

**Regelungsentwurf
für
Balkenschuhe**

zum Zwecke der
Anwendung von Balkenschuhanschlüssen
bei der Bemessung nach DINV ENV 1995-1-1
(Eurocode 5) - Entwurf, Berechnung und
Bemessung von Holzbauwerken

von

Jürgen Ehlbeck und Rainer Görlacher
Karlsruhe

unter Mitwirkung von
Hans-Joachim Blaß, Delft

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe, im Dezember 1994

Anwendbarkeit von Balkenschuhen für Holzbauwerke

nach ENV 1995-1-1

- Grundlagen zur Erarbeitung eines Regelungsentwurfes -

1 Allgemeines

Die Einführung von Eurocode 5, der zukünftigen europäischen Bemessungsnorm für Holzkonstruktionen, die auf der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte aufgebaut ist, bedeutet eine Änderung des Normenformates in der Bundesrepublik Deutschland. Wegen dieses Wechsels des Normenformates von zulässigen Werten hin zu Teilsicherheitsbeiwerten ist die Kenntnis charakteristischer Werte der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Baustoffen und Verbindungsmitteln notwendig. Für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln sind charakteristische Werte zur Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit in Eurocode 5 angegeben. Diese Werte erlauben - zusammen mit dem Nationalen Anwendungsdokument zum Eurocode 5 - während der ENV-Phase die Bemessung von Holzkonstruktionen mit entsprechenden Verbindungen alternativ nach DIN 1052 bzw. nach Eurocode 5.

Für Verbindungen wie Balkenschuhe, deren Tragfähigkeit rechnerisch nicht eindeutig erfaßt werden kann, werden zum Nachweis der Tragfähigkeit auch bei der Anwendung des Eurocode 5 allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen notwendig bleiben. Hierzu sind die bestehenden bauaufsichtlichen Zulassungen mit charakteristischen Werten bzw. Bemessungswerten der Tragfähigkeit zu ergänzen.

2 Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit von Verbindungen mit Stahlblechformteilen wird sowohl von der Tragfähigkeit der Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen als auch von der Tragfähigkeit der Blechformteile und der zu verbindenden Hölzer bestimmt. Wie zahlreiche Versuche mit den in Deutschland bauaufsichtlich zugelassenen Balkenschuhen gezeigt haben (siehe z.B. Ehlbeck und Görlacher, 1984b), tritt bei diesen Balkenschuhverbindungen entweder ein Versagen im Nebenträger, Querzugversagen im Hauptträger oder aber ein Versagen einer Nagelverbindung auf. Ein Versagen

des Balkenschuhs selbst konnte nicht beobachtet werden. Zur Bestimmung von Tragfähigkeitswerten für den Nachweis von Balkenschuhen werden daher zunächst die Tragfähigkeiten der Nagelverbindungen für in ihrer Symmetrieebene belastete Balkenschuhe nach Eurocode 5 bestimmt. Anschließend wird ein Verfahren zum Quersugnachweis des Hauptträgers dargestellt. Der Nachweis des Nebenträgers kann nach den Rechenregeln des Eurocode 5 durchgeführt werden. Schließlich wird das in den bestehenden Zulassungen angegebene Verfahren zur Bestimmung der zulässigen Belastung von zweiachsig beanspruchten Balkenschuhen auf den Nachweis der Tragfähigkeit nach den Regeln des Eurocode 5 übertragen.

Eine in der Symmetrieebene des Balkenschuhs wirkende Last wird vom Nebenträger über die Nagelverbindung Nebenträger-Balkenschuh und über Kontakt mit der Bodenplatte in den Balkenschuh übertragen. Die Weiterleitung der Kraft in den Hauptträger erfolgt über die Nagelverbindung Balkenschuh-Hauptträger. Für die Ermittlung der Tragfähigkeit des Balkenschuhs wird angenommen, daß die Auflagerkraft des Nebenträgers im Schwerpunkt der Nagelverbindung Nebenträger - Balkenschuh angreift. Die Kraftübertragung über die Bodenplatte des Balkenschuhs wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Die Nagelverbindung Balkenschuh-Hauptträger wird demzufolge durch eine ausmittige Kraft beansprucht, die eine kombinierte Beanspruchung dieser Nägel auf Abscheren und Herausziehen verursacht.

2.1 *Nagelbeanspruchung des Hauptträgeranschlusses*

Wegen des ausmittigen Anschlusses wird ein Teil der Nägel gleichzeitig auf Abscheren und Herausziehen beansprucht. Die Beanspruchung F_{la} je Nagel auf Abscheren aus der Anschlußkraft F ergibt sich mit der Nagelanzahl n_H unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung auf sämtliche Nägel des Anschlusses zu

$$F_{la} = \frac{F}{n_H} \quad (1)$$

Für den am ungünstigsten beanspruchten Nagel ergibt sich die Ausziehkomponente F_{ax} mit dem Moment $F e$, dem polaren Trägheitsmoment des Nagelanschlußbildes I_p und dem Abstand z_{max} des obersten Nagels vom Drehpunkt des Nebenträgerquerschnitts zu

$$F_{ax} = \frac{F e z_{max}}{I_p} \quad (2)$$

Für den betrachteten Fall des torsionssteifen Hauptträgers liegt der Drehpunkt des Nebenträgerquerschnitts nicht im Schwerpunkt des Hauptträgeranschlusses. Versuche zeigen, daß sich beim Erreichen der Tragfähigkeit des Anschlusses "der Balkenschuh infolge des auf den Hauptträgeranschluß wirkenden Momentes im unteren Bereich stark in den Hauptträger eindrückt und sich im oberen Bereich der am Hauptträger anliegende Winkelschenkel im Eckbereich vom Holz löst" (Gutachten Prof. Möhler, 1979). Das Eindrücken an der Unterseite des Balkenschuhs in den Hauptträger bedeutet, daß ein Teil der Last über Reibung übertragen wird. Dieser günstige Einfluß wird nachfolgend jedoch vernachlässigt. Für die folgenden Ableitungen wird die Lage des Drehpunktes 10 mm oberhalb der Unterkante des Nebenträgers angenommen (siehe Abb. 1). Daraus ergibt sich das polare Trägheitsmoment des Hauptträgeranschlusses zu

$$I_p = \sum_{i=1}^{n_H} z_i^2 \quad (3)$$

wobei z_i der Abstand des Nagels i vom Drehpunkt des Nebenträgerquerschnittes, also 10 mm oberhalb der Unterkante des Nebenträgers ist. Mit der Interaktionsbedingung (Gleichung 6.3.3b des Eurocode 5) für Rillen- und Schraubnägeln

$$\left(\frac{F_{ax}}{R_{ax}} \right)^2 + \left(\frac{F_{la}}{R_{la}} \right)^2 \leq 1 \quad (4)$$

folgt die Querkrafttragfähigkeit des betrachteten Anschlusses zu

$$F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H R_{la}} \right)^2 + \left(\frac{e z_{max}}{I_p R_{ax}} \right)^2}} \quad (5)$$

R_{ax} und R_{la} sind die Werte der Tragfähigkeit der Nagelverbindung im Falle der alleinigen Beanspruchung in Schaftrichtung bzw. rechtwinklig zur Nagelachse. Zur Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit sind in Gleichung (5) die Bemessungswerte der Tragfähigkeit $R_{ax,d}$ bzw. $R_{la,d}$ einzusetzen. Diese wiederum sind nach der Gleichung 6.3.2a (für $R_{ax,d}$) bzw. den Gleichungen 6.2.2a/b oder 6.2.2c/d (für $R_{la,d}$) des Eurocode zu berechnen.

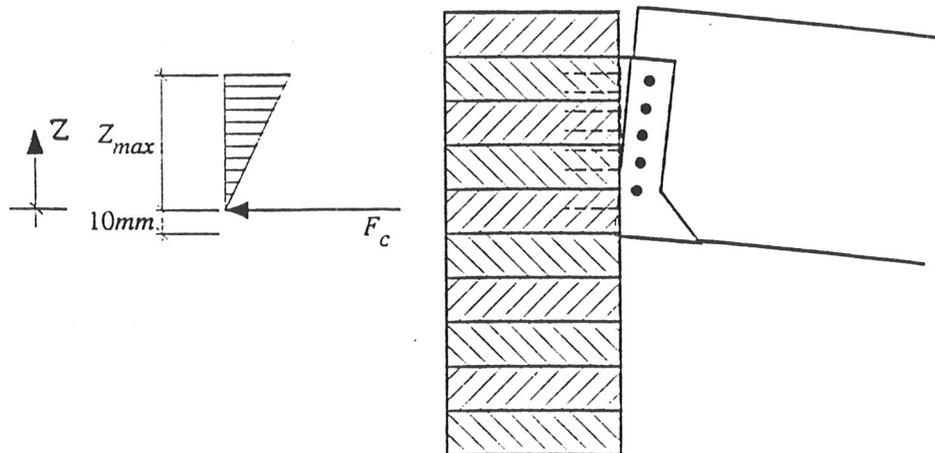


Abb. 1 Angenommene Verteilung der Ausziehkräfte im Hauptträgeranschluß. F_c ist die durch Kontakt übertragene Druckkraft.

Die Rechenregeln zur Bestimmung der charakteristischen Werte der Tragfähigkeit von Nagelverbindungen nach Eurocode 5 sind unter der Voraussetzung bestimmter Mindestnagelabstände festgelegt worden. Bevor die Tragfähigkeit nach Eurocode 5 bestimmt wird, ist daher zu überprüfen, ob die Mindestabstände bei den Balkenschuhanschlüssen auch eingehalten sind. Bei den Mindestnagelabständen ist zu unterscheiden zwischen Abständen untereinander bzw. Abständen zum Rand. Zur Definition der Abstände wird auf Eurocode 5, Bild 6.3.1.2a verwiesen. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Mindestabstände untereinander nach Eurocode 5 den entsprechenden Werten bei den verschiedenen Balkenschuhen gegenübergestellt. Hierbei ist berücksichtigt, daß bei Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen die 0,7-fachen Werte der Abstände untereinander für Holz-Holz-Nagelverbindungen gelten (siehe Eurocode 5, Abschnitt 6.3.1.4(2)).

Tabelle 1 Vergleich der Mindestnagelabstände nach Eurocode 5 mit den Werten bei Balkenschuhen in *mm* (Kleinstwert - häufigster Wert - GrößtWert).

	Hauptträgeranschluß		Nebenträgeranschluß	
	EC 5	Balkenschuh	EC 5	Balkenschuh
a_1	14	17,5 -20 - 24,75	14	-
a_2	14	20 - 22,5	14	20 - 22,5
$a_{3,t}$	40	≥ 40	40	25 - 29 -47
$a_{3,c}$	40	≥ 40	40	25 - 29 - 47
$a_{4,t}$	40	≥ 40	40	≥ 40
$a_{4,c}$	20	≥ 20	20	>20

Ein Vergleich der Rand- bzw. Endabstände nach Eurocode 5 mit den Werten der Balkenschuhe ist ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt. Bei den Werten der Tabelle 1 wurde von einem Winkel zwischen Kraft- und Holzfaserrichtung von 90° , einer charakteristischen Rohdichte des Holzes ρ_k von weniger als 420 kg/m^3 und einem Nenndurchmesser der Nägel von $4,0 \text{ mm}$ ausgegangen. Die Werte gelten für nicht vorgebohrte Nagellöcher.

Die Randabstände a_4 bei den Nagelanschlüssen der Balkenschuhe sind stets größer als die Mindestwerte nach Eurocode 5 bzw. werden durch entsprechende Mindesthöhen der Haupt- und Nebenträger eingehalten. Dasselbe gilt für die Endabstände a_3 im Hauptträger, d.h. die Abstände zum Hirnholzende. Lediglich der Abstand vom Hirnholzende des Nebenträgers von 25 mm unterschreitet den Mindestwert nach Eurocode 5 von 40 mm . Im folgenden wird dennoch mit den vollen Tragfähigkeitswerten nach Eurocode 5 gerechnet, da eine eventuelle Verminderung der Tragfähigkeit des Nagelanschlusses am Nebenträger durch den Kontakt in der Bodenplatte, der bei der rechnerischen Bestimmung der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt wird, mehr als ausgeglichen werden kann. Die Gefahr des Aufspaltens des Nebenträgers vom Hirnholzende her wurde bisher in keinem Tragfähigkeitsversuch beobachtet. Die bestehenden Zulassungen haben daher auch keine Einschränkungen für die zulässigen Belastungen vorgesehen.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $R_{la,d}$ pro Verbindungsmittel für einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen mit dünnen Stahlblechen (d.h. für $t \leq 0,5 d$ mit t als Blechdicke) sollte nach Eurocode 5 als kleinerer der sich aus den beiden folgenden Gleichungen ergebenden Werte angenommen werden:

$$R_{la,d} = \min \begin{cases} (\sqrt{2} - 1) f_{h,1,d} t_1 d \\ 1,1 \sqrt{2M_{y,d}} f_{h,1,d} d \end{cases} \quad (6)$$

Bei Verbindungen mit dicken Stahlblechen (d.h. für $t \geq d$) sollte der Bemessungswert der Tragfähigkeit $R_{la,d}$ als kleinerer der sich aus den beiden folgenden Gleichungen ergebenden Werte angenommen werden:

$$R_{la,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 1,5 \sqrt{2M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{array} \right. \quad (7)$$

Der Unterschied zwischen den Gleichungen (6) bzw. (7) wird durch den Einspanngrad des Nagels im Stahlblech erklärt. Die Versagensmechanismen, denen Gleichung (6) zugrunde liegt, gehen davon aus, daß der Nagel sich im Stahlblech frei verdrehen kann. Bei Gleichung (7) hingegen wird davon ausgegangen, daß der Nagel im Blech eingespannt wird und sich dadurch im Versagenszustand ein plastisches Moment im Stift direkt unter dem Stahlblech ausbildet. Wegen der speziellen Form der Rillennägel mit einem Konus unter dem Nagelkopf und der darauf abgestimmten vorgeschriebenen Durchmesser der Löcher im Stahlblech ist eine freie Verdrehung des 4 mm dicken Nagels auch in 2 mm dicken Stahlblechen nicht möglich. Bei einer Belastung der Verbindung auf Abscheren wird daher der Nagel auch im Blech von 2 mm Dicke eingespannt. Falls die Einspannwirkung so groß ist, daß sich ein plastisches Moment direkt unter dem Stahlblech ausbildet, kann man daher Gleichung (7) zur Ermittlung der Tragfähigkeit anwenden. Tragfähigkeitsversuche mit Stahlblech-Holz Nagelverbindungen mit 4 mm dicken Rillennägeln und 2 mm dicken Stahlblechen zeigen in der Tat plastische Biegeverformungen der Nägel in der Nähe des Kopfes. Der in Abb. 2 gezeigte Nagel wurde nach einem Versuch aus dem Hauptträgeranschluß eines Balkenschuhs entfernt. Es sind deutlich die beiden Fließgelenke zu erkennen, die dem Versagensmechanismus entsprechen, der zu Gleichung (7) führt.

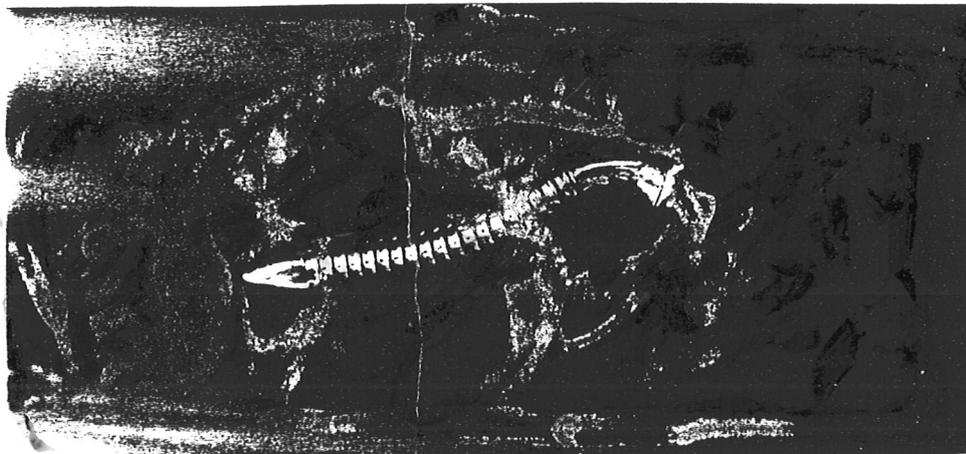


Abb. 2 Rillennagel mit Fließgelenken aus einer geprüften Stahlblech-Holz-Nagelverbindung.

Auch bisher unveröffentlichte Forschungsergebnisse (Görlacher, 1994) bestätigen diesen Versagensmechanismus für Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen mit 4 mm dicken Rillennägeln (mit konischen Schaftansatz unter dem Nagelkopf) und Stahlblechen mit einer Dicke von 2 mm.

Aus diesen Gründen wird nachfolgend mit den Bemessungswerten nach Gleichung (7) gerechnet.

Der charakteristische Wert der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,1,k}$ ergibt sich in Abhängigkeit vom Nageldurchmesser d und der charakteristischen Rohdichte des Holzes ρ_k für nicht vorgebohrte Hölzer entsprechend Gleichung 6.3.1.2a des Eurocode 5 zu

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

Dabei sind ρ_k die charakteristische Rohdichte in kg/m^3 und d der Durchmesser in mm .

Der charakteristische Wert des Fließmoments sollte für profilierte Nägel aus Biegeversuchen ermittelt werden, da eine rechnerische Bestimmung über das plastische Widerstandsmoment und die Fließspannung des Nageldrahtes wegen der Querschnittsform und des Härtens während des Herstellens (work hardening) rechnerisch nicht eindeutig möglich ist. Werner und Siebert (1991) haben für die bei Balkenschuhen verwendeten Rillennägel solche Biegeversuche durchgeführt und veröffentlicht. Die nachstehende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen.

Tabelle 2 Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Fließmomente von Rillennägeln aus Nagelbiegeversuchen (aus Werner und Siebert, 1991)

Größe	Anzahl Versuche	Oberfläche/ Ausführung	Fließmoment M_y [Nm]	Variationskoeffizient [%]
4,0 x 75	10	Galvanisiert	7,24	2,2
4,0 x 75	10	Galvanisiert	6,65	1,6
4,0 x 50	10	Nichtrostend	9,09	0,8
4,0 x 60	10	Galvanisiert	7,50	1,0
4,0 x 75	5	Galvanisiert	8,11	0,8

Für die Ermittlung des charakteristischen Wertes des Fließmomentes können die Werte für die galvanisierten Nägel aus Tabelle 2 zusammengefaßt werden. Daraus ergibt sich ein gewich-

tetes Mittel von $7,27 \text{ Nm}$ mit einem Variationskoeffizienten von $7,2\%$. Mit dem Verfahren entsprechend Anhang A des Eurocode 5 resultiert daraus ein charakteristischer Wert des Fließmoments $M_{y,k}$ von $6,37 \text{ Nm}$. Nach dem Entwurf zum deutschen Nationalen Anwendungsdokument zu Eurocode 5 kann jedoch mit $M_{y,k} = 180 d^{2,6} \text{ Nmm}$ auch für Rillennägel gerechnet werden. Hierin ist für d der Durchmesser d_n des glattschaftigen Teiles einzusetzen. Für Nägel mit einem Durchmesser $d_n = 4,0 \text{ mm}$ ergibt sich daraus ein charakteristischer Wert des Fließmoments $M_{y,k}$ von $6,62 \text{ Nm}$. Dieser Wert wird den nachfolgenden Auswertungen zugrundegelegt, da er damit dem anzuwendenden Verfahren während der Erprobungsphase des Eurocode 5 gerecht wird.

Der Bemessungswert des Ausziehwerstandes von Rillen- und Schraubnägeln bei Nagelung rechtwinklig zur Holzfaserrichtung wird nach Eurocode 5 unter der Voraussetzung, daß der Fall des Kopfdurchziehens nicht auftreten kann, angenommen zu

$$R_d = f_{1,d} d l \quad (9)$$

Dabei ist $f_{1,d}$ der Bemessungswert des Parameters des Ausziehwerstandes, d der Nageldurchmesser und l die Einschlagtiefe in mm , die für Rillen- und Sondernägel mindestens $8d$ betragen muß. Dabei ist jedoch zu beachten, daß lediglich der gerillte Teil des Nagelschaftes in Rechnung gestellt werden darf.

Zur Ermittlung des charakteristischen Wertes $f_{1,k}$ des Parameters des Ausziehwerstandes wird auf die von Werner und Siebert (1991) veröffentlichten Versuchsergebnisse zurückgegriffen. Für eine charakteristische Rohdichte ρ_k von 380 kg/m^3 ergibt sich dort ein 5%-Fraktilwert des Ausziehwerstandes von Rillennägeln in Fichtenholz von $9,4 \text{ N/mm}^2$. Dieser Wert wird nachfolgend für die Bestimmung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit von Balkenschuhen zugrundegelegt. Für die Nagellängen $40\text{-}50\text{-}60$ und 70 mm wurden als wirksame Einschlagtiefe $30\text{-}35\text{-}45$ und 50 mm angesetzt. Dies wird von den Sondernägeln mit Einstufungsschein eingehalten, bzw. in den meisten Fällen überschritten.

Für unterschiedliche Werte des modifizierenden Faktors k_{mod} sind die sich ergebenden Bemessungswerte der Tragfähigkeit F_d nach Gleichung (5) des Hauptträgeranschlusses in Tabelle 3 zusammengefaßt. In Tabelle 3 sind lediglich die wesentlichen Grundformen der z Zt. bauaufsichtlich zugelassenen Balkenschuhe berücksichtigt. Mit $k_{mod} = 0,5$ bis $k_{mod} = 1,1$ sind sämtliche Klassen der Lasteinwirkungsdauer in den Nutzungsklassen 1 bis 3 für Vollholz und Brettschichtholz abgedeckt. Der zugrundegelegte Wert der charakteristischen Rohdichte beträgt $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$.

Tabelle 3 F_d [kN] aus dem Bemessungswert der Tragfähigkeit des Hauptträgeranschlusses für unterschiedliche Werte k_{mod} .

Balkenschuh $B \times H$	F_d [kN]					
	$k_{mod} = 0,5$	$k_{mod} = 0,6$	$k_{mod} = 0,7$	$k_{mod} = 0,8$	$k_{mod} = 0,9$	$k_{mod} = 1,1$
60 x 100	6,00	7,09	8,18	9,25	10,3	12,2
80 x 100	6,64	7,88	8,96	10,0	11,0	12,9
80 x 120	9,67	11,4	12,9	14,3	15,7	18,2
80 x 140	12,8	15,1	17,0	18,8	20,4	23,5
100 x 120	9,85	11,6	13,1	14,6	15,9	18,4
100 x 140	12,8	15,1	17,0	18,8	20,4	23,5
100 x 160	16,4	19,3	21,5	23,7	25,7	29,4
120 x 140	15,1	17,2	19,2	21,0	22,7	25,8
120 x 160	18,8	21,3	23,6	25,8	27,8	31,4
120 x 180	22,6	25,5	28,1	30,6	32,9	37,1
140 x 160	18,8	21,3	23,6	25,8	27,8	31,4
140 x 180	22,6	25,5	28,1	30,6	32,9	37,1
100 x 240	26,7	31,5	35,4	39,1	42,6	49,1
100 x 280	34,1	40,1	44,8	49,2	53,4	61,1
100 x 300	37,9	44,4	49,5	54,3	58,8	67,1
100 x 320	41,7	48,8	54,3	59,4	64,2	73,0
120 x 240	32,0	36,4	40,5	44,3	47,8	54,4
120 x 280	40,4	45,6	50,3	54,7	58,9	66,5
120 x 300	44,3	49,9	55,0	59,7	64,2	72,3
120 x 320	48,3	54,2	59,7	64,7	69,4	78,1
140 x 200	24,3	27,8	31,2	34,4	37,2	42,6
140 x 240	32,0	36,4	40,5	44,3	47,8	54,4
140 x 280	40,4	45,6	50,3	54,7	58,9	66,5
140 x 300	44,3	49,9	55,0	59,7	64,2	72,3
140 x 320	48,3	54,2	59,7	64,7	69,4	78,1
160 x 200	24,3	27,8	31,2	34,4	37,2	42,6
160 x 240	32,0	36,4	40,5	44,3	47,8	54,4
160 x 280	40,4	45,6	50,3	54,7	58,9	66,5
160 x 320	48,3	54,2	59,7	64,7	69,4	78,1
180 x 200	25,6	29,2	32,5	35,7	38,6	44,0
180 x 220	29,5	33,5	37,2	40,7	43,9	49,9
180 x 240	33,5	37,9	41,9	45,7	49,3	55,8
180 x 280	41,8	46,9	51,7	56,1	60,2	67,8

2.2 Nagelbeanspruchung des Nebenträgeranschlusses

Wegen der Annahme der Übertragung der Anschlußkraft im Schwerpunkt des Nebenträgeranschlusses werden die Nägel nur durch die Kraft F beansprucht. Die Vertikalkomponente der Beanspruchung $F_{v,la}$ je Nagel ergibt sich aus der Anschlußkraft F und der Nagelanzahl im Nebenträger n_N zu

$$F_{v,la} = \frac{F}{n_N} \quad (10)$$

Mit den Bemessungswerten der Tragfähigkeit eines Nagels $R_{la,d}$ nach Gleichung (7) ergeben sich die Bemessungswerte der Tragfähigkeit des Nebenträgeranschlusses zu

$$F_d = R_{la,d} n_N \quad (11)$$

Für unterschiedliche Werte des modifizierenden Faktors k_{mod} sind die sich nach Gleichung (11) ergebenden Bemessungswerte der Tragfähigkeit F_d des Nebenträgeranschlusses in Tabelle 4 zusammengestellt. Mit $k_{mod} = 0,5$ bis $k_{mod} = 1,1$ sind analog zu den Werten in Tabelle 3 sämtliche Klassen der Lasteinwirkungsdauer in den Nutzungsklassen 1 bis 3 für Vollholz und Brett-schichtholz abgedeckt. Der zugrundegelegte Wert der charakteristischen Rohdichte beträgt auch hierbei $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$.

Tabelle 4 F_d [kN] aus dem Bemessungswert der Tragfähigkeit des Nebenträgeranschlusses für unterschiedliche Werte k_{mod} .

Balkenschuh $B \times H$	F_d [kN]					
	$k_{mod} = 0,5$	$k_{mod} = 0,6$	$k_{mod} = 0,7$	$k_{mod} = 0,8$	$k_{mod} = 0,9$	$k_{mod} = 1,1$
60 x 100	6,24	7,13	8,02	8,90	9,79	11,0
80 x 100	7,03	8,11	8,76	9,36	9,93	11,0
80 x 120	8,79	10,1	10,9	11,7	12,4	13,7
80 x 140	10,6	12,2	13,1	14,0	14,9	16,5
100 x 120	8,79	10,1	10,9	11,7	12,4	13,7
100 x 140	10,6	12,2	13,1	14,0	14,9	16,5
100 x 160	12,3	14,2	15,3	16,4	17,4	19,2
120 x 140	11,1	12,2	13,1	14,0	14,9	16,5
120 x 160	13,0	14,2	15,3	16,4	17,4	19,2
120 x 180	14,8	16,2	17,5	18,7	19,9	22,0
140 x 160	13,0	14,2	15,3	16,4	17,4	19,2
140 x 180	14,8	16,2	17,5	18,7	19,9	22,0
100 x 240	19,3	22,3	24,1	25,7	27,3	30,2
100 x 280	21,1	24,3	26,3	28,1	29,8	32,9
100 x 300	22,9	26,4	28,5	30,4	32,3	35,7
100 x 320	24,6	28,4	30,7	32,8	34,8	38,4
120 x 240	24,0	26,4	28,5	30,4	32,3	35,7
120 x 280	27,8	30,4	32,8	35,1	37,2	41,2
120 x 300	29,6	32,4	35,0	37,5	39,7	43,9
120 x 320	31,5	34,5	37,2	39,8	42,2	46,7
140 x 200	20,4	22,3	24,1	25,7	27,3	30,2
140 x 240	24,1	26,4	28,5	30,4	32,3	35,7
140 x 280	27,8	30,4	32,8	35,1	37,2	41,2
140 x 300	29,6	32,4	35,0	37,5	39,7	43,9
140 x 320	31,5	34,5	37,2	39,8	42,2	46,7
160 x 200	20,4	22,3	24,1	25,7	27,3	30,2
160 x 240	24,1	26,4	28,5	30,4	32,3	35,7
160 x 280	27,8	30,4	32,8	35,1	37,2	41,2
160 x 320	31,5	34,5	37,2	39,8	42,2	46,7
180 x 200	20,4	22,3	24,1	25,7	27,3	30,2
180 x 220	22,2	24,3	26,3	28,1	29,8	32,9
180 x 240	24,1	26,4	28,5	30,4	32,3	35,7
180 x 280	27,8	30,4	32,8	35,1	37,2	41,2

Ein Vergleich der Tragfähigkeitswerte der Tabellen 3 und 4 zeigt, daß der k_{mod} - Wert auf den Bemessungswert der Tragfähigkeit des Hauptträgeranschlusses einen größeren Einfluß hat, als auf denjenigen des Nebenträgeranschlusses. Dies resultiert aus der unterschiedlichen Berücksichtigung des k_{mod} - Wertes bei einer Beanspruchung auf Herausziehen bzw. beim Abscheren. Für $k_{mod} = 0,5$ ist das Verhältnis aus den Bemessungswerten Nebenträgeranschluß/Hauptträgeranschluß am größten, so daß eine entsprechende Auswertung für alle zugelassenen Balkenschuhe auf der sicheren Seite liegend mit $k_{mod} = 0,5$ durchgeführt wurde. Diese Ergebnisse enthält der Anhang zu diesem Bericht.

In Abb. A1 ist der Quotient aus den Bemessungswerten der Tragfähigkeiten des Nebenträgeranschlusses zum Hauptträgeranschluß in Abhängigkeit von der Balkenschuhhöhe H dargestellt. Es zeigt sich, daß für $H = 80 \text{ mm}$ der Quotient stets über 1,0 liegt, somit also bei Balkenschuhen geringer Höhe der Nachweis im Hauptträger maßgebend wird. Auch für einige Balkenschuhe mit Höhen von 100 bis 130 mm können die Quotienten über 1,0 liegen. Dies hat zwei Ursachen:

- ungünstiges Verhältnis der Anzahl der Nägel im Hauptträger zur Nagelanzahl im Nebenträger von nur 1,5. Dieser Wert liegt für andere Balkenschuhe durchweg deutlich über 1,5.
- großer Abstand des obersten Nagels von der Oberkante des Balkenschuhes (beispielsweise 17 mm), wodurch sich insbesondere bei Balkenschuhen mit geringer Höhe ein relativ kleines polares Trägheitsmoment für die Rechnung nach Gleichung (5) ergibt. Dieser Abstand beträgt bei den meisten anderen Balkenschuhen 8 bis 10 mm .

Bei allen anderen Balkenschuhen wird für den Bemessungswert der Tragfähigkeit der Nagelanschlüsse der Balkenschuhe stets der Nebenträgeranschluß maßgebend.

2.3 Beanspruchung des Hauptträgers auf Querkzug

Auf der Grundlage theoretischer und experimenteller Untersuchungen können die Querkzugspannungen bei Anschlüssen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe Abb. 3) durch folgende Rechnung nachgewiesen werden (Ehlbeck, Görlacher und Werner 1989).

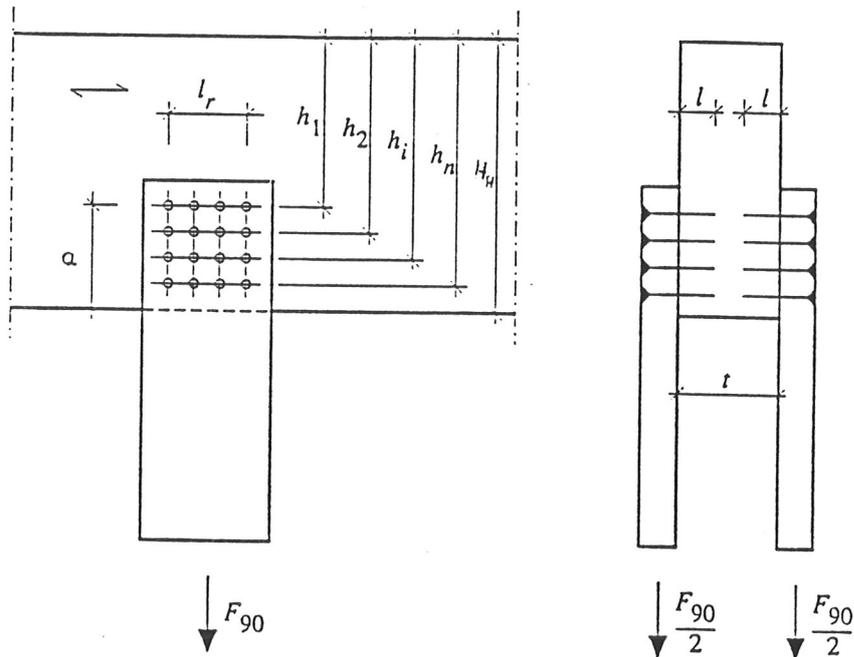


Abb. 3 Allgemeiner Queranschluß. Bezeichnungen.

Es ist nachzuweisen, daß die Bedingung

$$\sigma_{t,90,d} = \eta k_r \frac{F_{90,d}}{A_{ef}} \leq 15 A_{ef}^{-0,2} f_{t,90,d} \quad (12)$$

erfüllt ist.

Diese Gleichung wurde für eine charakteristische Querkzugfestigkeit mit einem Bezugsvolumen von $0,02 \text{ m}^3$ hergeleitet. Da die Bestimmungen zum Querkzugnachweis nach Eurocode 5 sich auf ein Bezugsvolumen von $0,01 \text{ m}^3$ beziehen, ist die rechte Seite der Gleichung (12) mit einem

Faktor $(0,01 \text{ m}^3/0,02 \text{ m}^3)^{0,2} = 0,87$ zu modifizieren. Somit ergibt sich:

$$\sigma_{t,90,d} = \eta k_r \frac{F_{90,d}}{A_{ef}} \leq 13 A_{ef}^{-0,2} f_{t,90,d} \quad (13)$$

Der Faktor η berücksichtigt, daß nur ein Teil der Kraft $F_{90,d}$ Querkzugspannungen hervorruft, während der übrige Teil der Kraft über Querdruck eingeleitet wird.

$$\eta = 1 - 3 \left(\frac{a}{H_H} \right)^2 + 2 \left(\frac{a}{H_H} \right)^3 \quad (14)$$

Der Faktor k_r berücksichtigt, daß die Kraft $F_{90,d}$ über mehrere Verbindungsmittelreihen eingeleitet wird, so daß in der obersten Verbindungsmittelreihe geringere Zugspannungen auftreten.

$$k_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i} \right)^2 \quad (15)$$

Die wirksame Fläche A_{ef} stellt eine fiktive Fläche dar, da die Querkzugspannungen entlang der Länge l_r der Verbindungsmittelreihen ungleichmäßig verteilt sind und im Holz zusätzlich auf beiden Seiten der Verbindungsmittelreihen Querkzugspannungen entstehen. Die wirksame Anschlußbreite $l_{r,ef}$ kann abgeschätzt werden zu:

$$l_{r,ef} = \sqrt{l_r^2 + (c H_H)^2} \quad (16)$$

mit

$$c = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{a}{H_H} \left(1 - \frac{a}{H_H} \right)^3} \quad (17)$$

Die wirksame Anschlußtiefe t_{ef} kann näherungsweise als Summe der Eindringtiefen l der Verbindungsmittel angenommen werden (Abb. 3). Für Nägel und Schrauben sollte l nicht größer als $12 d$ angenommen werden.

$$t_{ef} = \sum l \leq t \quad (18)$$

Liegen zwei Verbindungsmittelgruppen mit einem Abstand der Schwerpunkte l_1 nebeneinander, dann kann die wirksame Anschlußfläche mit dem Faktor vergrößert werden.

$$\left(1 + \frac{l_1}{l_1 + a}\right) \quad (19)$$

Liegen die Anschlüsse am Kragarmende, dann ist zu beachten, daß sich die Spannungen nicht ungestört ausbreiten können. Ist der Abstand eines Anschlusses vom Kragarmende kleiner als die Trägerhöhe, sollte nur die halbe wirksame Anschlußbreite in Rechnung gestellt werden. Dieser allgemeine Nachweis läßt sich vereinfachen, wenn Anschlüsse bestimmte geometrische Verhältnisse aufweisen. Eine entsprechende Vereinfachung wurde bereits für Nagelplattenanschlüsse durchgeführt (Ehlbeck, Görlacher, 1984a). Der Querschnittsnachweis kann für Balkenschuhanschlüsse ebenfalls stark vereinfacht werden .

1. Vereinfachung

Der Abstand der zweireihigen Nagelung der Laschen am Hauptträger beträgt in der Regel 20 mm. Das bedeutet, daß in Gl. (16) $l_r = 20 \text{ mm}$ zu setzen ist. Vereinfachend, auf der sicheren Seite liegend, werden die Verbindungsmittel in eine Reihe geschoben, wodurch sich $l_r = 0$ ergibt. Somit errechnet sich die wirksame Anschlußbreite $l_{r,ef}$ zu

$$l_{r,ef} = c H_H = H_H \frac{4}{3} \sqrt{\frac{a}{H_H} \left(1 - \frac{a}{H_H}\right)^3} \quad (20)$$

2. Vereinfachung

Der Faktor k_r kann durch

$$k_r = \frac{h_1}{h_n} \quad (21)$$

ersetzt werden, wenn die Kraffteinleitung über viele Verbindungsmittelsreihen erfolgt, wie dies z. B. beim Nachweis für Nagelplatten erfolgt. Diese Vereinfachung kann für den Balkenschuhanschluß ebenfalls übernommen werden, zumal man bei der ersten Vereinfachung bereits beide Nagelreihen "zusammengeschoben" hat, und sich dadurch fiktiv die Nageldichte erhöht.

Werden diese beiden Vereinfachungen in Gleichung (13) eingesetzt, die zweite Verbindungsmittelgruppe nach Gleichung (19) mit berücksichtigt und nach $F_{90,a}$ aufgelöst, erhält man:

Da c und η nur von a/H_H abhängen, können sie zusammengefaßt werden und zusammen mit dem

$$F_{90,d} = 13 (t_{ef} H_H)^{0,8} \frac{c^{0,8} h_n}{\eta h_1} \left(1 + \frac{l_1}{l_1 + a} \right)^{0,8} f_{t,90,d} \quad (22)$$

Koeffizienten 13 als $f(a/h)$ wie in Abb. 4 bestimmt werden. Eine Näherungsfunktion hierfür lautet

$$f\left(\frac{a}{H_H}\right) = 6,5 + 18 \left(\frac{a}{H_H}\right)^2 \quad (23)$$

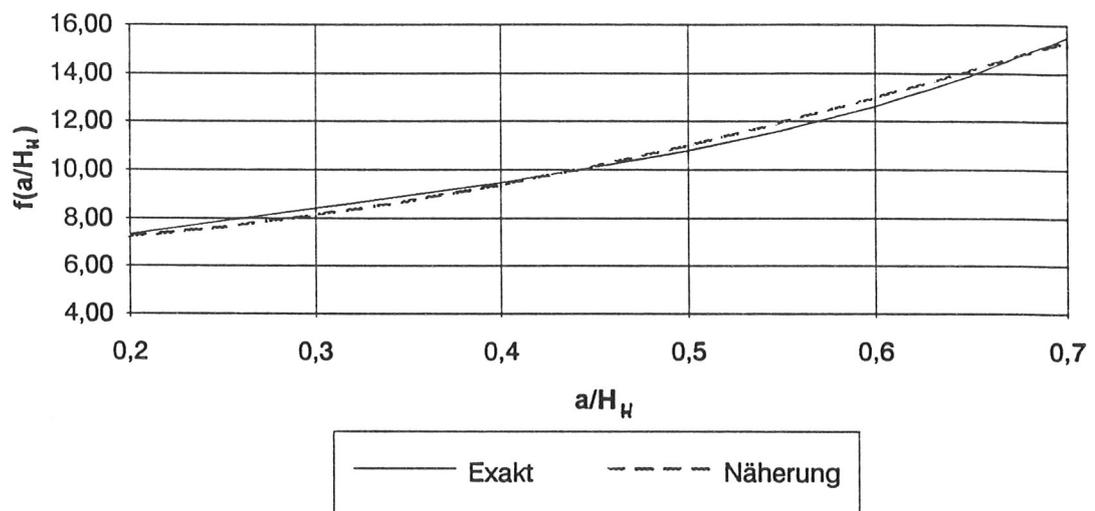


Abb. 4 Näherungslösung nach Gleichung (23) im Vergleich zur genaueren Lösung

3. Vereinfachung

Der Ausdruck

$$\frac{h_n}{h_1} \left(1 + \frac{l_1}{l_1 + a} \right)^{0,8} \quad (24)$$

hängt außer von der Lage des Anschlusses im Hauptträger (h_1 und a) auch von der Balkenschuhgeometrie ab. Ferner ist l_1 der Abstand der Schwerpunkte der Nagelreihen im Hauptträger, entspricht also der Balkenschuhbreite B zuzüglich je nach Balkenschuh etwa 40 bis 50 mm. Dieser Abstand kann für jeden Balkenschuh ermittelt werden und wird im folgenden mit B^* bezeichnet. Der Abstand h_n des untersten Nagels im Hauptträger von der Trägeroberkante entspricht der Summe aus h_1 (Abstand des obersten Nagels von der Trägeroberkante) und dem Abstand H^* des obersten vom untersten Nagel im Hauptträgeranschluß. Gl. (24) ergibt sich damit zu

$$\frac{h_1 + H^*}{h_1} \left(1 + \frac{B^*}{B^* + a} \right)^{0,8} \quad (25)$$

und mit $h_1 = H_H - a$ und nach einigen Umformungen folgt

$$f \left(\frac{H^*}{H_H}, \frac{B^*}{H_H}, \frac{a}{H_H} \right) = \left(1 + \frac{\frac{H^*}{H_H}}{1 - \frac{a}{H_H}} \right) \left(1 + \frac{\frac{B^*}{H_H}}{\frac{B^*}{H_H} + \frac{a}{H_H}} \right)^{0,8} \quad (26)$$

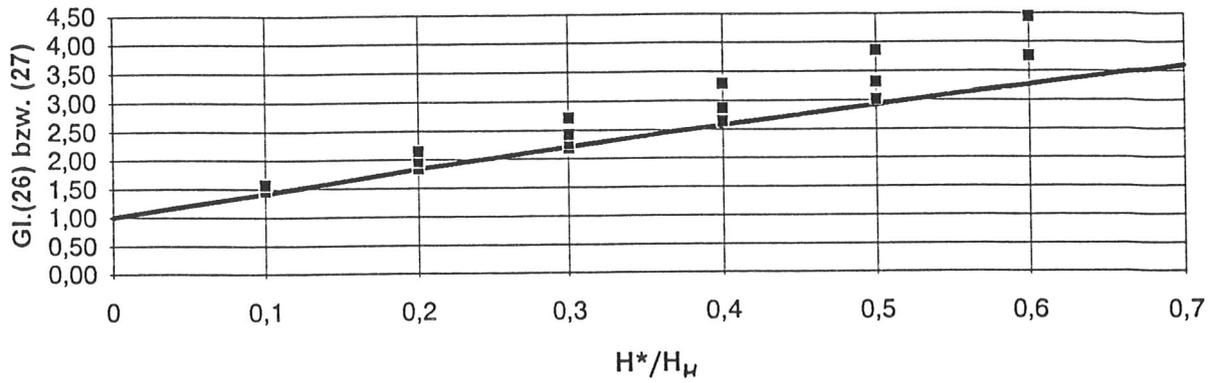
In Abb. 5 ist der Wert der Gleichung (26) in Abhängigkeit von H^*/H_H dargestellt. Die einzelnen Punkte entsprechen einer Auswertung mit unterschiedlichen a/H_H - Werten im Bereich von $0,2 < a/H_H < 0,7$. Die Auswertung erfolgte mit $H^* = 0,5 B^*$, $H^* = 1,0 B^*$ und $H^* = 2,0 B^*$ und erfaßt somit sämtliche vorkommenden Balkenschuhabmessungen.

In den Diagrammen der Abb. 5 ist auch eine mögliche Näherungsgleichung

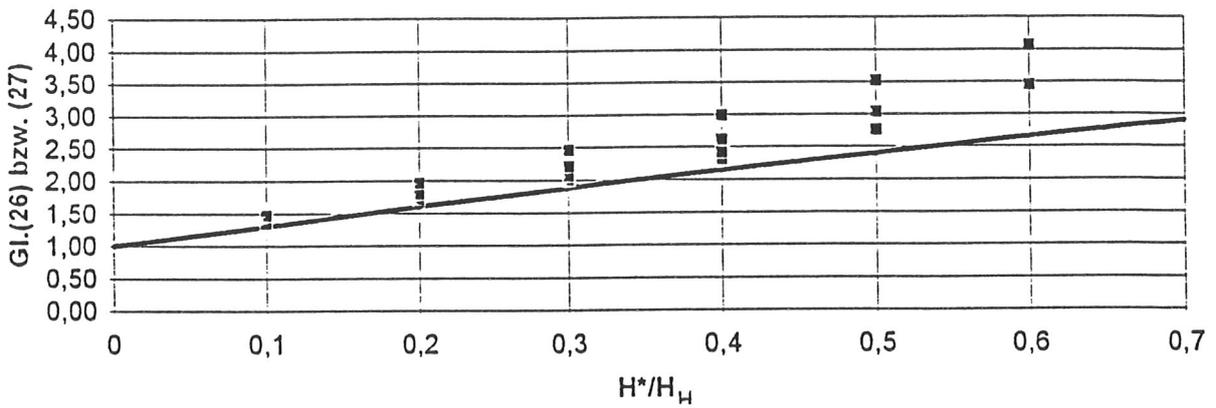
$$f(B^*, H^*, H_H) = \left(1 + \frac{4 \sqrt{B^* H^*}}{H_H} \right)^{0,8} \quad (27)$$

für Gleichung (26) eingezeichnet, die eine auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung darstellt.

Auswertung mit $H^*=0,5B^*$



Auswertung mit $H^*=1,0B^*$



Auswertung mit $H^*=2,0B^*$

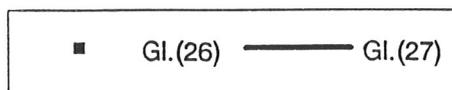
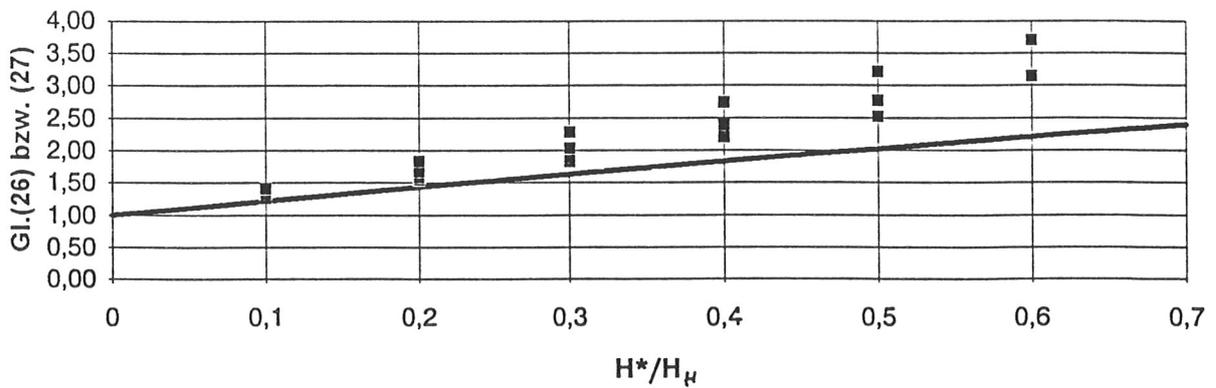


Abb. 5 Näherungslösung nach Gl. (27) im Vergleich zur exakten Lösung nach Gl. (26)

Somit ergibt sich der Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Querkzugbeanspruchung für einen Balkenschuhanschluß zu:

$$F_{90,d} = \left(6,5 + 18 \left(\frac{a}{H_H} \right)^2 \right) t_{ef}^{0,8} \left(H_H + 4 \sqrt{B^* H^*} \right)^{0,8} f_{t,90,d} \quad (28)$$

Hierin bedeuten

- t_{ef} die Eindringtiefe der Nägel im Hauptträger
- a den Abstand der obersten Nagelreihe im Hauptträger vom beanspruchten Rand
- H_H die Höhe des Hauptträgers
- H^* die Höhe des Anschlußbildes im Hauptträger
- B^* den Abstand der Schwerlinien der Nagelreihen im Hauptträger
- $f_{t,90,d}$ den Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung im Hauptträger.

Die Werte für t_{ef} , B^* und H^* sind in den Zulassungen anzugeben. Ersetzt man $t_{ef}^{0,8}$ durch t^* und $4(B^*H^*)^{0,5}$ durch A_w^* erhält man eine einfache Form zur Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit

$$F_{90,d} = f \left(\frac{a}{H_H} \right) t^* \left(H_H + A_w^* \right)^{0,8} f_{t,90,d} \quad (29)$$

dabei ist $f(a/H_H)$ nach Gl. (23) zu bestimmen.

Verwendet man die Gleichung (29) statt der Gleichung (28) für den Querkzugnachweis, dann wären t^* und A_w^* für jeden Balkenschuh in den Zulassungen anzugeben. Dabei ist zu beachten, daß zur Ermittlung von t^* lediglich eine Nageleinschlagtiefe von $12d$ also maximal 48 mm (für Nageldurchmesser von 4 mm) angesetzt werden darf. Eine Mitwirkung von Nagellängen über $12d$ bei der Verteilung der Querkzugbeanspruchung über die Trägerbreite konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

Ein direkter Vergleich des hier vorgeschlagenen Querkzugnachweises mit dem bisher in den Zulassungen verwendeten Nachweis ist nicht möglich, da der bisherige Nachweis wichtige Einflußgrößen wie Trägerhöhe und Balkenschuhhöhe nicht erfaßt. Weiterhin wurde der Einfluß der Balkenschuhbreite und der Einschlagtiefe bisher überschätzt. Es ist lediglich ein Vergleich

des Einflusses von a/H_H möglich. Tabelle 5 gibt die Werte für $f(a/H_H)$ nach den Zulassungen und dem hier vorgeschlagenen Nachweis an. Die Quotienten der entsprechenden Werte sind für $0,2 < a/H_H < 0,7$ angegeben. Sie sind über diesen Bereich, insbesondere im querzugrelevanten Bereich kleiner a/H_H -Werte, nahezu konstant. Dies bedeutet, daß der Einfluß der Lage des Nebenträgeranschlusses am Hauptträger von beiden Nachweisen in nahezu gleicher Weise erfaßt wird.

Tabelle 5 Vergleich des Einflusses von a/H_H

a/H_H	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$f(a/H_H)$ (Zulassung)	1,22	1,39	1,61	1,89	2,25	2,9
$f(a/H_H)$ (Gl. 23)	7,22	8,12	9,38	11,00	12,98	15,32
Quotient	5,91	5,84	5,83	5,82	5,77	5,28

In Tabelle 6 sind Ergebnisse von Versuchen aus Ehlbeck und Görlacher (1983) dem Bemessungsvorschlag nach Gl.(29) gegenübergestellt. Dabei wurde anstelle des Bemessungswertes der Querkzugfestigkeit die charakteristische Querkzugfestigkeit für Brettschichtholz BS14 ($0,45 \text{ N/mm}^2$) angesetzt. Der Quotient aus der Tragfähigkeit aus den Einzelversuchen und dem charakteristischen Wert der Tragfähigkeit $F_{90,k}$ mit $f_{t,90,k}$ nach Gleichung (29) berechnet beträgt im Mittel etwa 1,7 bei einem Variationskoeffizienten von 11 %. Dieser relativ niedrige Variationskoeffizient kann damit erklärt werden, daß es sich bei den hier ausgewerteten Daten um nur eine einzige Stichprobe handelt. Das vorliegende Sicherheitsniveau wird daher als angemessen erachtet.

Tabelle 6 Versuchsergebnisse aus Ehlbeck und Görlacher (1983) im Vergleich mit rechnerischen Tragfähigkeiten nach Gl. (29).

a/H_H	H_H	H^*	B^*	t_{ef}	$F_{90,k}$	$maxF$	$maxF/F_{90,k}$
0,4	250	70	90	100	26,8	42,3	1,58
0,4	250	70	90	100	26,8	38,7	1,44
0,4	250	70	90	100	26,8	47,6	1,77
0,6	250	70	90	100	37,1	67,6	1,82
0,6	250	70	90	100	37,1	49,3	1,33
0,6	250	70	90	100	37,1	55,9	1,51
0,6	250	70	40	100	31,5	48,3	1,53
0,6	250	70	40	100	31,5	56,2	1,79
0,6	250	70	40	100	31,5	54,6	1,73
0,4	250	70	40	80	19,0	35,9	1,89
0,4	250	70	40	80	19,0	38,3	2,01
0,4	250	70	40	80	19,0	30,4	1,60
0,4	250	70	40	100	22,7	42,2	1,86
0,4	250	70	40	100	22,7	46,7	2,05
0,4	250	70	40	100	22,7	36,2	1,59
0,4	250	70	40	120	26,3	44,5	1,69
0,4	250	70	40	120	26,3	50,8	1,93
0,4	250	70	40	120	26,3	43,3	1,65
0,25	400	70	40	100	23,2	37,6	1,62
0,25	400	70	40	100	23,2	41,2	1,78
0,25	400	70	40	100	23,2	39,9	1,72
0,4	400	70	40	100	28,5	59,4	2,09
0,4	400	70	40	100	28,5	41,1	1,44
0,4	400	70	40	100	28,5	54,5	1,91
0,6	150	70	40	100	25,9	46,3	1,79
0,6	150	70	40	100	25,9	47,3	1,83
0,6	150	70	40	100	25,9	48,3	1,87

2.4 Balkenschuhe unter zweiachsiger Beanspruchung

Balkenschuhe in Decken oder Flachdächern werden in der Regel durch eine vertikale Last, die in der Symmetrieebene des Balkenschuhs angreift, beansprucht. In geneigten Dächern können jedoch auch zweiachsige Beanspruchungen auftreten (siehe Abb. 6).

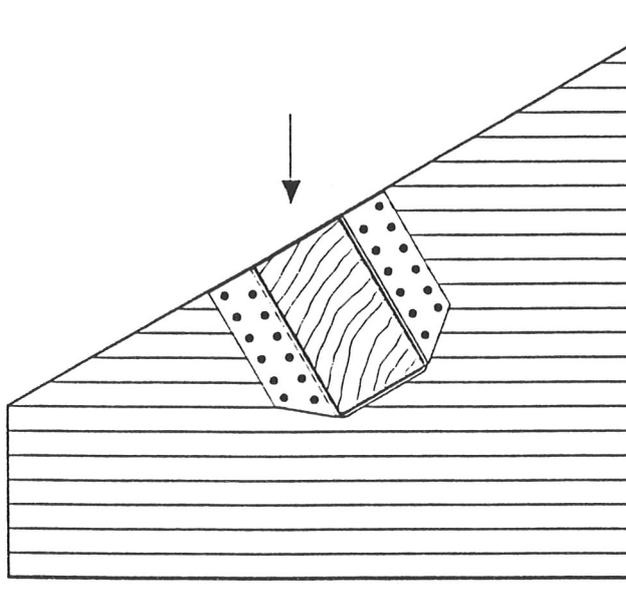


Abb. 6 Zweiachsiger beanspruchter Balkenschuh.

Das Trag- und Verformungsverhalten zweiachsiger beanspruchter Balkenschuhe unterscheidet sich wesentlich vom Fall der einachsigen Beanspruchung. Für die in Deutschland überwiegend gebräuchlichen Balkenschuhtypen haben Ehlbeck und Görlacher (1984b) das Verhalten unter zweiachsiger Beanspruchung untersucht. Für den Fall einer Beanspruchung rechtwinklig zur Symmetrieebene (unter 90°) ergibt sich danach die Tragfähigkeit zu:

$$R_{90} = 0,4 R_0 \frac{H}{H_N} \quad (30)$$

Hierin bedeuten:

- R_{90} die Tragfähigkeit des Balkenschuhanschlusses für eine unter 90° angreifende Belastung,
- R_0 die Tragfähigkeit für eine Belastung in der Symmetrieebene,
- H_N die Nebenträgerhöhe mit einem Größtwert von $1,5 H$ und
- H die Balkenschuhhöhe.

Der Faktor 0,4 resultiert empirisch aus den durchgeführten Versuchen und kann nur bei Balkenschuhen mit $B/H \geq 0,6$ und $H \leq 240 \text{ mm}$ in Ansatz gebracht werden. Andere, ungünstigere Balkenschuhformen wurden bisher nicht untersucht.

Beim Tragfähigkeitsnachweis von Balkenschuhen, die unter einem Winkel α zwischen 0° und 90° beansprucht werden, muß folgende Interaktionsgleichung erfüllt werden:

$$\left(\frac{F_{0,d}}{R_{0,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{90,d}}{R_{90,d}}\right)^2 = 1 \quad (31)$$

Hierin sind $F_{0,d}$ und $F_{90,d}$ die Bemessungswerte der Lastanteile parallel bzw. rechtwinklig zur Symmetrieebene des Balkenschuhs.

3 Vergleiche mit Versuchsergebnissen

Um einen Vergleich rechnerisch ermittelter Tragfähigkeitswerte von Balkenschuhanschnitten mit Tragfähigkeiten aus Versuchen zu ermöglichen, wurden *charakteristische* Werte der Tragfähigkeit F_k rechnerisch ermittelt. Solche Werte ergeben sich bei einachsiger Beanspruchung aus Gleichung (7) mit $\gamma_M = 1$ und $k_{mod} = 1$, bei zweiachsiger Beanspruchung in gleicher Weise aus den Gleichungen (30) und (31). Die Tabelle A.3 des Anhangs enthält alle verfügbaren Vergleichsmöglichkeiten. Anschauliche Darstellungen enthalten die Abbildungen A2 und A3. Es zeigt sich, daß die Versuchsergebnisse stets über den rechnerisch ermittelten charakteristischen Tragfähigkeiten liegen. Teilweise ist der Unterschied zwischen Versuch und Rechnung sogar erheblich. Dies sollte jedoch nicht dazu verleiten, rechnerisch höhere charakteristische Werte für den Nachweis nach Eurocode 5 - beispielsweise durch Einführung eines modifizierenden Systemfaktors - einzuführen, da die rechnerisch ermittelten Tragfähigkeiten unter Zugrundelegung von Holzrohddichten $\rho_K = 380 \text{ kg/m}^3$ die 5%-Fraktilen der Grundgesamtheiten "darstellen sollen", während es sich bei den Versuchswerten in der Regel um Einzelwerte aus einer Grundgesamtheit handelt.

4 Zusammenfassung

Die Einführung von Eurocode 5 bedeutet eine Änderung des Normenformates in der Bundesrepublik Deutschland. Wegen dieses Wechsels des Normenformates von zulässigen Werten hin zu Teilsicherheitsbeiwerten ist die Kenntnis charakteristischer Werte bzw. von Bemessungswerten der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Baustoffen und Verbindungsmitteln notwendig. Für Verbindungen wie Balkenschuhe, deren Tragfähigkeit rechnerisch nicht eindeutig erfaßt werden kann, werden zum Nachweis der Tragfähigkeit auch bei der Anwendung des Eurocode 5 allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen notwendig bleiben. Hierzu sind die bestehenden bauaufsichtlichen Zulassungen mit charakteristischen Werten bzw. Bemessungswerten der Tragfähigkeiten zu ergänzen.

Gestützt auf Ergebnisse von Versuchen mit Balkenschuhen, in denen das Tragverhalten experimentell erfaßt wurde, konnten durch eine theoretische Betrachtung charakteristische Werte sowie Bemessungswerte der Tragfähigkeit hergeleitet werden. Hierbei hat sich gezeigt, daß auch bei der Anwendung des Eurocode 5 die Nagelverbindung des Nebenträgers für die Tragfähigkeit der Balkenschuhanschlusses als maßgebend betrachtet werden kann. Die Verhältniswerte zwischen im Versuch erreichter Traglast und der charakteristischen Tragfähigkeit nach dem angenommenen mechanischen Rechenmodell lagen stets über 1,0. Das Verhältnis zwischen den rechnerisch ermittelten charakteristischen Tragfähigkeiten und den bisher zulässigen Werten liegt mit 2,19 in einer plausiblen Größenordnung. Daher wird empfohlen, bei unveränderten Anforderungen an das Material der Balkenschuhe und der zu verwendenden Rillennägel sowie an die Ausführung der Anschlüsse, die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten solcher Anschlüsse auf der Grundlage der Nagelverbindung im Nebenträger zu ermitteln, wobei von einem Versagensmechanismus mit jeweils zwei Fließgelenken im Nagel (dickes Stahlblech) ausgegangen werden kann (Anwendung der Gleichungen (6.2.2.c/d) des Eurocode 5).

Für den Tragfähigkeitsnachweis im Hinblick auf die Querschnittsgrußgefahr im Hauptträger wird ein Rechenverfahren empfohlen, das die Bedeutung der Balkenschuhgeometrie, insbesondere der Balkenschuhhöhen, wesentlich besser erfaßt als das bisherige Verfahren.

Literatur

- Gutachten über die Belastbarkeit von GH-Balkenschuhen vom 10.08.1979 von o. Prof. Dr.-Ing. K. Möhler, Karlsruhe.
- Ehlbeck, J. und Görlacher, R. 1983. Tragverhalten von Queranschlüssen, insbesondere Balkenschuhen, im Holzbau. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau. Universität Karlsruhe
- Ehlbeck, J. und Görlacher, R. 1984a. Querkzuggefährdete Anschlüsse mit Nagelplatten. Bauen mit Holz 86: 587-591
- Ehlbeck, J. und Görlacher, R. 1984b. Tragfähigkeit von Balkenschuhen unter zweiachsiger Beanspruchung. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau. Universität Karlsruhe
- Ehlbeck, J., Görlacher, R. und Werner, H. 1989. Determination of perpendicular-to-grain tensile stresses in joints with dowel-type-fasteners. Proc. of the CIB W 18 Meeting, Berlin, Germany, Paper 22-7-2
- Werner, H. und Siebert, W. 1991. Neue Untersuchungen mit Nägeln für den Holzbau. Holz als Roh- und Werkstoff 49: 191-198.
- ENV 1995 - 1 EUROCODE 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken. Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau. Deutsche Fassung Oktober 1993.
- Heimeshoff, B. 1994. Nationales Anwendungsdokument (NAD). Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1995 Teil 1-1. Tagungsband zum Ingenieurtag, Deutscher Holzbautag 1994, Nürnberg.

- Görlacher, R. 1994. Vergleich der Tragfähigkeit auf Abscheren von Sondernägeln für die Stahlblech-Holz-Nagelung mit dem Bemessungsverfahren nach Eurocode 5. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (in Vorbereitung)

Anhang

zum

Regelungsentwurf für Balkenschuhe

Tabelle A1: Geometrie von Balkenschuhen mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen

Legende:

B Balkenschuhbreite in mm

H Balkenschuhhöhe in mm

c Formfaktor

 d_n Nageldurchmesser in mm l_n Nagellänge in mm d_{BS} Lochdurchmesser im Blech in mm n_{HT} Anzahl der Nägel im Hauptträger n_{NT} Anzahl der Nägel im Nebenträger

e Ausmitte der Kraft in mm

 $a_{1(HT)}$ Nagelabstand im Hauptträger (in Faserrichtung) in mm $a_{2(HT)}$ Nagelabstand im Hauptträger (rechtwinklig zur Faserrichtung) in mm $a_{2(NT)}$ Nagelabstand im Nebenträger (rechtwinklig zur Faserrichtung) in mm

Hersteller	B	H	t	c	d_n	l_n	d_{BS}	n_{HT}	n_{NT}	e	$a_{1(HT)}$	$a_{2(HT)}$	$a_{2(NT)}$
1a	60	100	2,0	0,4	4,0	40	4,5	14	8	30	22	20	20
1a	70	120	2,0	0,4	4,0	40	4,5	16	10	31	20	20	20
1a	80	120	2,0	0,4	4,0	50	4,5	16	10	31	20	20	20
1a	100	140	2,0	0,4	4,0	50	4,5	16	10	30	21	22,5	22,5
1a	120	160	2,0	0,4	4,0	60	4,5	24	12	32	21	20	20
1a	140	180	2,0	0,4	4,0	60	4,5	26	14	32	22	20	20
1a	160	200	2,0	0,4	4,0	75	4,5	30	16	31	22	20	20
1a	180	220	2,0	0,4	4,0	75	4,5	34	18	30	22	20	20
1b	64	95	2,0	0,4	4,0	40	4,5	14	8	31	22	20	20
1b	60	130	2,0	-	4,0	40	4,5	16	10	30	20	20	20
1b	60	160	2,0	-	4,0	40	4,5	16	10	30	21	22,5	22,5
1b	60	220	2,0	-	4,0	40	4,5	26	14	31	22	20	20
1b	80	150	2,0	-	4,0	50	4,5	16	10	32	21	22,5	22,5
1b	100	170	2,0	0,4	4,0	50	4,5	24	12	30	21	20	20
1b	80	180	2,0	-	4,0	50	4,5	24	12	32	21	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a ₁ (HT)	a ₂ (HT)	a ₂ (NT)
1b	100	200	2,0	-	4,0	50	4,5	26	14	32	22	20	20
1b	80	210	2,0	-	4,0	50	4,5	26	14	32	22	20	20
1b	120	220	2,0	-	4,0	60	4,5	30	16	30	22	20	20
1b	120	250	2,0	-	4,0	60	4,5	34	18	30	22	20	20
1b	140	210	2,0	0,4	4,0	75	4,5	30	16	32	22	20	20
1b	160	230	2,0	0,4	4,0	75	4,5	34	18	31	22	20	20
1b	140	240	2,0	0,4	4,0	75	4,5	34	18	30	22	20	20
2	60	100	2	0,4	4,0	40	4,5	16	8	34	20	20	20
2	80	120	2	0,4	4,0	50	4,5	20	10	34	20	20	20
2	100	140	2	0,4	4,0	60	4,5	24	12	34	20	20	20
2	120	160	2	0,4	4,0	60	4,5	26	14	36	22	20	20
2	140	180	2	0,4	4,0	60	4,5	30	16	36	22	20	20
2	180	200	2,5	0,4	4,0	60	4,5	38	20	30	20	20	20
2	100	320	2,5	-	4,0	60	4,5	62	30	30	20	20	20
3	64	98	2,0	-	4,0	40	5,0	16	8	33,5	20,00	20	20
3	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	16	8	28,0	24,75	20	20
3	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	16	8	33,5	20,00	20	20
3	80	120	2,0	0,4	4,0	40	5,0	18	12	34,0	24,75	20	20
3	80	120	2,0	0,4	4,0	40	5,0	18	12	34,8	20,00	20	20
3	70	125	2,0	-	4,0	40	5,0	18	12	34,8	20,00	20	20
3	64	128	2,0	-	4,0	40	5,0	18	12	34,8	20,00	20	20
3	60	130	2,0	-	4,0	40	5,0	18	12	34,0	24,75	20	20
3	60	130	2,0	-	4,0	40	5,0	18	12	34,8	20,00	20	20
3	60	160	2,0	-	4,0	40	5,0	20	12	34,0	24,75	20	20
3	60	160	2,0	-	4,0	40	5,0	20	12	33,5	20,00	20	20
3	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	20	12	34,0	24,75	20	20
3	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	20	12	33,5	20,00	20	20
3	80	150	2,0	-	4,0	50	5,0	20	12	34,0	24,75	20	20
3	80	150	2,0	-	4,0	50	5,0	20	12	33,5	20,00	20	20
3	76	152	2,0	-	4,0	50	5,0	20	12	33,5	20,00	20	20
3	120	160	2,0	0,4	4,0	50	5,0	26	14	34,0	24,75	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
3	120	160	2,0	0,4	4,0	50	5,0	26	14	32,0	22,00	20	20
3	100	170	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	34,0	24,75	20	20
3	100	170	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	32,0	22,00	20	20
3	80	180	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	34,0	24,75	20	20
3	80	180	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	32,0	22,00	20	20
3	115	163	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32,0	22,00	20	20
3	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	34,0	24,75	20	20
3	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	34,0	23,00	20	20
3	120	190	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	34,0	24,75	20	20
3	120	190	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	34,0	23,00	20	20
3	100	200	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	34,0	24,75	20	20
3	100	200	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	34,0	23,00	20	20
3	160	200	2,5	0,4	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	160	200	2,5	0,4	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	80	210	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	34,0	24,75	20	20
3	80	210	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	34,0	23,00	20	20
3	140	210	2,5	0,4	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	140	210	2,5	0,4	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	120	220	2,5	-	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	120	220	2,5	-	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	100	230	2,5	-	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	100	230	2,5	-	4,0	60	5,0	32	18	32,5	20,00	20	20
3	180	220	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	180	220	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	160	230	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	160	230	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	140	240	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	140	240	2,5	0,4	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	200	240	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	32,5	20,00	20	20
3	200	240	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	28,5	20,00	20	20
3	120	250	2,5	-	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20
3	120	250	2,5	-	4,0	75	5,0	38	22	32,5	20,00	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
3	180	250	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	32,5	20,00	20	20
3	180	250	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	28,5	20,00	20	20
3	160	260	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	32,5	20,00	20	20
3	160	260	2,5	0,4	4,0	75	5,0	44	22	28,5	20,00	20	20
3	140	270	2,5	-	4,0	75	5,0	44	22	32,5	20,00	20	20
3	140	270	2,5	-	4,0	75	5,0	44	22	28,5	20,00	20	20
4a	64	98	2,0	0,4	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
4a	60	100	2,0	0,4	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
4a	51	105	2,0	-	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
4a	45	108	2,0	-	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
4a	40	110	2,0	-	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
4a	80	120	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	76	122	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	73	124	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	70	125	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	64	128	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	60	130	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	51	135	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	48	136	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	45	138	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	40	140	2,0	-	4,0	50	4,8	18	10	35	20	20	20
4a	100	140	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	98	141	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	90	145	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	80	150	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	76	152	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	73	154	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	70	155	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	60	160	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	51	165	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	48	166	2,0	-	4,0	50	4,8	22	12	33	20	20	20
4a	120	160	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a ₁ (HT)	a ₂ (HT)	a ₂ (NT)
4a	115	163	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	100	170	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	80	180	2,0	-	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	140	180	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	76	182	2,0	-	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	73	184	2,0	-	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	127	187	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	60	190	2,0	-	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	120	190	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	115	193	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	51	195	2,0	-	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4a	100	200	2,0	-	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	80	210	2,0	-	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4a	60	220	2,0	-	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4b	80	100	2,0	0,4	4,0	50	4,8	14	8	34	20	20	20
4b	80	140	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	34	20	20	20
4b	100	120	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	33	20	20	20
4b	100	160	2,0	0,4	4,0	50	4,8	26	14	32	20	20	20
4b	100	240	2,0	-	4,0	50	4,8	46	22	50	20	20	20
4b	100	280	2,0	-	4,0	50	4,8	54	24	50	20	20	20
4b	100	300	2,0	-	4,0	50	4,8	58	26	50	20	20	20
4b	100	320	2,0	-	4,0	50	4,8	62	28	50	20	20	20
4b	120	140	2,0	0,4	4,0	60	4,8	22	12	32	20	20	20
4b	120	180	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
4b	140	160	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
4b	120	240	2,0	-	4,0	60	4,8	46	26	50	20	20	20
4b	120	280	2,0	-	4,0	60	4,8	54	30	50	20	20	20
4b	120	300	2,0	-	4,0	60	4,8	58	32	50	20	20	20
4b	120	320	2,0	-	4,0	60	4,8	62	34	50	20	20	20
4b	140	200	2,5	-	4,0	60	4,8	38	22	50	20	20	20
4b	140	240	2,5	-	4,0	60	4,8	46	26	50	20	20	20
4b	140	280	2,5	-	4,0	60	4,8	54	30	50	20	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
4b	140	300	2,5	-	4,0	60	4,8	58	32	50	20	20	20
4b	140	320	2,5	-	4,0	60	4,8	62	34	50	20	20	20
4b	160	200	2,5	0,4	4,0	60	4,8	38	22	50	20	20	20
4b	160	240	2,5	0,4	4,0	60	4,8	46	26	50	20	20	20
4b	160	280	2,5	-	4,0	60	4,8	54	30	50	20	20	20
4b	160	320	2,5	-	4,0	60	4,8	62	34	50	20	20	20
4b	180	200	2,5	0,4	4,0	70	4,8	38	22	50	20	20	20
4b	180	220	2,5	0,4	4,0	70	4,8	42	24	50	20	20	20
4b	180	240	2,5	0,4	4,0	70	4,8	46	26	50	20	20	20
4b	180	280	2,5	0,4	4,0	70	4,8	54	30	50	20	20	20
5	60	80	2,0	0,4	4,0	40	5,0	10	6	30	20	20	20
5	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	14	8	30	20	20	20
5	60	120	2,0	-	4,0	40	5,0	18	10	30	20	20	20
5	80	100	2,0	0,4	4,0	50	5,0	14	10	30	20	20	20
5	80	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	12	30	20	20	20
5	100	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	12	30	20	20	20
5	80	140	2,0	-	4,0	50	5,0	22	14	30	20	20	20
5	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	14	30	20	20	20
5	100	160	2,0	0,4	4,0	50	5,0	26	16	33	20	20	20
5	120	140	2,0	0,4	4,0	60	5,0	22	14	33	20	20	20
5	120	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	26	16	33	20	20	20
5	140	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	26	16	33	20	20	20
5	120	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	18	33	20	20	20
5	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	18	33	20	20	20
5	140	200	2,0	0,4	4,0	60	5,0	34	20	33	20	20	20
6	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	14	8	29,5	17,5	20	20
6	80	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	16	10	34,5	20	20	20
6	76	122	2,0	0,4	4,0	50	5,0	16	10	34,5	20	20	20
6	70	125	2,0	-	4,0	50	5,0	16	10	34,5	20	20	20
6	60	130	2,0	-	4,0	50	5,0	16	10	34,5	20	20	20
6	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20
6	90	145	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
6	80	150	2,0	-	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20
6	76	152	2,0	-	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20
6	70	155	2,0	-	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20
6	60	160	2,0	-	4,0	50	5,0	22	12	34	20	20	20
6	120	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	115	162	2,0	0,4	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	100	170	2,0	-	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	80	180	2,0	-	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
6	76	182	2,0	-	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	127	186	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
6	60	190	2,0	-	4,0	60	5,0	24	14	39	22,5	20	20
6	120	190	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
6	115	192	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
6	100	200	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
6	72	214	2,0	-	4,0	60	5,0	30	16	39,5	22,5	20	20
7	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	12	8	32	20	20	20
7	80	100	2,0	0,4	4,0	50	5,0	12	8	32	20	20	20
7	80	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	16	10	32	20	20	20
7	100	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	16	10	32	20	20	20
7	80	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	20	12	32	20	20	20
7	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	20	12	32	20	20	20
7	100	160	2,0	0,4	4,0	50	5,0	24	14	32	20	20	20
7	120	140	2,0	0,4	4,0	60	5,0	20	12	32	20	20	20
7	120	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	24	14	30	20	20	20
7	140	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	24	14	30	20	20	20
7	120	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	28	16	30	20	20	20
7	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	28	16	30	20	20	20
7	140	200	2,0	0,4	4,0	60	5,0	32	18	30	20	20	20
8	60	80	2,0	0,4	4,0	40	5,0	10	6	32	18,5	20	20
8	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	14	8	32	18,5	20	20
8	60	100	2,0	0,4	4,0	40	5,0	14	8	32	18,5	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
8	60	120	2,0	-	4,0	40	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	70	125	2,0	-	4,0	40	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	60	130	2,0	-	4,0	40	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	60	160	2,0	-	4,0	40	5,0	24	12	32	18,5	20	20
8	60	190	2,0	-	4,0	40	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	80	100	2,0	0,4	4,0	50	5,0	14	8	32	18,5	20	20
8	80	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	80	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	100	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	100	120	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	76	122	2,0	0,4	4,0	50	5,0	18	10	32	18,5	20	20
8	80	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	12	32	18,5	20	20
8	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	12	32	18,5	20	20
8	100	140	2,0	0,4	4,0	50	5,0	22	12	32	18,5	20	20
8	80	150	2,0	-	4,0	50	5,0	24	12	32	18,5	20	20
8	76	152	2,0	-	4,0	50	5,0	24	12	32	18,5	20	20
8	100	160	2,0	0,4	4,0	50	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	100	170	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	80	180	2,0	-	4,0	50	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	100	200	2,0	-	4,0	50	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	80	210	2,0	-	4,0	50	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	120	140	2,0	0,4	4,0	60	5,0	22	12	32	18,5	20	20
8	120	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	120	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	140	160	2,0	0,4	4,0	60	5,0	26	14	32	18,5	20	20
8	120	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	140	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	160	180	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	120	190	2,0	0,4	4,0	60	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	160	195	2,0	0,4	4,0	60	5,0	34	18	32	18,5	20	20
8	140	200	2,0	0,4	4,0	60	5,0	34	18	32	18,5	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
8	160	200	2,0	0,4	4,0	60	5,0	34	18	32	18,5	20	20
8	140	220	2,0	0,4	4,0	60	5,0	38	20	32	18,5	20	20
8	160	220	2,0	0,4	4,0	60	5,0	38	20	32	18,5	20	20
8	160	240	2,0	0,4	4,0	60	5,0	42	22	32	18,5	20	20
8	180	180	2,0	0,4	4,0	75	5,0	30	16	32	18,5	20	20
8	180	200	2,0	0,4	4,0	75	5,0	34	18	32	18,5	20	20
8	200	200	2,0	0,4	4,0	75	5,0	34	18	32	18,5	20	20
8	180	220	2,0	0,4	4,0	75	5,0	38	20	32	18,5	20	20
8	200	220	2,0	0,4	4,0	75	5,0	38	20	32	18,5	20	20
8	180	240	2,0	0,4	4,0	75	5,0	42	22	32	18,5	20	20
8	200	240	2,0	0,4	4,0	75	5,0	42	22	32	18,5	20	20
8	180	260	2,0	0,4	4,0	75	5,0	46	24	32	18,5	20	20
8	200	260	2,0	0,4	4,0	75	5,0	46	24	32	18,5	20	20
9	60	80	2,0	0,4	4,0	40	4,8	10	6	32	20	20	20
9	60	100	2,0	0,4	4,0	40	4,8	14	8	32	20	20	20
9	60	120	2,0	-	4,0	40	4,8	18	10	32	20	20	20
9	80	100	2,0	0,4	4,0	50	4,8	14	8	32	20	20	20
9	80	120	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	32	20	20	20
9	100	120	2,0	0,4	4,0	50	4,8	18	10	32	20	20	20
9	80	140	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	32	20	20	20
9	100	140	2,0	0,4	4,0	50	4,8	22	12	32	20	20	20
9	100	160	2,0	0,4	4,0	50	4,8	26	14	32	20	20	20
9	100	240	2,0	-	4,0	50	4,8	46	22	45	20	20	20
9	100	280	2,0	-	4,0	50	4,8	54	24	45	20	20	20
9	100	300	2,0	-	4,0	50	4,8	58	26	45	20	20	20
9	100	320	2,0	-	4,0	50	4,8	62	28	45	20	20	20
9	120	140	2,0	0,4	4,0	60	4,8	22	12	32	20	20	20
9	120	160	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
9	140	160	2,0	0,4	4,0	60	4,8	26	14	32	20	20	20
9	120	180	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
9	140	180	2,0	0,4	4,0	60	4,8	30	16	32	20	20	20
9	140	200	2,0	0,4	4,0	60	4,8	34	18	32	20	20	20

Hersteller	B	H	t	c	d _n	l _n	d _{BS}	n _{HT}	n _{NT}	e	a _{1(HT)}	a _{2(HT)}	a _{2(NT)}
9	120	240	2,0	-	4,0	60	4,8	46	26	45	20	20	20
9	140	240	2,5	-	4,0	60	4,8	46	26	45	20	20	20
9	160	240	2,5	0,4	4,0	60	4,8	38	20	45	20	20	20
9	120	280	2,0	-	4,0	60	4,8	54	30	45	20	20	20
9	140	280	2,5	-	4,0	60	4,8	54	30	45	20	20	20
9	160	280	2,5	0,4	4,0	60	4,8	46	26	45	20	20	20
9	120	300	2,0	-	4,0	60	4,8	58	32	45	20	20	20
9	140	300	2,5	-	4,0	60	4,8	58	32	45	20	20	20
9	160	300	2,5	-	4,0	60	4,8	54	30	45	20	20	20
9	120	320	2,0	-	4,0	60	4,8	62	34	45	20	20	20
9	140	320	2,5	-	4,0	60	4,8	62	34	45	20	20	20
9	160	320	2,5	-	4,0	60	4,8	62	34	45	20	20	20
9	180	200	2,5	0,4	4,0	70	4,8	38	22	45	20	20	20
9	180	220	2,5	0,4	4,0	70	4,8	42	24	45	20	20	20
9	180	240	2,5	0,4	4,0	70	4,8	46	26	45	20	20	20
9	180	280	2,5	0,4	4,0	70	4,8	54	30	45	20	20	20

Tabelle A2: Bemessungswerte der Tragfähigkeiten des Nebenträger- und Hauptträgeranschlusses

Legende:

B	Balkenschuhbreite in mm
H	Balkenschuhhöhe in mm
l_n	Nagellänge in mm
n_{HT}	Anzahl der Nägel im Hauptträger
n_{NT}	Anzahl der Nägel im Nebenträger
$F_{d(NT)}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit (Nebenträger) in kN ($k_{mod} = 0,5$)
$F_{d(HT)}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit (Hauptträger) in kN ($k_{mod} = 0,5$)

Hersteller	B	H	l_n	n_{HT}	n_{NT}	n_{HT}/n_{NT}	$F_{d(NT)}$	$F_{d(HT)}$	$F_{d(NT)}/F_{d(HT)}$	
							$k_{mod}=0,5$	$k_{mod}=0,5$	$k_{mod}=0,5$	$k_{mod}=0,8$
2	100	320	60	62	30	2,1	27,8	53,0	0,52	0,51
3	140	270	75	44	22	2,0	20,4	38,1	0,53	0,52
3	160	260	75	44	22	2,0	20,4	37,7	0,54	0,53
3	140	270	75	44	22	2,0	20,4	37,4	0,54	0,53
3	180	250	75	44	22	2,0	20,4	37,2	0,55	0,53
9	100	300	50	58	26	2,2	22,9	41,6	0,55	0,52
3	160	260	75	44	22	2,0	20,4	36,9	0,55	0,53
3	200	240	75	44	22	2,0	20,4	36,7	0,56	0,54
3	180	250	75	44	22	2,0	20,4	36,3	0,56	0,54
9	100	320	50	62	28	2,2	24,6	43,4	0,57	0,53
3	200	240	75	44	22	2,0	20,4	35,6	0,57	0,55
1b	120	250	60	34	18	1,9	16,7	29,1	0,57	0,56
1b	140	240	75	34	18	1,9	16,7	29,0	0,57	0,56
8	180	260	75	46	24	1,9	22,2	38,4	0,58	0,56
8	200	260	75	46	24	1,9	22,2	38,4	0,58	0,56
1b	160	230	75	34	18	1,9	16,7	28,5	0,58	0,56
1a	180	220	75	34	18	1,9	16,7	28,5	0,59	0,57
4a	60	220	60	30	16	1,9	14,8	25,1	0,59	0,57
9	100	280	50	54	24	2,3	21,1	35,8	0,59	0,55

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
8	180	240	75	42	22	1,9	20,4	34,5	0,59	0,57
8	200	240	75	42	22	1,9	20,4	34,5	0,59	0,57
1b	120	220	60	30	16	1,9	14,8	25,1	0,59	0,57
4b	100	320	50	62	28	2,2	24,6	41,7	0,59	0,55
8	160	240	60	42	22	1,9	20,4	34,0	0,60	0,57
4a	80	210	60	30	16	1,9	14,8	24,7	0,60	0,58
1b	140	210	75	30	16	1,9	14,8	24,6	0,60	0,58
1a	160	200	75	30	16	1,9	14,8	24,6	0,60	0,58
4b	100	300	50	58	26	2,2	22,9	37,9	0,60	0,56
8	180	220	75	38	20	1,9	18,5	30,6	0,60	0,58
8	200	220	75	38	20	1,9	18,5	30,6	0,60	0,58
4a	51	195	60	26	14	1,9	13,0	21,3	0,61	0,58
3	80	210	60	30	16	1,9	14,8	24,3	0,61	0,58
3	80	210	60	30	16	1,9	14,8	24,2	0,61	0,58
4a	100	200	60	30	16	1,9	14,8	24,2	0,61	0,58
8	160	220	60	38	20	1,9	18,5	30,1	0,61	0,58
4a	60	190	60	26	14	1,9	13,0	21,1	0,61	0,59
1b	60	220	40	26	14	1,9	10,9	17,7	0,62	0,60
1b	80	180	50	24	12	2,0	10,6	17,1	0,62	0,58
4a	115	193	60	30	16	1,9	14,8	23,9	0,62	0,59
8	140	220	60	38	20	1,9	18,5	29,9	0,62	0,59
4b	100	280	50	54	24	2,3	21,1	34,1	0,62	0,57
8	180	200	75	34	18	1,9	16,7	26,7	0,62	0,59
8	200	200	75	34	18	1,9	16,7	26,7	0,62	0,59
3	100	230	60	32	18	1,8	16,7	26,7	0,62	0,60
4a	73	184	60	26	14	1,9	13,0	20,8	0,62	0,59
1a	120	160	60	24	12	2,0	11,1	17,8	0,62	0,58
6	72	214	60	30	16	1,9	14,8	23,7	0,62	0,59
3	100	200	60	30	16	1,9	14,8	23,7	0,63	0,59
1b	100	170	50	24	12	2,0	10,6	16,8	0,63	0,59
3	100	200	60	30	16	1,9	14,8	23,6	0,63	0,59
4a	76	182	60	26	14	1,9	13,0	20,6	0,63	0,60
4a	120	190	60	30	16	1,9	14,8	23,5	0,63	0,59

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
1b	80	210	50	26	14	1,9	12,3	19,6	0,63	0,60
9	140	200	60	34	18	1,9	16,7	26,4	0,63	0,59
4a	80	180	60	26	14	1,9	13,0	20,5	0,63	0,60
9	160	300	60	54	30	1,8	27,8	43,9	0,63	0,60
3	120	250	75	38	22	1,7	20,4	32,2	0,63	0,61
3	120	220	60	32	18	1,8	16,7	26,3	0,63	0,61
8	160	200	60	34	18	1,9	16,7	26,3	0,63	0,60
4a	127	187	60	30	16	1,9	14,8	23,3	0,63	0,60
3	100	230	60	32	18	1,8	16,7	26,2	0,63	0,61
1a	140	180	60	26	14	1,9	13,0	20,4	0,63	0,60
2	180	200	60	38	20	1,9	18,5	29,1	0,64	0,60
9	120	300	60	58	32	1,8	29,6	46,4	0,64	0,61
9	140	300	60	58	32	1,8	29,6	46,4	0,64	0,61
8	140	200	60	34	18	1,9	16,7	26,0	0,64	0,60
9	160	240	60	38	20	1,9	18,5	28,9	0,64	0,60
3	140	240	75	38	22	1,7	20,4	31,7	0,64	0,62
3	120	250	75	38	22	1,7	20,4	31,7	0,64	0,62
3	120	190	60	30	16	1,9	14,8	23,0	0,64	0,61
9	120	320	60	62	34	1,8	31,5	48,7	0,65	0,61
9	140	320	60	62	34	1,8	31,5	48,7	0,65	0,61
9	160	320	60	62	34	1,8	31,5	48,7	0,65	0,61
8	180	180	75	30	16	1,9	14,8	22,9	0,65	0,61
1b	100	200	50	26	14	1,9	12,3	19,0	0,65	0,62
3	120	190	60	30	16	1,9	14,8	22,9	0,65	0,61
7	140	200	60	32	18	1,8	16,7	25,7	0,65	0,62
3	140	210	60	32	18	1,8	16,7	25,7	0,65	0,62
3	120	220	60	32	18	1,8	16,7	25,7	0,65	0,62
6	100	200	60	30	16	1,9	14,8	22,8	0,65	0,61
8	120	190	60	30	16	1,9	14,8	22,8	0,65	0,61
4a	140	180	60	30	16	1,9	14,8	22,8	0,65	0,61
8	80	210	50	30	16	1,9	14,1	21,6	0,65	0,62
4a	100	170	60	26	14	1,9	13,0	19,9	0,65	0,61
3	160	230	75	38	22	1,7	20,4	31,2	0,65	0,63
3	140	240	75	38	22	1,7	20,4	31,2	0,65	0,63

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
4b	120	180	60	30	16	1,9	14,8	22,6	0,66	0,61
9	120	180	60	30	16	1,9	14,8	22,6	0,66	0,61
9	140	180	60	30	16	1,9	14,8	22,6	0,66	0,61
8	160	180	60	30	16	1,9	14,8	22,4	0,66	0,62
9	160	280	60	46	26	1,8	24,1	36,4	0,66	0,63
8	160	195	60	34	18	1,9	16,7	25,1	0,66	0,62
3	160	200	60	32	18	1,8	16,7	25,0	0,67	0,63
3	140	210	60	32	18	1,8	16,7	25,0	0,67	0,63
4b	120	320	60	62	34	1,8	31,5	47,2	0,67	0,62
4b	140	320	60	62	34	1,8	31,5	47,2	0,67	0,62
8	140	180	60	30	16	1,9	14,8	22,2	0,67	0,62
3	180	220	75	38	22	1,7	20,4	30,5	0,67	0,64
3	160	230	75	38	22	1,7	20,4	30,5	0,67	0,64
6	115	192	60	30	16	1,9	14,8	22,2	0,67	0,62
9	180	280	70	54	30	1,8	27,8	41,5	0,67	0,63
3	140	180	60	30	16	1,9	14,8	22,1	0,67	0,62
4a	115	163	60	26	14	1,9	13,0	19,3	0,67	0,63
6	120	190	60	30	16	1,9	14,8	22,0	0,67	0,62
3	140	180	60	30	16	1,9	14,8	22,0	0,67	0,62
8	100	200	50	30	16	1,9	14,1	20,8	0,67	0,63
8	120	180	60	30	16	1,9	14,8	21,9	0,67	0,63
8	60	190	40	26	14	1,9	10,9	16,1	0,68	0,65
3	80	180	50	26	14	1,9	12,3	18,1	0,68	0,64
4a	120	160	60	26	14	1,9	13,0	19,0	0,68	0,63
9	120	280	60	54	30	1,8	27,8	40,7	0,68	0,64
9	140	280	60	54	30	1,8	27,8	40,7	0,68	0,64
8	140	180	60	30	16	1,9	14,8	21,7	0,68	0,63
2	140	180	60	30	16	1,9	14,8	21,6	0,68	0,63
9	100	240	50	46	22	2,1	19,3	28,3	0,68	0,63
3	180	220	75	38	22	1,7	20,4	29,7	0,69	0,65
4b	120	300	60	58	32	1,8	29,6	43,2	0,69	0,64
4b	140	300	60	58	32	1,8	29,6	43,2	0,69	0,64
4b	140	160	60	26	14	1,9	13,0	18,8	0,69	0,64
9	120	160	60	26	14	1,9	13,0	18,8	0,69	0,64

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod=0,5}	k _{mod=0,5}	k _{mod=0,5}	k _{mod=0,8}
9	140	160	60	26	14	1,9	13,0	18,8	0,69	0,64
3	160	200	60	32	18	1,8	16,7	24,2	0,69	0,64
6	60	190	60	24	14	1,7	13,0	18,8	0,69	0,65
6	127	186	60	30	16	1,9	14,8	21,5	0,69	0,64
4b	180	280	70	54	30	1,8	27,8	40,1	0,69	0,64
4a	48	166	50	22	12	1,8	10,6	15,2	0,69	0,65
3	80	180	50	26	14	1,9	12,3	17,8	0,69	0,65
4a	51	165	50	22	12	1,8	10,6	15,2	0,70	0,65
4b	160	320	60	62	34	1,8	31,5	45,0	0,70	0,65
8	80	180	50	26	14	1,9	12,3	17,6	0,70	0,65
7	120	180	60	28	16	1,8	14,8	21,1	0,70	0,65
7	140	180	60	28	16	1,8	14,8	21,1	0,70	0,65
5	140	200	60	34	20	1,7	18,5	26,3	0,70	0,66
6	140	180	60	30	16	1,9	14,8	21,1	0,70	0,64
8	60	160	40	24	12	2,0	9,4	13,3	0,70	0,67
8	140	160	60	26	14	1,9	13,0	18,4	0,70	0,65
6	76	182	60	24	14	1,7	13,0	18,3	0,71	0,66
4b	120	280	60	54	30	1,8	27,8	39,2	0,71	0,66
4b	140	280	60	54	30	1,8	27,8	39,2	0,71	0,66
4b	160	280	60	54	30	1,8	27,8	39,2	0,71	0,66
7	120	160	60	24	14	1,7	13,0	18,3	0,71	0,66
7	140	160	60	24	14	1,7	13,0	18,3	0,71	0,66
2	100	140	60	24	12	2,0	11,1	15,6	0,71	0,64
6	80	180	60	24	14	1,7	13,0	18,2	0,71	0,67
4a	60	160	50	22	12	1,8	10,6	14,8	0,71	0,67
3	100	170	50	26	14	1,9	12,3	17,3	0,71	0,66
8	120	160	60	26	14	1,9	13,0	18,1	0,72	0,65
8	120	160	60	26	14	1,9	13,0	18,1	0,72	0,65
3	115	163	60	30	16	1,9	14,8	20,7	0,72	0,65
9	180	240	70	46	26	1,8	24,1	33,5	0,72	0,67
6	60	160	50	22	12	1,8	10,6	14,6	0,72	0,67
2	120	160	60	26	14	1,9	13,0	17,9	0,72	0,66
4b	100	240	50	46	22	2,1	19,3	26,7	0,72	0,66

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod=0,5}	k _{mod=0,5}	k _{mod=0,5}	k _{mod=0,8}
3	100	170	50	26	14	1,9	12,3	16,9	0,73	0,68
4a	70	155	50	22	12	1,8	10,6	14,4	0,73	0,68
8	76	152	50	24	12	2,0	10,6	14,4	0,73	0,67
4b	120	140	60	22	12	1,8	11,1	15,1	0,73	0,67
9	120	140	60	22	12	1,8	11,1	15,1	0,73	0,67
4a	73	154	50	22	12	1,8	10,6	14,3	0,74	0,68
8	100	170	50	26	14	1,9	12,3	16,7	0,74	0,68
9	120	240	60	46	26	1,8	24,1	32,6	0,74	0,68
9	140	240	60	46	26	1,8	24,1	32,6	0,74	0,68
6	100	170	60	24	14	1,7	13,0	17,5	0,74	0,68
5	120	180	60	30	18	1,7	16,7	22,5	0,74	0,69
5	140	180	60	30	18	1,7	16,7	22,5	0,74	0,69
6	70	155	50	22	12	1,8	10,6	14,2	0,74	0,69
8	80	150	50	24	12	2,0	10,6	14,2	0,74	0,68
1b	60	160	40	16	10	1,6	7,8	10,5	0,74	0,72
4a	76	152	50	22	12	1,8	10,6	14,2	0,74	0,69
4b	180	240	70	46	26	1,8	24,1	32,1	0,75	0,69
4b	100	160	50	26	14	1,9	12,3	16,4	0,75	0,69
9	100	160	50	26	14	1,9	12,3	16,4	0,75	0,69
4a	80	150	50	22	12	1,8	10,6	14,0	0,75	0,70
9	180	220	70	42	24	1,8	22,2	29,4	0,75	0,69
6	76	152	50	22	12	1,8	10,6	14,0	0,75	0,70
3	120	160	50	26	14	1,9	12,3	16,3	0,76	0,70
8	100	160	50	26	14	1,9	12,3	16,2	0,76	0,70
6	80	150	50	22	12	1,8	10,6	13,8	0,76	0,70
6	115	162	60	24	14	1,7	13,0	16,9	0,77	0,70
8	120	140	60	22	12	1,8	11,1	14,4	0,77	0,70
4b	120	240	60	46	26	1,8	24,1	31,1	0,77	0,70
4b	140	240	60	46	26	1,8	24,1	31,1	0,77	0,70
4b	160	240	60	46	26	1,8	24,1	31,1	0,77	0,70
3	120	160	50	26	14	1,9	12,3	15,9	0,77	0,71
6	120	160	60	24	14	1,7	13,0	16,7	0,78	0,71
4a	40	140	50	18	10	1,8	8,8	11,3	0,78	0,72

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
7	120	140	60	20	12	1,7	11,1	14,3	0,78	0,72
4a	90	145	50	22	12	1,8	10,6	13,5	0,78	0,72
1b	80	150	50	16	10	1,6	8,8	11,3	0,78	0,74
3	60	160	40	20	12	1,7	9,4	12,0	0,78	0,75
7	100	160	50	24	14	1,7	12,3	15,7	0,79	0,73
3	60	160	40	20	12	1,7	9,4	11,9	0,79	0,75
4a	45	138	50	18	10	1,8	8,8	11,2	0,79	0,72
5	120	160	60	26	16	1,6	14,8	18,8	0,79	0,73
5	140	160	60	26	16	1,6	14,8	18,8	0,79	0,73
4b	180	220	70	42	24	1,8	22,2	28,1	0,79	0,72
6	90	145	50	22	12	1,8	10,6	13,3	0,79	0,72
4a	48	136	50	18	10	1,8	8,8	11,0	0,80	0,73
1a	100	140	50	16	10	1,6	8,8	11,0	0,80	0,75
9	180	200	70	38	22	1,7	20,4	25,5	0,80	0,72
4a	98	141	50	22	12	1,8	10,6	13,1	0,80	0,73
3	76	152	50	20	12	1,7	10,6	13,1	0,80	0,75
4a	51	135	50	18	10	1,8	8,8	10,9	0,80	0,74
9	80	140	50	22	12	1,8	10,6	13,0	0,81	0,74
9	100	140	50	22	12	1,8	10,6	13,0	0,81	0,74
4a	100	140	50	22	12	1,8	10,6	13,0	0,81	0,74
3	80	150	50	20	12	1,7	10,6	13,0	0,81	0,75
3	80	150	50	20	12	1,7	10,6	12,9	0,82	0,76
6	100	140	50	22	12	1,8	10,6	12,8	0,82	0,75
8	100	140	50	22	12	1,8	10,6	12,8	0,82	0,75
8	100	140	50	22	12	1,8	10,6	12,8	0,82	0,75
4b	80	140	50	22	12	1,8	10,6	12,6	0,84	0,76
4a	60	130	50	18	10	1,8	8,8	10,5	0,84	0,76
4b	180	200	70	38	22	1,7	20,4	24,2	0,84	0,75
8	80	140	50	22	12	1,8	10,6	12,5	0,85	0,77
7	80	140	50	20	12	1,7	10,6	12,4	0,85	0,78
7	100	140	50	20	12	1,7	10,6	12,4	0,85	0,78
4a	64	128	50	18	10	1,8	8,8	10,3	0,85	0,77
5	120	140	60	22	14	1,6	13,0	15,1	0,86	0,78

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
5	60	120	40	18	10	1,8	7,8	9,1	0,86	0,81
5	100	160	50	26	16	1,6	14,1	16,4	0,86	0,79
8	60	130	40	18	10	1,8	7,8	9,1	0,86	0,81
1b	60	130	40	16	10	1,6	7,8	9,0	0,86	0,82
3	100	140	50	20	12	1,7	10,6	12,1	0,87	0,80
2	80	120	50	20	10	2,0	8,8	10,1	0,87	0,78
4b	140	200	60	38	22	1,7	20,4	23,3	0,87	0,78
4b	160	200	60	38	22	1,7	20,4	23,3	0,87	0,78
4a	70	125	50	18	10	1,8	8,8	10,0	0,88	0,79
3	100	140	50	20	12	1,7	10,6	12,0	0,88	0,80
4a	73	124	50	18	10	1,8	8,8	9,9	0,89	0,80
6	60	130	50	16	10	1,6	8,8	9,9	0,89	0,82
9	80	120	50	18	10	1,8	8,8	9,9	0,89	0,80
9	100	120	50	18	10	1,8	8,8	9,9	0,89	0,80
4a	40	110	40	14	8	1,8	6,2	7,0	0,89	0,84
5	80	140	50	22	14	1,6	12,3	13,7	0,90	0,83
5	100	140	50	22	14	1,6	12,3	13,7	0,90	0,83
4a	76	122	50	18	10	1,8	8,8	9,7	0,90	0,81
3	60	100	40	16	8	2,0	6,2	6,9	0,91	0,84
8	70	125	40	18	10	1,8	7,8	8,6	0,91	0,85
4b	100	120	50	18	10	1,8	8,8	9,7	0,91	0,82
9	60	120	40	18	10	1,8	7,8	8,6	0,91	0,85
8	100	120	50	18	10	1,8	8,8	9,6	0,91	0,82
8	100	120	50	18	10	1,8	8,8	9,6	0,91	0,82
4a	45	108	40	14	8	1,8	6,2	6,8	0,91	0,85
8	76	122	50	18	10	1,8	8,8	9,6	0,92	0,82
4a	80	120	50	18	10	1,8	8,8	9,5	0,92	0,83
6	70	125	50	16	10	1,6	8,8	9,5	0,93	0,85
1a	80	120	50	16	10	1,6	8,8	9,4	0,94	0,85
8	80	120	50	18	10	1,8	8,8	9,4	0,94	0,84
1b	64	95	40	14	8	1,8	6,2	6,6	0,94	0,88
7	80	120	50	16	10	1,6	8,8	9,3	0,94	0,86
7	100	120	50	16	10	1,6	8,8	9,3	0,94	0,86

Hersteller	B	H	l _n	n _{HT}	n _{NT}	n _{HT} /n _{NT}	F _{d(NT)}	F _{d(HT)}	F _{d(NT)} /F _{d(HT)}	
							k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,5	k _{mod} =0,8
8	80	120	50	18	10	1,8	8,8	9,3	0,95	0,84
4a	51	105	40	14	8	1,8	6,2	6,6	0,95	0,88
6	76	122	50	16	10	1,6	8,8	9,2	0,95	0,86
1a	70	120	40	16	10	1,6	7,8	8,2	0,95	0,90
6	60	100	40	14	8	1,8	6,2	6,5	0,96	0,90
5	60	100	40	14	8	1,8	6,2	6,4	0,97	0,90
6	80	120	50	16	10	1,6	8,8	9,1	0,97	0,88
1a	60	100	40	14	8	1,8	6,2	6,3	0,99	0,92
3	60	100	40	16	8	2,0	6,2	6,2	1,00	0,92
2	60	100	40	16	8	2,0	6,2	6,2	1,01	0,93
4a	64	98	40	14	8	1,8	6,2	6,2	1,01	0,94
5	80	120	50	18	12	1,5	10,6	10,4	1,01	0,92
5	100	120	50	18	12	1,5	10,6	10,4	1,01	0,92
9	80	100	50	14	8	1,8	7,0	6,9	1,02	0,90
8	60	120	40	18	10	1,8	7,8	7,6	1,02	0,94
3	60	130	40	18	12	1,5	9,4	9,1	1,03	0,96
3	64	98	40	16	8	2,0	6,2	6,0	1,03	0,95
4a	60	100	40	14	8	1,8	6,2	6,0	1,04	0,96
9	60	100	40	14	8	1,8	6,2	6,0	1,04	0,96
3	60	130	40	18	12	1,5	9,4	8,9	1,05	0,98
4b	80	100	50	14	8	1,8	7,0	6,6	1,06	0,94
3	64	128	40	18	12	1,5	9,4	8,7	1,07	1,00
7	80	100	50	12	8	1,5	7,0	6,5	1,09	0,98
8	80	100	50	14	8	1,8	7,0	6,4	1,10	0,97
3	70	125	40	18	12	1,5	9,4	8,5	1,10	1,03
7	60	100	40	12	8	1,5	6,2	5,6	1,11	1,04
5	60	80	40	10	6	1,7	4,7	4,1	1,14	1,05
3	80	120	40	18	12	1,5	9,4	8,2	1,14	1,06
3	80	120	40	18	12	1,5	9,4	8,0	1,17	1,09
5	80	100	50	14	10	1,4	8,8	7,4	1,18	1,06
8	60	100	40	14	8	1,8	6,2	5,2	1,21	1,11
8	60	100	40	14	8	1,8	6,2	5,1	1,22	1,12
9	60	80	40	10	6	1,7	4,7	3,8	1,24	1,14
8	60	80	40	10	6	1,7	4,7	3,0	1,54	1,40

Tabelle A3: Vergleich der rechnerischen Tragfähigkeiten mit Versuchsergebnissen

Legende:

Nummer Prüfzeugnisnummer bzw. Nummer der Reihe aus Forschungsbericht Ehlbeck und Görlacher (1984b)

B Balkenschuhbreite in mm

H Balkenschuhhöhe in mm

n_{NT} Anzahl der Nägel im Nebenträger

α Winkel zwischen Kraft und Symmetrieachse des Balkenschuhs

H_N Nebenträgerhöhe (nur für $\alpha \neq 0$)

maxF Tragfähigkeit aus Versuchen in kN

F_k charakteristischer Bemessungswert der Tragfähigkeit in kN

Nummer	B	H	n_{NT}	α	H_N	maxF	F_k	maxF/ F_k
1	60	100	8	0		17,5	12,5	1,40
1	60	100	8	0		24,4	12,5	1,95
1	60	100	8	0		19,06	12,5	1,52
1	60	100	8	0		18,1	12,5	1,45
1	60	100	8	0		20	12,5	1,60
1	100	140	12	0		35,5	18,8	1,89
1	100	140	12	0		45	18,8	2,40
1	100	140	12	0		43,8	18,8	2,33
1	100	140	12	0		35,9	18,8	1,91
1	100	140	12	0		40,4	18,8	2,15
1	140	180	16	0		71	25,0	2,84
1	140	180	16	0		62,5	25,0	2,50
1	140	180	16	0		62,5	25,0	2,50
1	140	180	16	0		61,3	25,0	2,45
1	140	180	16	0		62,5	25,0	2,50
1	180	220	20	0		75	31,3	2,40
1	180	220	20	0		75	31,3	2,40

Nummer	B	H	n_{NT}	α	H_N	maxF	F_k	maxF/ F_k
1	180	220	20	0		75	31,3	2,40
1	180	220	20	0		75	31,3	2,40
1	180	220	20	0		75	31,3	2,40
2	60	100	8	0		18,7	12,5	1,49
2	60	100	8	0		20	12,5	1,60
2	60	100	8	0		14,8	12,5	1,18
2	100	140	12	0		39	18,8	2,08
2	100	140	12	0		38,5	18,8	2,05
2	100	140	12	0		40,5	18,8	2,16
2	100	140	12	0		36	18,8	1,92
2	140	200	18	0		55,5	28,2	1,97
2	140	200	18	0		58,6	28,2	2,08
2	140	200	18	0		58,6	28,2	2,08
2	140	200	18	0		58,6	28,2	2,08
2	100	320	31	0		81,6	48,5	1,68
2	100	320	31	0		81	48,5	1,67
2	100	320	31	0		81,7	48,5	1,68
2	180	200	38	0		99,2	59,5	1,67
2	180	200	38	0		87,8	59,5	1,48
2	180	200	38	0		94,5	59,5	1,59
3	60	100	10	0		20,2	15,7	1,29
3	60	100	10	0		33	15,7	2,11
3	60	100	10	0		36,3	15,7	2,32
3	100	140	14	0		50,9	21,9	2,32
3	100	140	14	0		58,8	21,9	2,68
3	100	140	14	0		57,4	21,9	2,62
3	140	180	18	0		71,7	28,2	2,55
3	140	180	18	0		63,8	28,2	2,26
3	140	180	18	0		76	28,2	2,70
4	60	100	8	0		25,3	12,5	2,02

Nummer	B	H	n_{NT}	α	H_N	maxF	F_k	maxF/ F_k
4	60	100	8	0		19	12,5	1,52
4	60	100	8	0		25,8	12,5	2,06
4	100	120	10	0		49,65	15,7	3,17
4	100	120	10	0		46,3	15,7	2,96
4	100	120	10	0		46,7	15,7	2,98
4	140	180	16	0		64	25,0	2,56
4	140	180	16	0		67,9	25,0	2,71
4	140	180	16	0		64,2	25,0	2,56
4	140	180	16	0		64,4	25,0	2,57
4	140	180	16	0		65,8	25,0	2,63
4	140	180	16	0		69,6	25,0	2,78
5	60	100	8	0		16,8	12,5	1,34
5	60	100	8	0		17,1	12,5	1,37
5	60	100	8	0		15,3	12,5	1,22
5	60	100	8	0		16,6	12,5	1,33
5	60	100	8	0		12,5	12,5	1,00
5	100	140	10	0		31,8	15,7	2,03
5	100	140	10	0		31,3	15,7	2,00
5	100	140	10	0		34,2	15,7	2,19
5	100	140	10	0		34,4	15,7	2,20
5	100	140	10	0		28,4	15,7	1,81
5	140	180	14	0		60,6	21,9	2,77
5	140	180	14	0		54	21,9	2,46
5	140	180	14	0		56	21,9	2,56
5	140	180	14	0		60	21,9	2,74
5	140	180	14	0		42,8	21,9	1,95
5	180	220	18	0		62	28,2	2,20
5	180	220	18	0		69,5	28,2	2,47
5	180	220	18	0		74	28,2	2,63
5	180	220	18	0		68,6	28,2	2,43

Nummer	B	H	n _{NT}	α	H _N	maxF	F _k	maxF/F _k
5	180	220	18	0		73,8	28,2	2,62
6	60	100	8	0		25,5	12,5	2,04
6	60	100	8	0		30,6	12,5	2,44
6	60	100	8	0		31,5	12,5	2,52
6	100	140	12	0		49,2	18,8	2,62
6	100	140	12	0		51,6	18,8	2,75
6	100	140	12	0		49,1	18,8	2,61
6	140	180	16	0		70,1	25,0	2,80
6	140	180	16	0		63	25,0	2,52
6	140	180	16	0		65,9	25,0	2,63
6	180	220	44	0		102,8	68,9	1,49
6	180	220	44	0		102,5	68,9	1,49
6	180	220	44	0		97,3	68,9	1,41
Reihe1 - 1.0.1	100	140	12	0	150	45,6	18,8	2,43
Reihe1 - 1.0.2	100	140	12	0	150	42,7	18,8	2,27
Reihe1 - 1.0.3	100	140	12	0	150	45,2	18,8	2,41
Reihe1 - 1.0.4	100	140	14	0	150	47	21,9	2,14
Reihe1 - 1.0.5	100	140	14	0	150	46	21,9	2,10
Reihe1 - 1.0.6	100	140	14	0	150	50,9	21,9	2,32
Reihe1 - 1.15.1	100	140	12	20	150	36,2	14,3	2,53
Reihe1 - 1.15.2	100	140	10	19	150	33,2	12,2	2,73
Reihe1 - 1.15.3	100	140	12	18	150	30,2	14,9	2,03
Reihe1 - 1.30.1	100	140	12	36	150	32,6	10,6	3,07
Reihe1 - 1.30.2	100	140	10	36	150	30,4	8,8	3,44
Reihe1 - 1.30.3	100	140	12	36	150	30,8	10,6	2,90
Reihe1 - 1.45.1	100	140	12	51	150	26,2	8,6	3,03
Reihe1 - 1.45.2	100	140	10	51	150	25,4	7,2	3,53
Reihe1 - 1.45.3	100	140	12	51	150	27,8	8,6	3,22
Reihe1 - 1.90.1	100	140	14	90	150	19,9	8,2	2,43

Nummer	B	H	n_{NT}	α	H_N	maxF	F_k	maxF/ F_k
Reihe1 - 1.90.2	100	140	12	90	150	24,6	7,0	3,51
Reihe2 - 2.15.1	100	140	12	22	210	31,8	11,2	2,85
Reihe2 - 2.15.2	100	140	10	22	210	25,9	9,3	2,79
Reihe2 - 2.15.3	100	140	12	22	210	31	11,2	2,78
Reihe2 - 2.30.1	100	140	12	37	210	32	7,8	4,08
Reihe2 - 2.30.2	100	140	10	37	210	31	6,5	4,74
Reihe2 - 2.30.3	100	140	12	37	210	32	7,8	4,08
Reihe2 - 2.45.1	100	140	12	51	210	18,8	6,3	2,98
Reihe2 - 2.45.2	100	140	10	51	210	17,5	5,2	3,33
Reihe2 - 2.45.3	100	140	12	51	210	18,4	6,3	2,92
Reihe2 - 2.90.1	100	140	14	90	210	11,7	5,8	2,00
Reihe2 - 2.90.2	100	140	12	90	210	11,8	5,0	2,36
Reihe3 - 3.0.1	60	100	8	0	120	25,3	12,5	2,02
Reihe3 - 3.0.2	60	100	8	0	120	19	12,5	1,52
Reihe3 - 3.0.3	60	100	8	0	120	25,8	12,5	2,06
Reihe3 - 3.0.4	60	100	8	0	120	25,5	12,5	2,04
Reihe3 - 3.0.5	60	100	8	0	120	27,9	12,5	2,23
Reihe3 - 3.0.6	60	100	8	0	120	26,2	12,5	2,09
Reihe3 - 3.0.7	60	100	10	0	120	28	15,7	1,79
Reihe3 - 3.0.8	60	100	10	0	120	31	15,7	1,98
Reihe3 - 3.15.1	60	100	8	20	120	17,8	9,0	1,98
Reihe3 - 3.15.2	60	100	8	20	120	19	9,0	2,11
Reihe3 - 3.15.3	60	100	8	19	120	17,5	9,2	1,90
Reihe3 - 3.45.1	60	100	8	49	120	10,4	5,3	1,96
Reihe3 - 3.45.2	60	100	8	50	120	11	5,2	2,10
Reihe3 - 3.45.3	60	100	8	51	120	12,1	5,2	2,33
Reihe3 - 3.90.1	60	100	10	90	120	10,6	5,2	2,03
Reihe3 - 3.90.2	60	100	10	90	120	9,8	5,2	1,88
Reihe4 - 4.0.1	140	180	16	0	220	64	25,0	2,56
Reihe4 - 4.0.2	140	180	16	0	220	64,3	25,0	2,57

Nummer	B	H	n _{NT}	α	H _N	maxF	F _k	maxF/F _k
Reihe4 - 4.0.3	140	180	16	0	220	64,2	25,0	2,56
Reihe4 - 4.0.4	140	180	16	0	220	60,2	25,0	2,40
Reihe4 - 4.0.5	140	180	16	0	220	58,5	25,0	2,34
Reihe4 - 4.0.6	140	180	16	0	220	61,5	25,0	2,46
Reihe4 - 4.0.7	140	180	18	0	220	62,6	28,2	2,22
Reihe4 - 4.0.8	140	180	18	0	220	61,1	28,2	2,17
Reihe4 - 4.0.9	140	180	18	0	220	68,5	28,2	2,43
Reihe4 - 4.15.1	140	180	16	22	220	53,7	17,0	3,16
Reihe4 - 4.15.2	140	180	14	22	220	58,5	14,9	3,93
Reihe4 - 4.15.3	140	180	16	22	220	52,7	17,0	3,10
Reihe4 - 4.45.1	140	180	16	51	220	37,3	10,2	3,66
Reihe4 - 4.45.2	140	180	14	51	220	37,8	8,9	4,24
Reihe4 - 4.45.3	140	180	16	51	220	35	10,2	3,43
Reihe4 - 4.90.1	140	180	18	90	220	27,3	9,2	2,96
Reihe4 - 4.90.2	140	180	16	90	220	23,6	8,2	2,88