

Statische Modellierung

Allgemeines

Das statische Modell beeinflusst bekanntermaßen die Schnittgrößen und somit auch die Bemessung in sehr bedeutendem Umfang. Mit zunehmender Rechnerleistung entwickelte sich die Modellierung von NP-Bindern von einfachen Fachwerkmodellen hin zu Modellen nach Rahmentheorie mit Dreh- und Wegfedern in den Stabanschlüssen.

Mit DIN 1052:2008-12 wurde ein Augenmerk auf die statische Modellierung gelegt; sicherlich nicht zuletzt aus der Unzufriedenheit der Sachverständigen heraus, dass nicht realistische statische Modelle verwendet wurden. Grundlagen hierzu wurden unter anderem im Forschungsauftrag „Vergleichsberechnungen für Nagelplattenkonstruktionen“ von Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Brüninghoff an der Bergischen Universität Wuppertal im Jahr 2000 überprüft und geschaffen. Das dort untersuchte statische Modell zeigt eindeutig die Weg- und Drehfedern in den Schwerpunkten der Anschlussflächen der Nagelplatten sowie die Verbindungselemente.

Soweit bekannt, haben sich spätestens zu Beginn der Jahrtausendwende alle zu der Zeit auf dem deutschen Markt tätigen Systemgeber dafür entschieden, unter anderem ein statisches Modell zu verwenden, welches dem statischen Modell von Prof. Brüninghoff entspricht. Die Weg- und Drehfedern werden als Funktion des Verschiebungsmoduls und der Anschlussfläche beziehungsweise des polaren Trägheitsmomentes dieser Anschlussfläche ermittelt und berücksichtigt. Die Schwerpunkte der Anschlussflächen sind durch auf die Stabachsen rechtwinklig stehende fiktive Stäbe verbunden, welche die Ausmitten berücksichtigen. Untereinander sind die Anschlussflächen durch starre Stäbe verbunden, alternativ ist jeder Schwerpunkt starr mit dem Mittelpunkt der Platte verbunden. Dieses Modell wird häufig als „Platten-Holz-Modell“ bezeichnet.

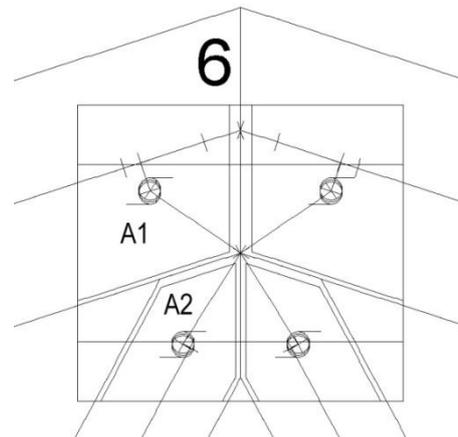


Bild 1: Darstellung "Platten-Holz"-Modell

Solche Modellbildungen sind keine ganz neue Idee. In Skandinavien wurden schon sehr früh Überlegungen angestellt.

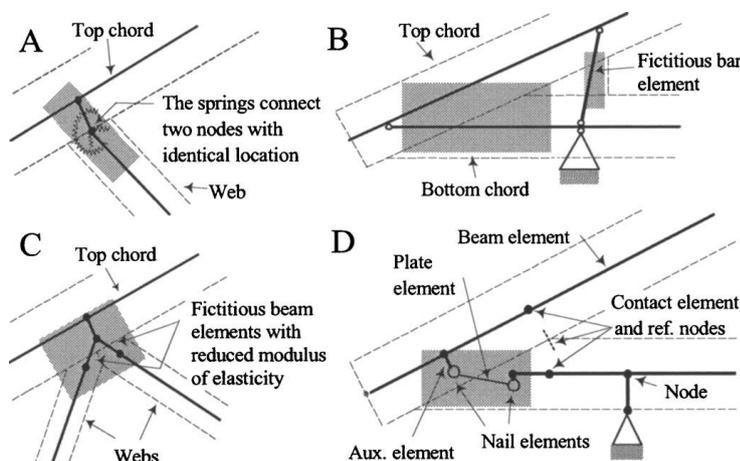


Bild 2: Kontaktelement an der Traufe, fiktive Stäbe und Federanschlüsse finden sich bereits in Ausarbeitungen von Peter Ellegaard

Überlegungen zur Modellierung mit Federn und dem Kontaktelement trifft Riberholt bereits 1990 in „Analysis of timber trussed rafters of the W-type“

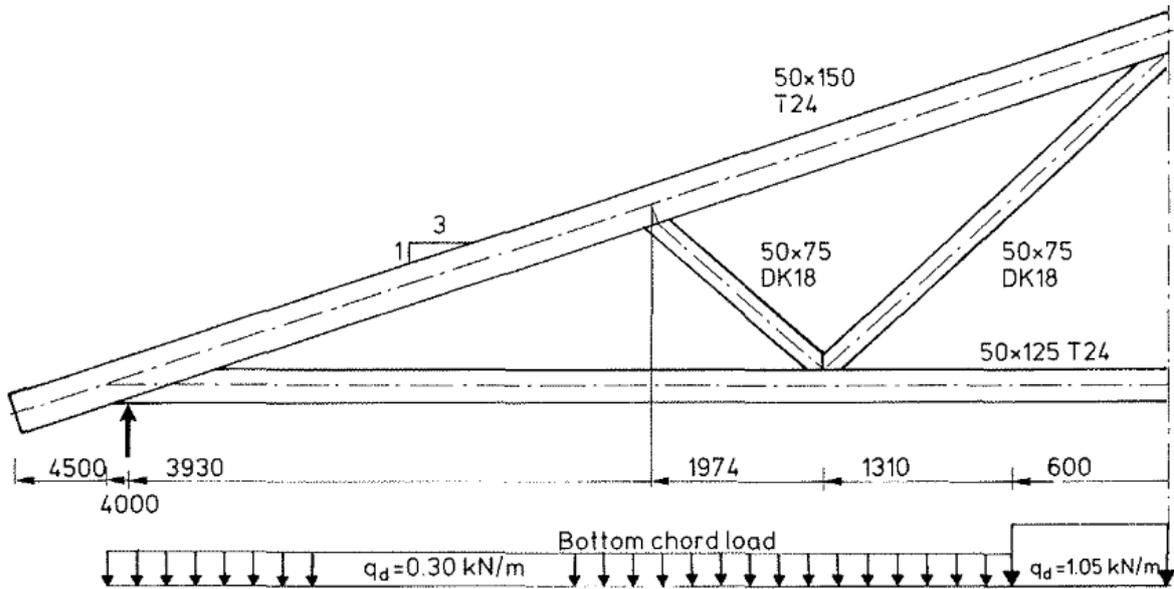


Bild 3: Dreiecksbinder – statische Modellierung nach Riberholt

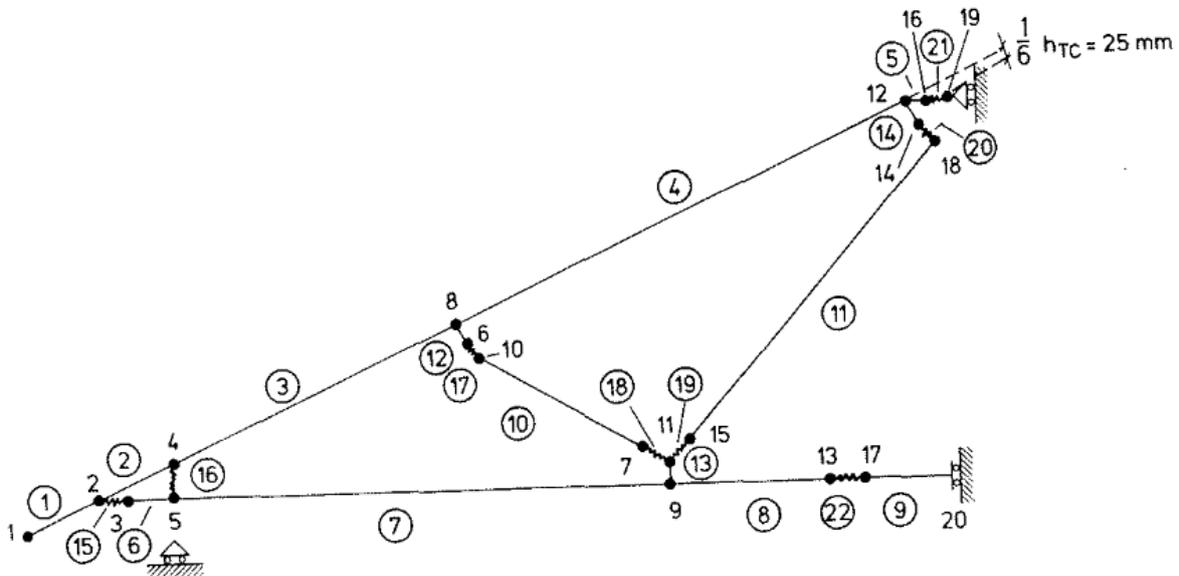


Bild 4: Statisches Modell eines Dreiecksbinders nach Riberholt

Die Verwendung verschiedener statischer Modelle kann lokal zu großen Unterschieden bei den Schnittgrößen führen, wobei hiervon die Querkraft und das Biegemoment maßgeblich betroffen sind. Die Abweichungen bei den Normalkräften fallen hingegen gering aus.

Anpassung der statischen Modellbildung, Erkenntnisse von Tests

Aus den Vorgaben der DIN1052:2004-08 wurden Entwürfe der Modellbildung u.a. von Prof. Brüninghoff gemacht. Hier wurde kein Kontakt zwischen Ober- und Untergurten angesetzt. Laut Norm darf nur außerhalb des Verbindungselementes, welches über die Verbindung der beiden Anschlusschwerpunkte definiert ist, Druckkontakt angesetzt werden.

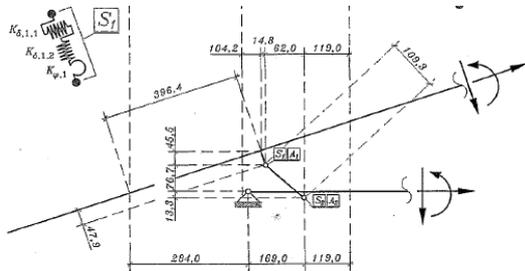


Bild 5: Auszug aus „Vergleichsberechnung von Nagelplattenkonstruktionen“ von August 2000

Es zeichnete sich schnell ab, dass z.B. der Druckkontakt an Traufknoten nicht weggelassen werden kann. Um dies zu bestätigen, wurden auch Belastungsversuche an verschiedenen Traufknotenausbildungen gemacht. An der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine in Karlsruhe wurde im Auftrag der GIN e.V. im August 2002 ein solcher Versuch (Prüfbericht Nr. 016124) durchgeführt.

Zur Auswertung der Ergebnisse des Prüfberichtes wurde eine Studie in Auftrag gegeben. In der Studie „Optimierung des Traufknotens zweier Nagelplattenbinder nach E DIN 1052 (02.00)“, erarbeitet vom Ingenieurbüro Blaß & Eberhart, kam es in der Zusammenfassung zu folgender Empfehlung: „...Dabei verbessert eine zusätzliche Berücksichtigung von Kontaktdruckkräften die Wirklichkeitsnähe der Nachweise.“

Um die Modellbildung möglichst universell einsetzbar zu gestalten, wurden viele Modelle analysiert und u.a. mit RStab der Fa. Dlubal modelliert und berechnet.

Danach kam es im Dezember 2007 zu einer Gutachtlichen Stellungnahme von Prof. Blass im Auftrag der Fa. Eleco Bauprodukte GmbH. Diese Stellungnahme war dann wiederum ausschlaggebend für den ergänzenden Hinweis in den Zulassungen:

3.1.5 Abweichend von DIN 1052:2008-12, Abschnitt 8.8.1 (10) darf bei Auflagerknoten von Nagelplattenbindern auch im Bereich innerhalb der Verbindungselemente die Übertragung von Kontaktkräften zwischen den Stäben rechnerisch angesetzt werden.

Dieser Passus musste selbstverständlich vorher noch vom Sachverständigenausschuss des DIBt genehmigt werden.

Es ist hier sehr gut zu erkennen, welcher Aufwand von der Nagelplattenindustrie betrieben wurde, um den Herstellern von Nagelplattenkonstruktionen eine zuverlässige Software mit ausreichend kontrollierten Modellannahmen an die Hand zu geben.

Verwendung des plattenorientierten statischen Modells in der Version DIN1052:2008-12 von TrussCon (2010/DIN08)

Hintergrund

In der DIN1052:2008-12 finden sich Hinweise, wie die Anschlüsse bei "indirekten Verbindungen" (Nagelplatten) zu modellieren sind.

Abschnitt 8.8.1 "Allgemeines"

Die Drehsteifigkeit der Anschlüsse an ein Verbindungselement ist so zu berücksichtigen, dass das Tragwerk nicht kinematisch wird. Hierzu sollten entweder

- die Drehsteifigkeiten aller Anschlüsse berücksichtigt werden (Bild 14 b) oder
- eine hinreichende Anzahl oder alle Stäbe drehstarr an das Verbindungselement angeschlossen werden oder
- die Anschlusspunkte aller Stäbe drehstarr angenommen und an einen gemeinsamen Gelenkpunkt auf dem Verbindungselement angeschlossen werden (Bild 14 c).

Für reine Fachwerkkonstruktionen finden sich weitere Kriterien von (1) bis (8):

8.8.2 Vereinfachte Berechnung von Fachwerken

(1) Bei fachwerkartigen Bauteilen, die ausschließlich aus Dreiecken aufgebaut sind, darf eine vereinfachte Berechnung als Fachwerksystem durchgeführt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- ein Teil der Auflagerfläche liegt unterhalb des Auflagerknotenpunktes;
- die Höhe des Fachwerkträgers in Feldmitte ist größer als 15 % seiner Spannweite und größer als das 7-fache der größten Gurthöhe;
- der kleinste Winkel einer Verbindung zwischen Ober- und Untergurt beträgt mindestens 15°.

(2)... - (8)...

Die Regelungen lassen viel Spielraum für Interpretationen. Aus der Erfahrung in wirklichkeitsgetreuer Modellbildung seit 1993 und deren Umsetzung in vielen europäischen Ländern, haben wir zwei wählbare Modelle eingebaut. Ein plattenorientiertes statisches Modell, welches dem Abschnitt 8.8.1. (9) ersten Spiegelstrich entspricht und weiter unten dargestellt ist. Hierbei wird das Modell exakt an die tatsächliche Plattenlage angepasst und die Steifigkeit genau in Abhängigkeit der Plattenfläche ermittelt. Somit wird die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel exakt berücksichtigt.

Das **plattenorientierte Modell** verfolgt das allgemeine Prinzip, wobei alle Holzteile miteinander über Knoten verbunden sind, die im Schwerpunkt der Plattenfläche liegen. In diesen Knoten sind **Dreh- und Wegfedern** eingebunden, die sich aus den in den Zulassungen aufgeführten K_{ser} -Werten errechnen. Somit wird gewährleistet, dass die Nachgiebigkeit richtig ermittelt wird.

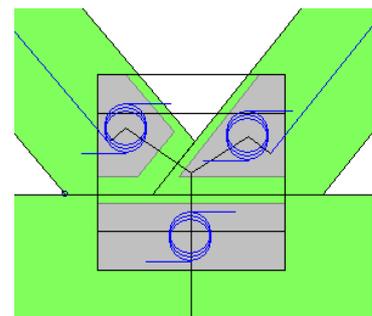


Bild 6: Plattenorientiertes Modell

K_x, K_y Wegfederkonstanten sind in x-Richtung und y-Richtung identisch;
Errechnet sich je Anschluss mit zwei Nagelplatten [N/mm je mm² Plattenfläche]

bei GzG¹ zu: $K_{x/y} = 2 \cdot A_{ef} \cdot K_{ser}$

bei GzT² zu: $K_{x/y} = 2 \cdot A_{ef} \cdot K$ mit $K = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \cdot \frac{1}{\gamma_M}$ [Formel (4) der DIN]

K_φ Drehfederkonstante
Errechnet sich je Anschluss mit zwei Nagelplatten [N/mm³ je mm² Plattenfläche]

bei GzG zu: $K_\varphi = 2 \cdot I_P \cdot K_{ser}$

bei GzT zu: $K_\varphi = 2 \cdot I_P \cdot K$ mit $K = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \cdot \frac{1}{\gamma_M}$ [Formel (4) der DIN]

¹ GzG = Grenzzustand der Tragfähigkeit

² GzT = Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Falls die Regeln für den Ansatz **Vereinfachte Berechnung von Fachwerken** nach Abschnitt 8.8.2 zutreffen, steht Ihnen auch ein **zweites statisches Modell** zur Auswahl. Dieses statische Modell entspricht annähernd dem bereits in früheren Versionen von TrussCon verwendeten statischen System. Es erfüllt die Kriterien der realitätsbezogenen Modellierung ohne die Plattenlage nachzumodellieren. Der Kräfteverlauf in üblichen Fachwerkbindern wird hier ausreichend genau nachgebildet. Die Systemlinien liegen genau in der Schwerachse aller Stäbe, die Auflagerexzentrizitäten werden nachgebildet.

Auch in dem "Fachwerk"-Modell werden bei der Berechnung der Verformung die Nachgiebigkeiten der Verbindungsmittel berücksichtigt. Allerdings wird erst nach der FEM-Analyse, anhand der ermittelten Schnittgrößen durch Ansatz von Ersatzquerschnitten, eine Verformung aus der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel bestimmt.

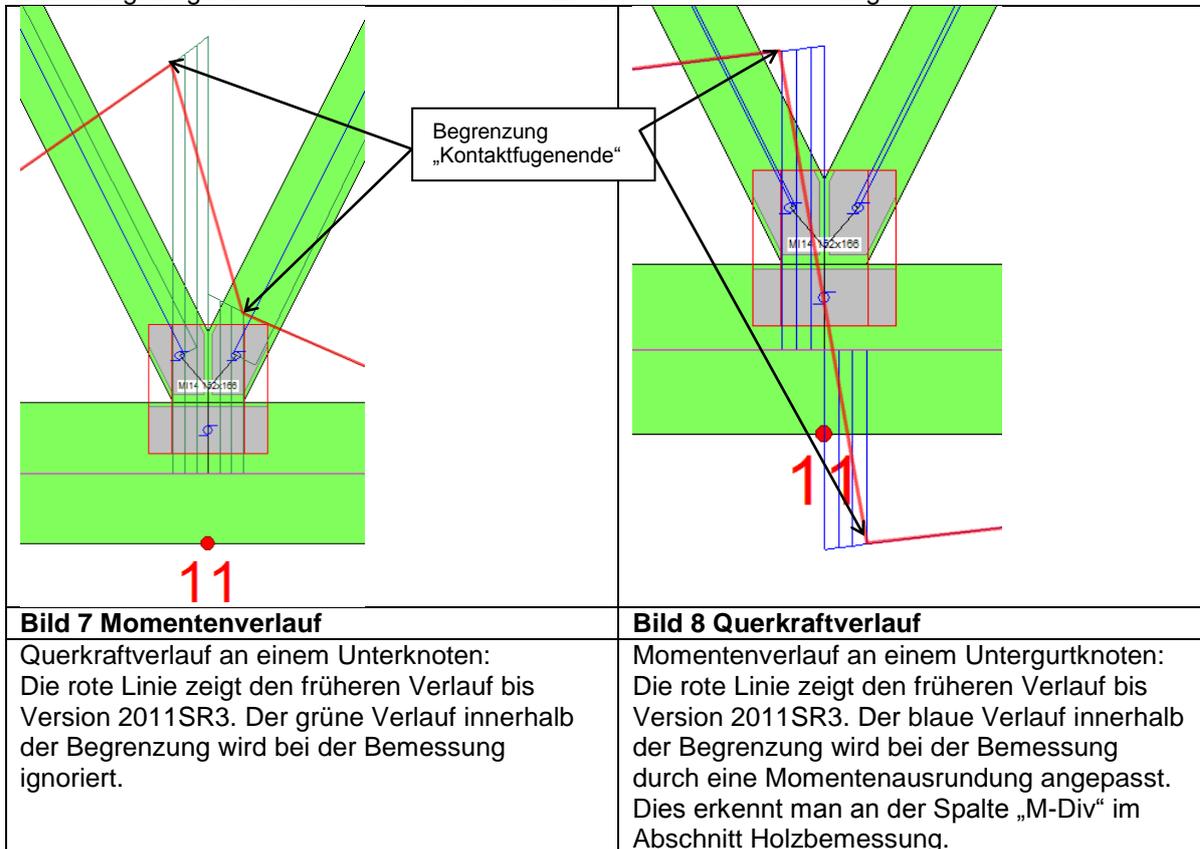
Bei dem plattenorientierten Modell verhält sich dies anders. Hier wird bereits innerhalb der FEM-Analyse die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel berücksichtigt. Dadurch werden auch die Schnittgrößen beeinflusst. Hierbei im Besonderen die Momente.

Bei der Verwendung des vereinfachten Modells läuft die Bemessung des Holzes und der Platten exakt so ab wie früher. Beim plattenorientierten Modell läuft die Bemessung wie folgt ab:

1. Da zu Beginn weder die Plattengröße, noch die Lage der Platte bekannt sind, wird die FEM-Analyse zuerst mit dem vereinfachten Modell begonnen.
2. Holz- und Plattenbemessung werden anhand der Kräfte der unter 1. beschriebenen Analyse automatisch durchgeführt.
3. TrussCon setzt alle Plattengrößen und -lagen kurzzeitig fest und wechselt zu dem plattenorientierten Modell.
4. TrussCon startet eine neue FEM-Analyse auf Grundlage des "Platten-Modells".
5. TrussCon führt einen neuen Nachweis mit festgesetzten Querschnitten und Platten durch, basierend auf den Kräften aus der neuen FEM-Analyse.

Einen Unterschied werden Sie beim Verschieben/Drehen einer festgesetzten Platte bemerken. Das statische Modell wird umgehend abgeändert und der gesamte Binder erneut berechnet. Dies wird notwendig, weil sich hieraus eine andere Lage des Plattenschwerpunktes ergibt, was wiederum das statische Modell verändert. Somit haben sich die Randbedingungen für die Platten- und Holzbemessung geändert. *Dies ist ein eklatanter Unterschied zur früheren Vorgehensweise.*

- Beispiele aus TrussCon: Schnittgrößenverläufe jetzt ohne Anpassung gemäß Gutachten von Prof. Blass angezeigt. Dies erleichtert die Nachvollziehbarkeit der Bemessung.



Darstellung im Ausdruck von TrussCon

Sie finden bereits in der Zusammenfassung der benutzerdefinierten Einstellungen den Hinweis auf die Art der Modellbildung:

Das statische Modell wurde nach Kapitel 8.8.1 als Stabtragwerk strukturiert.
Bei Knoten 3, 9 wurde eine vereinfachte Modellierung gewählt.

In dem völlig überarbeiteten Ausdruck des statischen Modells finden sich, neben einer Tabelle der Knotenkoordinaten mit der Angabe des entsprechenden Anschlussknotens (hier Knoten 19), auch die Werte der ermittelten Weg- und Drehfedern. Die hier angegebenen Werte sind nur für den Nachweis im GzT; für den Verformungsnachweis im GzG sind die Werte mit $1,95 (= 3/2 \cdot \gamma_M)$ zu multiplizieren. Falls an diesem Knoten ein Auflager definiert wurde, finden Sie hier entsprechende Angaben. Die Spalte mit den Elementnummern dient zur besseren Orientierung bei der weiter unten dargestellten Tabelle der Elementdefinition.

PROJEKT

Dateiname	: HB1	Auftrags-Nr.	: SR3_Test
Bauvorhaben	: Test	Positions-Nr.	: HB1
	der	Zeichnungs-Nr.:	
	Version		
	SR3		

Pkt.Nr.	X-Pos. mm	Y-Pos. mm	Knoten	Element		N/V-Feder kN/mm	M-Feder Nmm/rad	Auflager
				von	nach			
139	6010.1	255.2	19					
140	6010.1	197.6	19	210	211	130.4	1266.0	
141	6010.1	120.0	19					
142	6006.0	301.1	19	103	102	35.9	43.5	
143	6006.0	304.1	19					
144	5892.6	277.4	19	124	123	35.1	47.9	
145	5890.3	271.9	19					
146	6117.5	297.5	19	118	117	45.2	78.6	
147	6120.2	298.6	19					

Eine weitere Tabelle, in der die Elemente aufgelistet werden, finden Sie die entsprechenden Querschnittswerte mit den E-Modul und dem Typ des Anschlusses.

Elem.Nr.	Von	Nach	Höhe mm	Länge mm	E-Modul N/mm ²	Typ
101	34	-143	80	1577.5	11000	Füllstab 1
102	143	-142	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
103	142	-139	300	46.1	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
104	55	-125	120	4217.6	11000	Füllstab 2
105	125	-124	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
106	124	-119	300	70.3	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
107	53	-133	120	4217.6	11000	Füllstab 2
108	133	-132	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
109	132	-127	300	70.3	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
110	44	-131	120	2918.6	11000	Füllstab 3
111	131	-130	300	11.1	12000	Fiktiv (Anschluss)
112	130	-127	300	67.1	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
113	62	-123	120	2918.6	11000	Füllstab 3
114	123	-122	300	11.1	12000	Fiktiv (Anschluss)
115	122	-119	300	67.1	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
116	46	-147	80	4432.2	11000	Füllstab 4
117	147	-146	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
118	146	-139	300	115.4	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
119	64	-110	80	4432.2	11000	Füllstab 4
120	110	-109	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
121	109	-104	300	115.4	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
122	29	-145	80	2290.5	11000	Füllstab 5
123	145	-144	300	6.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
124	144	-139	300	119.5	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
125	79	-112	80	2290.5	11000	Füllstab 5
126	112	-111	300	6.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
127	111	-104	300	119.5	12000	Fiktiv (Plattenmitte)
128	74	-108	80	1577.5	11000	Füllstab 6
129	108	-107	300	3.0	12000	Fiktiv (Anschluss)
130	107	-104	300	46.1	12000	Fiktiv (Plattenmitte)

Eng verbunden mit der statischen Modellbildung sind auch die Angaben im Protokollabschnitt „Resultierende Anschlusskräfte und Winkel“. Hier finden sich seit der Version 2012 auch folgende Angaben:

RESULTIERENDE ANSCHLUSSKRÄFTE UND WINKEL

Knoten		Stab	LK	Ele	An.	Län.	MA	ME	Axial	Scher	Res F	winkel	Moment.
Nr.	Nr.	Von-Bis	Nr.			[mm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	global	[kNm]
19	(7)	18 - 1	1	211	1	77.6	0.01	1.08	3.20	13.73	14.10	13.1	0.01
19	(8)	3 - 19	1	102	2	3.0	0.02	0.02	-8.80	-0.01	8.80	89.9	0.02
19	(15)	2 - 19	1	123	2	6.0	0.04	0.05	0.06	1.07	1.07	340.4	0.04
19	(13)	5 - 19	1	117	2	3.0	0.07	0.06	18.11	-5.06	18.80	218.3	0.07

Auch hier bilden die Druckelemente wieder eine Ausnahme. Die mit einem „x“ gekennzeichneten Elementnummern weisen auf das fiktive Element hin welches Druckkontakt übernimmt.

RESULTIERENDE ANSCHLUSSKRÄFTE UND WINKEL

Knoten		Stab	LK	Ele	An.	Län.	MA	ME	Axial	Scher	Res F	winkel	Moment.
Nr.	Nr.	Von-Bis	Nr.			[mm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	global	[kNm]
1	(1)	1 - 4	1	5	2	68.6	-0.85	-3.41	-3.05	-37.36	38.33	30.9	-0.85
			136x	1	120.0	0.00	0.00	-5.53	0.00				
			2	5	2	68.6	-1.29	-5.30	-5.17	-58.46	60.08	31.3	-1.29
			136x	1	120.0	0.00	0.00	-8.69	0.00				
1	(7)	18 - 1	1	8	1	3.0	-3.48	-3.56	27.96	-24.97	38.33	210.9	-3.48
			135x	1	68.6	0.00	0.12	-5.26	1.71				
			2	8	1	3.0	-5.52	-5.64	43.51	-39.38	60.08	211.3	-5.52
			135x	1	68.6	0.00	0.18	-8.27	2.69				

Weitere Angaben zu der Ermittlung der Einwirkung auf die Plattenbemessung finden Sie in dem Dokument „Plattenbemessung_2012“ (Programmbeschreibung 03).

Versionsinfo: 2011SR3 → 2012

- Änderung der Schnittgrößenanpassung für V- und M-Verlauf.
- Darstellung in TrussCon wurde überarbeitet und mit „Resultierende Anschlusskräfte und Winkel“ ergänzt.