta dl_a}{dl_a} = \varepsilon_a$$

Die Schub- und Querzugspannungen laufen im unteren Bereich null.

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

Somit ergeben sich folgende Spannungsbilder.:



2.3. Materialmodell Orthotrop Extra

Nach reiflicher Überlegung habe ich mich entschlossen entgegen unserer Absprache die materielle Anisotropie zu berücksichtigen, da der Aufwand hierzu eigentlich nicht größer ist. Anbei ein paar kurze Definitionen zu dem verwendeten Materialmodell Orthotrop Extra.

Bei diesem Materialmodell erfolgt die Eingabe wahlweise über zwei unterschiedliche E-Moduli, drei Schubmoduli und zwei Querdehnzahlen. Die Steifigkeitsanteile stehen hierbei immer in folgendem Verhältnis.

$$\frac{v_{yx}}{E_y} = \frac{v_{xy}}{E_x}$$

Diesem Verhältniss liegt die Beziehung von Ursache Ort zugrunde. Die Beziehung der Querdehnzahl wird bei diesem Materialmodell nicht mehr nach der Gleichung

$$v = \frac{E}{2 \cdot G} - 1$$

berechnet. Am einfachsten lässt sich diese Beziehung mit folgender Skizze verdeutlichen.

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pulldachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

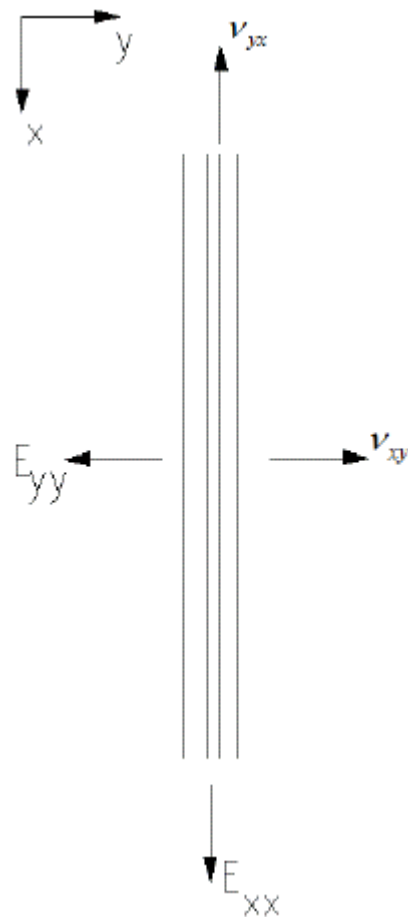


Bild4: Verhältnismäßigkeit der Beziehungen

Die Ursache des großen E-Moduls in x-Richtung hat also einen Einfluss auf die Querdehnung in der y-Richtung, welche nach dieser Beziehung auch entsprechend groß sein muss. Analog dazu muss bei einem kleinen E-Modul in y-Richtung die Querdehnung in x auch klein sein. Die Ursache kleine oder große Querdehnung ergibt sich demzufolge aus dem Ort der Krafteinleitung bzw. der Steifigkeit an diesem Ort.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Harrer
Ingenieure



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Anlage 2

Behandlung der Orthotropen Materialmodelle in RFEM

Inhalt

1. Position Querdehnung:	2
1.1. Festlegung der Orthotropie:	2
1.2. Verlauf der Spannungstrajektorien:	2
1.3. Verformung in den unterschiedlichen Materialmodellen:	3
1.4. Vergleich mit Stabmodellen	4
1.5. Biegespannung im Biegedruck- und Biegezugbereich	4
2. Übertragung der Definitionen auf Träger veränderlicher Höhe	5
2.1. Parallelgurtiger Träger DN 0°	5
2.2. Pultdachträger Dachneigung 30°	6

1. Position Querdehnung:

1.1. Festlegung der Orthotropie:

In der Position Querdehnung habe ich drei Flächentypen definiert.

Flächentyp 1 ist eine Isotrope Fläche mit sehr weichen Steifigkeiten. Ich habe hierbei 10% der Steifigkeiten von GL24 verwendet. Die Flächen 2 und 3 beinhalten die gleichen Steifigkeiten allerdings mit einer steiferen Orientierung in globaler x-Richtung für die zweite Fläche und mit einer steiferen Orientierung der dritten Fläche in globaler z-Richtung.

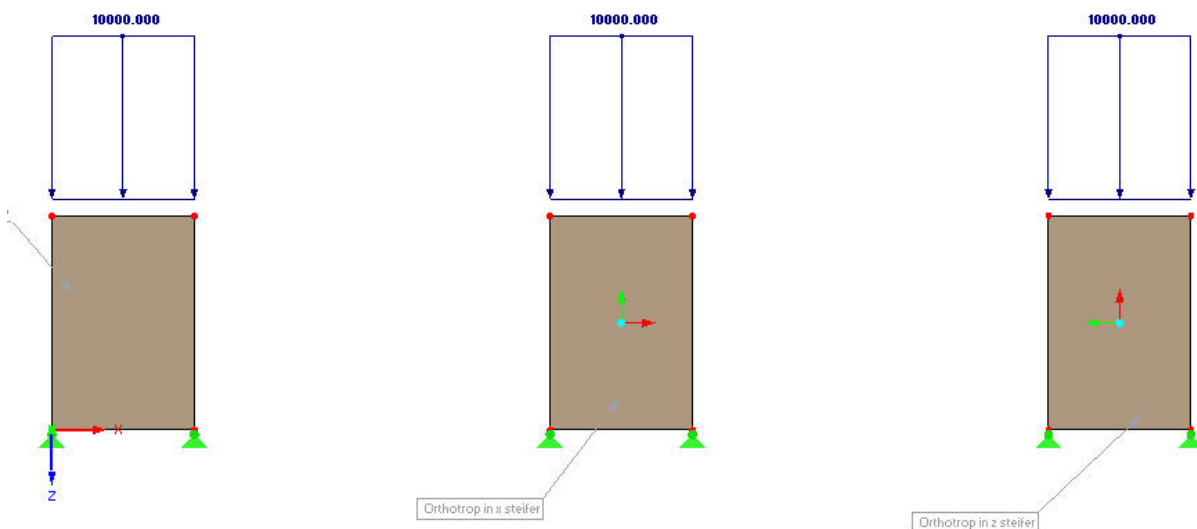


Bild 1: Orientierung der Steifigkeiten

Die Steifigkeiten betragen hierbei einmal 116KN/cm² in globaler x-Richtung und 3,9KN/cm² in globaler z-Richtung.

1.2. Verlauf der Spannungstrajektorien:

Unter dem Register Spannungen lassen sich die Achsenrichtungen der Hauptspannungen anzeigen.

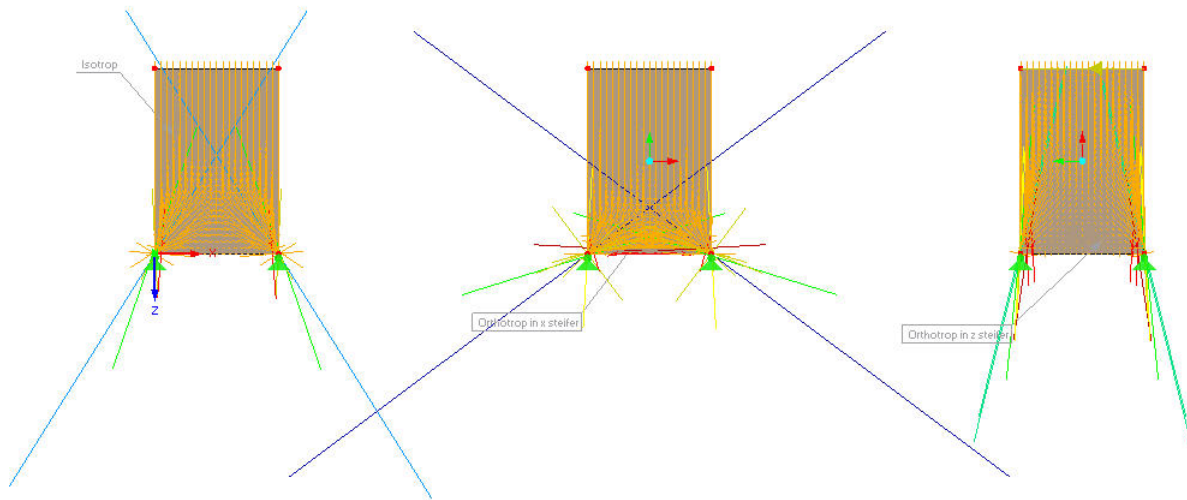


Bild 2: Spannungstrajektorien

Anhand dieser Ausgabe lassen sich die Auswirkungen der Steifigkeiten sehr plausibel nachvollziehen. Bei gleichen Steifigkeiten in jeder Richtung teilt sich die Resultierende unter der Winkelhalbierenden auf.

Bei einem steiferen Materialmodell in x-Richtung bildet sich die Gewölbewirkung sehr flach aus. Analog dazu hat man bei einer steifen Modellierung in globaler z-Richtung einen sehr steilen Verlauf der Trajektorien.

Dies spiegelt sich auch in den horizontalen Lagerkräften wieder welche sich im Verhältnis 1:4,5 unterscheiden. Die wesentlich geringeren Horizontalkräfte erhält man hier aufgrund der steileren Gewölbewirkung bei der dritten Fläche.

1.3. Verformung in den unterschiedlichen Materialmodellen:

Diese Rückschlüsse lassen sich auch durch die Verformungsbilder dieser beiden Flächen belegen.

Bei einer höheren Steifigkeit in x-Richtung bildet sich die „Einschnürung“ des Materials sehr spät im unteren Bereich der Fläche aus. Im Gegensatz dazu schnürt sich die dritte Fläche aufgrund der geringen Steifigkeit in x-Richtung global bereits sehr früh ein.

1.4. Vergleich mit Stabmodellen

Um die Ergebnisse anschaulicher vergleichen zu können habe ich versucht die Verhältnisse der Steifigkeiten in der jeweiligen Richtung auch in einem Stabmodell zu belegen. Die Ergebnisse der Lagerreaktionen decken sich mit meinen Ausführungen.

1.5. Biegespannung im Biegedruck- und Biegezugbereich

Im Biegedruckbereich der mittleren Platte spiegeln sich die auf der Bau 2011 mit Herrn Dr. Gerold besprochenen Punkte. Die Druckkraft fällt sehr gering aus, während die Biegezugkraft sehr stark ansteigt. Analog dazu kehrt sich dieser Effekt bei der dritten Platte nahezu um.

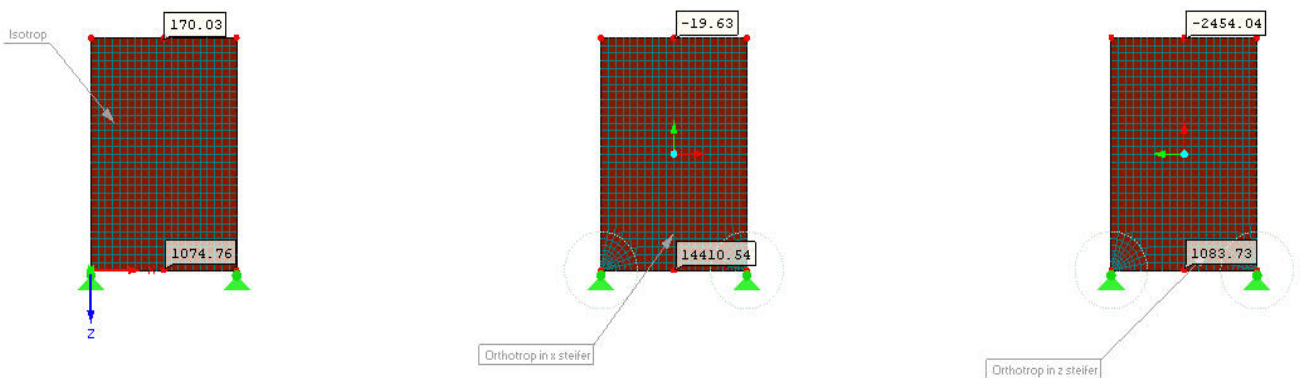


Bild 3: Biegespannung

Durch die steifere Wirkung in x-Richtung verschiebt sich sozusagen die Nulllinie des Querschnitts an der mittleren Platte nach unten. Damit steht dem „Querschnitt“ zur Abtragung der Spannung weniger Fläche zur Verfügung. Bei der dritten Fläche verschiebt sich die Lage der Nullebene wiederum nach oben.

2. Übertragung der Definitionen auf Träger veränderlicher Höhe

2.1. Parallelgurtiger Träger DN 0°

In einem Parallelgurtigen Träger mit der Dachneigung null Grad verschiebt sich die Lage der Nulllinie bei einem isotropen gegenüber einem orthotropen Material um 0,896 bei isotropen Material zu 0,774m bei orthotropen Material (vgl. Position alpha 0°).

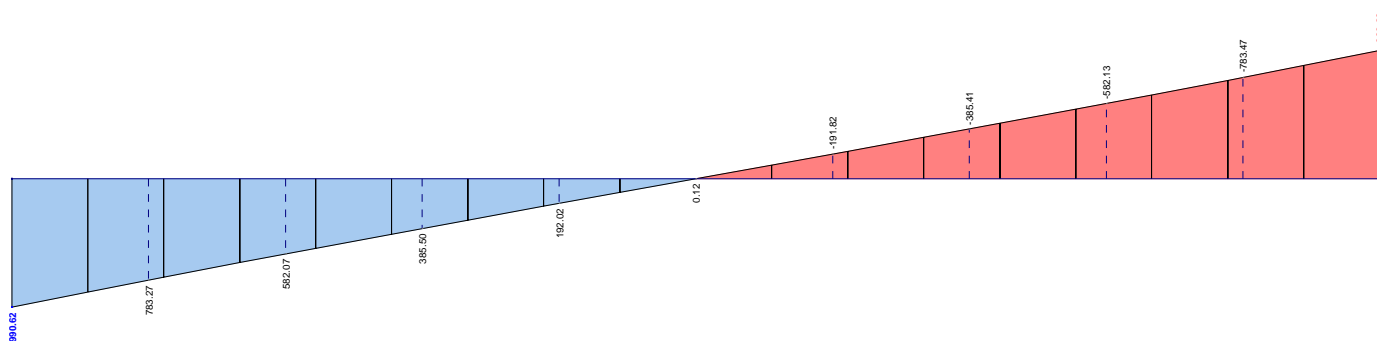


Bild 4: Lage Nulllinie bei isotropen Material = 0,896m

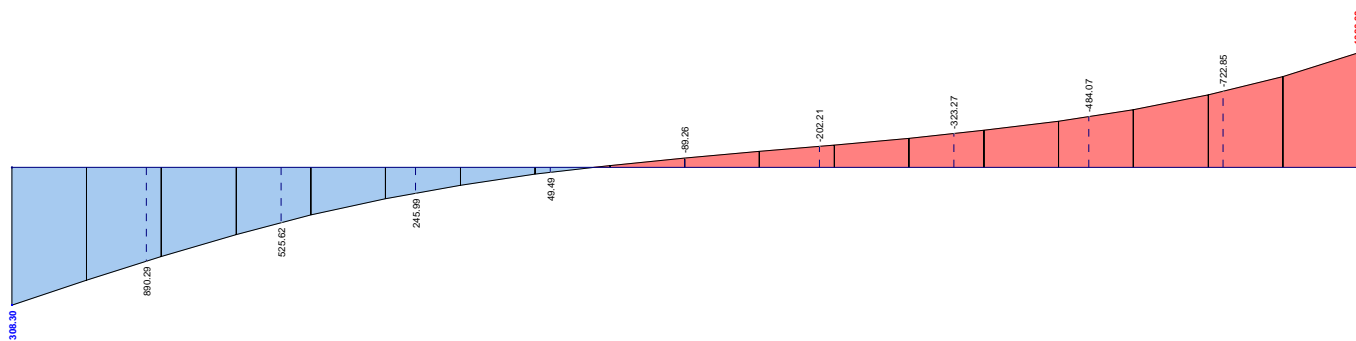


Bild 5: Lage Nulllinie bei orthotropen Material = 0,774m

Erwartungsgemäß stellt sich damit auch der höhere „Peak“ in den Biegespannungen ein. Analog zu den Feststellungen unter Punkt 1 lässt sich dies über die Spannungstrajektorien wiederum sehr anschaulich nachweisen.

2.2. Pultdachträger Dachneigung 30°

Für die Pultdachträger (Position alpha 30°) verschiebt sich die Lage der Nulllinie auf 1,076m bei isotropen Material zu 0,587m bei orthotropen Material

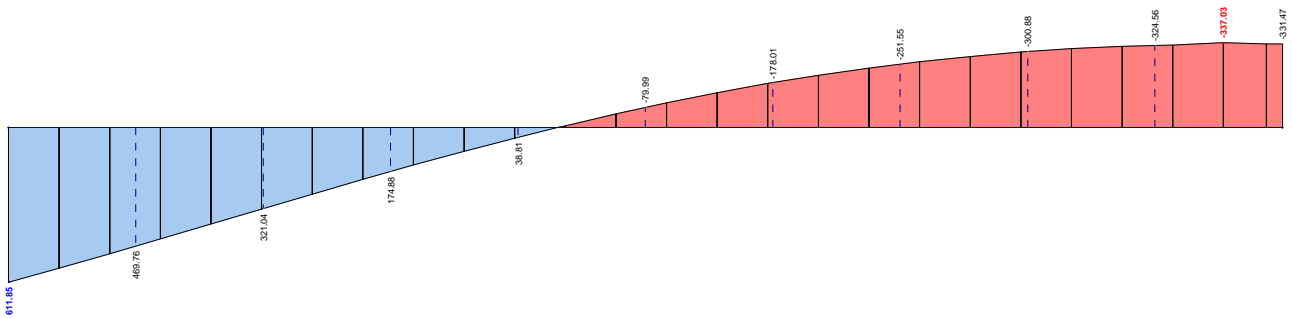


Bild 6: Lage Nulllinie isotropes Material

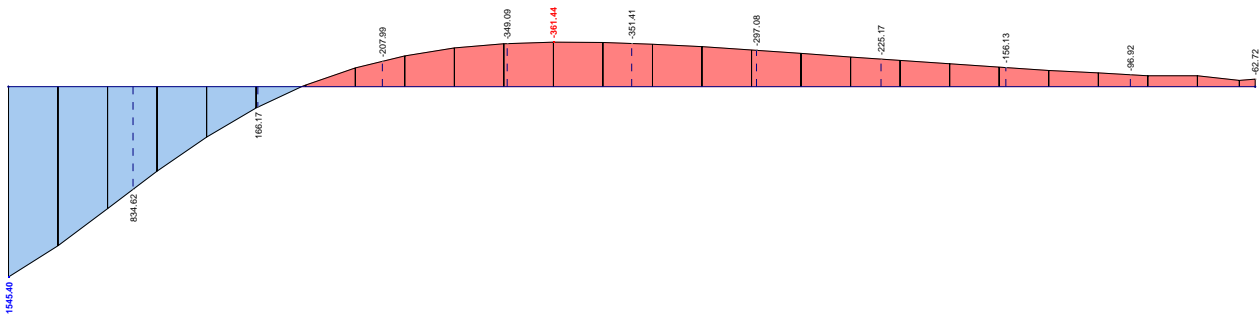


Bild 7: Lage Nulllinie orthotropes Material

Mit steigender Dachneigung nimmt die zur Aufnahme der Spannung vorhandene Fläche im Biegedruckbereich weiter ab, weshalb die Nulllinie sich immer weiter nach unten verlagern wird.

In Bild 8 lässt auch der Verlauf der Spannungstrajektorien Dieselbigen Rückschlüsse zu.

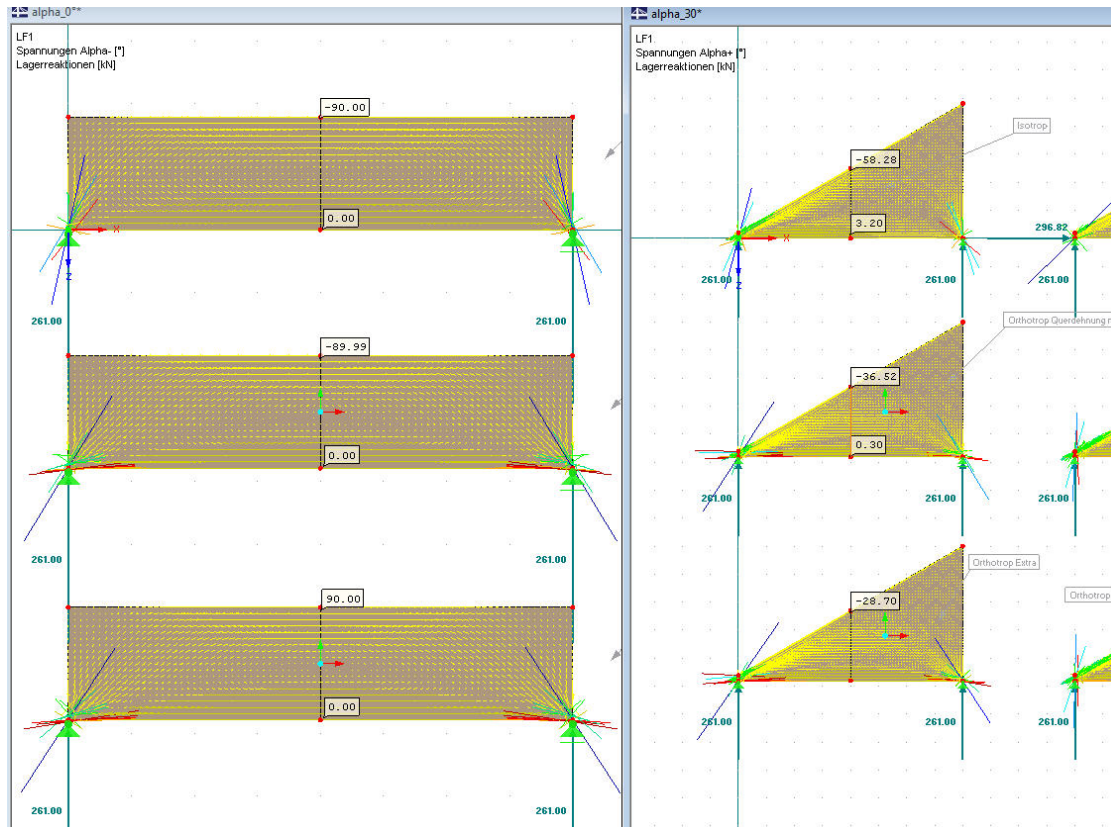


Bild 8: Spannungstrajektorien

Mit steigender Dachneigung bilden sich in Feldmitte flachere Trajektorien aus. Diese Winkel flachen bei steiferen Eigenschaften in globaler x-Richtung weiter ab weshalb die Nulllinie sich immer weiter nach unten verschieben muss.

Auf der rechten Seite der Positionen $\alpha 0^\circ$ und $\alpha 30^\circ$ habe ich die Orthotropierichtungen um 90° verdreht. Die Verdrehwinkel der Trajektorien bilden hier den Gegenwinkel zur höheren Steifigkeit in globaler x-Richtung.

Ergänzung Forschungsvorhaben

DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten

Untersuchung verschiedener Trägerformen

Harrer
Ingenieure



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Anlage 3

Protokoll zur Sitzung am 25.02.2011 mit Anlage

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt



Proj.Nr. 09.007g

Protokoll zur Besprechung am 25.02.2011

Seite 1

Protokoll zur Besprechung am 25.02.2011 bei Harrer Ingenieure GmbH in Karlsruhe

anwesend:

Herr Gerold	Harrer Ingenieure
Frau Kleiber	Harrer Ingenieure
Herr Kühnemann	Wirtschaftsministerium BW, Oberste Bauaufsicht, zuständig für Bereich Holzbau
Herr Prof. Brüninghoff	in Absprache mit Herrn Kühnemann und Herrn Dr. Wiegand
Herr Kuhn	Fa. Dlubal

entschuldigt:

Herr Schäpel
Herr Prof. Winter
Herr Dr. Wiegand

Beginn 9.30 Uhr

- Begrüßung durch Herrn Gerold
- Herr Prof. Winter kann nicht an der Besprechung teilnehmen, hat jedoch durch seine beiden Mitarbeiter Herr Dietsch und Herr Kober die zur Vorbereitung auf die Sitzung verteilten Unterlagen bearbeiten lassen und einige Kommentare und Hinweise hierzu per Mail an Frau Kleiber geschickt; diese Kommentare und Hinweise sollen ebenfalls in die Diskussion mit einfließen.
- Herr Dr. Wiegand hat sich im Vorfeld mit Herrn Prof. Brüninghoff abgestimmt.
- Herr Gerold erläutert den aktuellen Stand des Ergänzungsauftrages:
Zunächst wurden die Pultdachträger und die Satteldachträger mit geradem UG untersucht; die Ergebnisse dieser Berechnungen sollen nun zuerst diskutiert und abgestimmt werden, bevor die Satteldachträger mit gekrümmtem UG angegangen werden.
- Herr Kuhn erläutert die Modellierung der Träger, insbesondere das Materialgesetz „orthotrop extra“, welches er angewandt hat.
- Pultdachträger:
 - 1) Zugseite
Erläuterungen von Herrn Prof. Brüninghof:
 - das Berechnungsformat nach EC 5:1994 gibt es seit den 70-er Jahren und kommt aus dem dänischen oder südschwedischen,
 - warum der Faktor von der 1994-er Version des EC zur heutigen Version entfallen ist, ist ihm nicht bekannt (die Entwicklung des Eurocodes fand ohne deutsche Beteiligung statt),

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt

Proj.Nr. 09.007g

Protokoll zur Besprechung am 25.02.2011

Seite 2

- in die DIN 1052:2004 wurde der Stand des EC 5:1994 von der BEKS-Gruppe übernommen,
- der Ansatz nach der DIN 1052:1988 entspricht dem Ansatz nach Blumer am „Firstquerschnitt“ – Stelle b); der Ansatz nach EC 5:1994 und DIN 1052:2008 entspricht einer Bemessung an der Stelle a) – siehe Anlage,
- alle Berechnungsformate der Normen bzw. Literatur (Blumer) basieren auf der Balkentheorie; die gewählte Geometrie der untersuchten Träger entspricht jedoch eher einem Wandartigen Träger (l/h -Verhältnis < 6), d.h. Ausbildung eines Druckbogens und Zugband.

2) Druckseite

Der Nachweis der angeschnittenen Faser am oberen Rand am Firstquerschnitt macht eigentlich keinen Sinn, da hier die Spannungen gleich 0 sind (siehe Blumer).

Hier sind die Bereiche außerhalb des Firstes zu untersuchen.

Die Spannungsverteilung sollte sich dort einer linearen Spannungsverteilung annähern.

Grundsätzlich sollte auch noch ein Faseranschnittswinkel von 3° oder 5° untersucht werden.

- Satteldachträger mit geradem UG:

Sämtliche Untersuchungen, die bisher durchgeführt wurden, sind auf Faseranschnittswinkel von 25° begrenzt.

Die in der Tabelle ausgegebenen Querdzugwerte sind falsch! Hierbei handelt es sich um Querdruckspannungen. Dies beruht auf dem l/h -Verhältnis $\ll 6$, d.h. die Balkentheorie ist hier nicht mehr erfüllt.

Eine kurzfristige Anpassung des Trägers auf ein Verhältnis $6 < l/h < 8$ ergab prinzipiell vernünftige Ergebnisse.

Ein weiterer ungünstiger Einfluss ergibt sich aus der Lasteinleitung (Linienlast) am Obergurt; Herr Kuhn wird hierzu eine Lasteinleitung über Punktlasten untersuchen, bei der dann die Lasteinleitungsbereiche ausgeklammert werden.

Anmerkung: Dies ist bereits erfolgt. Die Ergebnisse bestätigen, dass durch die große Weichheit in y-Richtung das Material durch die Lasteinleitung am OG überdrückt wird.

- Grundsätzlich muss eine Anpassung der Querschnittsformen sowohl für die Pultdachträger als auch für die Satteldachträger auf ein l/h -Verhältnis zwischen 6 und 8 vorgenommen werden: Auch wenn ein Vergleich der Winkel untereinander dann kaum noch möglich ist, soll eher versucht werden vernünftige Systeme zu entwickeln; die Untersuchungen werden an den verschiedenen Stellen a) und b) durchgeführt.
- Das Materialmodell „orthotrop extra“ wurde nochmals hinsichtlich der Querdehnzahlen andiskutiert; Herr Gerold wird hierzu Literatur recherchieren und diese Herrn Kuhn zukommen lassen.

Anmerkung: Dies ist bereits erfolgt.

- Herr Prof. Brüninghoff verabschiedet sich gegen 13.00 Uhr.
- Festlegung der neuen Geometrien für die weiteren Berechnungen:
SDT mit geradem UG:

Ergänzung zum Forschungsvorhaben EC 5

Untersuchung von Pultdachträgern und Satteldachträgern mit geradem und gekrümmtem Untergurt



Proj.Nr. 09.007g

Protokoll zur Besprechung am 25.02.2011

Seite 3

- Traufhöhe 0,5 m,
- Spannweite 24 m,
- Winkel von 5 bis 20° jeweils in 5°-Schritten, zusätzlich $\alpha = 24^\circ$ (maximaler Faseranschnittswinkel bei den Untersuchungen von Blumer),
- Drehung um den Traufknoten, d.h. Firsthöhe variabel
- gemittelte Höhe beträgt ca. $h_m = 0,5 + 2/3(h - 0,5)$ mit h = Firsthöhe, d.h. das l/h-Verhältnis zwischen 6 und 8 ist eingehalten.

Pultdachträger:

- Höhe an der tiefen Traufe 0,5 m,
- Spannweite 24 m,
- Winkel von 5 bis 20° jeweils in 5°-Schritten, zusätzlich $\alpha = 24^\circ$ (maximaler Faseranschnittswinkel bei den Untersuchungen von Blumer),
- Drehung um den Traufknoten, d.h. Firsthöhe variabel,
- Für größere Winkel wird es schwierig das l/h-Verhältnis einzuhalten, da hier die gemittelte Höhe ca. $h_m = 0,5 + 2/3(h - 0,5)$ mit h = Höhe an hohen Traufe beträgt. Daher wurde die Überlegung angestellt den hinteren Teil im Bereich der hohen Traufe horizontal abzuschneiden; es ist dann zu untersuchen inwiefern dieser Störbereich Einfluss auf die Ergebnisse hat: Herr Kuhn wird hierzu auch noch mal Rücksprache mit den Programmierern halten.

SDT mit gekrümmtem UG:

- Traufhöhe 0,5 m,
- Spannweite 24 m,
- Winkel am UG von 5 bis 15° jeweils in 5°-Schritten, und am OG von 25 bis 35°,
- Drehung um den Traufknoten, d.h. Firsthöhe variabel,
- gemittelte Höhe bei ca. $h_m = 0,5 + 2/3(h - 0,5)$ mit h = Firsthöhe, d.h. das l/h-Verhältnis zwischen 6 und 8 eingehalten.

Ende ca. 14.30 Uhr

Marion Kleiber

Pultdachträger - Biegeandspannung unten (Zug)

Berechnung nach Berechnungsformel / Nachweis, ev. Beiwert, Ausnutzungsgrad (rot)

	$\sigma_{m,o,d} = 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$
*2) *5) DIN EN 1995-1-1: 2010-12	$\sigma_{m,o,d} = 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$
*1) *5) DIN V ENV 1995-1-1: 1994-06	$\sigma_{m,o,d} = (1+4x \tan^2 \alpha) \times 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$
*3) *5) DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,o,d} = (1+4x \tan^2 \alpha) \times 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$
*4) *5) DIN 1052:1988-04	$\sigma_{m,o,d} = (1+4x \tan^2 \alpha) \times 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$
*4) *5) BLUMER 1972/1979 (k _x aus Tafel 15)	$\sigma_{m,o,d} = (1+2,8x \tan \alpha) \times 6xM_d / b \times h^2 = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d}$	$\sigma_x = k_x \times 6xM / b \times h^2 = k_x \times \sigma_x / \text{zul}\sigma_B$

Querschnittsabmessungen:

Geometrie 1	Höhe in Feldmitte
b = 18 cm	
h = 250 cm	
l = 8,0 m	
l/h = 3,2 < 6	*6)

Geometrie 2	Höhe in Feldmitte
b = 18 cm	
h = 400 cm	
l = 16,0 m	
l/h = 4 < 6	*6)

Geometrie 3 6 < l/h < 8

Beanspruchung:

Geometrie 1	neues Sicherheitskonzept	altes Sicherheitskonzept
M _d = 522,0 kNm	neues Sicherheitskonzept	altes Sicherheitskonzept
M = 360,0 kNm		

Geometrie 2	neues Sicherheitskonzept	altes Sicherheitskonzept
M _d = 2088,0 kNm	neues Sicherheitskonzept	altes Sicherheitskonzept
M = 1440,0 kNm		

Modellierung/ 1) Punktlager, Schnittgrößenverlauf durchlaufend innerhalb Flächen
 Ergebnisausgabe: 2) Linienlager, Schnittgrößenverlauf durchlaufend innerhalb Flächen

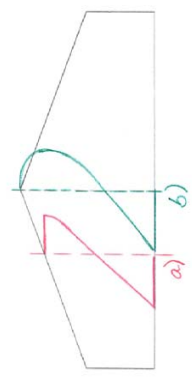
- Kommentare** *1) Berechnungsansatz gibt es seit den 70-er Jahren und kommt aus dem dänischen oder südschwedischen; wurde akzeptiert → **Stelle a)**
 *2) es ist nicht bekannt, warum der Vorfaktor (1 + 4tan²α) entfallen ist - die Entwicklung des Eurocodes hat ohne deutsche Beteiligung stattgefunden
 *3) in der 2004-er Norm wurde der Ansatz von der BEKS-Gruppe aus dem EC 5:1994 übernommen
 *4) Ansatz nach BLUMER 1972/1979 am Firstquerschnitt → **Stelle b)**
 *5) Berechnungsansätze beruhen auf der Balkentheorie
 *6) die Geometrieverhältnisse entsprechen nicht mehr der Balkentheorie sondern eher einem Wandartigen Träger (l/h-Verhältnis < 6)

Geometrie 3	5°	10°	15°	20°	24°
Ergänzung					
Ergänzung					
Ergänzung					
Ergänzung					
Ergänzung					
Ergänzung					

Geometrie 2	25°	30°
Faseranschnittwinkel α	4,35 MN/m ²	2,78 MN/m ²
	0,26	0,17
	8,13 MN/m ²	6,50 MN/m ²
	0,49	0,39
	8,13 MN/m ²	6,50 MN/m ²
	0,49	0,39
	8,48 MN/m ²	6,93 MN/m ²
	2,83	3,61
	0,77	0,63
	-	-
	-	-
	-	-
	7,69 MN/m ²	6,10 MN/m ²
	0,46	0,37
	10,03 MN/m ²	7,28 MN/m ²
	0,60	0,44

Materialkennwerte: G/24h - DIN EN 1194 f_{m,d} = 16,6 MN/m²
 BS 11 - DIN 1052:1988 zul σ_B = 11,0 MN/m²

Die mittels FEM ermittelten Ausnutzungsgrade stimmen mit den Werten nach Blumer für die akademischen kurzen Träger (l = 8,0 m) gut überein, aber für Faseranschnittwinkel α = 10° liegen die Beanspruchungen nach EC 5:2010 um ca. 5% %, die nach EC 5:1994 und DIN 1052:2008 um ca. 30 % und nach DIN 1052:1988 um kleiner 10 % auf der unsicheren Seite.
 Für größere Faseranschnittwinkel vergrößert sich das Sicherheitsdefizit bei Bemessung nach EC 5:2010, wohingegen es bei einer Bemessung nach EC 5:1994, DIN 1052:1988 und DIN 1052:2008 geringer wird bzw. auf die sichere Seite umschlägt.
 Auch für den Pultdachträger mit größerer Spannweite (l = 16,0 m = sog. Sonderfall) werden die Beanspruchungen nach dem EC 5:2010 deutlich unterschätzt.
 ABER: bei den Nachweisen nach DIN 1052 und EC 5 wird immer der Nachweis am oberen Biegedruckrand, d.h. an der angeschnittenen Faser maßgebend.
 Vorschlag für A1-Papier zum NA:
 Multiplikator (1 + 2,8xtanα) einführen.



Ergänzung Forschungsvorhaben
DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten
Untersuchung verschiedener Trägerformen



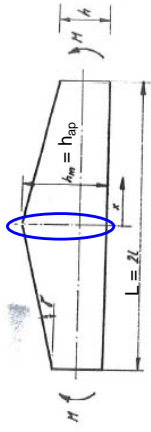
Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Anlage 4

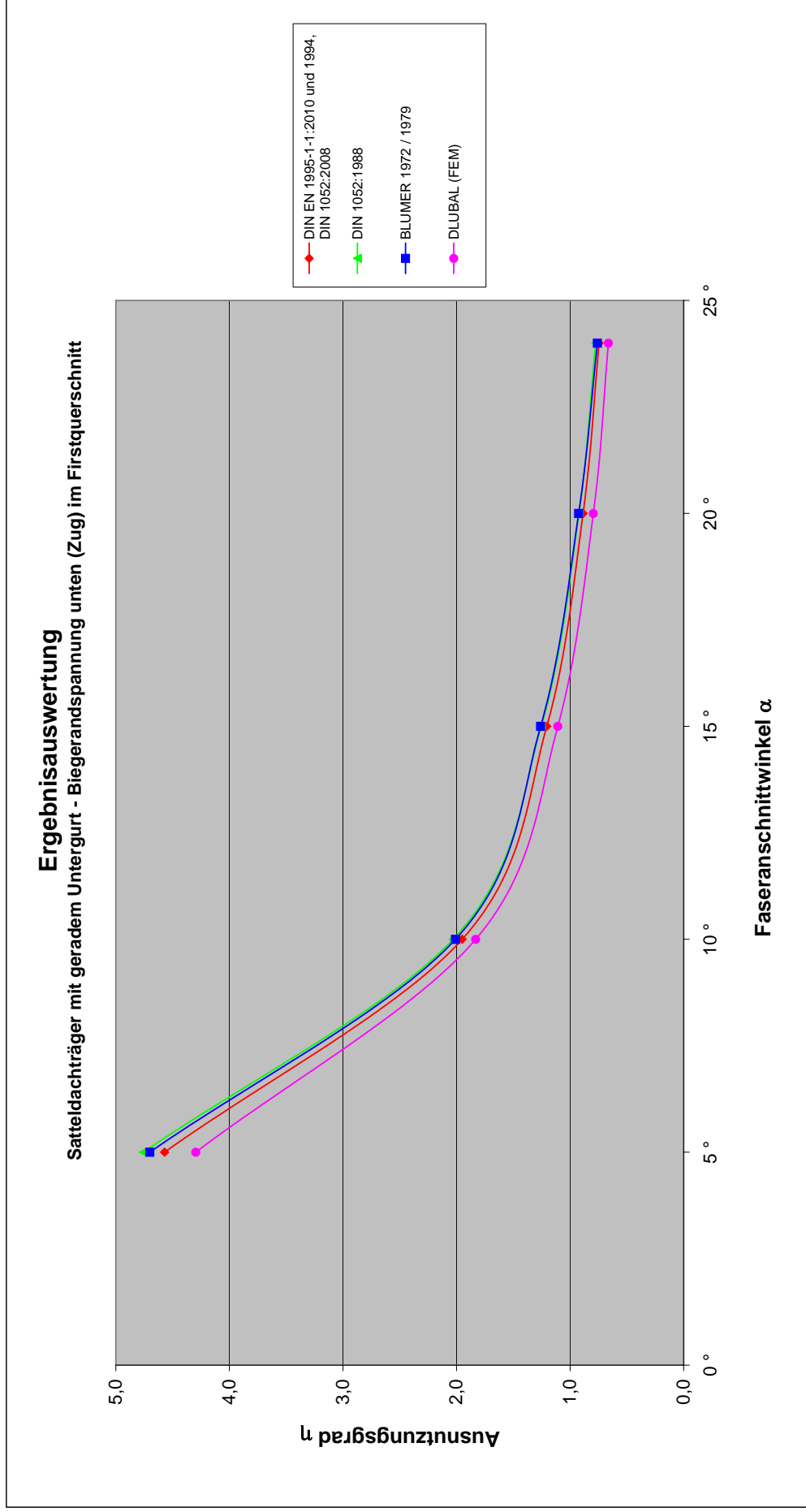
Berechnungen und Ergebnisse der Satteldachträger mit geradem Untergurt

1.- Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Zugspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	Anmerkungen
DIN EN 1995-1-1: 2010-12 + 1994-06	$\sigma_{m,od} = k_i \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_i = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = \sigma_{m,od} / f_{m,d} =$	75,9 MN/m ² 1,16 4,57	32,4 MN/m ² 1,41 1,95	20,0 MN/m ² 1,76 1,20	14,7 MN/m ² 2,22 0,89	12,4 MN/m ² 2,69 0,74	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,od} = (1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = \sigma_{m,od} / f_{m,d} =$	75,9 MN/m ² 1,16 4,57	32,4 MN/m ² 1,41 1,95	20,0 MN/m ² 1,76 1,20	14,7 MN/m ² 2,22 0,89	12,4 MN/m ² 2,69 0,74	
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = k_i \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_i = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	52,3 MN/m ² 1,16 4,76	22,3 MN/m ² 1,41 2,03	13,8 MN/m ² 1,76 1,25	10,1 MN/m ² 2,22 0,92	8,5 MN/m ² 2,69 0,77	
BLUMER 1972/1979	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_x =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	51,7 MN/m ² 1,15 4,70	22,1 MN/m ² 1,4 2,01	13,8 MN/m ² 1,77 1,26	10,2 MN/m ² 2,23 0,92	8,4 MN/m ² 2,64 0,76	aus Tafel 15 - siehe Anlage
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,od} =$ $\eta = \sigma_{m,od} / f_{m,d} =$	71,3 MN/m ² 4,30	30,4 MN/m ² 1,83	18,4 MN/m ² 1,11	13,2 MN/m ² 0,80	11,0 MN/m ² 0,66	siehe Anlage

1 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt



1. Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Torsionsspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt**Querschnittsabmessungen / Geometrie**

α	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	Faseranschnittwinkel
h	0,50 m	2,62 m	3,72 m	4,87 m	5,84 m	Traufhöhe
$h_{ap} = h + L/2 \cdot \tan\alpha$	1,55 m	1,91 m	2,64 m	3,41 m	4,06 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h)$	1,20 m	1,91 m	2,64 m	3,41 m	4,06 m	gemittelte Höhe
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	20	13	9	7	6	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
b	0,18 m					Trägerbreite
L	24,00 m					Spannweite

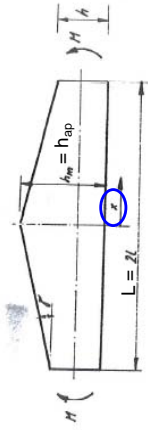
Materialkennwerte

GI24h - DIN EN 1194 und DIN 1052:2008	$f_{m,d} =$	16,6 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	

Beanspruchung

ständige Lasten	$g =$	15,0 kN/m
veränderliche Lasten	$q =$	30,0 kN/m
neues Sicherheitskonzept	$q_d =$	65,3 kN/m
	$M_d =$	4698,0 kNm
altes Sicherheitskonzept	$q =$	45,0 kN/m
	$M =$	3240,0 kNm

2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Zugspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

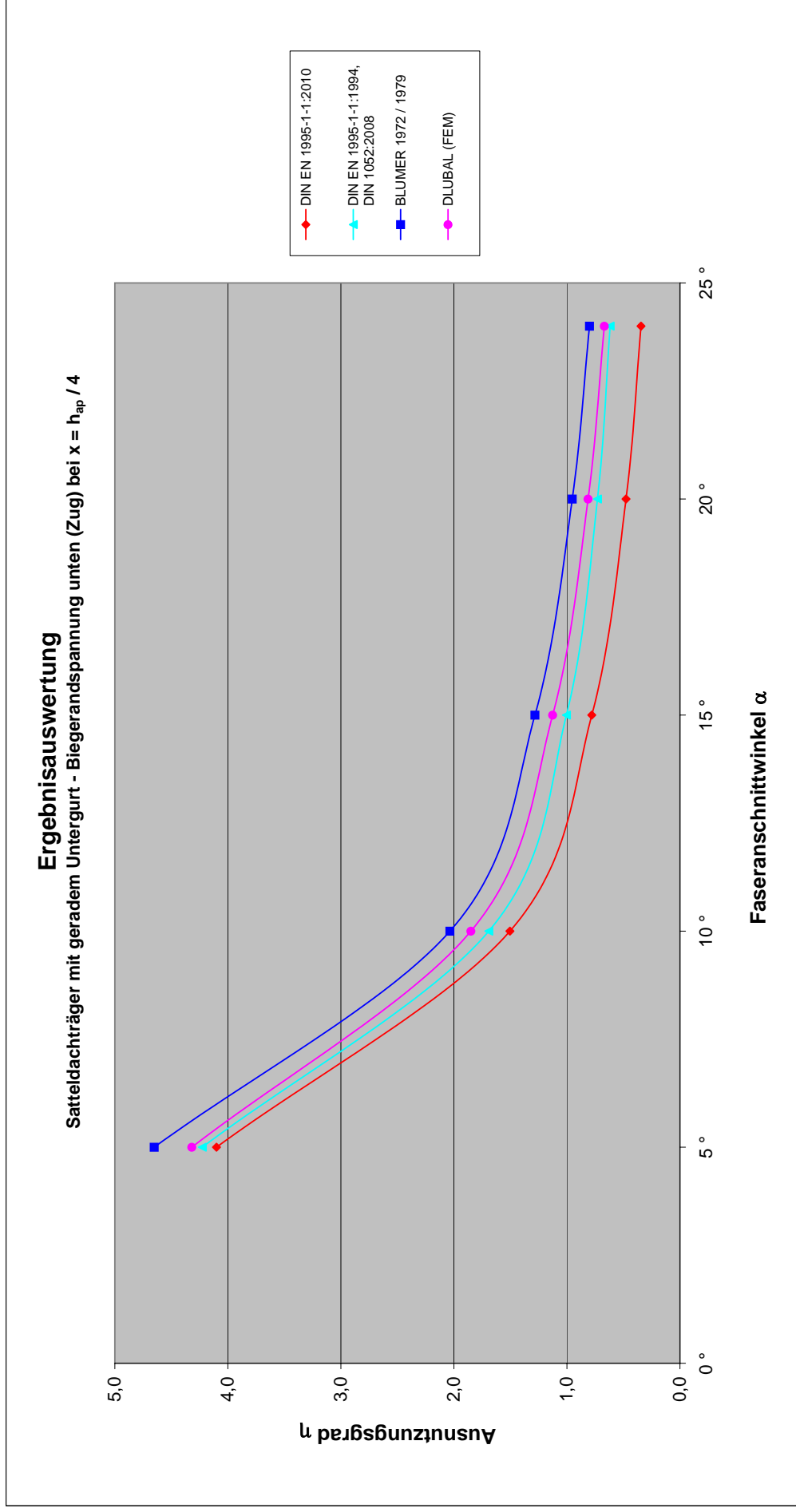


Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α				Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,0,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	68,1 MN/m ² 4,10	25,0 MN/m ² 1,50	13,0 MN/m ² 0,78	7,9 MN/m ² 0,48	5,7 MN/m ² 0,34
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	70,2 MN/m ² 1,03 4,23	28,1 MN/m ² 1,12 1,69	16,7 MN/m ² 1,29 1,00	12,1 MN/m ² 1,53 0,73	10,3 MN/m ² 1,79 0,62
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	70,2 MN/m ² 1,03 4,23	28,1 MN/m ² 1,12 1,69	16,7 MN/m ² 1,29 1,00	12,1 MN/m ² 1,53 0,73	10,3 MN/m ² 1,79 0,62
DIN 1052:1988-04	keine Angaben					
BLUMER 1972/1979	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $k_x =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul}\sigma_B =$	51,2 MN/m ² 1,09 4,65	22,4 MN/m ² 1,3 2,04	14,1 MN/m ² 1,58 1,28	10,5 MN/m ² 1,92 0,95	8,8 MN/m ² 2,23 0,80
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,0,d} =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	71,7 MN/m ² 4,32	30,7 MN/m ² 1,85	18,7 MN/m ² 1,13	13,5 MN/m ² 0,81	11,1 MN/m ² 0,67

aus Tafel 15 - siehe Anlage

siehe Anlage

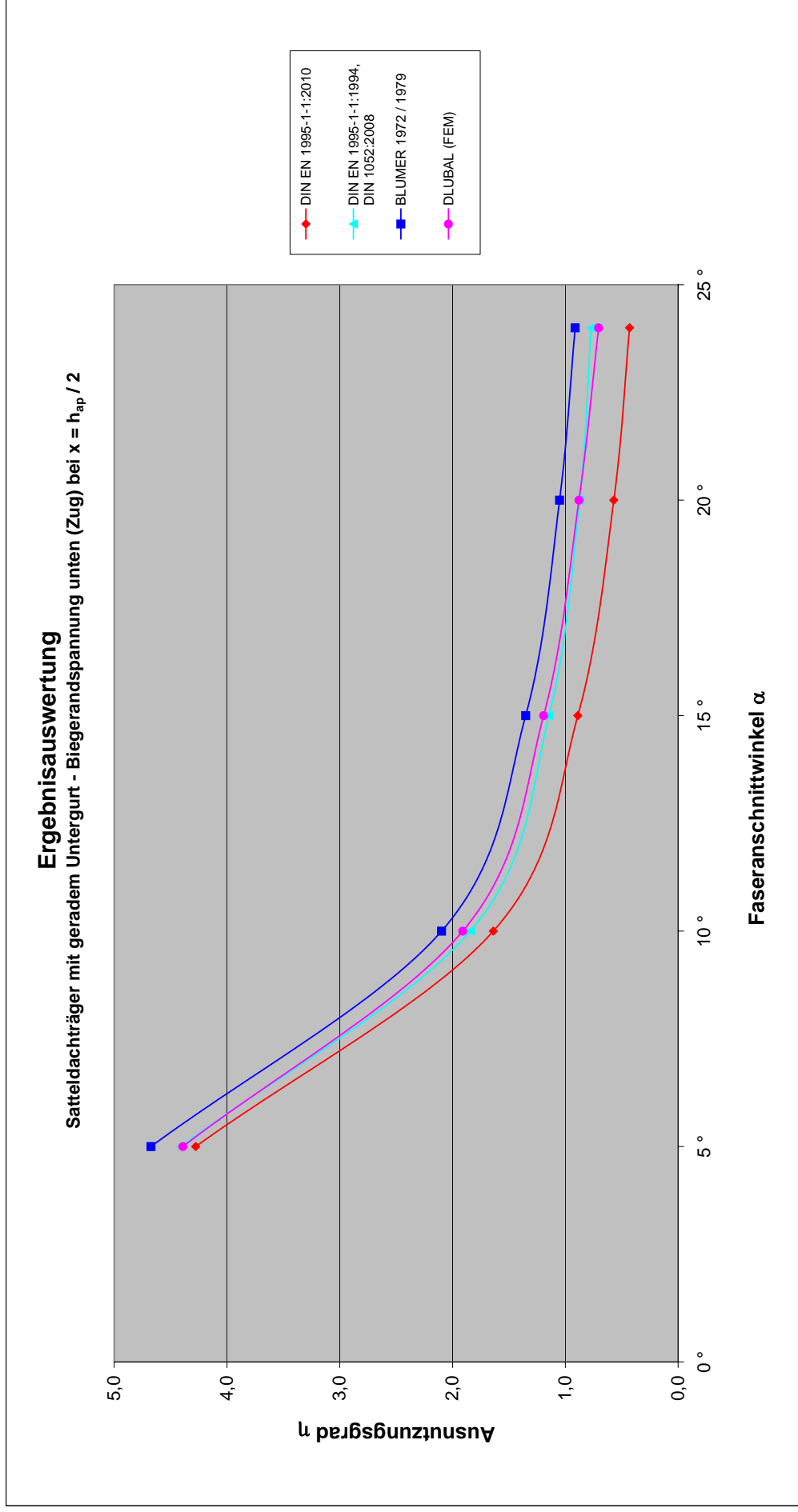
2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes



2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Torsionsspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes**2) bei $x = h_{ap} / 2$** **Berechnung nach**

	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α					Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,0,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	71,0 MN/m ² 4,28	27,2 MN/m ² 1,64	14,8 MN/m ² 0,89	9,5 MN/m ² 0,57	7,1 MN/m ² 0,43	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	73,2 MN/m ² 1,03 4,41	30,6 MN/m ² 1,12 1,84	19,0 MN/m ² 1,29 1,14	14,5 MN/m ² 1,53 0,87	12,8 MN/m ² 1,79 0,77	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	73,2 MN/m ² 1,03 4,41	30,6 MN/m ² 1,12 1,84	19,0 MN/m ² 1,29 1,14	14,5 MN/m ² 1,53 0,87	12,8 MN/m ² 1,79 0,77	
DIN 1052:1988-04	keine Angaben						
BLUMER 1972/1979	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $k_x =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	51,4 MN/m ² 1,05 4,67	23,1 MN/m ² 1,23 2,10	14,9 MN/m ² 1,46 1,35	11,6 MN/m ² 1,77 1,05	10,0 MN/m ² 2,04 0,91	aus Tafel 15 - siehe Anlage
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,0,d} =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	72,9 MN/m ² 4,39	31,7 MN/m ² 1,91	19,8 MN/m ² 1,19	14,6 MN/m ² 0,88	11,7 MN/m ² 0,70	siehe Anlage

2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

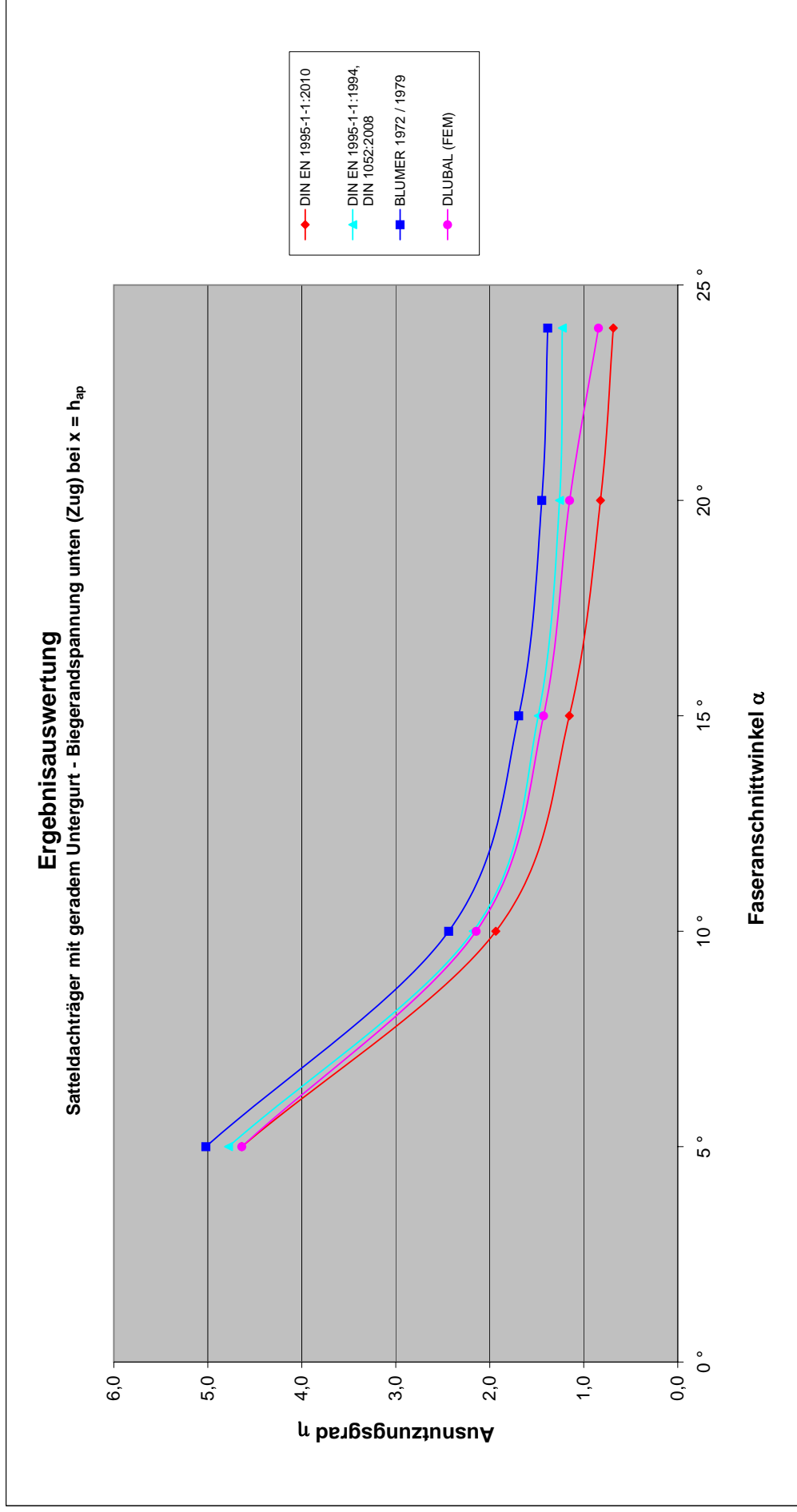


2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Torsionsspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

3) bei $x = h_{ap}$

Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α					Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,0,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	77,0 MN/m ² 4,64	32,1 MN/m ² 1,94	19,1 MN/m ² 1,15	13,6 MN/m ² 0,82	11,4 MN/m ² 0,69	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	79,3 MN/m ² 1,03 4,78	36,1 MN/m ² 1,12 2,18	24,6 MN/m ² 1,29 1,48	20,9 MN/m ² 1,53 1,26	20,4 MN/m ² 1,79 1,23	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	79,3 MN/m ² 1,03 4,78	36,1 MN/m ² 1,12 2,18	24,6 MN/m ² 1,29 1,48	20,9 MN/m ² 1,53 1,26	20,4 MN/m ² 1,79 1,23	
DIN 1052:1988-04	keine Angaben						
BLUMER 1972/1979	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $k_x =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	55,2 MN/m ² 1,04 5,02	26,8 MN/m ² 1,21 2,44	18,6 MN/m ² 1,41 1,69	15,9 MN/m ² 1,69 1,45	15,2 MN/m ² 1,94 1,38	
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,0,d} =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	77,0 MN/m ² 4,64	35,6 MN/m ² 2,14	23,7 MN/m ² 1,43	19,1 MN/m ² 1,15	14,0 MN/m ² 0,84	siehe Anlage

2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

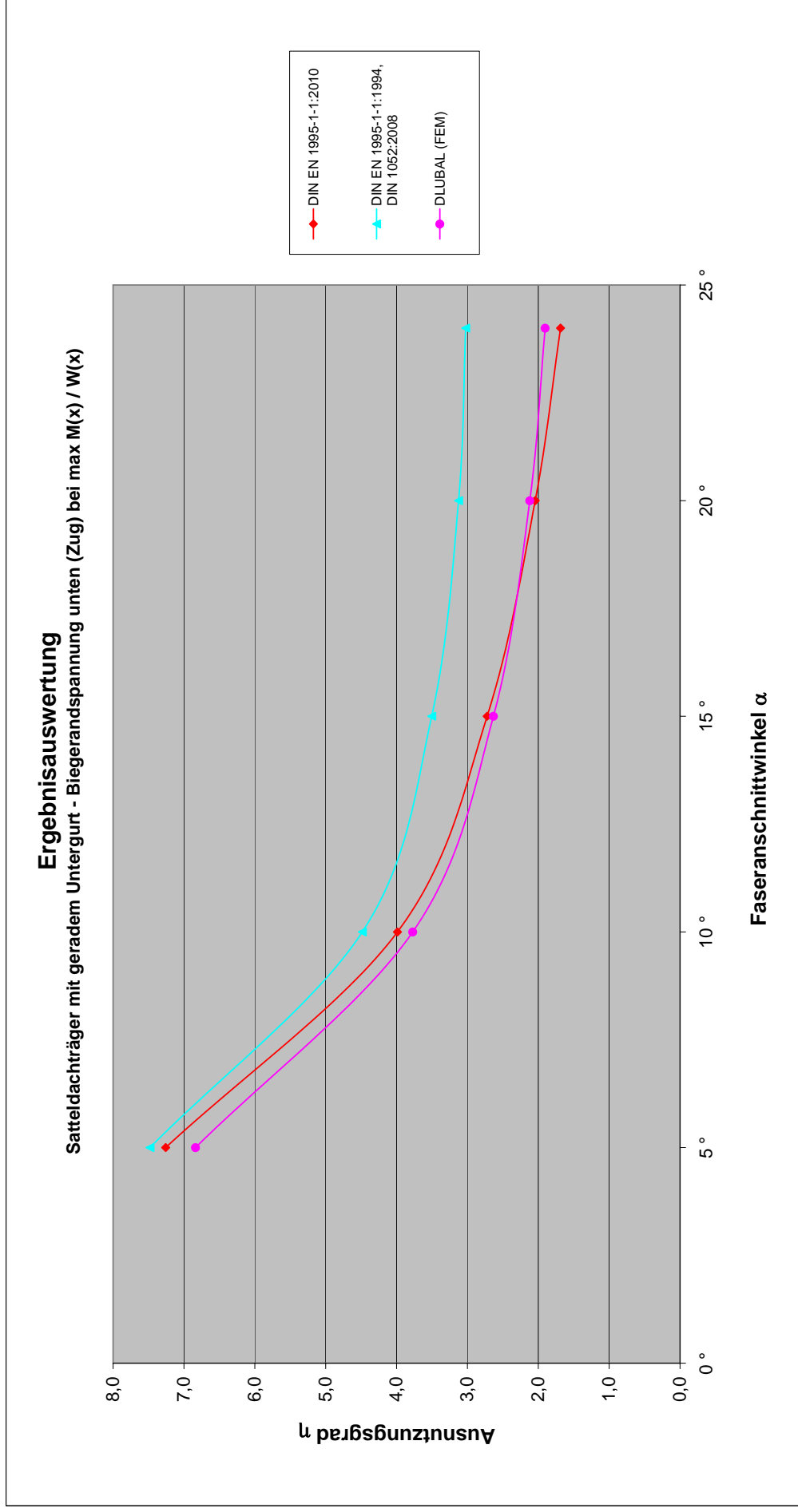


2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Torsionsspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

4) bei max $M(x) / W(x)$ Berechnung nach

	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α				Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,0,d} = 6 \cdot M_{0,d}(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	120,5 MN/m ² 7,26	66,2 MN/m ² 3,99	45,2 MN/m ² 2,72	33,9 MN/m ² 2,04	28,0 MN/m ² 1,69
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_{0,d}(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	124,2 MN/m ² 1,03 7,48	74,4 MN/m ² 1,12 4,48	58,2 MN/m ² 1,29 3,50	51,9 MN/m ² 1,53 3,13	50,2 MN/m ² 1,79 3,02
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,0,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_{0,d}(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	124,2 MN/m ² 1,03 7,48	74,4 MN/m ² 1,12 4,48	58,2 MN/m ² 1,29 3,50	51,9 MN/m ² 1,53 3,13	50,2 MN/m ² 1,79 3,02
DIN 1052:1988-04	keine Angaben					
BLUMER 1972/1979	keine Angaben					
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,0,d} =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	113,5 MN/m ² 6,84	62,6 MN/m ² 3,77	43,7 MN/m ² 2,63	35,2 MN/m ² 2,12	31,6 MN/m ² 1,90 siehe Anlage

2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes



2 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) außerhalb des Firstquerschnittes

Querschnittsabmessungen / Geometrie

$\alpha =$	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	Faseranschnittwinkel
$h =$	0,50 m					Traufhöhe
$h_{ap} = h + L/2 * \tan\alpha =$	1,55 m	2,62 m	3,72 m	4,87 m	5,84 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h_m = h + 2/3 * (h_{ap} - h) =$	1,20 m	1,91 m	2,64 m	3,41 m	4,06 m	gemittelte Höhe
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	20	13	9	7	6	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
1) $h(x = h_{ap}/4) =$	1,52 m	2,50 m	3,47 m	4,42 m	5,19 m	Trägerhöhe an der Stelle x
2) $h(x = h_{ap}/2) =$	1,48 m	2,39 m	3,22 m	3,98 m	4,54 m	Trägerhöhe an der Stelle x
3) $h(x = h_{ap}) =$	1,41 m	2,15 m	2,72 m	3,10 m	3,24 m	Trägerhöhe an der Stelle x
4) $x =$	8,13 m	9,71 m	10,39 m	10,77 m	10,97 m	Stelle x bei max M / W mit $x = L/2 - (h / (2 * h + h * \tan\alpha)) * l$
$h(x) =$	0,84 m	0,90 m	0,93 m	0,95 m	0,96 m	Trägerhöhe an der Stelle x
$b =$	0,18 m					Trägerbreite
$L =$	24,00 m					Spannweite

Materialkennwerte

GI24h - DIN EN 1194 und DIN 1052:2008	$f_{m,d} =$	16,6 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	

Beanspruchung

ständige Lasten	$g =$	15,0 kN/m	
veränderliche Lasten	$q =$	30,0 kN/m	
neues Sicherheitskonzept	$q_d =$	65,3 kN/m	
1) $M_d(x = h_{ap}/4) =$	4693,1 kNm	4684,0 kNm	4669,9 kNm
2) $M_d(x = h_{ap}/2) =$	4678,4 kNm	4642,2 kNm	4585,4 kNm
3) $M_d(x = h_{ap}) =$	4619,6 kNm	4474,7 kNm	4247,6 kNm
4) $M_d(x) =$	2542,3 kNm	1624,3 kNm	1179,4 kNm
altes Sicherheitskonzept	$q =$	45,0 kN/m	
1) $M(x = h_{ap}/4) =$	3236,6 kNm	3230,4 kNm	3220,6 kNm
2) $M(x = h_{ap}/2) =$	3226,5 kNm	3201,5 kNm	3162,4 kNm
3) $M(x = h_{ap}) =$	3186,0 kNm	3086,0 kNm	2929,4 kNm
4) $M(x) =$	1753,3 kNm	1120,2 kNm	813,4 kNm

Moment an der Stelle x
Moment an de Stelle x
Moment an de Stelle x
Moment an de Stelle x

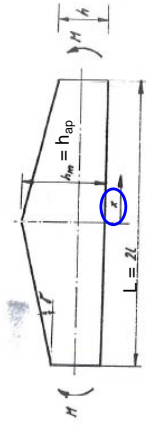
4628,4 kNm
4419,6 kNm
3584,3 kNm
769,7 kNm

4649,7 kNm
4504,7 kNm
3925,0 kNm
915,6 kNm

3192,0 kNm
3048,0 kNm
2471,9 kNm
530,8 kNm

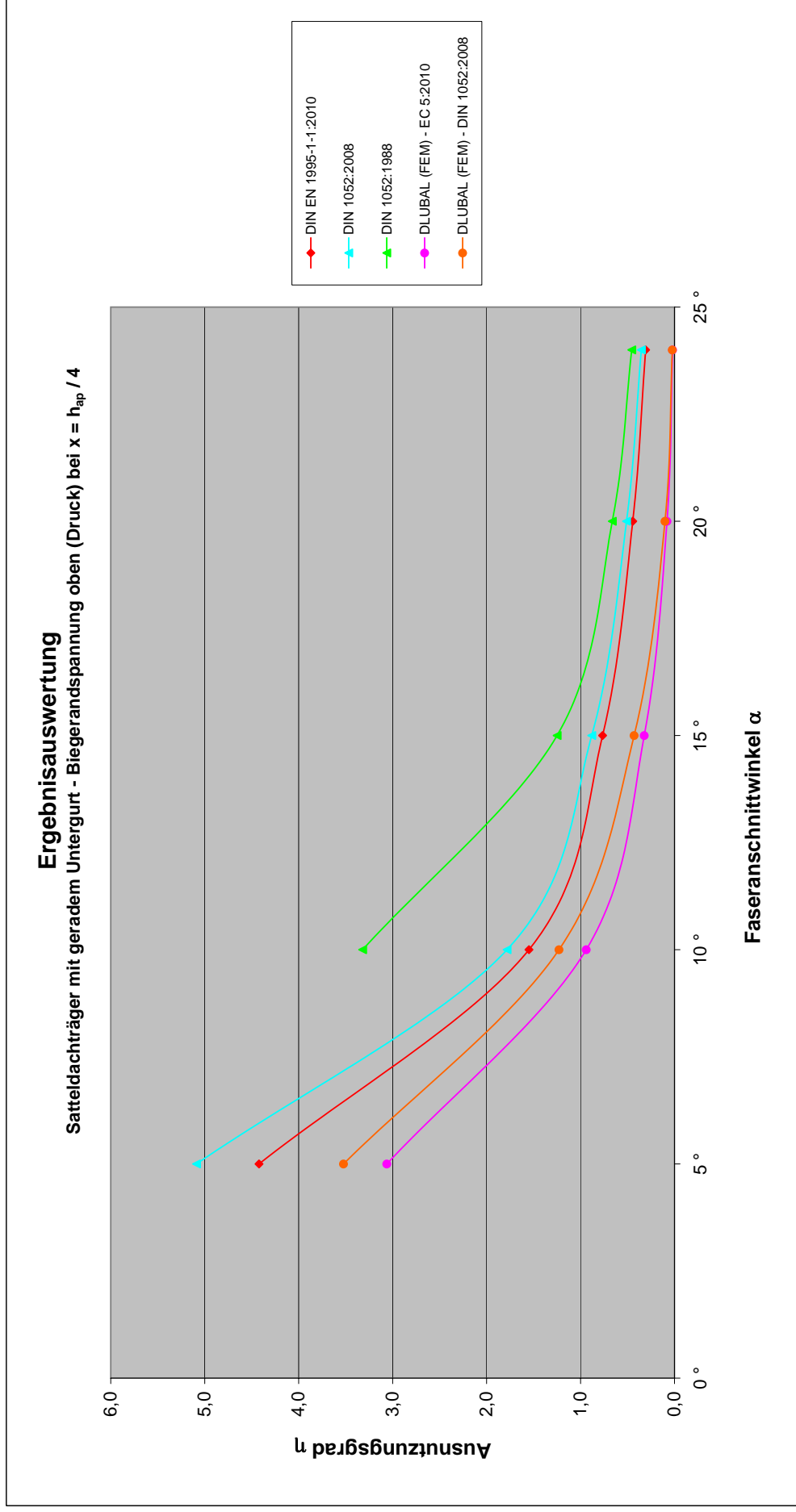
Moment an de Stelle x
Moment an de Stelle x
Moment an de Stelle x
Moment an de Stelle x

3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Spannungsverlauf oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Bewerte, Ausnutzungsgrad		Faseranschnittwinkel α				Anmerkungen
	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °		
1) bei $x = h_{ap} / 4$							
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 = 65,1 \text{ MN/m}^2$ $f_{m,\alpha,d} = 14,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 4,42$	$22,8 \text{ MN/m}^2$ $11,3 \text{ MN/m}^2$ 1,55	$11,3 \text{ MN/m}^2$ $8,4 \text{ MN/m}^2$ 0,77	$6,5 \text{ MN/m}^2$ $6,3 \text{ MN/m}^2$ 0,44	$4,5 \text{ MN/m}^2$ $5,0 \text{ MN/m}^2$ 0,31		
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,\alpha,d} = (1-4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 = 63,1 \text{ MN/m}^2$ $(1-4 \cdot \tan^2 \alpha) = 0,97$ $f_{m,\alpha,d} = 15,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 4,03$	$20,0 \text{ MN/m}^2$ $0,88$ $13,4 \text{ MN/m}^2$ $1,27$	$8,0 \text{ MN/m}^2$ $0,71$ $10,9 \text{ MN/m}^2$ $0,51$	$3,1 \text{ MN/m}^2$ $0,47$ $8,6 \text{ MN/m}^2$ $0,20$	$0,9 \text{ MN/m}^2$ $0,21$ $7,2 \text{ MN/m}^2$ $0,06$		
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 = 65,1 \text{ MN/m}^2$ $f_{m,\alpha,d} = 12,8 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 5,09$	$22,8 \text{ MN/m}^2$ $8,6 \text{ MN/m}^2$ 1,78	$11,3 \text{ MN/m}^2$ $6,3 \text{ MN/m}^2$ 0,88	$6,5 \text{ MN/m}^2$ $4,9 \text{ MN/m}^2$ 0,51	$4,5 \text{ MN/m}^2$ $4,2 \text{ MN/m}^2$ 0,35		
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 = 44,9 \text{ MN/m}^2$ $k_x = 1,0$ $\sigma_{by} = \sigma_x \cdot \tan \alpha = 3,9 \text{ MN/m}^2$ $\tau = \sigma_x \cdot \tan^2 \alpha = 0,3 \text{ MN/m}^2$ $\eta = (\sigma_x / \text{Zul}(\sigma_B))^2 + (\sigma_{by} / \text{Zul}(\sigma_{By}))^2 + (\tau / (2,66 \cdot \text{Zul}(\tau_s))) = 19,16$	$15,7 \text{ MN/m}^2$ $1,0$ $2,8 \text{ MN/m}^2$ $0,5 \text{ MN/m}^2$ 3,32	$7,8 \text{ MN/m}^2$ $1,0$ $2,1 \text{ MN/m}^2$ $0,6 \text{ MN/m}^2$ 1,25	$4,5 \text{ MN/m}^2$ $1,0$ $1,6 \text{ MN/m}^2$ $0,6 \text{ MN/m}^2$ 0,66	$3,1 \text{ MN/m}^2$ $1,0$ $1,4 \text{ MN/m}^2$ $0,6 \text{ MN/m}^2$ 0,45		
BLUMER 1972/1979	keine Angaben						
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,\alpha,d} = 45,1 \text{ MN/m}^2$	$10,6 \text{ MN/m}^2$	$2,7 \text{ MN/m}^2$	$0,5 \text{ MN/m}^2$	$0,1 \text{ MN/m}^2$		siehe Anlage
vgl. mit DIN EN 1995-1-2:2010	$f_{m,\alpha,d} = 14,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 3,06$	$11,3 \text{ MN/m}^2$ 0,94	$8,4 \text{ MN/m}^2$ 0,32	$6,3 \text{ MN/m}^2$ 0,08	$5,0 \text{ MN/m}^2$ 0,02		
vgl. mit DIN 1052:2008	$f_{m,\alpha,d} = 12,8 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 3,52$	$8,6 \text{ MN/m}^2$ 1,23	$6,3 \text{ MN/m}^2$ 0,43	$4,9 \text{ MN/m}^2$ 0,10	$4,2 \text{ MN/m}^2$ 0,02		

3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes



3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Spannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes

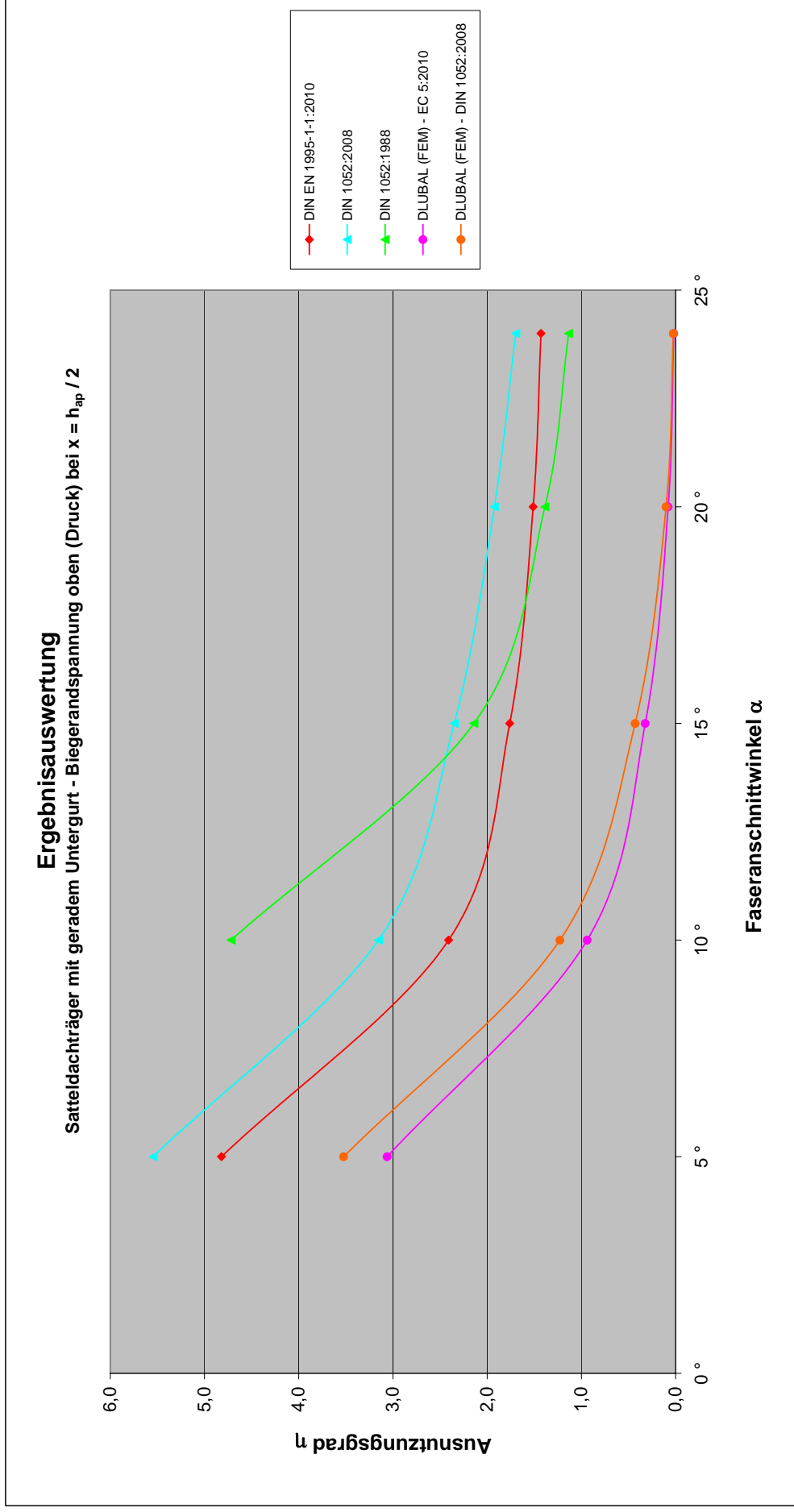
2) bei $x = h_{ap} / 2$

Berechnung nach

Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad

	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α					Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	71,0 MN/m ² 14,7 MN/m ² 4,82	27,2 MN/m ² 11,3 MN/m ² 2,41	14,8 MN/m ² 8,4 MN/m ² 1,76	9,5 MN/m ² 6,3 MN/m ² 1,51	7,1 MN/m ² 5,0 MN/m ² 1,43	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,\alpha,d} = (1-4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1-4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	68,8 MN/m ² 0,97 15,7 MN/m ² 4,39	23,8 MN/m ² 0,88 13,4 MN/m ² 1,77	10,5 MN/m ² 0,71 10,9 MN/m ² 0,97	4,5 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 0,52	1,5 MN/m ² 0,21 7,2 MN/m ² 0,21	
	DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	71,0 MN/m ² 12,8 MN/m ² 5,55	27,2 MN/m ² 8,6 MN/m ² 3,15	14,8 MN/m ² 6,3 MN/m ² 2,35	9,5 MN/m ² 4,9 MN/m ² 1,92	7,1 MN/m ² 4,2 MN/m ² 1,70
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = \kappa_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\kappa_x =$ $\sigma_{by} = \sigma_x \cdot \tan \alpha =$ $\tau = \sigma_x \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = (\sigma_x / \text{zul}\sigma_B)^2 + (\sigma_{by} / \text{zul}\sigma_{by})^2 + (\tau / (2,66 \cdot \text{zul}\tau_B)) =$	49,0 MN/m ² 1,0 4,3 MN/m ² 0,4 MN/m ² 22,77	18,8 MN/m ² 1,0 3,3 MN/m ² 0,6 MN/m ² 4,72	10,2 MN/m ² 1,0 2,7 MN/m ² 0,7 MN/m ² 2,14	6,5 MN/m ² 1,0 2,4 MN/m ² 0,9 MN/m ² 1,39	4,9 MN/m ² 1,0 2,2 MN/m ² 1,0 MN/m ² 1,14	
BLUMER 1972/1979	keine Angaben						
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,\alpha,d} =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	56,2 MN/m ² 14,7 MN/m ² 3,06	16,0 MN/m ² 11,3 MN/m ² 0,94	5,8 MN/m ² 8,4 MN/m ² 0,32	2,3 MN/m ² 6,3 MN/m ² 0,08	0,4 MN/m ² 5,0 MN/m ² 0,02	siehe Anlage
vgl. mit DIN EN 1995-1:2010	$\sigma_{m,\alpha,d} =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	12,8 MN/m ² 12,8 MN/m ² 3,52	8,6 MN/m ² 8,6 MN/m ² 1,23	6,3 MN/m ² 6,3 MN/m ² 0,43	4,9 MN/m ² 4,9 MN/m ² 0,10	4,2 MN/m ² 4,2 MN/m ² 0,02	
vgl. mit DIN 1052:2008							

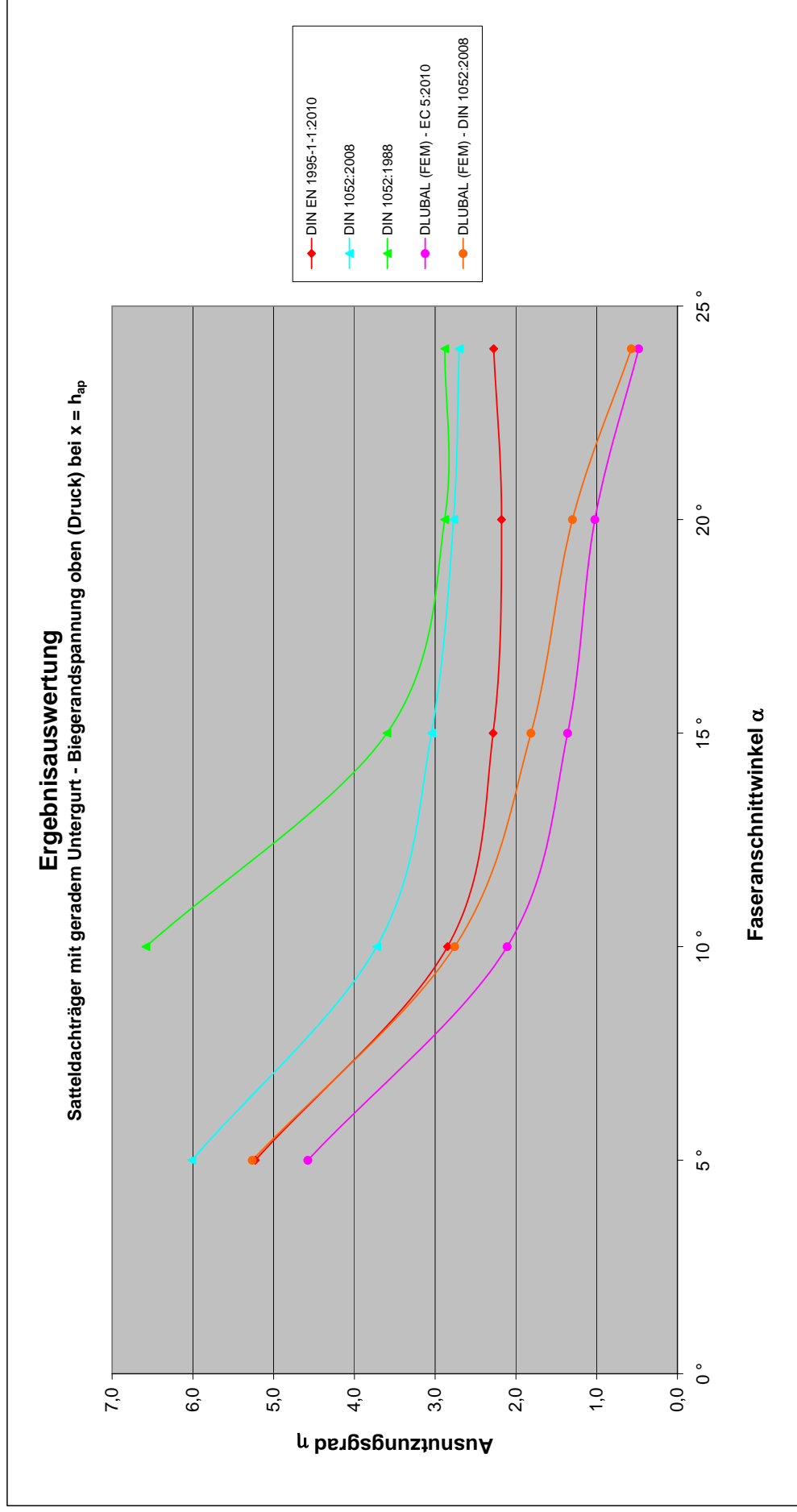
3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes



3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Spannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes

3) bei $x = h_{ap}$ Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α					Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot W_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	77,0 MN/m ² 14,7 MN/m ² 5,23	32,1 MN/m ² 11,3 MN/m ² 2,85	19,1 MN/m ² 8,4 MN/m ² 2,28	13,6 MN/m ² 6,3 MN/m ² 2,18	11,4 MN/m ² 5,0 MN/m ² 2,28	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot W_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	74,6 MN/m ² 0,97 15,7 MN/m ² 4,76	28,1 MN/m ² 0,88 13,4 MN/m ² 2,10	13,6 MN/m ² 0,71 10,9 MN/m ² 1,25	6,4 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 0,74	2,4 MN/m ² 0,21 7,2 MN/m ² 0,33	
	DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot W_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	77,0 MN/m ² 12,8 MN/m ² 6,01	32,1 MN/m ² 8,6 MN/m ² 3,72	19,1 MN/m ² 6,3 MN/m ² 3,05	13,6 MN/m ² 4,9 MN/m ² 2,77	11,4 MN/m ² 4,2 MN/m ² 2,70
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = \kappa_x \cdot 6 \cdot W(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\kappa_x =$ $\sigma_{By} = \sigma_x \cdot \tan \alpha =$ $\tau = \sigma_x \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = (\sigma_x / z_{ul\sigma_B})^2 + (\sigma_{By} / z_{ul\sigma_{By}})^2 + (\tau / (2,66 \cdot z_{ul\tau})) =$	53,1 MN/m ² 1,0 4,6 MN/m ² 0,4 MN/m ² 26,78	22,2 MN/m ² 1,0 3,9 MN/m ² 0,7 MN/m ² 6,58	13,2 MN/m ² 1,0 3,5 MN/m ² 0,9 MN/m ² 3,60	9,4 MN/m ² 1,0 3,4 MN/m ² 1,2 MN/m ² 2,88	7,8 MN/m ² 1,0 3,5 MN/m ² 1,6 MN/m ² 2,88	
BLUMER 1972/1979	keine Angaben						
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,\alpha,d} =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	67,4 MN/m ² 14,7 MN/m ² 4,58	23,8 MN/m ² 11,3 MN/m ² 2,11	11,4 MN/m ² 8,4 MN/m ² 1,36	6,4 MN/m ² 6,3 MN/m ² 1,02	2,4 MN/m ² 5,0 MN/m ² 0,48	siehe Anlage
vgl. mit DIN EN 1995-1:2010	$\sigma_{m,\alpha,d} =$ $f_{m,\alpha,d} =$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} =$	12,8 MN/m ² 5,26	8,6 MN/m ² 2,76	6,3 MN/m ² 1,81	4,9 MN/m ² 1,30	4,2 MN/m ² 0,57	
vgl. mit DIN 1052:2008							

3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes

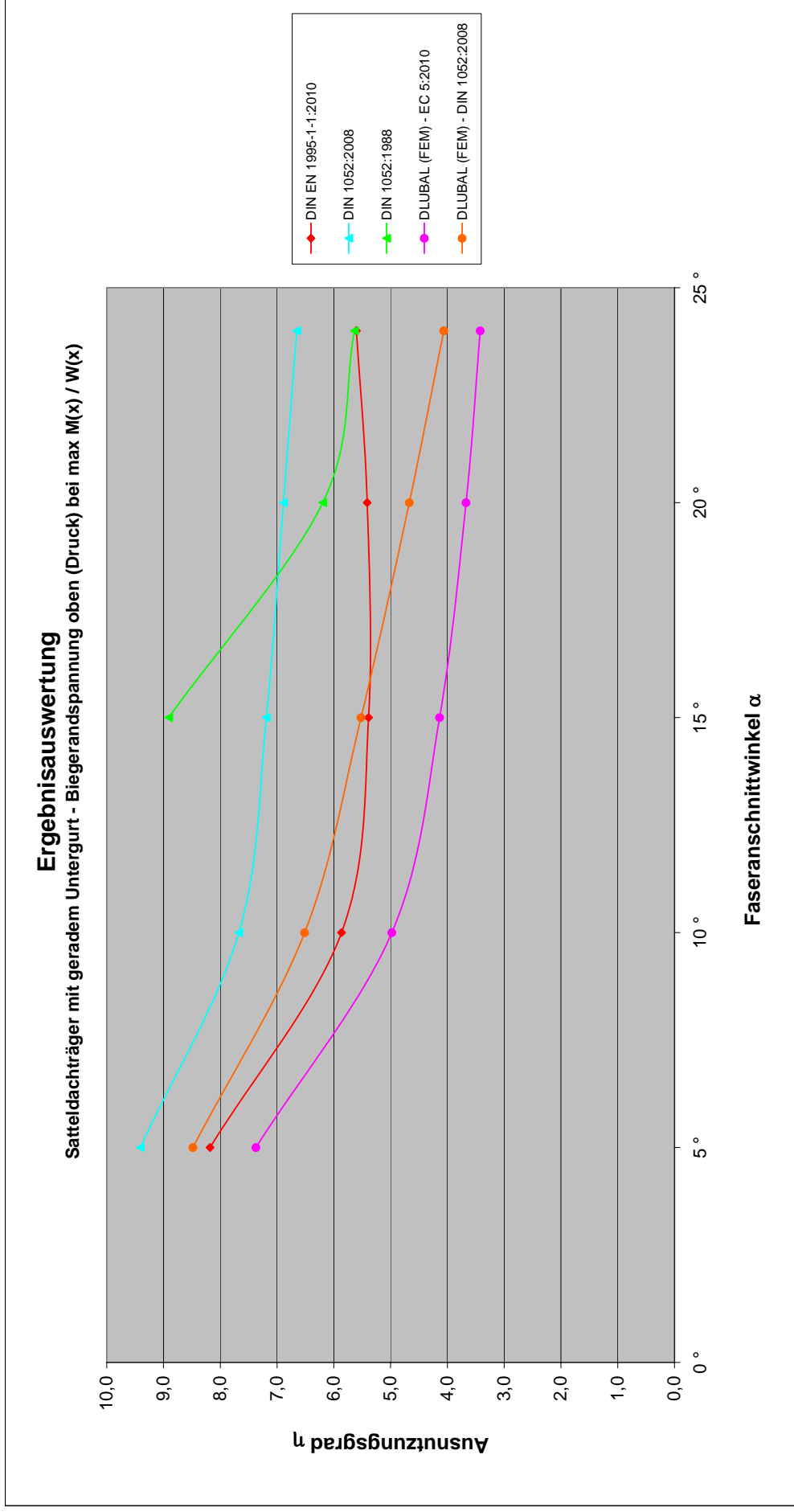


3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Spannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes

4) bei max $M(x) / W(x)$

	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α				Anmerkungen
		5 °	10 °	15 °	20 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,\alpha,d} = 6 \cdot W_d(x) / b \cdot h(x)^2 = 120,5 \text{ MN/m}^2$ $f_{m,\alpha,d} = 14,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 8,18$	66,2 MN/m ² 11,3 MN/m ² 5,86	45,2 MN/m ² 8,4 MN/m ² 5,39	33,9 MN/m ² 6,3 MN/m ² 5,41	28,0 MN/m ² 5,0 MN/m ² 5,60	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot W_d(x) / b \cdot h(x)^2 = 116,8 \text{ MN/m}^2$ $(1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) = 0,97$ $f_{m,\alpha,d} = 15,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 7,45$	58,0 MN/m ² 0,88 13,4 MN/m ² 4,32	32,2 MN/m ² 0,71 10,9 MN/m ² 2,96	15,9 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 1,84	5,8 MN/m ² 0,21 7,2 MN/m ² 0,80	
		66,2 MN/m ² 8,6 MN/m ² 7,67	45,2 MN/m ² 6,3 MN/m ² 7,19	33,9 MN/m ² 4,9 MN/m ² 6,89	28,0 MN/m ² 4,2 MN/m ² 6,65	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_x = \kappa_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 = 120,5 \text{ MN/m}^2$ $f_{m,\alpha,d} = 12,8 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 9,41$	66,2 MN/m ² 8,6 MN/m ² 7,67	45,2 MN/m ² 6,3 MN/m ² 7,19	33,9 MN/m ² 4,9 MN/m ² 6,89	28,0 MN/m ² 4,2 MN/m ² 6,65	
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = \kappa_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 = 83,1 \text{ MN/m}^2$ $\kappa_x = 1,0$ $\sigma_{py} = \sigma_x \cdot \tan \alpha = 5,1 \text{ MN/m}^2$ $\tau = \sigma_x \cdot \tan^2 \alpha = 0,6 \text{ MN/m}^2$ $\eta = (\sigma_x / \text{zul} \sigma_B)^2 + (\sigma_{py} / \text{zul} \sigma_{py})^2 + (\tau / (2,66 \cdot \text{zul} \tau_B)) = 6,131$	45,6 MN/m ² 1,0 1,0 MN/m ² 1,4 MN/m ² 17,73	31,2 MN/m ² 1,0 0,2 MN/m ² 2,2 MN/m ² 8,91	23,4 MN/m ² 1,0 0,0 MN/m ² 3,1 MN/m ² 6,20	19,3 MN/m ² 1,0 0,0 MN/m ² 3,8 MN/m ² 5,64	
BLUMER 1972/1979	keine Angaben					
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,\alpha,d} = 108,6 \text{ MN/m}^2$	56,2 MN/m ²	34,7 MN/m ²	23,0 MN/m ²	17,1 MN/m ²	siehe Anlage
vgl. mit DIN EN 1995-1:2010	$f_{m,\alpha,d} = 14,7 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 7,37$	11,3 MN/m ² 4,98	8,4 MN/m ² 4,14	6,3 MN/m ² 3,67	5,0 MN/m ² 3,42	
vgl. mit DIN 1052:2008	$f_{m,\alpha,d} = 12,8 \text{ MN/m}^2$ $\eta = \sigma_{m,\alpha,d} / f_{m,\alpha,d} = 8,48$	8,6 MN/m ² 6,51	6,3 MN/m ² 5,52	4,9 MN/m ² 4,67	4,2 MN/m ² 4,06	

3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biegerandspannung oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes



3 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Biege- und Spannungsverlauf oben (Druck) außerhalb des Firstquerschnittes

Querschnittsabmessungen / Geometrie

	$\alpha =$	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	Faseranschnittwinkel
$h =$		0,50 m					Traufhöhe
$h_{ap} = h + L/2 \cdot \tan\alpha =$		1,55 m	2,62 m	3,72 m	4,87 m	5,84 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h) =$		1,20 m	1,91 m	2,64 m	3,41 m	4,06 m	gemittelte Höhe
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$		20	13	9	7	6	Längen-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
1) $h (x = h_{ap}/4) =$		1,55 m	2,62 m	3,72 m	4,87 m	5,84 m	Trägerhöhe an der Stelle x
2) $h (x = h_{ap}/2) =$		1,48 m	2,39 m	3,22 m	3,98 m	4,54 m	Trägerhöhe an der Stelle x
3) $h (x = h_{ap}) =$		1,41 m	2,15 m	2,72 m	3,10 m	3,24 m	Trägerhöhe an der Stelle x
4) $x =$		8,13 m	9,71 m	10,39 m	10,77 m	10,97 m	Stelle x bei max M / W mit $x = L/2 - (h / (2 \cdot h + l \cdot \tan\alpha)) \cdot l$
$h (x) =$		0,84 m	0,90 m	0,93 m	0,95 m	0,96 m	Trägerhöhe an der Stelle x
$b =$		0,18 m					Trägerbreite
$L =$		24,00 m					Spannweite

Materialkennwerte

G124h - DIN EN 1194 und DIN 1052:2008	$f_{m,d} =$	16,62 MN/m ²	(KLED kurz)
DIN EN 1194	$f_{c,90,d} =$	1,87 MN/m ²	(KLED kurz)
DIN 1052:2008	$f_{v,d} =$	1,87 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	$f_{v,d} =$	1,73 MN/m ²	(KLED kurz)
	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	
	zul $\sigma_{By} =$	2,5 MN/m ²	
	zul $\tau_a =$	0,9 MN/m ²	

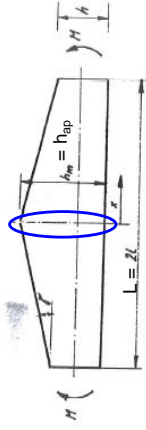
Beanspruchung

ständige Lasten	$g =$	15,0 kN/m	
veränderliche Lasten	$q =$	30,0 kN/m	
neues Sicherheitskonzept	$q_d =$	65,3 kN/m	
1)	$M_d (x = h_{ap}/4) =$	4693,1 kNm	4684,0 kNm
2)	$M_d (x = h_{ap}/2) =$	4678,4 kNm	4642,2 kNm
3)	$M_d (x = h_{ap}) =$	4619,6 kNm	4474,7 kNm
4)	$M_d (x) =$	2542,3 kNm	1624,3 kNm
altes Sicherheitskonzept	$q =$	45,0 kN/m	
1)	$M (x = h_{ap}/4) =$	3236,6 kNm	3230,4 kNm
2)	$M (x = h_{ap}/2) =$	3226,5 kNm	3201,5 kNm
3)	$M (x = h_{ap}) =$	3186,0 kNm	3086,0 kNm
4)	$M (x) =$	1753,3 kNm	1120,2 kNm

Moment an der Stelle x	4628,4 kNm
Moment an de Stelle x	4419,6 kNm
Moment an de Stelle x	3584,3 kNm
Moment an de Stelle x	769,7 kNm

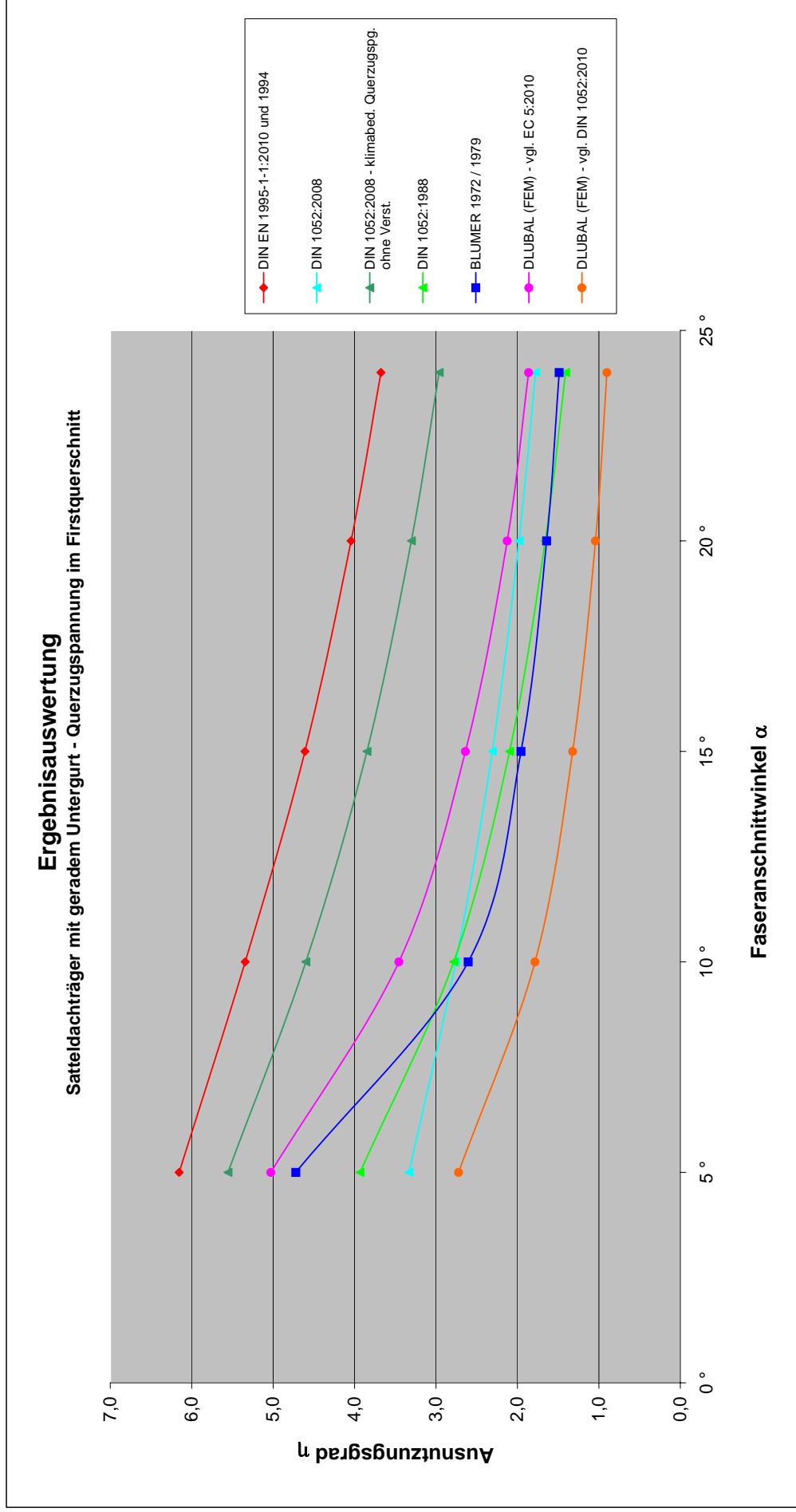
Moment an de Stelle x	3192,0 kNm
Moment an de Stelle x	3048,0 kNm
Moment an de Stelle x	2471,9 kNm
Moment an de Stelle x	530,8 kNm

4 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Querkzugspannung im Firstquerschnitt



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Faseranschnittwinkel α					Anmerkungen	
		5 °	10 °	15 °	20 °	24 °		
DIN EN 1995-1-1: 2010-12 + 1994-06	$\sigma_{1,90,d} = k_p \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 = 1,14 \text{ MN/m}^2$ $k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha = 0,02$ $k_{dis} = 1,40$ $k_{vol} = 0,47$ $\eta = \sigma_{1,90,d} / k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 6,15$	0,81 MN/m ² 0,04 1,40 0,39	0,61 MN/m ² 0,05 1,40 0,34	0,48 MN/m ² 0,07 1,40 0,30	0,41 MN/m ² 0,09 1,40 0,28	0,41 MN/m ² 0,09 1,40 0,28	3,68	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{1,90,d} = 0,2 \cdot \tan \alpha \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 = 1,14 \text{ MN/m}^2$ $k_{dis} = 1,30$ $k_p = (h_p/h_{ap})^{0,3} = 0,75$ $\eta = \sigma_{1,90,d} / k_{dis} \cdot k_p \cdot f_{t,90,d} = 3,33$ $\eta / 0,6 = 5,55$	0,81 MN/m ² 1,30 0,64	0,61 MN/m ² 1,30 0,58	0,48 MN/m ² 1,30 0,53	0,41 MN/m ² 1,30 0,51	0,41 MN/m ² 1,30 0,51	1,78	zusätzliche, klimabedingte Querkzugspannungen ohne Verstärkung
DIN 1052:1988-04	$\sigma_z = k_q \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 = 0,79 \text{ MN/m}^2$ $k_q = 0,2 \cdot \tan \alpha = 0,02$ $\eta = \sigma_z / z_{ul\sigma_z} = 3,93$	0,56 MN/m ² 0,04	0,42 MN/m ² 0,05	0,33 MN/m ² 0,07	0,28 MN/m ² 0,09	0,28 MN/m ² 0,09	1,41	
BLUMER 1972/1979	$\sigma_z = k_y \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 = 0,94 \text{ MN/m}^2$ $k_y = 0,021$ $\eta = \sigma_y / z_{ul\sigma_z} = 4,72$	0,52 MN/m ² 0,033	0,39 MN/m ² 0,05	0,33 MN/m ² 0,072	0,30 MN/m ² 0,094	0,30 MN/m ² 0,094	1,49	aus Tafel 14 - siehe Anlage
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{1,90,d} = 0,93 \text{ MN/m}^2$	0,52 MN/m ²	0,35 MN/m ²	0,25 MN/m ²	0,21 MN/m ²	0,21 MN/m ²		siehe Anlage
vgl. mit DIN EN 1995-1:2010	$\eta = \sigma_{1,90,d} / k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 5,03$	3,46	2,64	2,13	1,86	1,86		
vgl. mit DIN 1052:2008	$\eta = \sigma_{1,90,d} / k_{dis} \cdot k_p \cdot f_{t,90,d} = 2,72$	1,78	1,32	1,04	0,90	0,90		

4 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Querkzugspannung im Firstquerschnitt



4 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Querspannung im Firstquerschnitt**Querschnittsabmessungen / Geometrie**

$\alpha =$	5 °	10 °	15 °	20 °	24 °	Faseranschnittwinkel
$h =$	0,50 m					Traufhöhe
$h_{ap} = h + L/2 * \tan\alpha =$	1,55 m	2,62 m	3,72 m	4,87 m	5,84 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h_m = h + 2/3 * (h_{ap} - h) =$	1,20 m	1,91 m	2,64 m	3,41 m	4,06 m	gemittelte Höhe
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	20	13	9	7	6	Längen-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
$b =$	0,18 m					Trägerbreite
$L =$	24,00 m					Spannweite

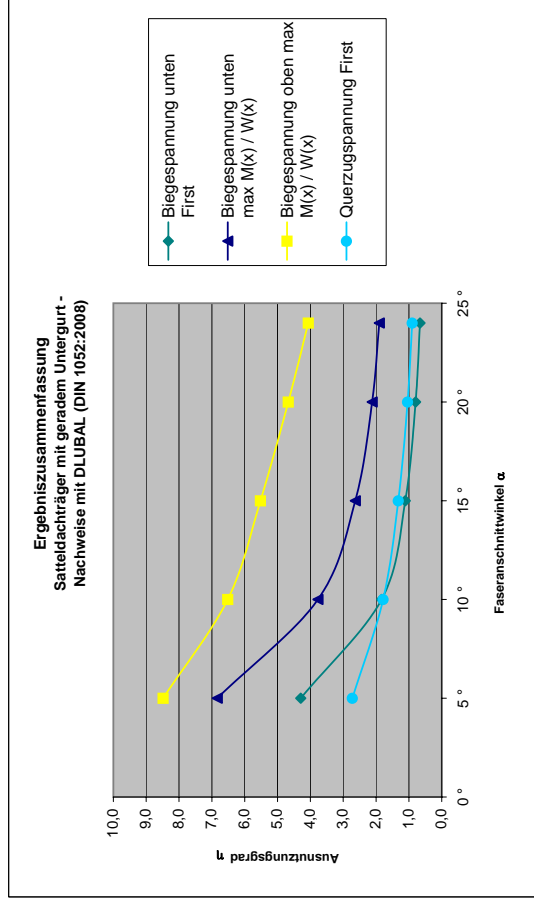
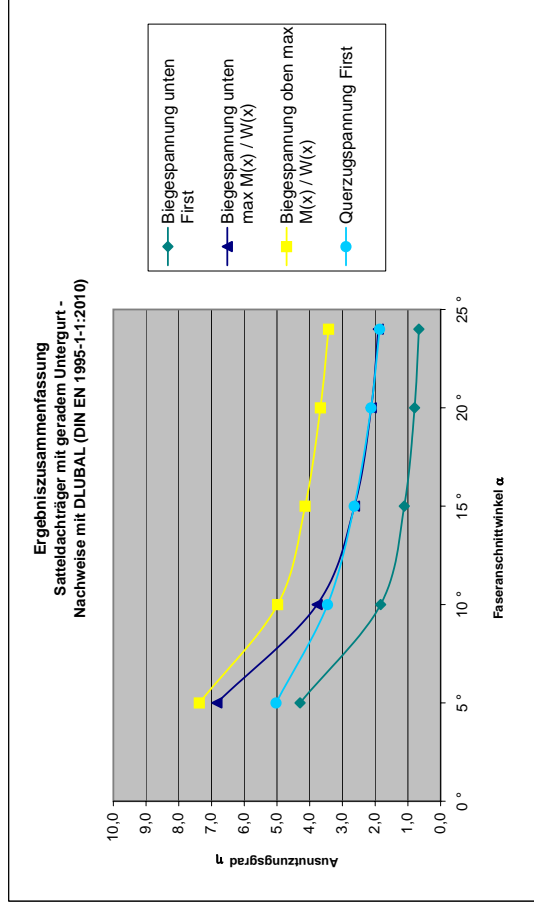
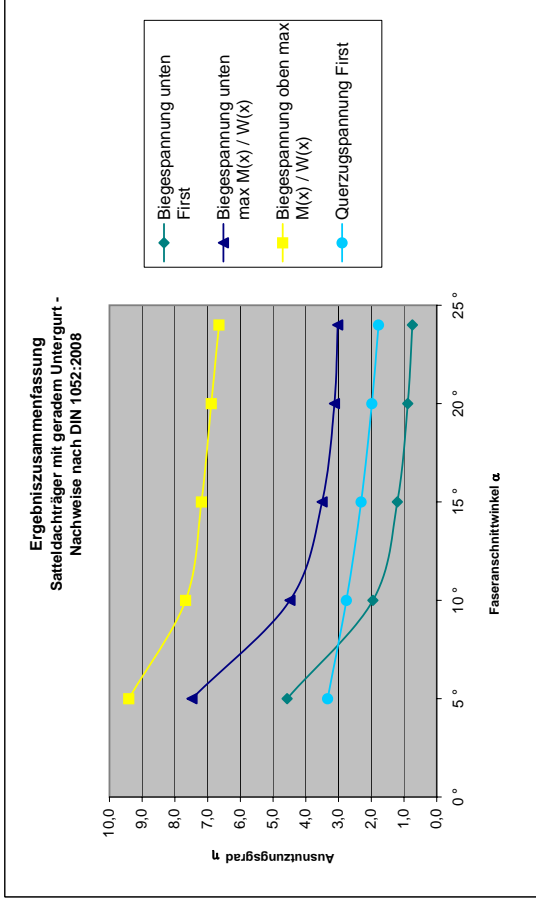
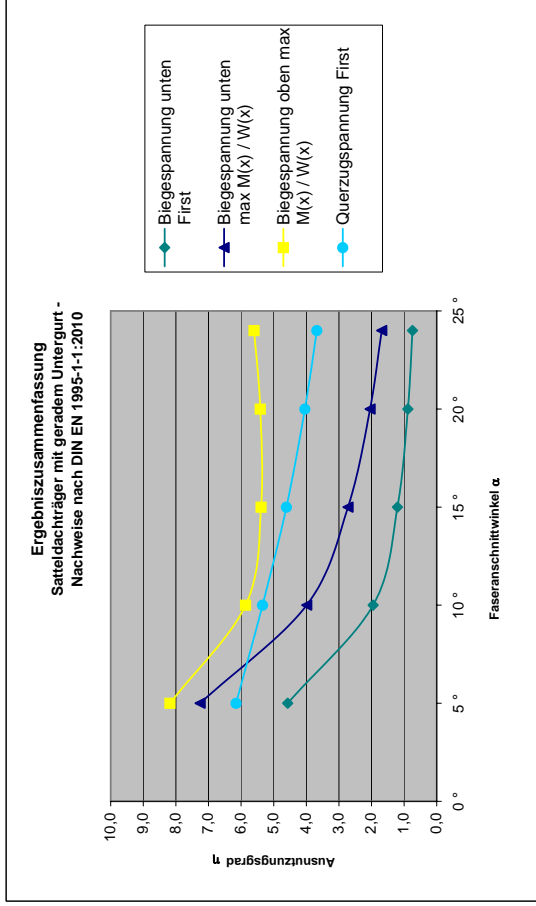
Materialkennwerte

G124h - DIN EN 1194	$f_{t,90,d} =$	0,28 MN/m ²	(KLED kurz)
G124h - DIN 1052:2008	$f_{t,90,d} =$	0,35 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_2 =$	0,20 MN/m ²	

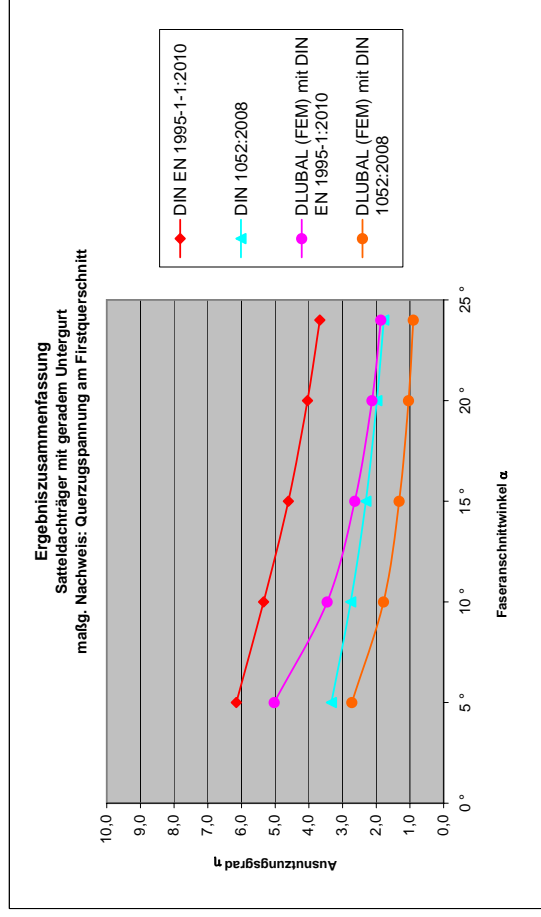
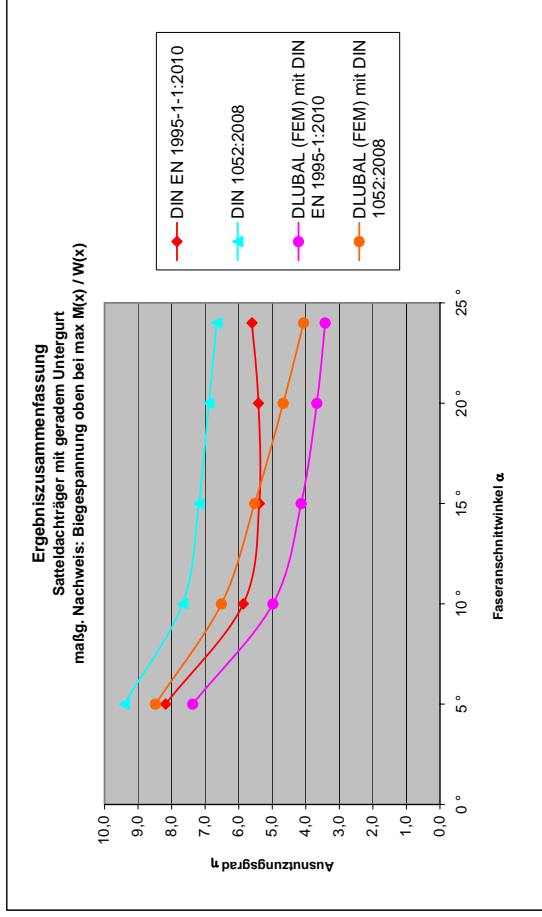
Beanspruchung

ständige Lasten	$g =$	15,0 kN/m
veränderliche Lasten	$q =$	30,0 kN/m
neues Sicherheitskonzept	$q_d =$	65,3 kN/m
	$M_d =$	4698,0 kNm
altes Sicherheitskonzept	$q =$	45,0 kN/m
	$M =$	3240,0 kNm

5 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Ergebniszusammenfassung



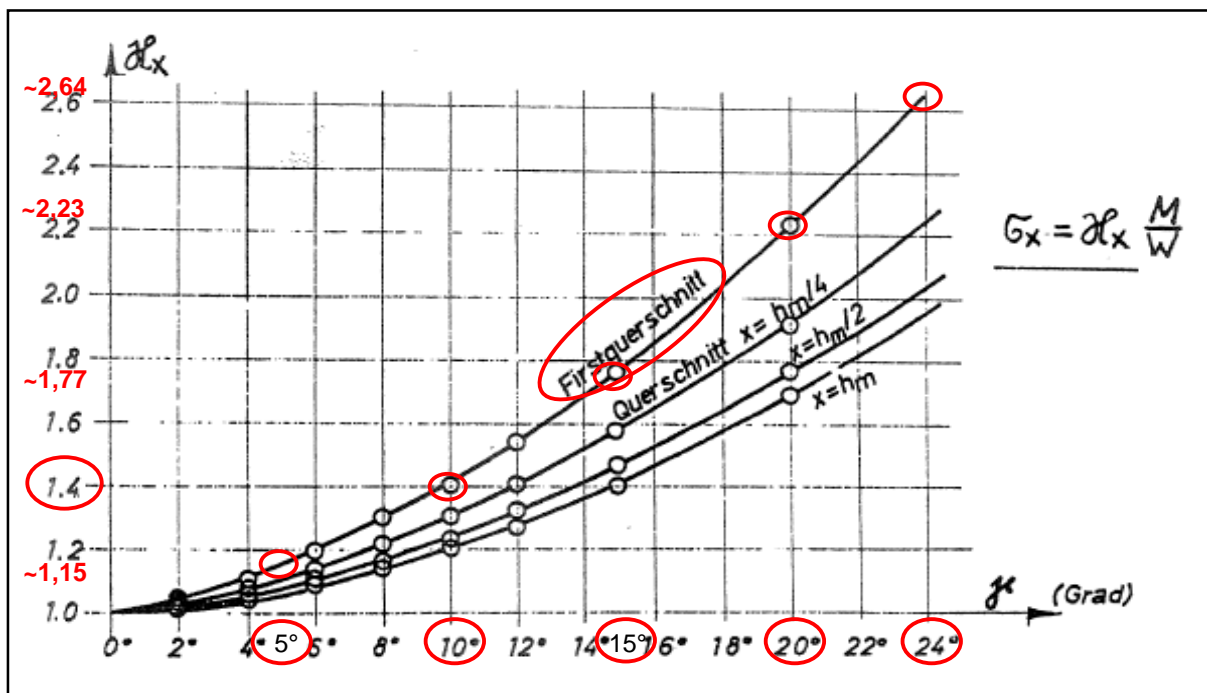
5 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Ergebniszusammenfassung



6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

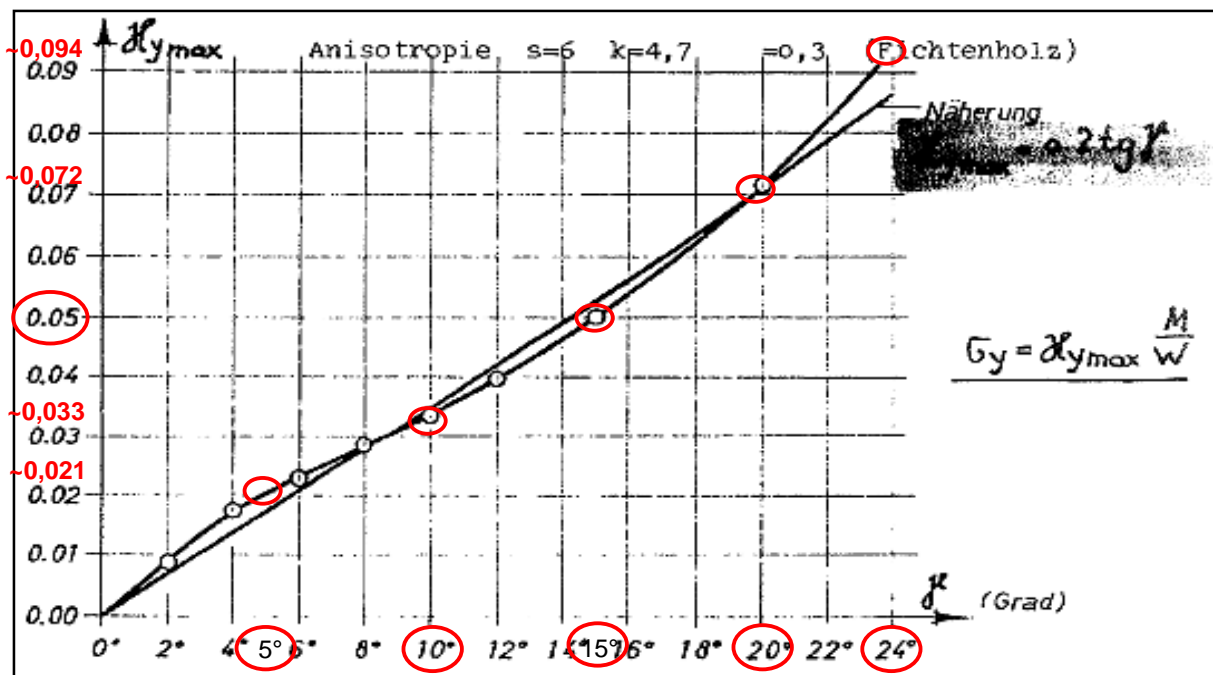
BLUMER 1972/1979 - Tafel 15

Ermittlung der κ_x -Beiwerte am Beispiel des Firstquerschnittes



BLUMER 1972/1979 - Tafel 14

Ermittlung der κ_y -Beiwerte am Firstquerschnittes

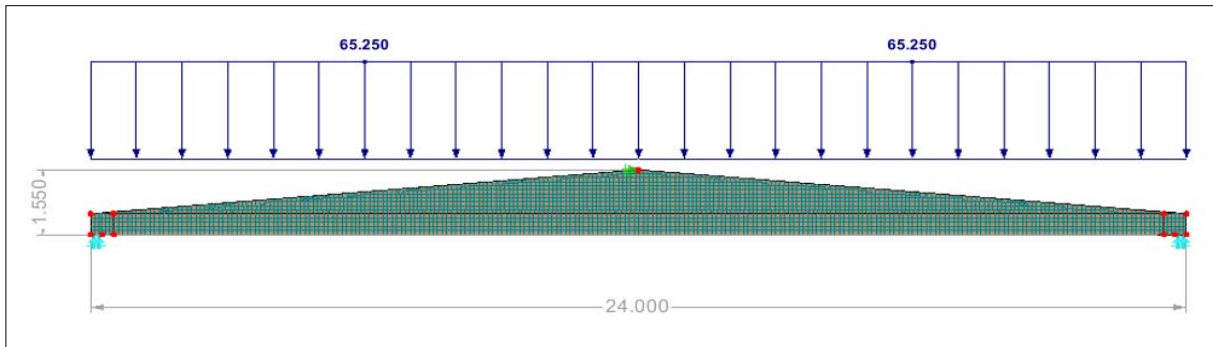


6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

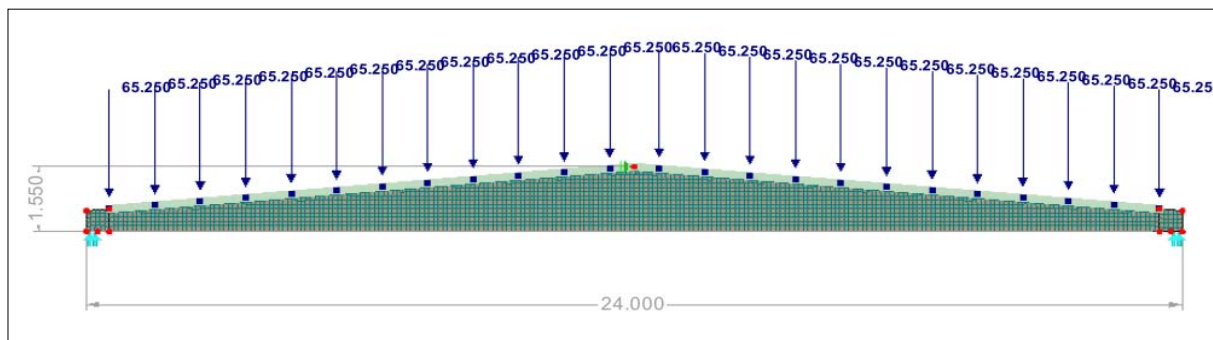
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 5°

System für Biegespannung: Linienlast, keine Netzverdichtung am oberen Rand

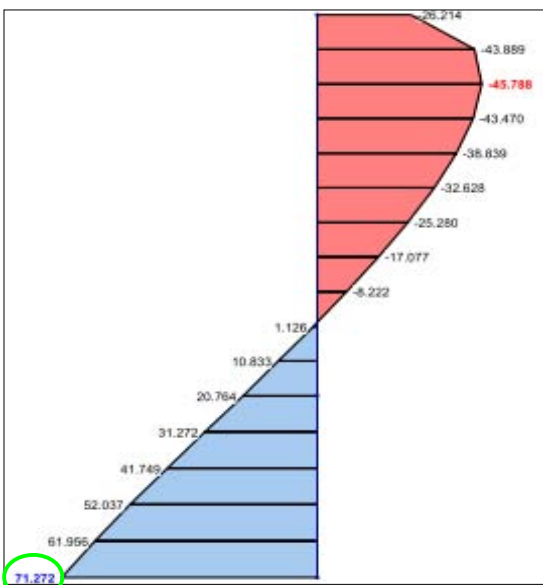


System für Querkzugspannung: Einzellasten (kein Lastpunkt am First), Netzverdichtung am oberen Rand

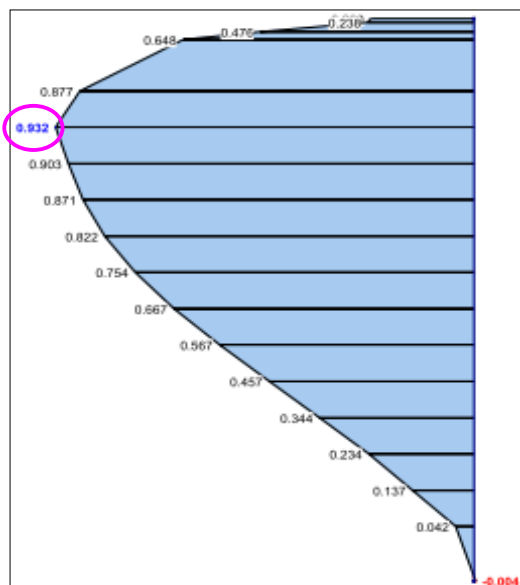


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querkzugspannung [MN/m²]



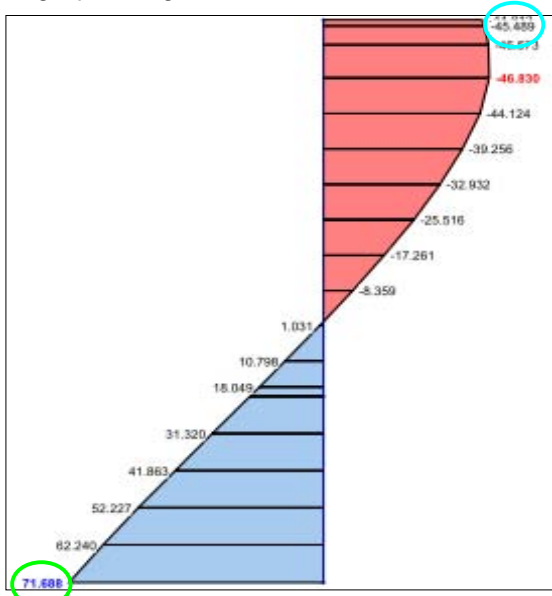
6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 5°

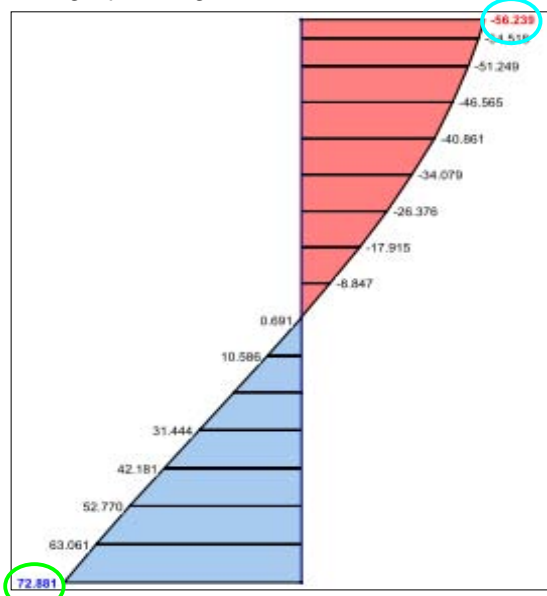
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/4$

Biegespannung [MN/m²]



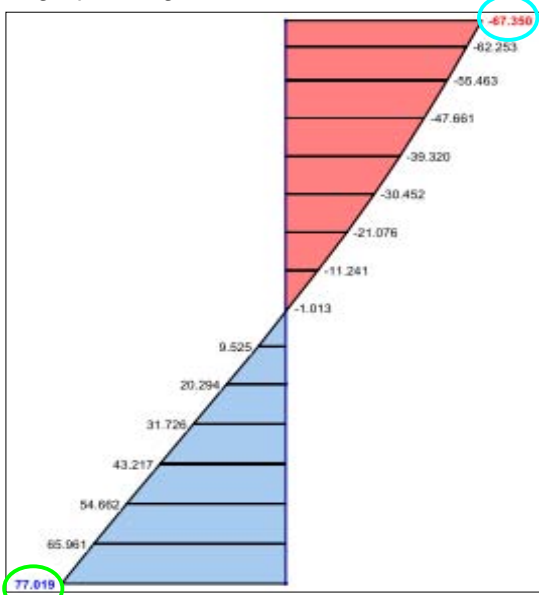
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/2$

Biegespannung [MN/m²]



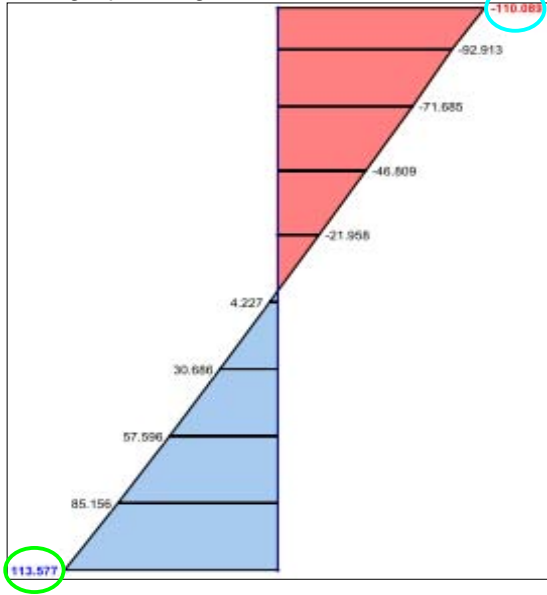
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}$

Biegespannung [MN/m²]



Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]

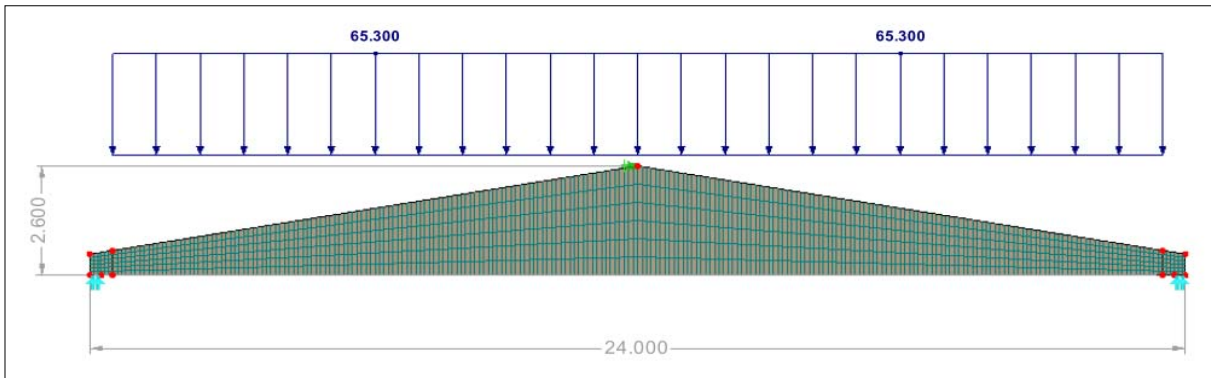


6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

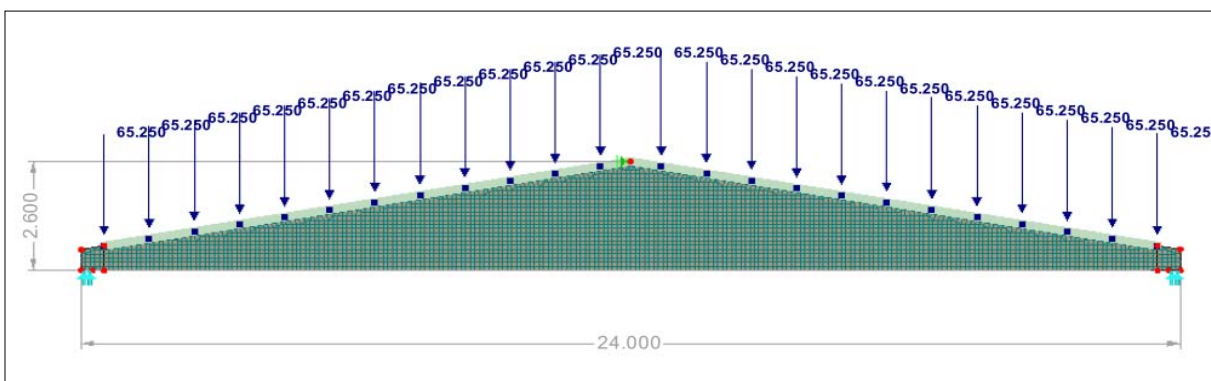
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 10°

System für Biegespannung: Linienlast, keine Netzverdichtung am oberen Rand

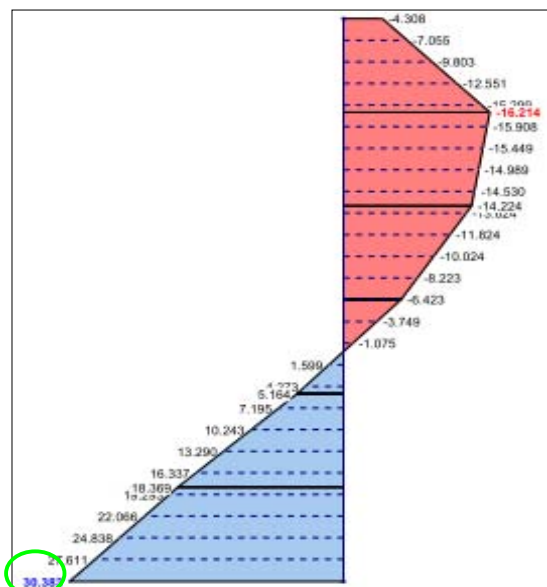


System für Querkzugspannung: Einzellasten (kein Lastpunkt am First), Netzverdichtung am oberen Rand

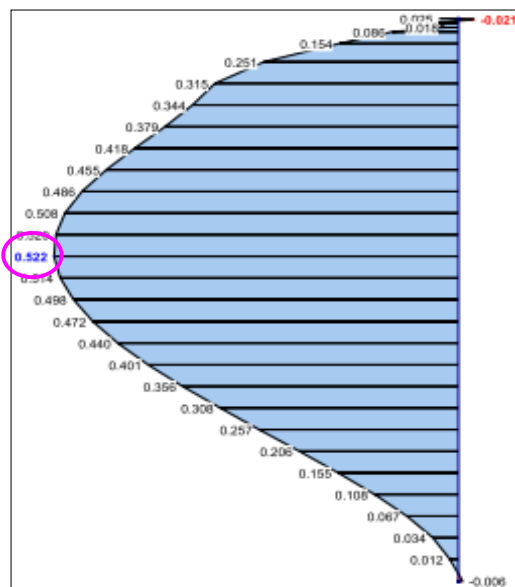


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querkzugspannung [MN/m²]



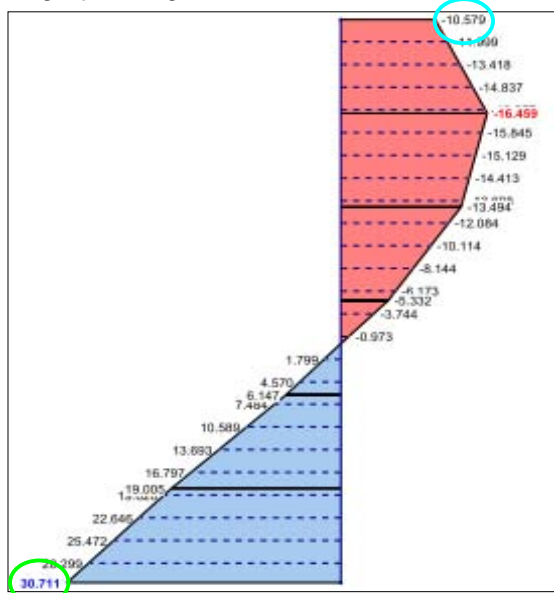
6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 10°

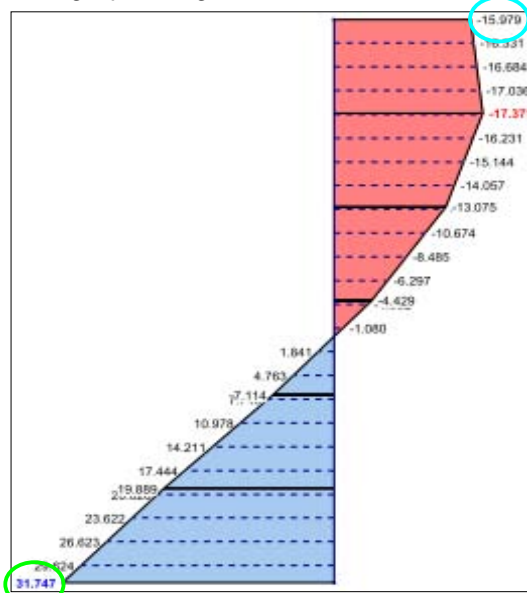
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/4$

Biegespannung [MN/m²]



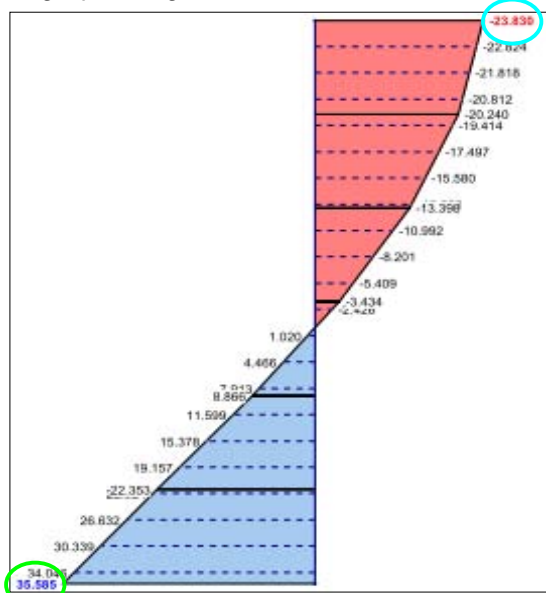
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/2$

Biegespannung [MN/m²]



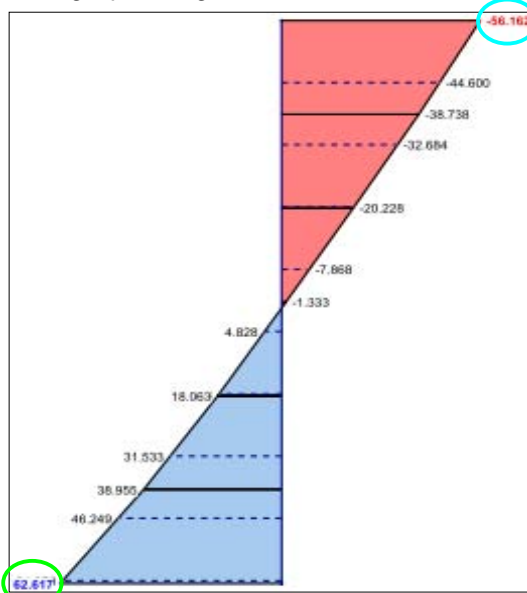
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}$

Biegespannung [MN/m²]



Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]

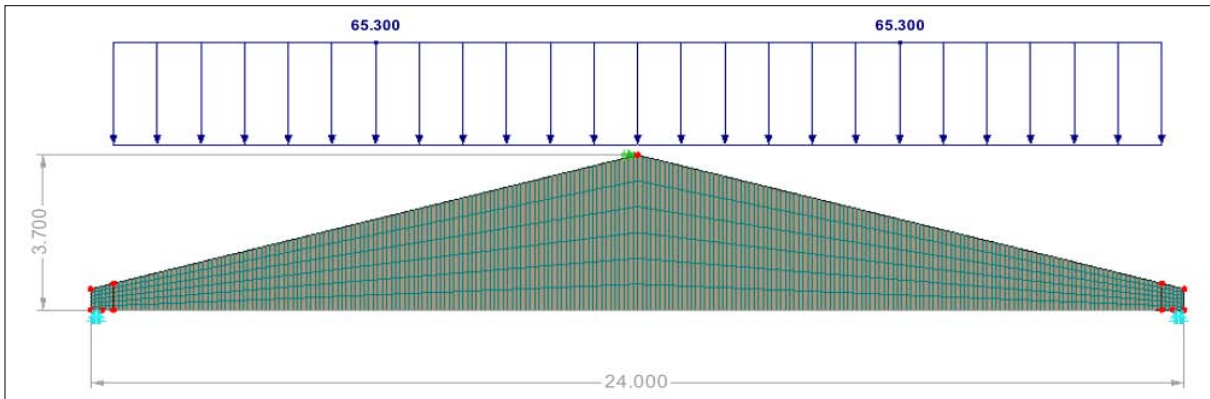


6 - Satteldachträger mit geradem Unterquert - Anlagen

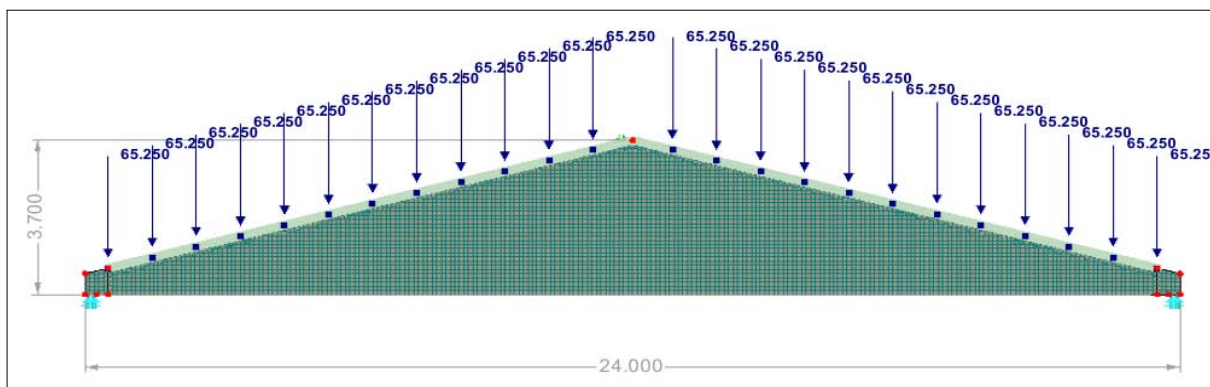
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 15°

System für Biegespannung: Linienlast, keine Netzverdichtung am oberen Rand

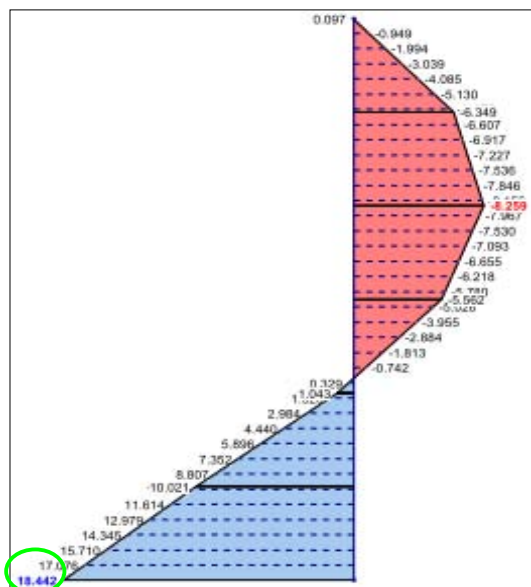


System für Querkzugspannung: Einzellasten (kein Lastpunkt am First), Netzverdichtung am oberen Rand

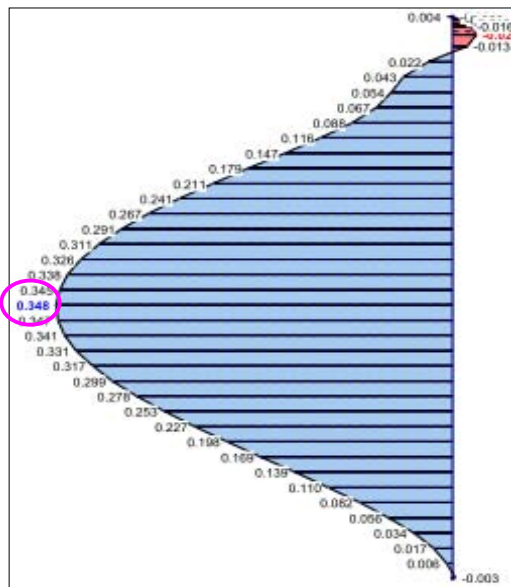


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querkzugspannung [MN/m²]



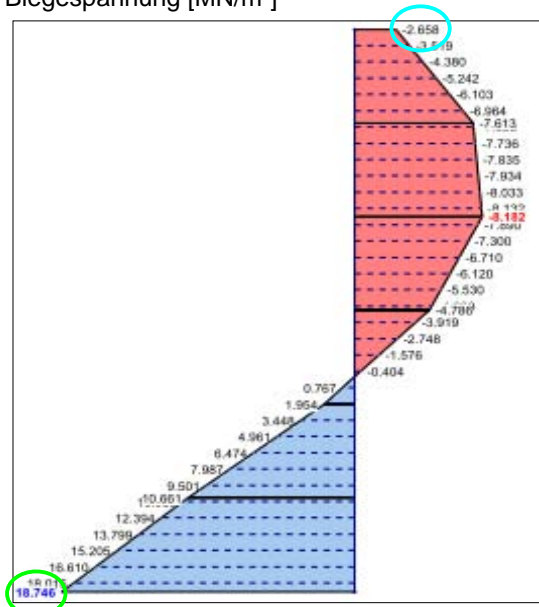
6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 15°

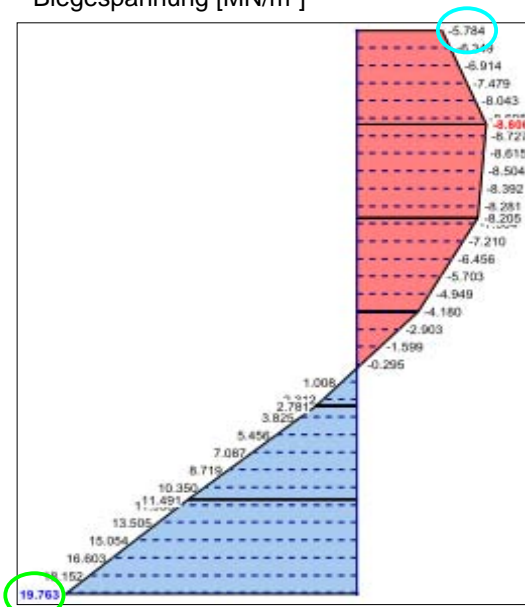
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/4$

Biegespannung [MN/m²]



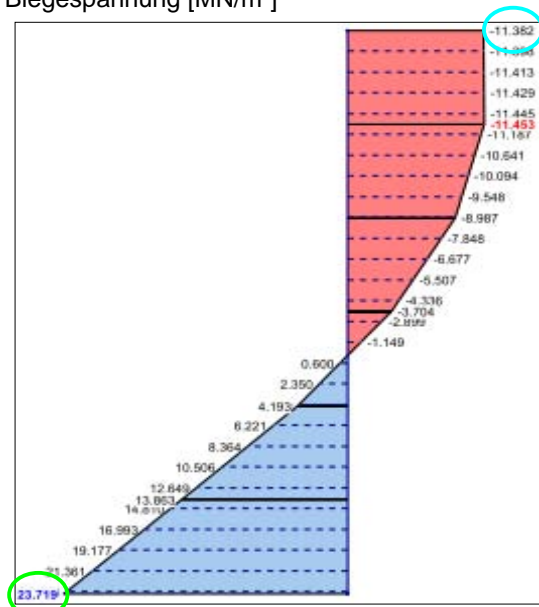
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/2$

Biegespannung [MN/m²]



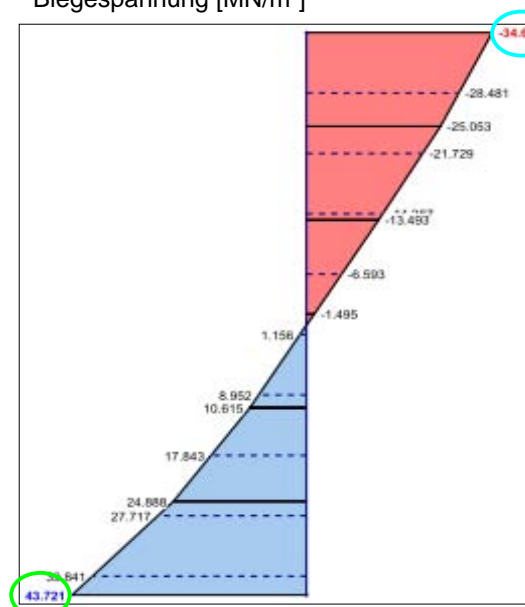
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}$

Biegespannung [MN/m²]



Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]

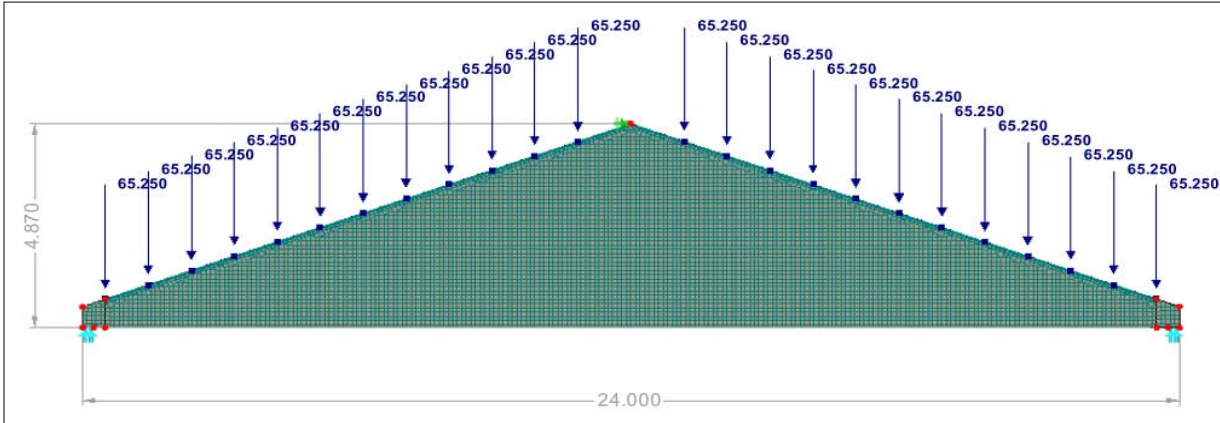


6 - Satteldachträger mit geradem Unterquert - Anlagen

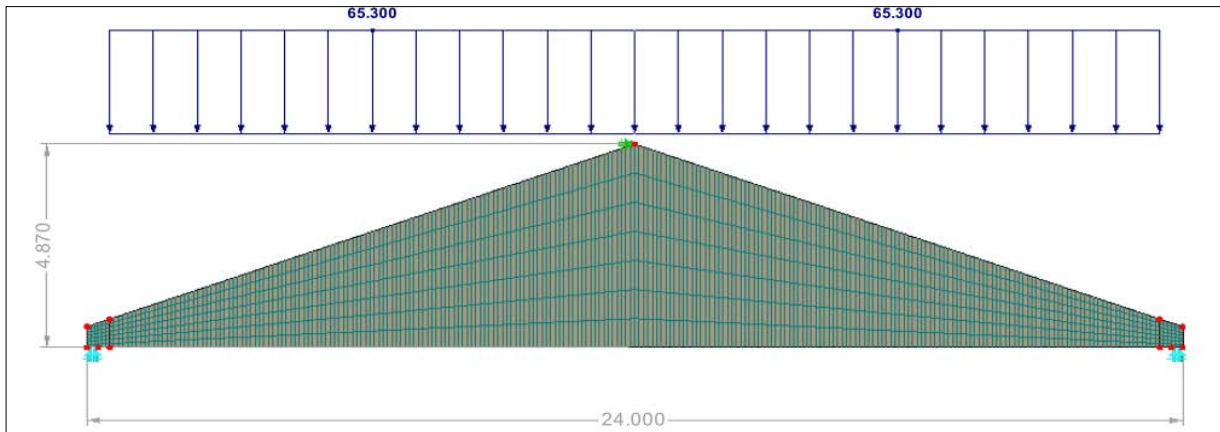
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 20°

System für Biegespannung: Linienlast, keine Netzverdichtung am oberen Rand

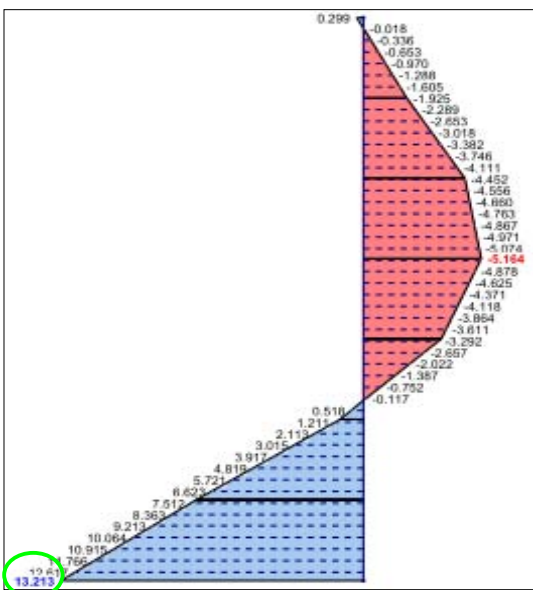


System für Querspannung: Einzellasten (kein Lastpunkt am First), Netzverdichtung am oberen Rand

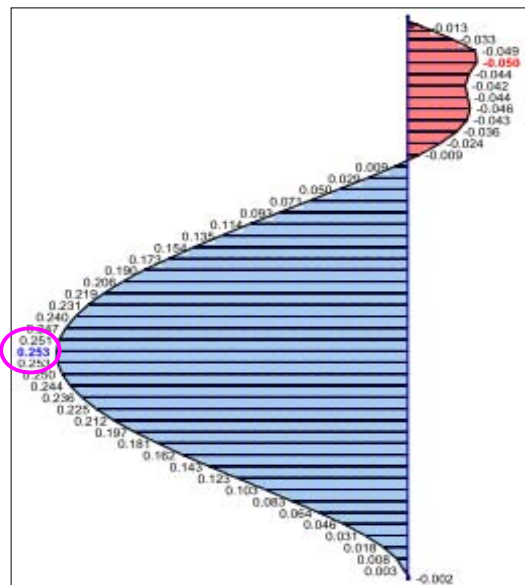


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querspannung [MN/m²]



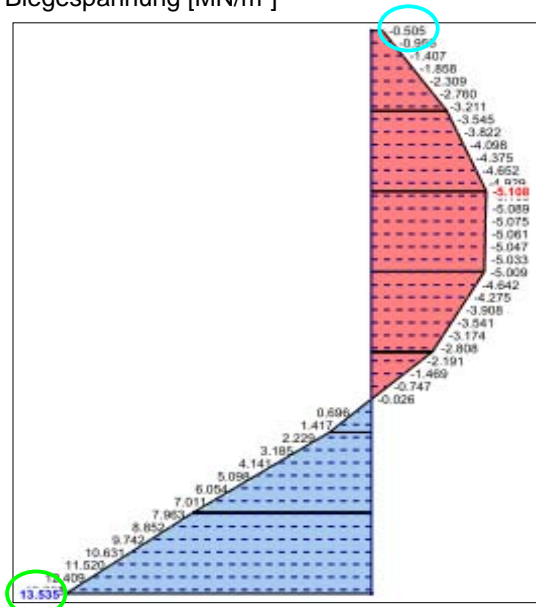
6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 20°

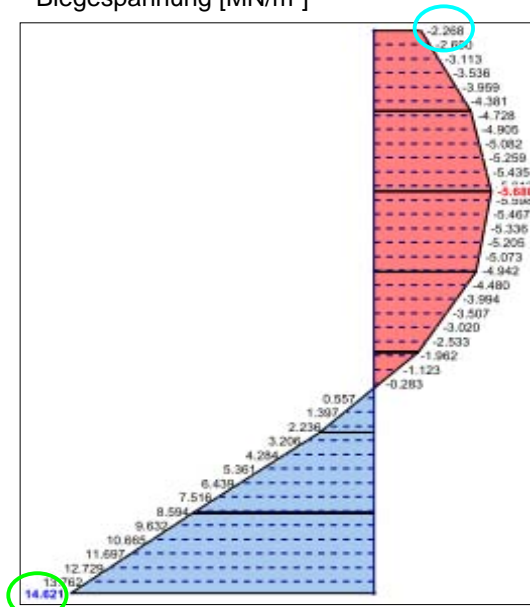
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/4$

Biegespannung [MN/m²]



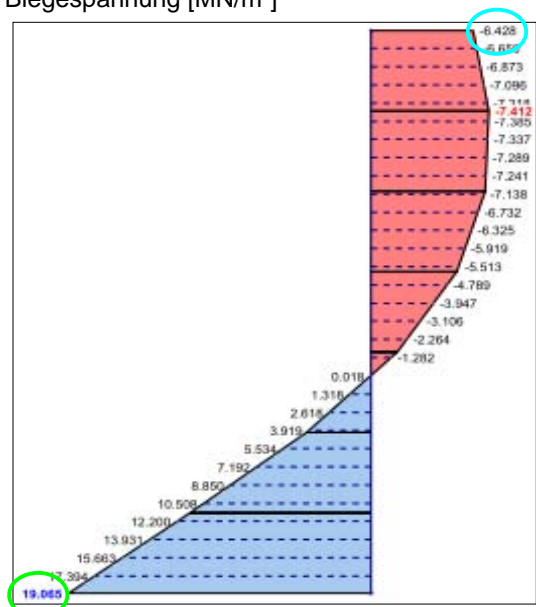
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/2$

Biegespannung [MN/m²]



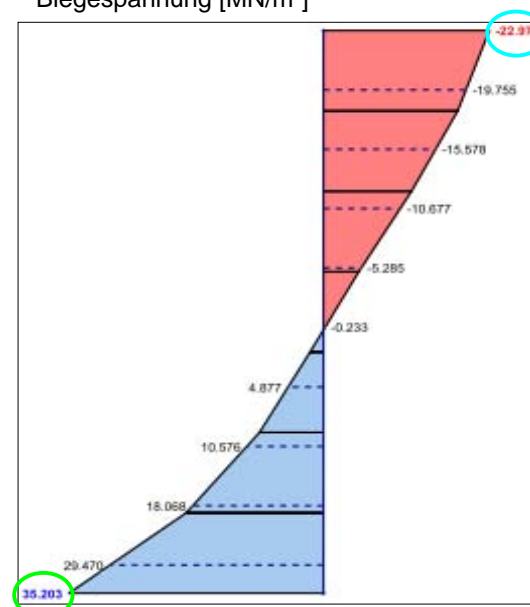
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}$

Biegespannung [MN/m²]



Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]

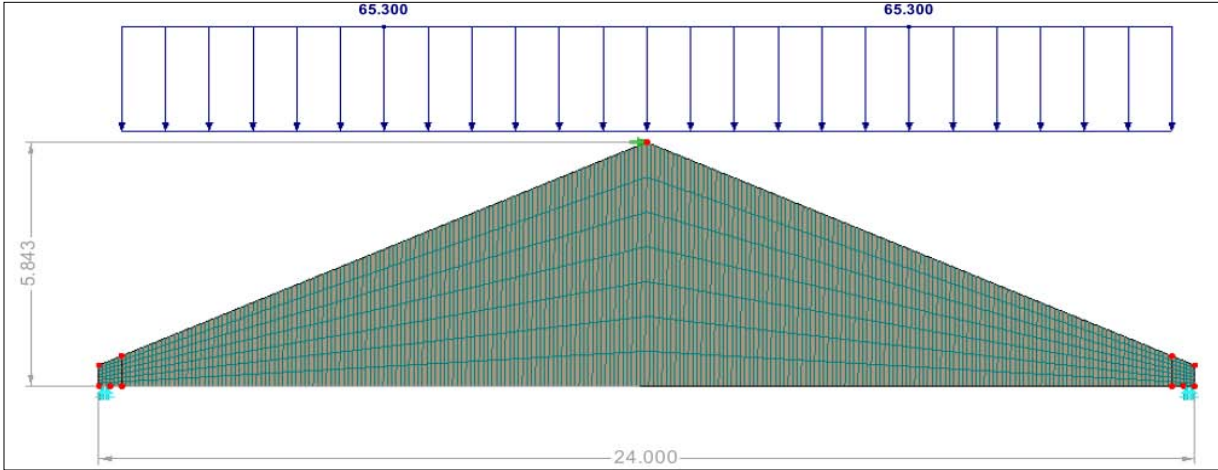


6 - Satteldachträger mit geradem Unterquert - Anlagen

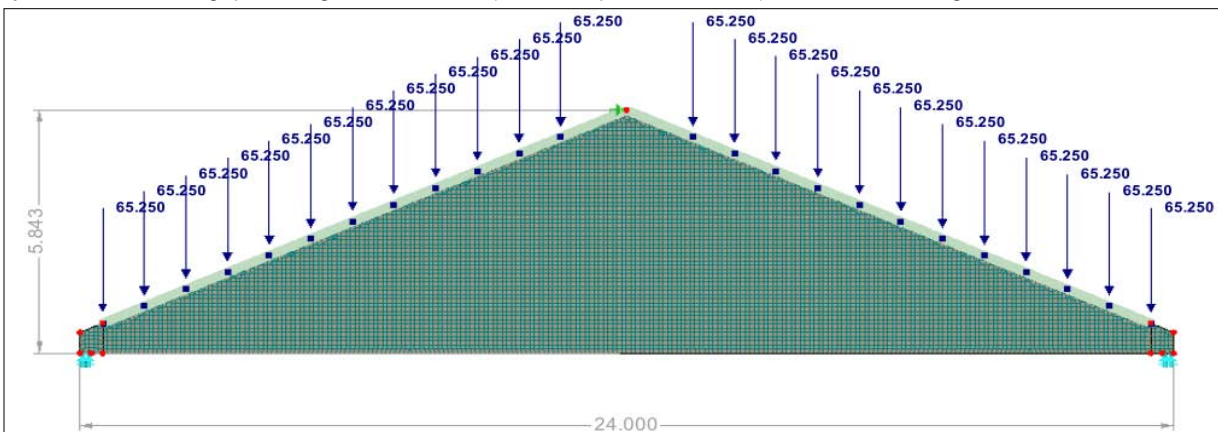
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 24°

System für Biegespannung: Linienlast, keine Netzverdichtung am oberen Rand

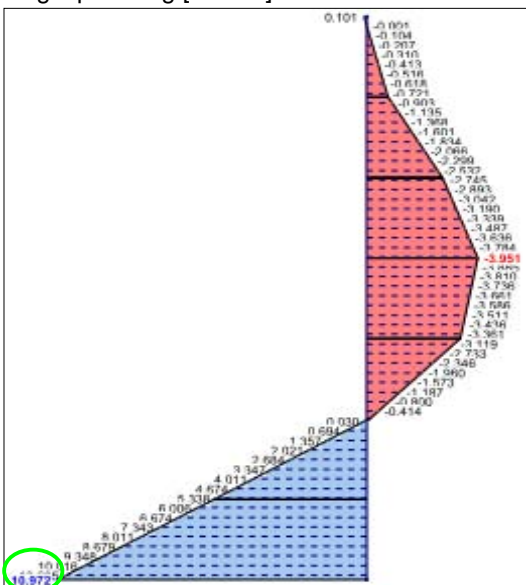


System für Querspannung: Einzellasten (kein Lastpunkt am First), Netzverdichtung am oberen Rand

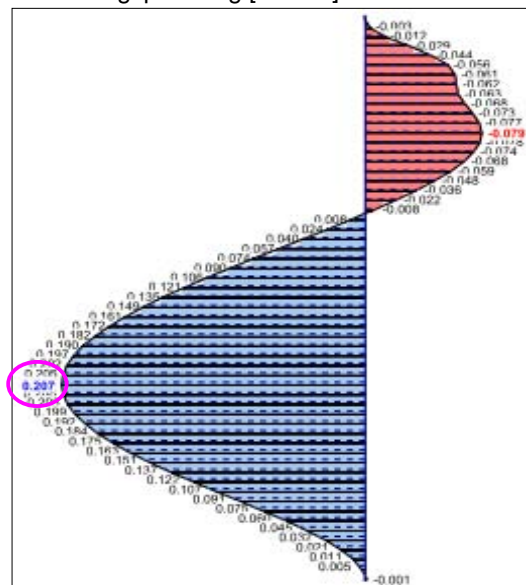


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querspannung [MN/m²]



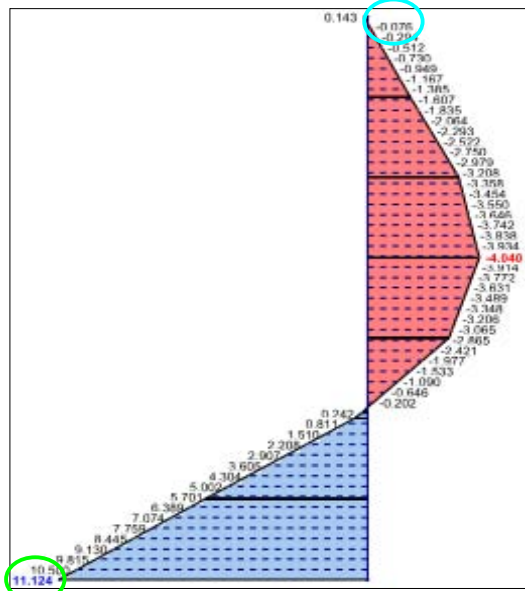
6 - Satteldachträger mit geradem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel 24°

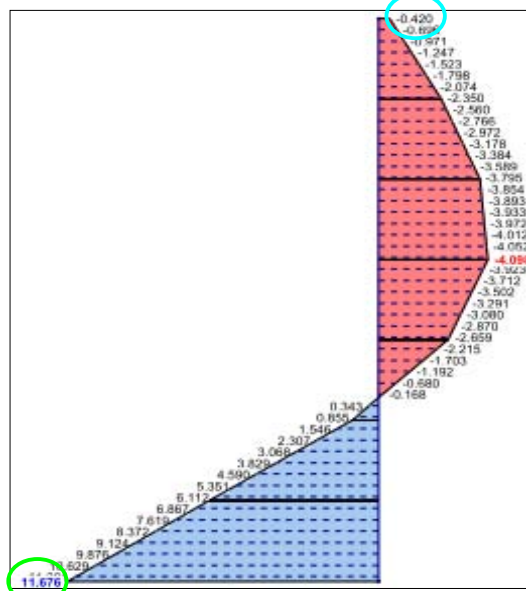
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/4$

Biegespannung [MN/m²]



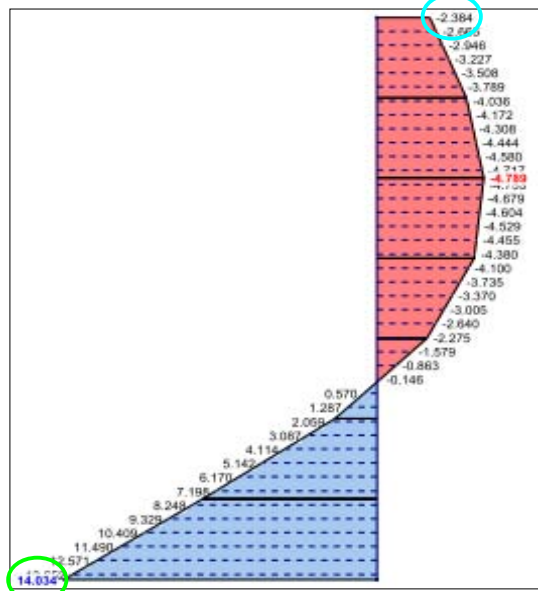
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}/2$

Biegespannung [MN/m²]



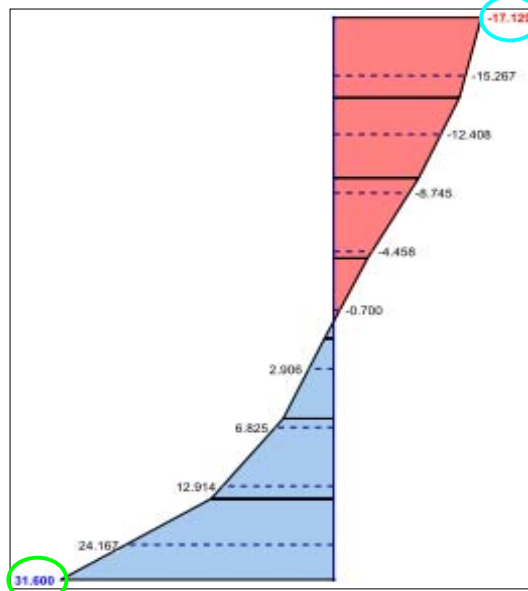
Spannungsverlauf bei $x = h_{ap}$

Biegespannung [MN/m²]



Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]



Ergänzung Forschungsvorhaben
DIN EN 1995 - Eurocode 5 - Holzbauten
Untersuchung verschiedener Trägerformen

Harrer
Ingenieure



Proj.Nr. 09.007g

Ergänzungsauftrag – Schlussbericht 16.09.2011

Anlage 5

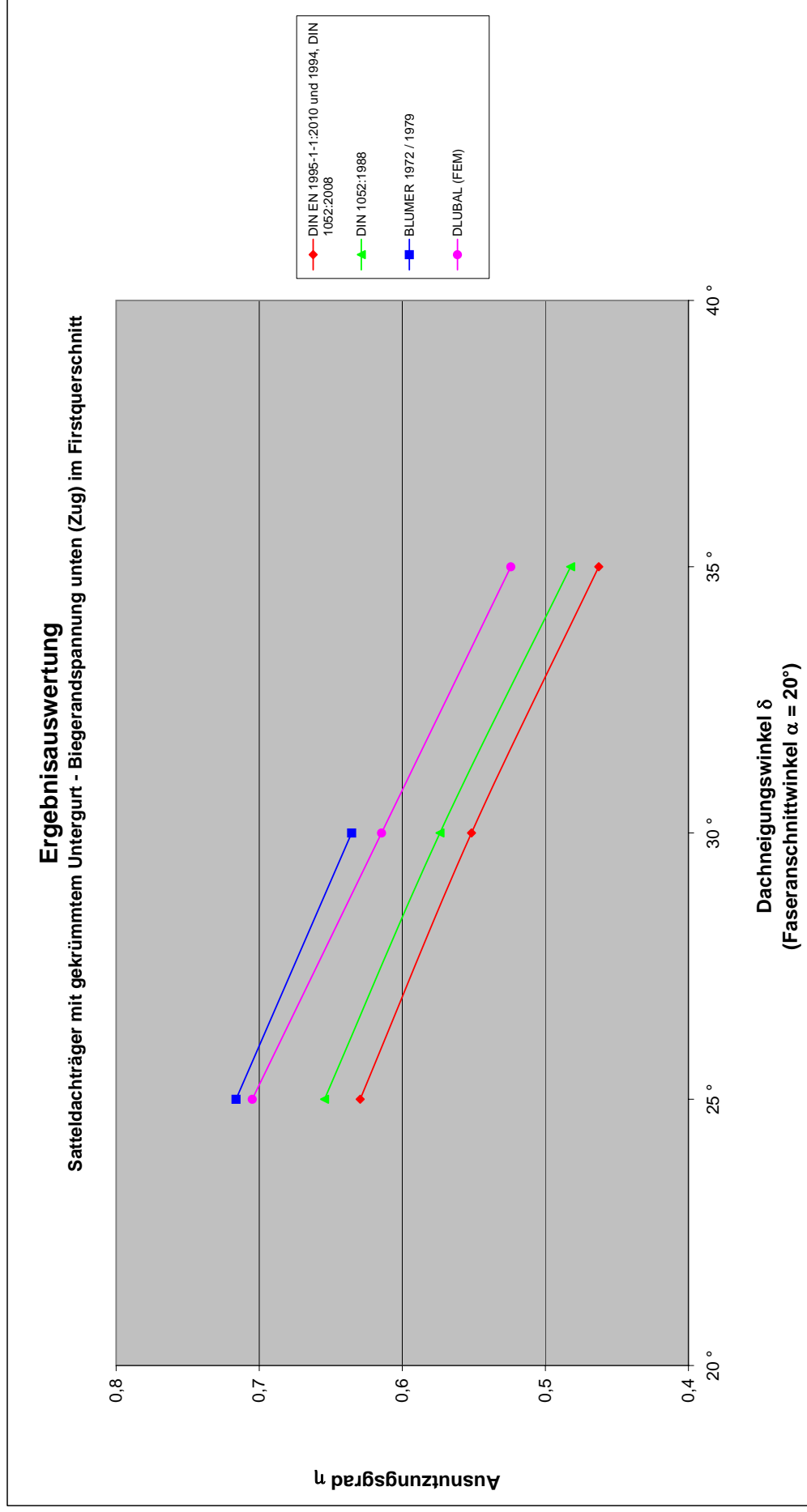
Berechnungen und Ergebnisse der Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

1. Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Dachneigungswinkel δ		Anmerkungen	
		25 °	30 °		
DIN EN 1995-1-1: 2010-12 + 1994-06 und DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,0,d} = k_1 \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_1 = k_1 + k_2 \cdot (h_{ap}/l) + k_3 \cdot (h_{ap}/l)^2 + k_4 \cdot (h_{ap}/l)^3 =$ $k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \delta + 5,4 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \delta =$ $k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \delta - 7,8 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_4 = 6 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_1 =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / k_{\sigma} \cdot f_{m,d} =$	10,4 MN/m ² 2,37 2,79 2,83 -3,38 2,77 1,30 1,00 0,63	9,2 MN/m ² 3,24 3,61 -4,27 2,79 2,00 1,00 0,55	7,7 MN/m ² 3,24 4,63 -5,25 2,59 2,94 1,00 0,46	
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = k_1 \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_1 = A_1 + B_1 \cdot (h_{ap}/l) + C_1 \cdot (h_{ap}/l)^2 + D_1 \cdot (h_{ap}/l)^3 =$ $A_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \delta + 5,4 \cdot \tan^2 \delta =$ $B_1 = 0,35 - 8 \cdot \tan \delta =$ $C_1 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \delta - 7,8 \cdot \tan^2 \delta =$ $D_1 = 6 \cdot \tan^2 \delta =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	7,2 MN/m ² 2,37 2,83 -3,38 2,77 1,30 0,65	6,3 MN/m ² 2,79 3,61 -4,27 2,79 2,00 0,57	5,3 MN/m ² 3,24 4,63 -5,25 2,59 2,94 0,48	
BLUMER 1972/1979	$\sigma_x = k_{\sigma} \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $\alpha = h_{ap} / (2 \cdot l) =$ $k_{\sigma} =$ $\eta = \sigma_x / \text{zul} \sigma_B =$	7,9 MN/m ² 0,08 2,59 0,72	7,0 MN/m ² 0,12 3,09 0,64	keine Angaben aus Tafel 25 - siehe Anlage	
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,0,d} =$ $\eta = \sigma_{m,0,d} / f_{m,d} =$	11,7 MN/m ² 0,70	10,2 MN/m ² 0,61	8,7 MN/m ² 0,52 siehe Anlage	

1. Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt



1. Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung unten (Zug) im Firstquerschnitt

Querschnittsabmessungen / Geometrie

$h =$	0,50 m	Traufhöhe
$b =$	0,18 m	Trägerbreite
$L =$	24,00 m	Spannweite
$t =$	20 mm	Lamellendicke
$\delta =$	25 °	Dachneigungswinkel
$\beta = \gamma =$	5 °	Neigungswinkel Untergurt = halber Kreissegmentwinkel
$\alpha = \delta - \beta =$	20 °	Faseranschnittwinkel
$r_{in} =$	30,00 m	Innenradius → aus FEM-Modell Diubal
$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} =$	32,58 m	Länge der Austrundung
$a = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin \gamma =$	5,23 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h_{ap} = h + L/2 \cdot (\tan \delta - \tan \beta) + r_{in} \cdot (1/\cos \gamma - 1) =$	5,16 m	gemittelte Höhe
$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h) =$	3,61 m	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	6,7	

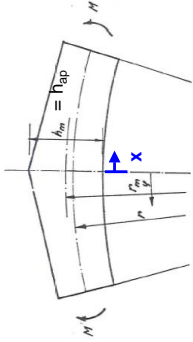
Materialkennwerte

G24h - DIN EN 1194	$f_{m,d} =$	16,6 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	

Beanspruchung

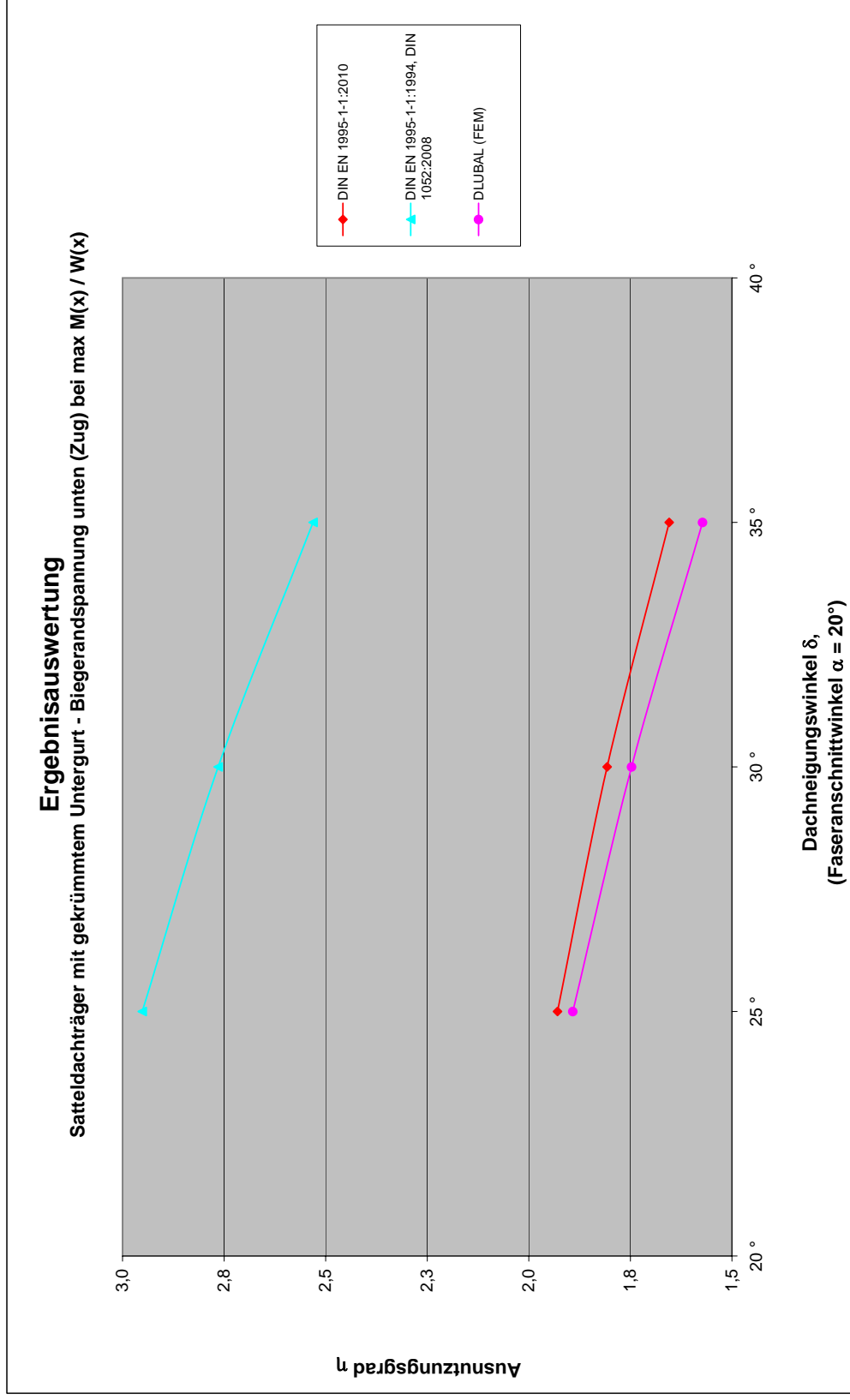
neues Sicherheitskonzept	$M_d =$	3527,6 kNm	3134,4 kNm	2741,6 kNm	} siehe Anlage
altes Sicherheitskonzept	$M =$	2430,0 kNm	2160,0 kNm	1893,9 kNm	

2 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung unten (Zug) bei max $M(x) / W(x)$



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	25 °	30 °	35 °	Anmerkungen
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,o,d} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $\eta = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d} =$	32,0 MN/m ² 1,93	30,0 MN/m ² 1,81	27,5 MN/m ² 1,65	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,o,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d} =$	49,0 MN/m ² 1,53 2,95	45,9 MN/m ² 1,53 2,76	42,0 MN/m ² 1,53 2,53	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,o,d} = (1+4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1+4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $\eta = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d} =$	49,0 MN/m ² 1,53 2,95	45,9 MN/m ² 1,53 2,76	42,0 MN/m ² 1,53 2,53	
DIN 1052:1988-04	keine Angaben				
BLUMER 1972/1979	keine Angaben				
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,o,d} =$ $\eta = \sigma_{m,o,d} / f_{m,d} =$	31,4 MN/m ² 1,89	29,0 MN/m ² 1,75	26,1 MN/m ² 1,57	siehe Anlage

2 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegerandspannung unten (Zug) bei max $M(x) / W(x)$



2 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung unten (Zug) bei max $M(x) / W(x)$

Querschnittsabmessungen / Geometrie

$h =$	0,50 m	Traufhöhe
$b =$	0,18 m	Trägerbreite
$L =$	24,00 m	Spannweite
$t =$	20 mm	Lamellendicke
$\delta =$	25 °	Dachneigungswinkel
$\beta = \gamma =$	5 °	Neigungswinkel Untergurt = halber Kreissegmentwinkel
$\alpha = \delta - \beta =$	20 °	Faseranschnittwinkel
$r_{in} =$	30,00 m	Innenradius → aus FEM-Modell Dlubal
$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} =$	32,58 m	Länge der Ausrundung
$a = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin \gamma =$	5,23 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels gemittelte Höhe
$h_{ap} = h + L/2 \cdot (\tan \delta - \tan \beta) + r_{in} \cdot (1/\cos \gamma - 1) =$	5,16 m	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h) =$	3,61 m	Stelle x bei max M / W mit $x = L/2 - (h / (2 \cdot h + L \cdot \tan \alpha)) \cdot l$
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	6,7	Trägerhöhe an der Stelle x
$x =$	10,77 m	
$h(x) =$	0,97 m	

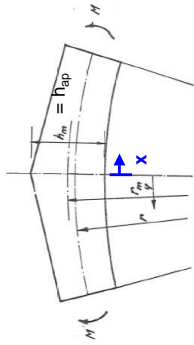
Materialkennwerte

G124h - DIN EN 1194	$f_{m,d} =$	16,6 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	

Beanspruchung

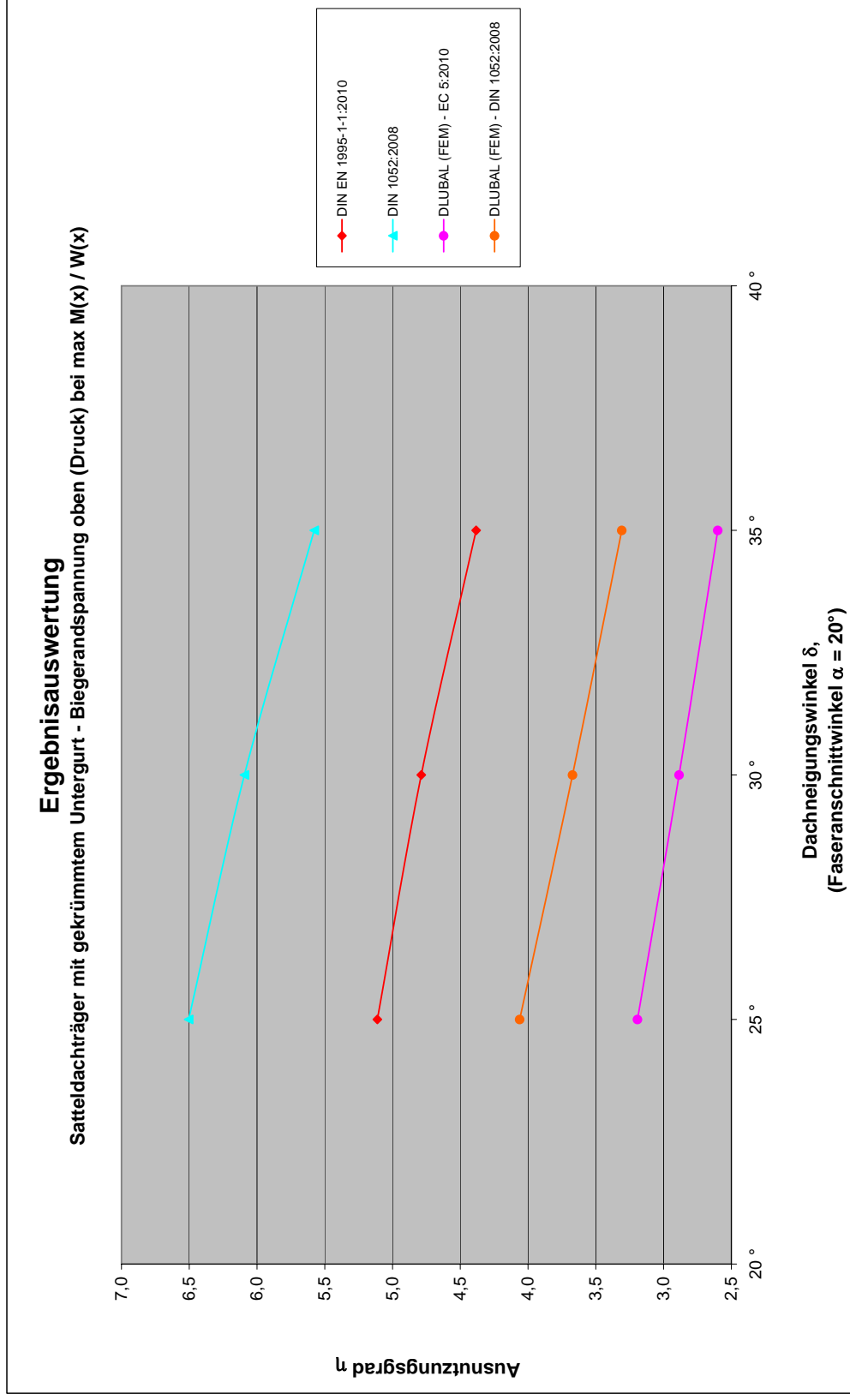
neues Sicherheitskonzept	$M_d =$	3527,6 kNm	2741,6 kNm	} siehe Anlage
	$M_0(x) =$	898,3 kNm/m	878,8 kNm/m	
altes Sicherheitskonzept	$M =$	2430,0 kNm	1893,9 kNm	
	$M(x) =$	618,8 kNm	607,1 kNm	

3 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung oben (Druck) bei max. $M(x) / W(x)$



Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	25 °	Dachneigungswinkel δ	30 °	35 °	Anmerkungen
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{m,ed} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,ed} =$ $\eta = \sigma_{m,ed} / f_{m,ed} =$	32,0 MN/m ² 6,3 MN/m ² 5,11	30,0 MN/m ² 6,3 MN/m ² 4,79	27,5 MN/m ² 6,3 MN/m ² 4,38		
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{m,ed} = (1-4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $(1-4 \cdot \tan^2 \alpha) =$ $f_{m,ed} =$ $\eta = \sigma_{m,ed} / f_{m,ed} =$	15,1 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 1,74	14,1 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 1,63	12,9 MN/m ² 0,47 8,6 MN/m ² 1,49		
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{m,ed} = 6 \cdot M_d(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $f_{m,ed} =$ $\eta = \sigma_{m,ed} / f_{m,ed} =$	32,0 MN/m ² 4,9 MN/m ² 6,50	30,0 MN/m ² 4,9 MN/m ² 6,09	27,5 MN/m ² 4,9 MN/m ² 5,58		
DIN 1052:1988-04	$\sigma_x = k_x \cdot 6 \cdot M(x) / b \cdot h(x)^2 =$ $k_x =$ $\sigma_{Dy} = \sigma_x \cdot \tan \alpha =$ $\tau = \sigma_x \cdot \tan^2 \alpha =$ $\eta = (\sigma_x / \text{zul} \sigma_B)^2 + (\sigma_{Dy} / \text{zul} \sigma_{Dy})^2 + (\tau / 2,66 \cdot \text{zul} \tau_a) =$	22,1 MN/m ² 1,0 8,0 MN/m ² 2,9 MN/m ² 15,83	20,7 MN/m ² 1,0 7,5 MN/m ² 2,7 MN/m ² 13,90	19,0 MN/m ² 1,0 6,9 MN/m ² 2,5 MN/m ² 11,70		
BLUMER 1972/1979	keine Angaben					
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{m,ed} =$	20,0 MN/m ²	18,1 MN/m ²	16,3 MN/m ²		siehe Anlage
vgl. mit EC 5:2010	$f_{m,ed} =$ $\eta = \sigma_{m,ed} / f_{m,ed} =$	6,3 MN/m ² 3,19	6,3 MN/m ² 2,89	6,3 MN/m ² 2,60		
vgl. mit DIN 1052:2008	$f_{m,ed} =$ $\eta = \sigma_{m,ed} / f_{m,ed} =$	4,9 MN/m ² 4,06	4,9 MN/m ² 3,67	4,9 MN/m ² 3,31		

3 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegeandspannung oben (Druck) bei max. $M(x) / W(x)$



3 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Biegerandspannung oben (Druck) bei max. $M(x) / W(x)$

Querschnittsabmessungen / Geometrie

$h =$	0,50 m	$\delta =$	25 °	30 °	35 °	Traufhöhe
$b =$	0,18 m	$\beta = \gamma =$	5 °	10 °	15 °	Trägerbreite
$L =$	24,00 m	$\alpha = \delta - \beta =$	20 °	20 °	20 °	Spannweite
$t =$	20 mm					Lamellendicke
		$r_{in} =$	30,00 m	21,37 m	14,75 m	Dachneigungswinkel
		$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} =$	32,58 m	24,19 m	17,86 m	Neigungswinkel Untergurt = halber Kreissegmentwinkel
		$a = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin \gamma =$	5,23 m	7,42 m	7,64 m	Faseranschnittwinkel
		$h_{ap} = h + L/2 \cdot (\tan \delta - \tan \beta) + r_{in} \cdot (1/\cos \gamma - 1) =$	5,16 m	5,64 m	6,21 m	Innenradius → aus FEM-Modell Diubal
		$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h) =$	3,61 m	3,93 m	4,31 m	Länge der Ausrundung
		$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	6,7	6,1	5,6	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
		$x =$	10,77 m	10,77 m	10,77 m	gemittelte Höhe
		$h(x) =$	0,97 m	0,99 m	1,03 m	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
						Stelle x bei max M / W mit $x = L/2 - (h / (2 \cdot h + l \cdot \tan \alpha) \cdot l)$
						Trägerhöhe an der Stelle x

Materialkennwerte

GI24h - DIN EN 1194 und	$f_{m,d} =$	16,62 MN/m ²	(KLED kurz)
DIN 1052:2008	$f_{c,90,d} =$	1,87 MN/m ²	(KLED kurz)
DIN EN 1194	$f_{v,d} =$	1,87 MN/m ²	(KLED kurz)
DIN 1052:2008	$f_{t,d} =$	1,73 MN/m ²	(KLED kurz)
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_B =$	11,0 MN/m ²	
	zul $\sigma_{By} =$	2,5 MN/m ²	
	zul $\tau_a =$	0,9 MN/m ²	

Beanspruchung

neues Sicherheitskonzept	$M_d =$	3527,6 kNm	3134,4 kNm	2741,6 kNm	Firstmoment
	$M_0(x) =$	898,3 kNm/m	889,7 kNm/m	878,8 kNm/m	Moment an de Stelle x
altes Sicherheitskonzept	$M =$	2430,0 kNm	2160,0 kNm	1893,9 kNm	Firstmoment
	$M(x) =$	618,8 kNm	613,1 kNm	607,1 kNm	Moment an de Stelle x

} siehe Anlage

4 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Querspannung im Firstquerschnittes

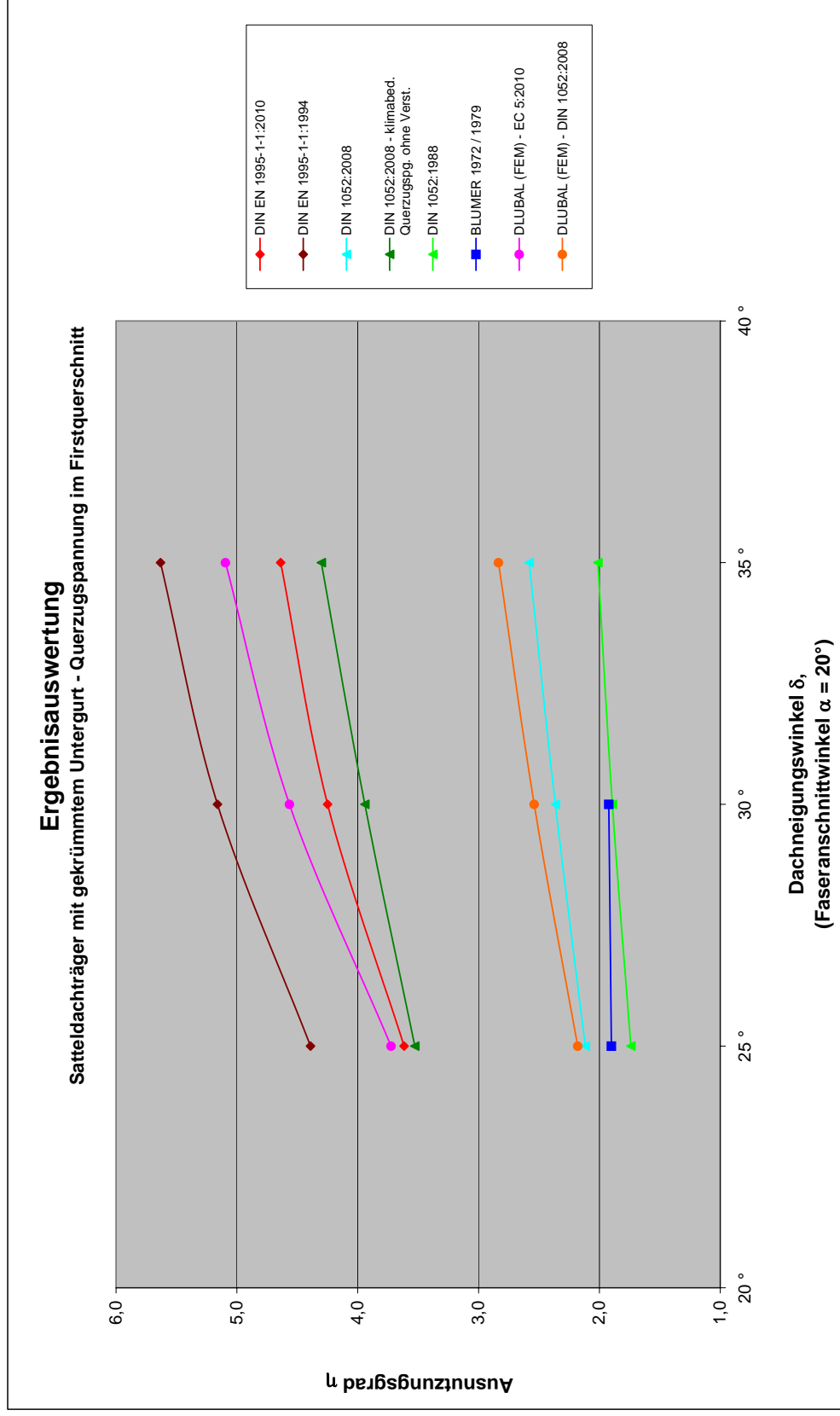


Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad		Dachneigungswinkel δ		Anmerkungen
	25 °	30 °	30 °	35 °	
DIN EN 1995-1-1:2010-12	$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_p = k_5 + k_6 \cdot (h_{ap}/r) + k_7 \cdot (h_{ap}/r)^2 =$ $k_5 = 0,2 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \delta + 2,6 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_7 = 2,1 \cdot \tan \delta - 4 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_{dis} =$ $k_{vo1} = (0,01/V)^{0,2} =$ $\eta = \sigma_{t,90,d} / k_{dis} \cdot k_{vo1} \cdot f_{t,90,d} =$	0,50 MN/m ² 0,11 0,09 0,12 0,12 0,11 1,70 0,293 3,62	0,55 MN/m ² 0,17 0,12 0,25 -0,12 1,70 0,272 4,25	0,58 MN/m ² 0,25 0,14 0,47 -0,49 1,70 0,264 4,64	
DIN EN 1995-1-1:1994-06	$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_p = k_5 + k_6 \cdot (h_{ap}/r) + k_7 \cdot (h_{ap}/r)^2 =$ $k_5 = 0,2 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \delta + 2,6 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_7 = 2,1 \cdot \tan \delta - 4 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_{dis} =$ $k_{vo1} = (0,01/V)^{0,2} =$ $\eta = \sigma_{t,90,d} / k_{dis} \cdot k_{vo1} \cdot f_{t,90,d} =$	0,50 MN/m ² 0,11 0,09 0,12 0,12 0,11 1,40 0,293 4,39	0,55 MN/m ² 0,17 0,12 0,25 -0,12 1,40 0,272 5,16	0,58 MN/m ² 0,25 0,14 0,47 -0,49 1,40 0,264 5,63	
DIN 1052:2008-12	$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot 6 \cdot M_d / b \cdot h_{ap}^2 =$ $k_p = k_5 + k_6 \cdot (h_{ap}/r) + k_7 \cdot (h_{ap}/r)^2 =$ $k_5 = 0,2 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \delta + 2,6 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_7 = 2,1 \cdot \tan \delta - 4 \cdot \tan^2 \delta =$ $k_{dis} =$ $k_{r1} = (h_0/h_{ap})^{0,3} =$ $\eta = \sigma_{t,90,d} / k_{dis} \cdot (h_0/h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d} =$ $\eta / 0,6 =$	0,50 MN/m ² 0,11 0,09 0,12 0,12 0,11 1,30 0,52 2,12 3,53	0,55 MN/m ² 0,17 0,12 0,25 -0,12 1,30 0,51 2,36 3,94	0,58 MN/m ² 0,25 0,14 0,47 -0,49 1,30 0,50 2,58 4,30	zusätzliche, klimabedingte Querspannungen ohne Verstärkung

4 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Querkzugspannung im Firstquerschnittes

Berechnung nach	Berechnungsformel / Nachweis, Beiwerte, Ausnutzungsgrad	Dachneigungswinkel δ		Anmerkungen
		25 °	30 °	
DIN 1052:1988-04	$\sigma_z = \kappa_q \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $\kappa_q = A_q + B_q \cdot (h_{ap}/l) + C_q \cdot (h_{ap}/l)^2 =$ $A_q = 0,2 \cdot \tan^2 \delta =$ $B_q = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \delta + 2,6 \cdot \tan^2 \delta =$ $C_q = 2,1 \cdot \tan \delta - 4 \cdot \tan^2 \delta =$ $\eta = \sigma_z / z_{ulez} =$	0,35 MN/m ² 0,11 0,09 0,12 0,11 1,74	0,38 MN/m ² 0,17 0,12 0,25 -0,12 1,89	0,40 MN/m ² 0,25 0,14 0,47 -0,49 2,01
BLUIMER 1972/1979	$\sigma_z = \kappa_r \cdot 6 \cdot M / b \cdot h_{ap}^2 =$ $\alpha = h_{ap} / (2 \cdot l) =$ $\kappa_r =$ $\eta = \sigma_z / z_{ulez} =$	0,38 MN/m ² 0,08 0,125 1,90	0,38 MN/m ² 0,12 0,170 1,92	keine Angaben aus Tafel 25 - siehe Anlage
DLUBAL (FEM)	$\sigma_{f,90,d} =$	0,52 MN/m ²	0,59 MN/m ²	0,64 MN/m ² siehe Anlage
vgl. mit EC 5:2010	$\eta = \sigma_{f,90,d} / \kappa_{dis} \cdot \kappa_{vol} \cdot f_{t,90,d} =$	3,72	4,56	5,09
vgl. mit DIN 1052:2008	$\eta = \sigma_{f,90,d} / \kappa_{dis} \cdot (h_d/h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d} =$	2,18	2,54	2,84

4 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Querkzugspannung im Firstquerschnitt



4 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Querspannung im Firstquerschnittes**Querschnittsabmessungen**

$h =$	0,50 m	Traufhöhe
$b =$	0,18 m	Trägerbreite
$L =$	24,0 m	Spannweite
$t =$	20 mm	Lamellendicke
$\delta =$	25 °	Dachneigungswinkel
$\beta = \gamma =$	5 °	Neigungswinkel Untergurt = halber Kreissegmentwinkel
$\alpha = \delta - \beta =$	20 °	Faseranschnittwinkel
$r_{in} =$	30,00 m	Innenradius → aus FEM-Modell Dlubal
$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} =$	32,58 m	
$a = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin \gamma =$	5,23 m	Länge der Austrundung
$h_{ap} = h + L/2 \cdot (\tan \delta - \tan \beta) + r_{in} \cdot (1/\cos \gamma - 1) =$	5,16 m	Firsthöhe in Abhängigkeit des Winkels
$h(a) =$	4,06 m	Trägerhöhe am Anschnitt des Austrundungsbereiches
$h_m = h + 2/3 \cdot (h_{ap} - h) =$	3,61 m	gemittelte Höhe
$L / h_m \geq 6$ mit $L / h_m =$	6,7	Längen-zu-Höhen-Verhältnis (Balkentheorie)
$V_l =$	4,60 m³	Volumen des Firstbereiches
$V_b =$	12,15 m³	Gesamtvolumen Träger
$V = \min(V_l \text{ und } 2/3 \cdot V_b) =$	4,60 m³	aus FEM-Modell von DLU

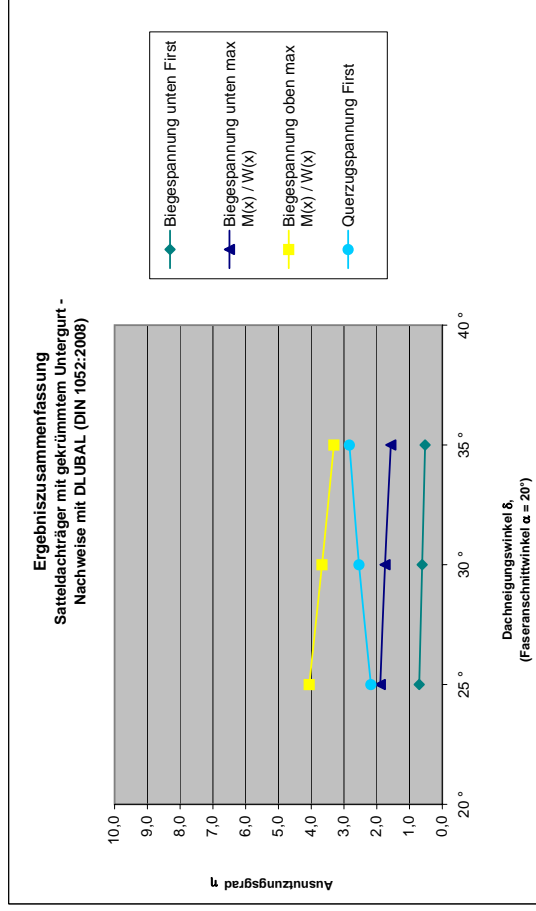
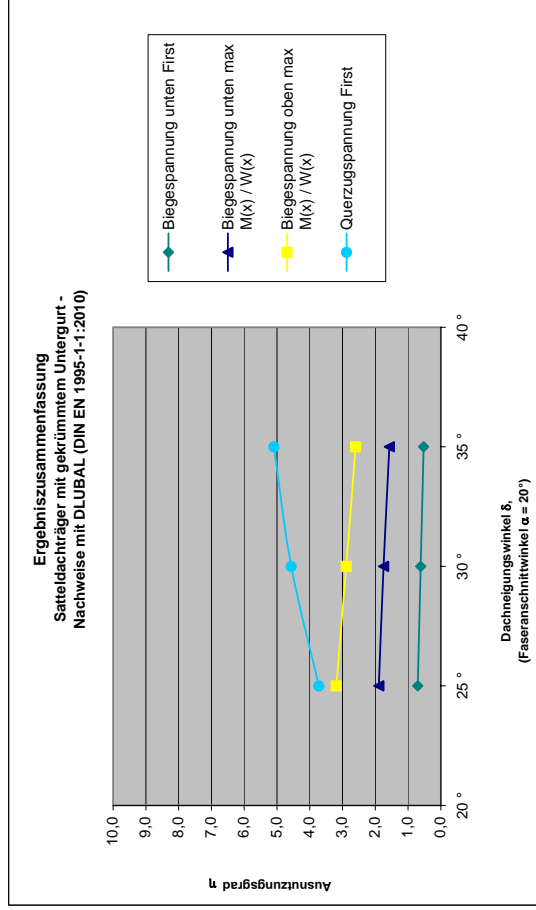
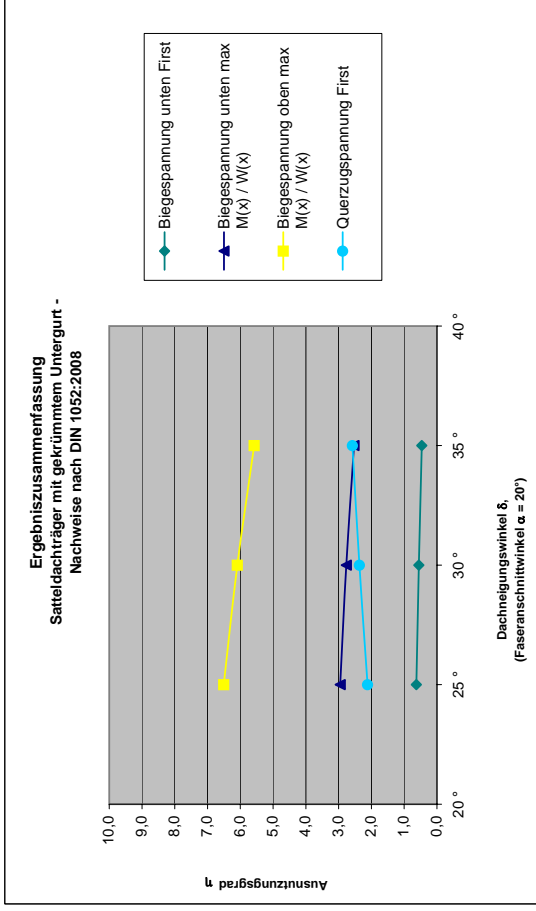
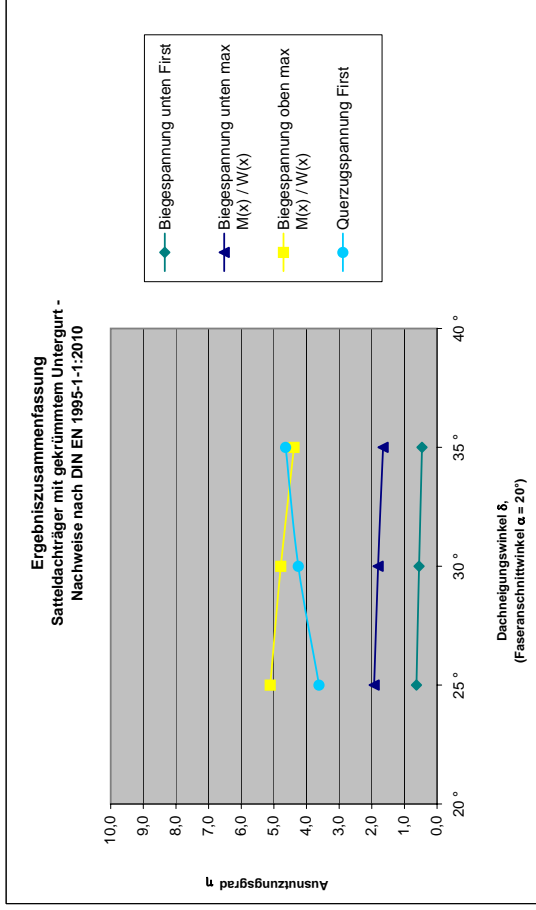
Materialkennwerte

G124h - DIN EN 1194	$f_{t,90,d} =$	0,28 MN/m²
G124h - DIN 1052:2008	$f_{t,90,d} =$	0,35 MN/m²
BS 11 - DIN 1052:1988	zul $\sigma_z =$	0,20 MN/m²

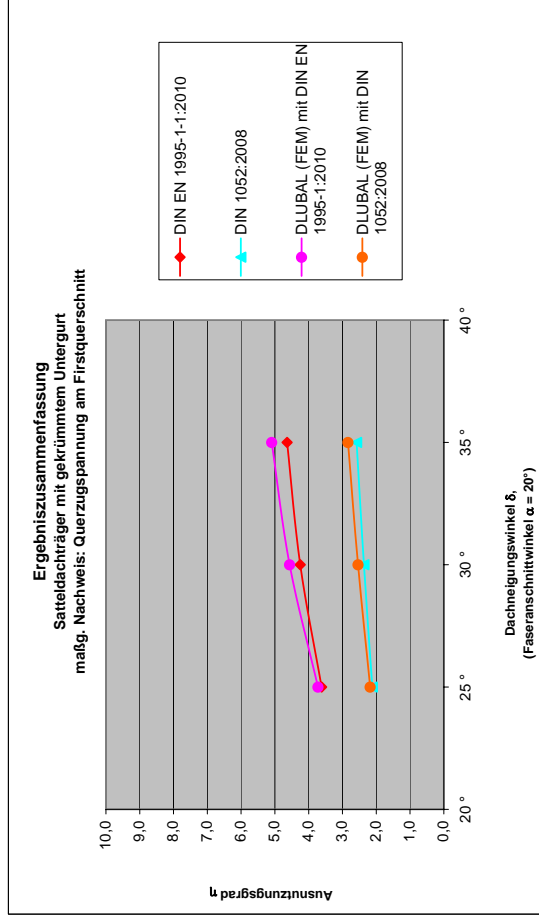
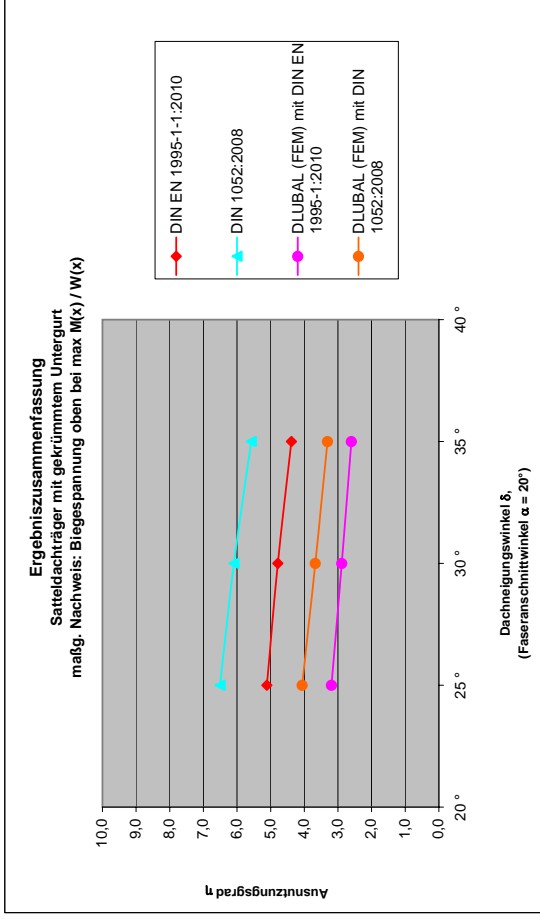
(KLED kurz)
(KLED kurz)**Beanspruchung**

neues Sicherheitskonzept	$M_d =$	3527,6 kNm	2741,6 kNm	Firstmoment } siehe Anlage
altes Sicherheitskonzept	$M =$	2430,0 kNm	1893,9 kNm	

5 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Ergebniszusammenfassung



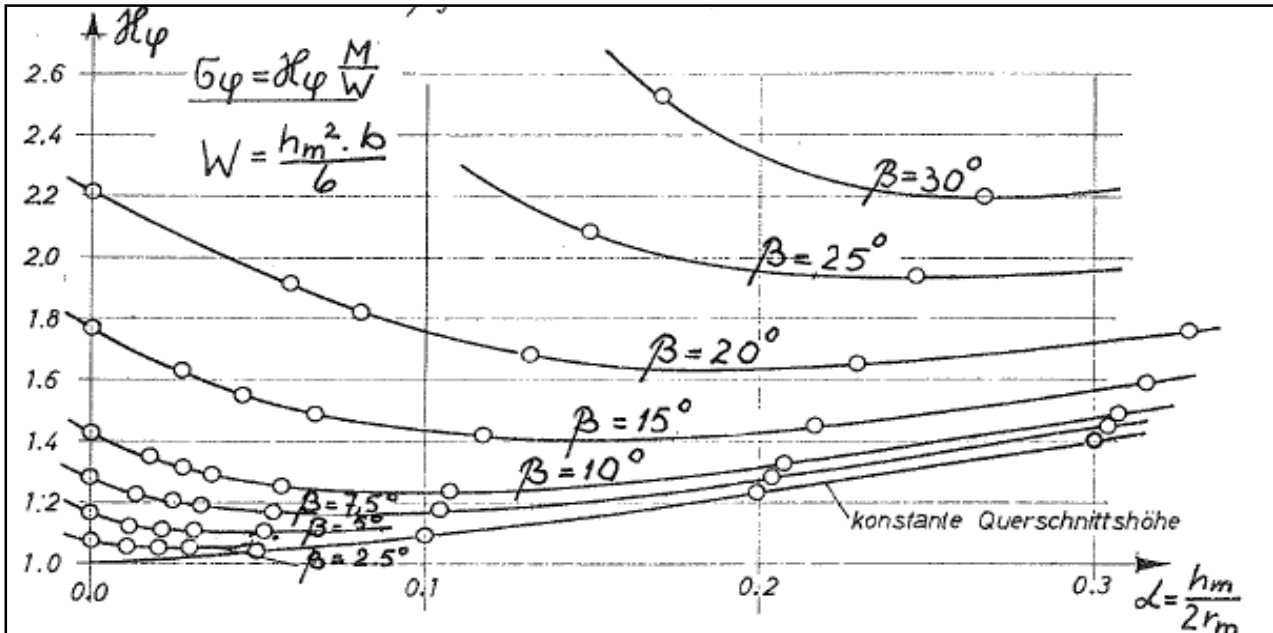
5 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Ergebniszusammenfassung



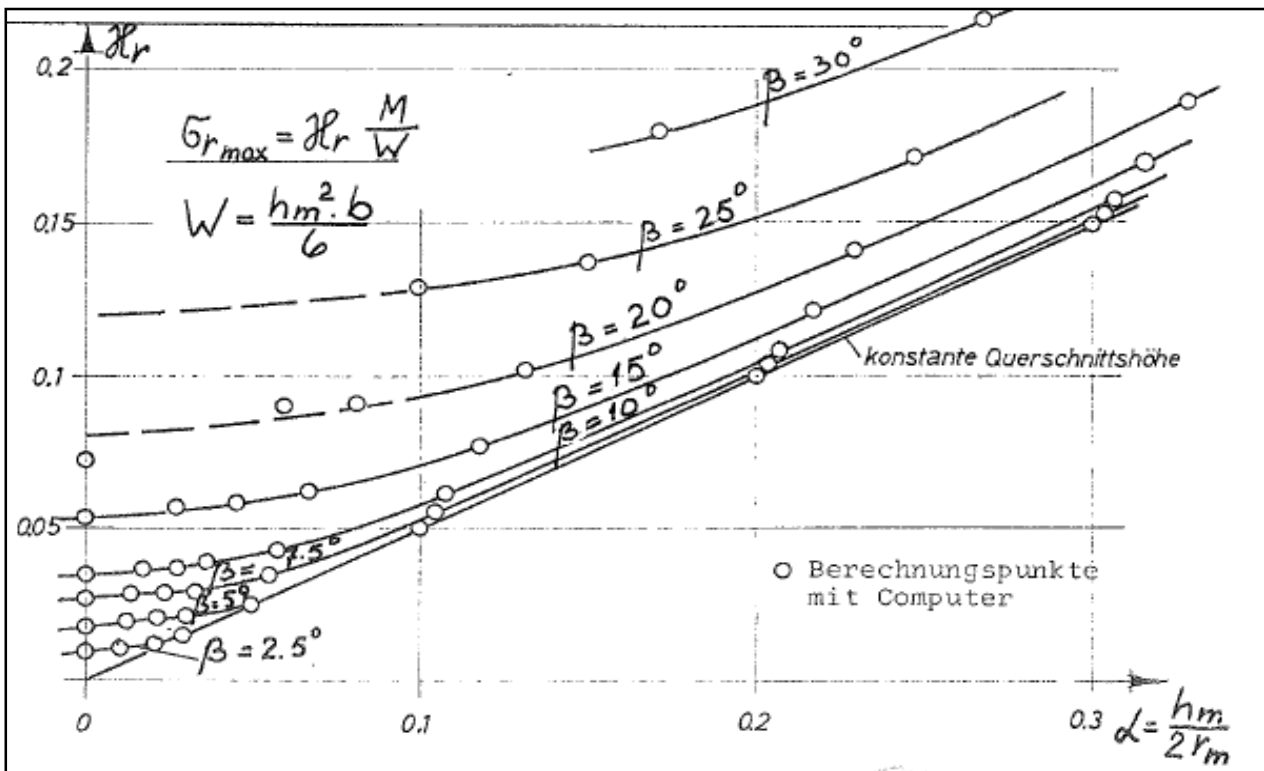
6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

BLUMER 1972/1979 - Tafel 25

Ermittlung der κ_φ -Beiwerte im Firstquerschnittes



Ermittlung der κ_r -Beiwerte am Firstquerschnittes



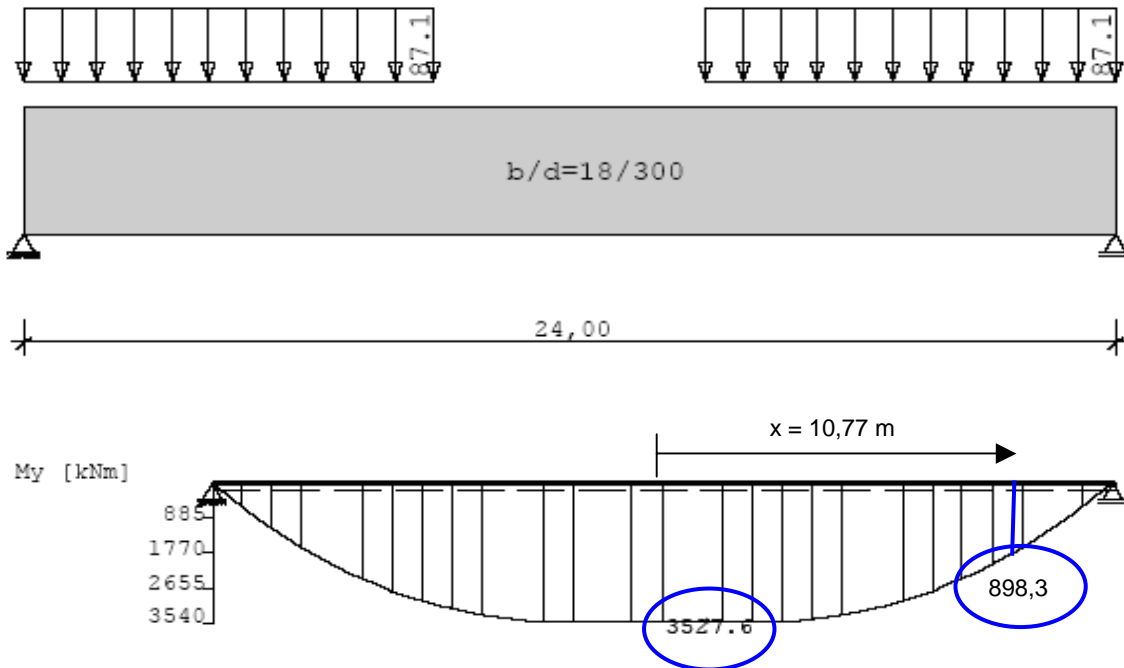
6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

Ersatzsystem zur Ermittlung der Momenten-Beanspruchungen

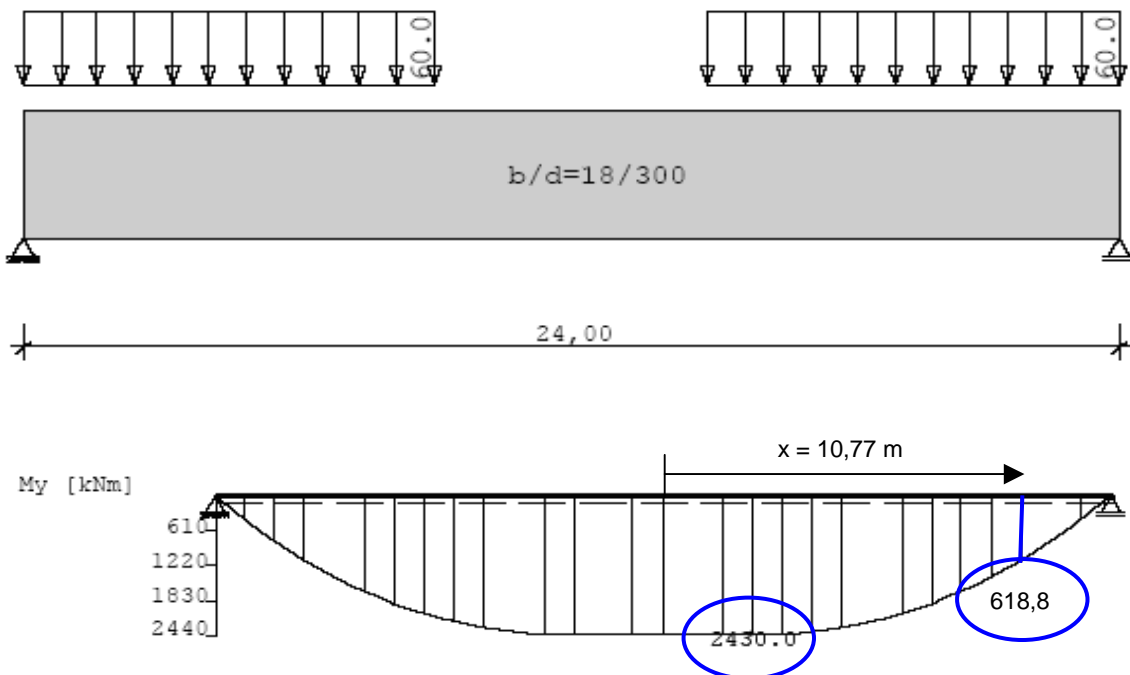
(Berechnung mit dem Programm DLT von F+L)

Neigungswinkel Obergurt 25°, Neigungswinkel Untergurt 5°

- neues Sicherheitskonzept



- altes Sicherheitskonzept



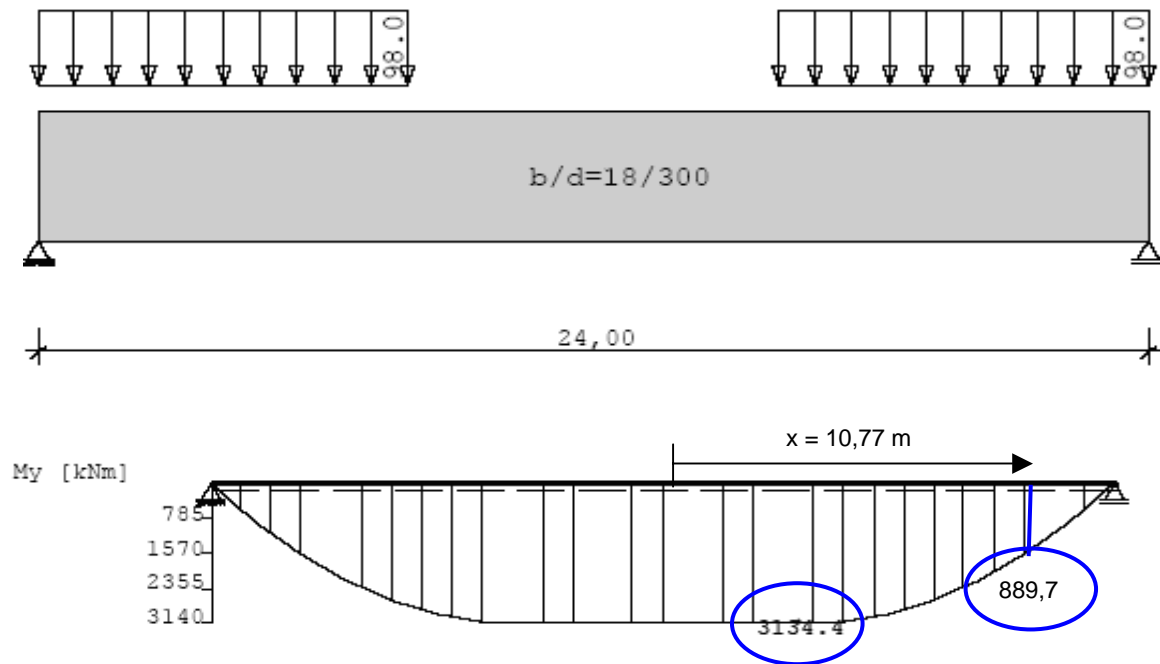
6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

Ersatzsystem zur Ermittlung der Momenten-Beanspruchungen

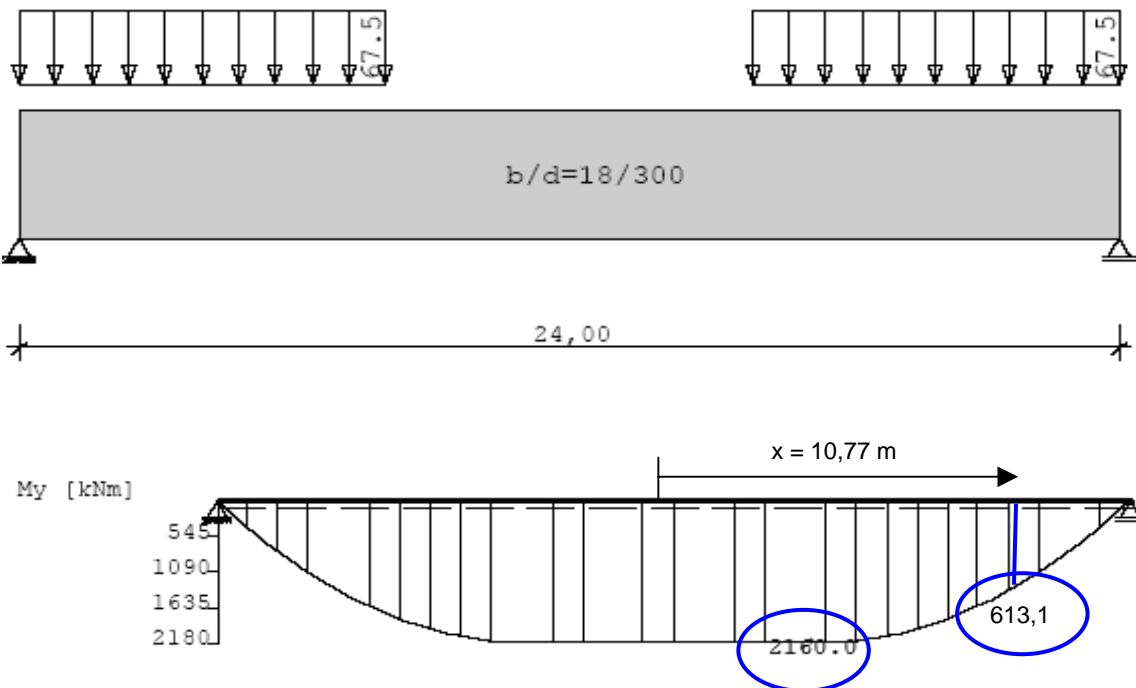
(Berechnung mit dem Programm DLT von F+L)

Neigungswinkel Obergurt 30°, Neigungswinkel Untergurt 10°

- neues Sicherheitskonzept



- altes Sicherheitskonzept

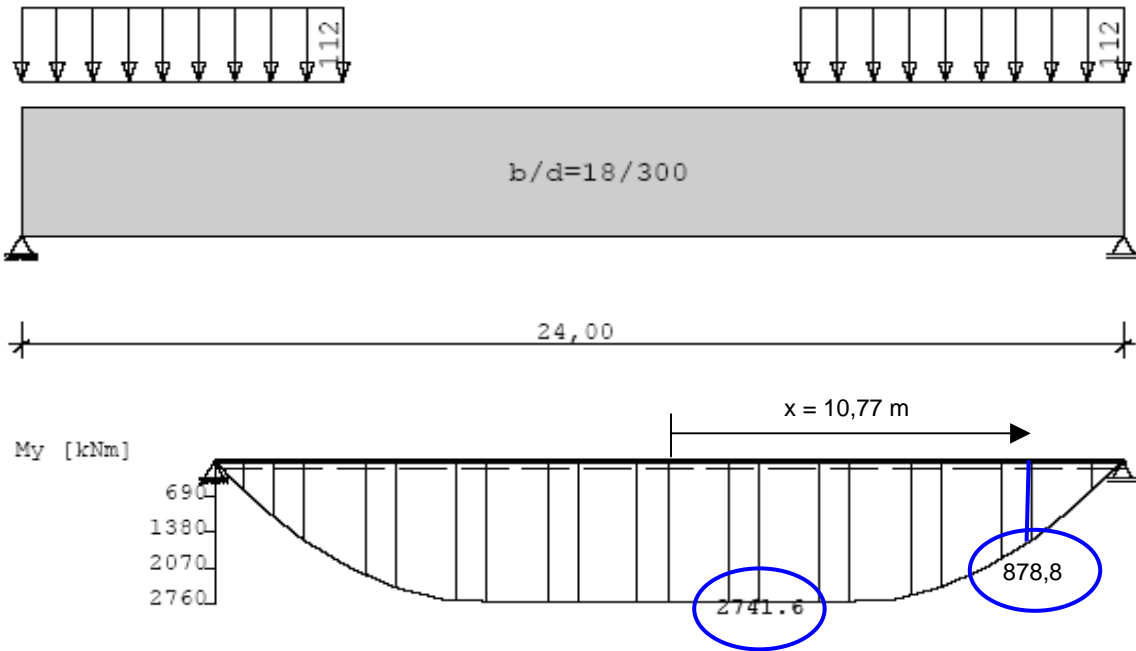


6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

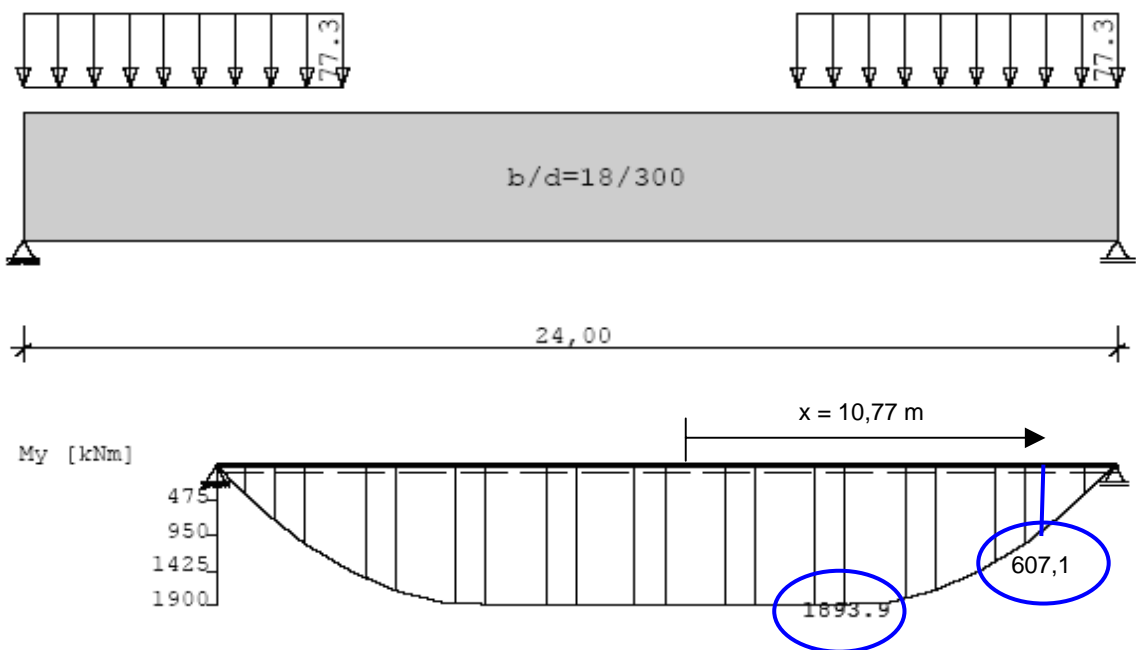
**Ersatzsystem zur Ermittlung der Momenten-Beanspruchungen
(Berechnung mit dem Programm DLT von F+L)**

Neigungswinkel Obergurt 35°, Neigungswinkel Untergurt 15°

- neues Sicherheitskonzept



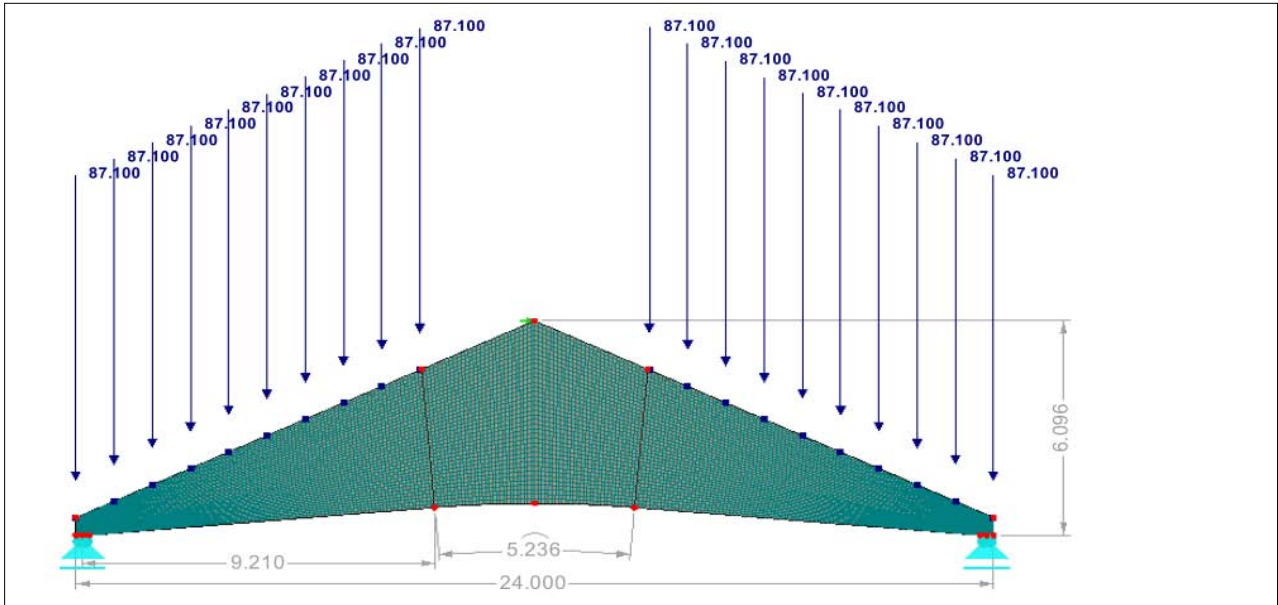
- altes Sicherheitskonzept



6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

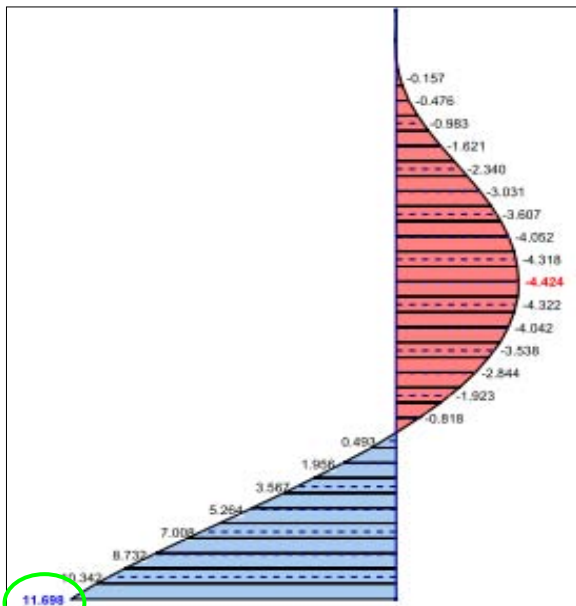
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 25°, Neigungswinkel Untergurt 5°

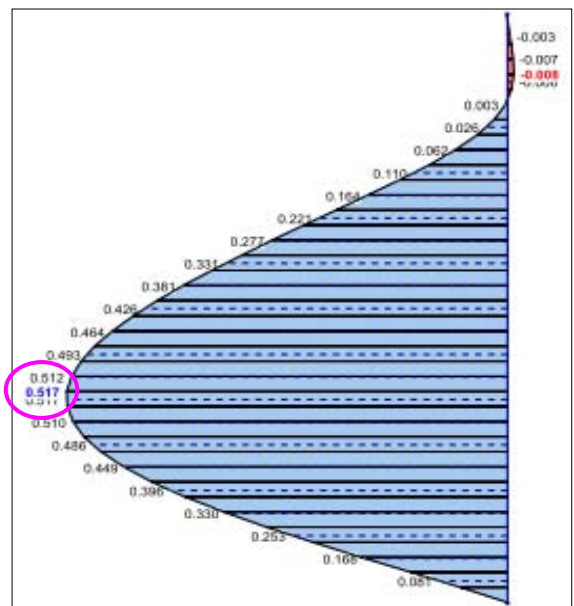


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querzugspannung [MN/m²]



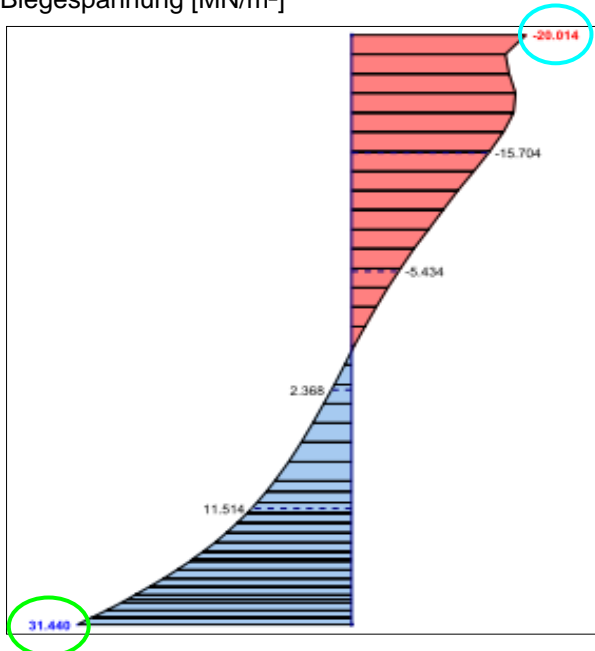
6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 25°, Neigungswinkel Untergurt 5°

Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

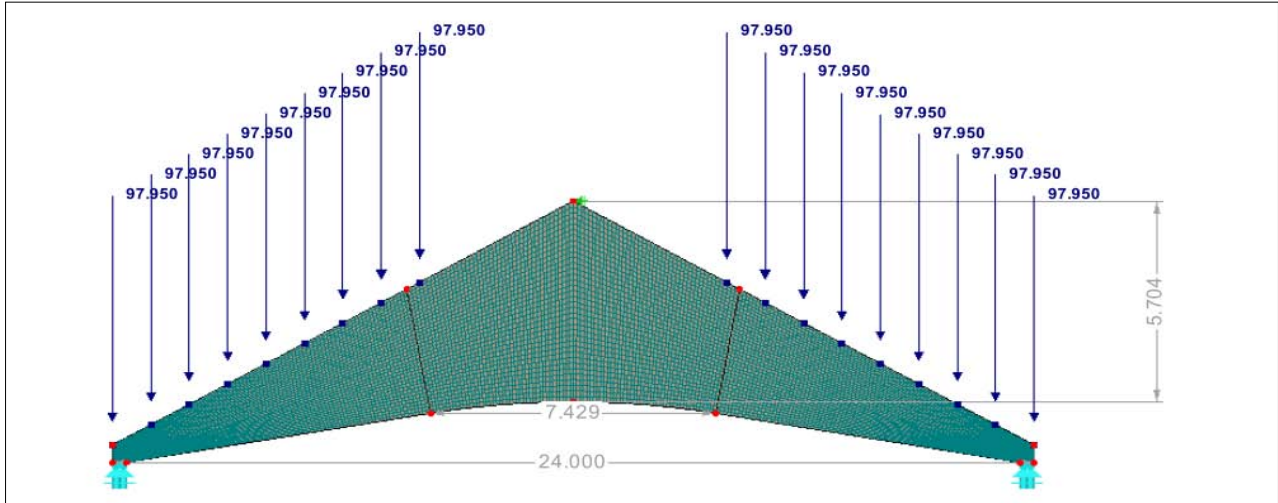
Biegespannung [MN/m²]



6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

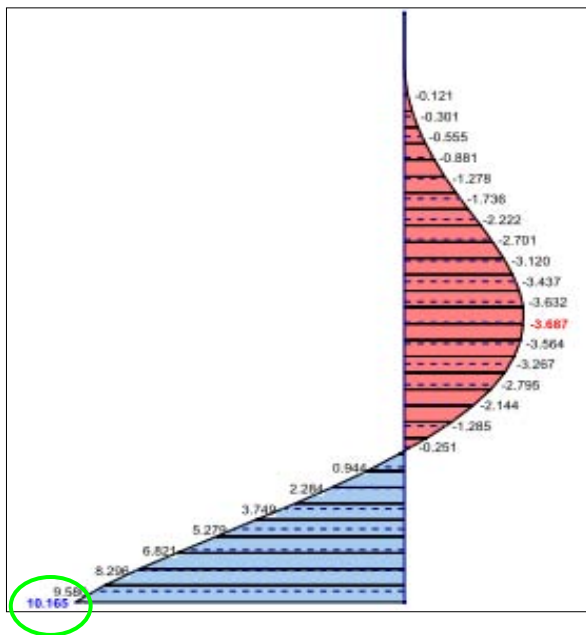
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 30°, Neigungswinkel Untergurt 10°

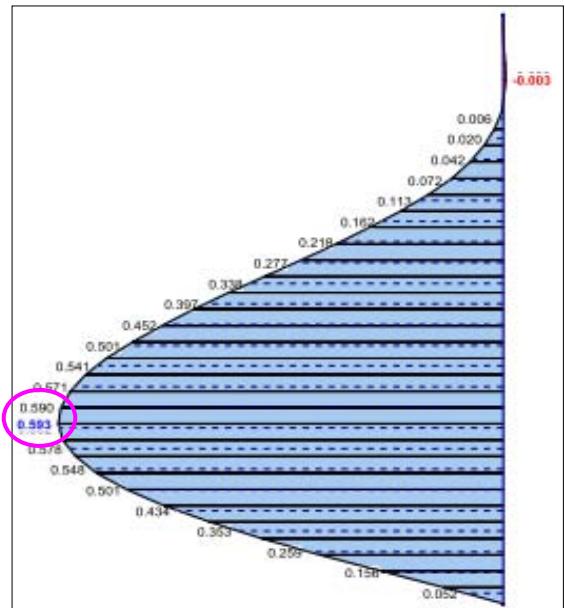


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querzugspannung [MN/m²]



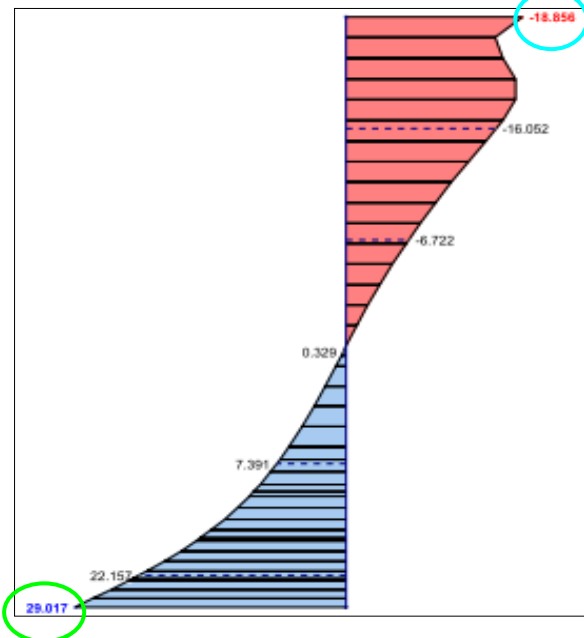
6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 30°, Neigungswinkel Untergurt 10°

Spannungsverlauf bei x = max M/W

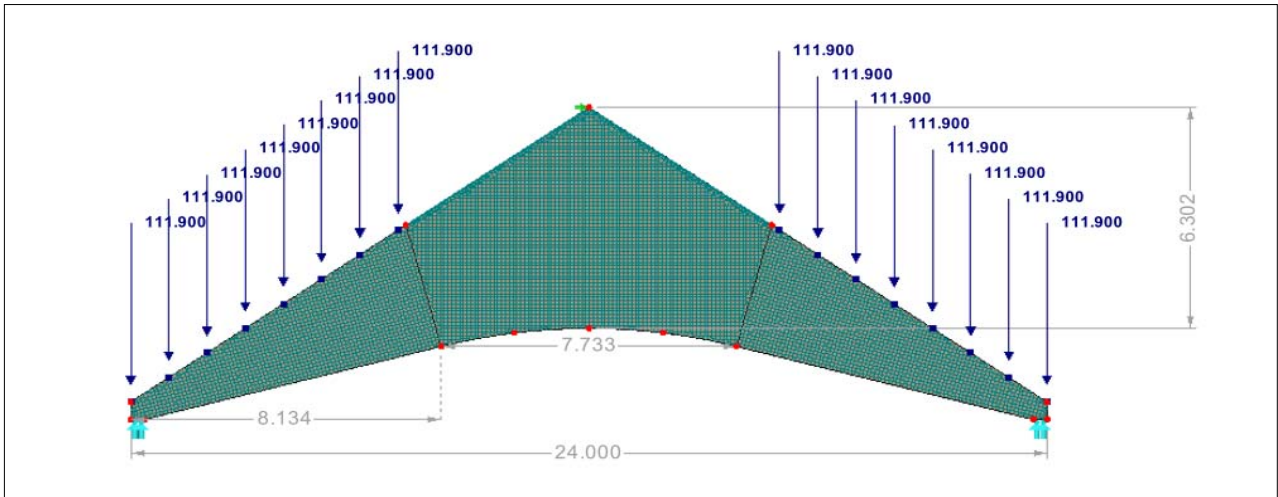
Biegespannung [MN/m²]



6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

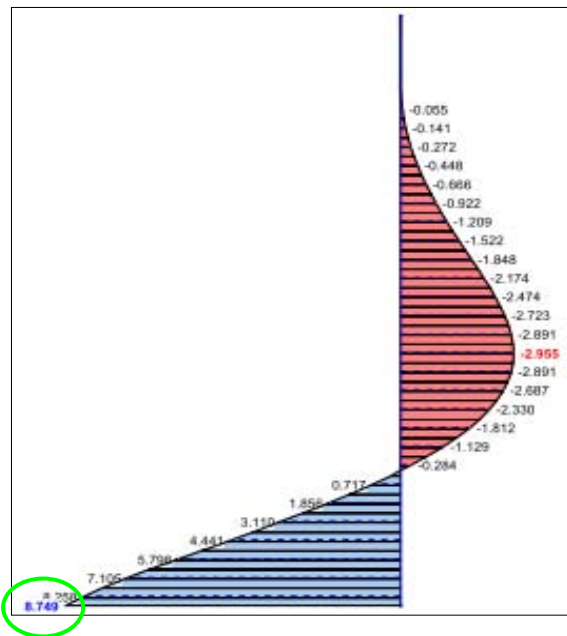
Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 35°, Neigungswinkel Untergurt 15°

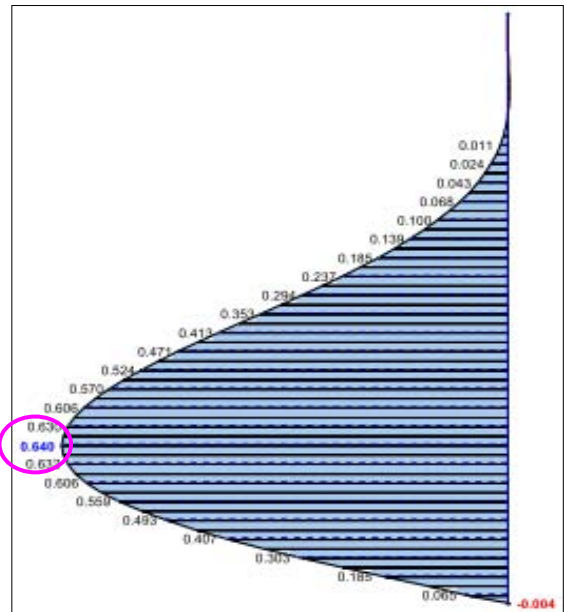


Spannungsverlauf im Firstquerschnitt

Biegespannung [MN/m²]



Querzugspannung [MN/m²]



6 - Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt - Anlagen

Ergebnisse DLUBAL

Neigungswinkel Obergurt 35°, Neigungswinkel Untergurt 15°

Spannungsverlauf bei $x = \max M/W$

Biegespannung [MN/m²]

