

Programm

VERBAND

für PCs unter Windows 98/ME/NT 4/2000/XP

**Berechnung von Verbänden nach DIN 18800
Ermittlung Stabilisierungslasten,
Auslegung und Nachweis der
Pfosten und Diagonalen**

Benutzer-Handbuch

Fassung Juni 2002

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung
Der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH ist es nicht gestattet, dieses Benutzer-Handbuch
oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

**© ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH
Am Zellweg 2 • D-93464 Tiefenbach**

Telefon: 0 96 73 / 17 75 oder 17 76

Telefax: 0 96 73 / 17 70

E-Mail: info@dlubal.com

Internet: <http://www.dlubal.de>



1.	Einleitung	1
1.1	ERGEBNISSE, MÖGLICHKEITEN	1
1.2	VORAUSSETZUNGEN	1
1.3	DAS TEAM.....	2
2.	Installation von	3
2.1	SYSTEMANFORDERUNGEN	3
2.2	INSTALLATIONSVORGANG	3
3.	Theoretische Grundlagen	5
3.1	AUSFÜHRUNG DES VERBANDES	5
3.2	BERECHNUNG DES VERBANDES	5
3.2.1	Beanspruchung	5
3.2.2	Berechnung der Stab- und Auflagerkräfte.....	7
3.2.3	Dimensionierung der Verbandsstäbe	8
3.2.3.1	Bestimmung der Druckrohre	9
3.2.3.2	Bestimmung und Nachweis der Pfosten bei Ausbildung als I-Walzprofil.....	9
3.2.3.3	Dimensionierung der Zugstäbe	12
3.2.4	Berechnung der Beanspruchungen nach Theorie II. Ordnung	13
4.	Arbeiten mit Verband	16
4.1	VERBAND STARTEN	16
4.2	MASKEN.....	16
4.3	EINGABEMASKEN.....	16
4.3.1	Maske 1.1 Beanspruchung, Dachsystem, Verbandsgeometrie.....	17
4.3.2	Maske 1.2 Verbandselemente und Material	18
4.3.3	Maske 1.3 Druckelemente, Zugelemente	20
4.3.4	Maske 1.4 Pfettenprofil	22
4.3.5	Maske 1.3 Pfetten und Zugelemente	23
4.4	PULLDOWNMENÜS	24
4.4.1	Datei.....	24
4.4.2	Bearbeiten	25
4.4.3	Extras.....	26
4.4.4	Optionen.....	26
4.4.5	Hilfe [Alt+H].....	27
5.	Ergebnisse und Ausgabe.....	28
5.1	BILDSCHIRMAUSGABE, DRUCKEN	28
6.	Beispiele.....	30
6.1	VERBAND MIT ZENTRISCH BEANSPRUCHTEN PFOSTEN	30
6.2	VERBAND, PFOSTEN ALS PFETTEN.....	42
	Anhang A: Literatur.....	56



1. Einleitung

Für die Berechnung von Verbänden wurde ein Programm entwickelt, das die Druckpfosten und Zugdiagonalen des Verbandes bestimmt.

Als Ergebnis der Berechnung werden folgende Werte ausgegeben:

1.1 Ergebnisse, Möglichkeiten

- Stabkräfte (aus Beanspruchung nach Theorie II. Ordnung)
- Zusatzkräfte der Verbandsriegel (inkl. Stabilisierungslasten)
- Stabilisierungskräfte der einzelnen Verbandsfelder
- Auflagerkräfte des Verbandes (mit/ ohne Stabilisierungslasten)
- Mittendurchbiegung des Verbandes
- Bemessung (charakteristische Größen) der Druckpfosten und Zugdiagonalen
- Automatische Zuweisung der Profilgrößen zu den Stäben bei Verwendung verschiedener Profile
- Bei momentenbeanspruchten Pfosten (alle Pfosten bestehen aus einem gleichen Walzprofil) Nachweis der Grenzschnittgrößeninteraktion, des Biegeknickens und Biegedrillknickens

Die Ergebnisse sind nur unter den folgenden Voraussetzungen anwendbar:

1.2 Voraussetzungen

- Ausbildung als Kreuzverband mit druckschlaffen Zugdiagonalen
- Anzahl der Verbandsfelder größer gleich 2 und kleiner 20
- Material der Verbandsstäbe S 235 oder S 355
- Druckpfosten sind
 - a) nahtlos oder geschweißte Rohre nach DIN 2448 bzw. DIN 2458 mit Wandstärke $\leq 16\text{mm}$ (Umrechnung auf andere Profile über die ausgegebenen Normalkräfte ohne weiteres möglich), verschiedene Rohrprofile möglich (nur zentrischer Druck)
 - b) gewalzte I-Profile mit / ohne Momentenbeanspruchung z.B. aus Pfettenwirkung, alle Pfosten inklusive Randpfosten werden gleich ausgebildet

Verbände dienen der Stabilisierung von Gebäuden. Sie übertragen daher häufig nicht nur Windlasten, sondern vielfach auch Stabilisierungslasten aus anderen Tragwerken. So ist es bei der Bemessung von Rahmenriegeln im Dach sinnvoll, für deren Stabilisierung die Dachverbände mit heranzuziehen, um die Abmessungen der Riegel in brauchbaren Größenordnungen zu halten. Diese Stabilisierungslasten werden bei der Berechnung des Dachverbandes mit dem vorliegenden Programm berücksichtigt.



1.3 Das Team

Folgende Personen waren an der Entwicklung beteiligt:

- **Programmkoordinierung**
Prof. Dr.-Ing. K.-D. Klee
Dipl.-Ing. J. Brockmann
Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
- **Programmierung**
Dipl.-Ing. J. Brockmann
- **Programmkontrolle**
Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
- **Handbuch und Hilfesystem**
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

2. Installation von

2.1 Systemanforderungen

Folgende Mindestvoraussetzungen sollte Ihr Rechner für die Nutzung der Möglichkeiten von VERBAND für Windows erfüllen:

- Benutzeroberfläche Windows 98 / ME / NT 4.0 / 2000 / XP
- Prozessor mit 400 MHz,
- 64 Megabyte Arbeitsspeicher,
- CD-ROM- und 3,5-Zoll-Diskettenlaufwerk für die Installation,
- 2 Gigabyte Gesamtfestplattenkapazität, davon zirka 50 Megabyte für die Installation,
- Grafikkarte mit einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel.

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir aber bewußt keine Produktempfehlungen aus, da RSTAB und seine Zusatzmodule grundsätzlich auf allen Systemen laufen, die vorgenannte Leistungsanforderungen erfüllen. Ebenso wenig wie Ihr Rechner unbedingt Intel Inside haben muß, ist eine exorbitant teure 3D-Grafikkarte nicht notwendig. Da RSTAB und VERBAND in der Regel sehr rechenintensiv genutzt werden, soll natürlich nicht verschwiegen werden, daß in einem vernünftigen Rahmen gilt: Je mehr desto besser!

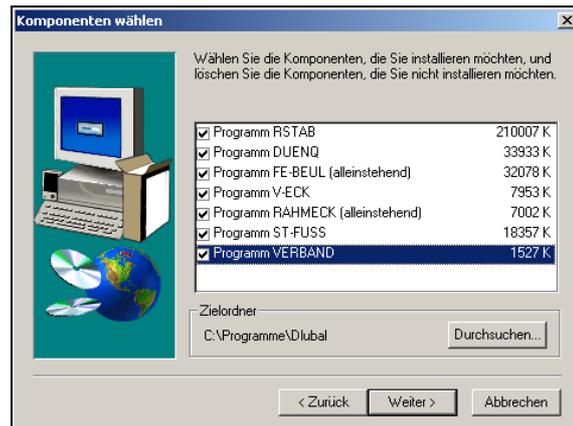
2.2 Installationsvorgang

Als lizenzierter VERBAND - Anwender wählen Sie an der entsprechenden Stelle des Installationsprozesses die Option [Standard], um alle für Sie zugelassenen Programme – inklusive VERBAND – zu installieren. Dabei werden auch alle anderen grundsätzlich verfügbaren, nicht erworbenen, Windows-Zusatzmodule als funktional eingeschränkte Demoversion installiert.



Installationsart

Alternativ könnten Sie an vorgenannter Stelle die Option [Benutzerdefiniert] aufrufen, um manuell die zu installierenden Programme auszuwählen.



Komponenten wählen

Sofern Sie Speicherplatz auf Ihrer Festplatte sparen möchten oder müssen, wählen Sie [Minimum]. Dabei werden nur die lizenzierten Vollversionen installiert. Das weitere Vorgehen inklusive Autorisierung geschieht analog der RSTAB- Installation.

3. Theoretische Grundlagen

3.1 Ausführung des Verbandes

Der Dachverband wird zwischen zwei Rahmenriegeln als Kreuzverband ausgeführt (siehe Bild 1), wobei die Diagonalstäbe nur Zugkräfte übertragen und damit die Hälfte der Diagonalstäbe druckschlaff sind.

Die Zahl m der Verbandsfelder muß sich aus programmtechnischen Gründen im Bereich von 2 bis 20 Felder bewegen.

Als Material für die Verbandsstäbe kann entweder St 37 bzw. St 35 oder St 52 verwendet werden. St 52 verringert einerseits die Querschnittsflächen der Stäbe, bewirkt aber andererseits durch die Verkleinerung der Ersatzschubsteifigkeit des Verbandes eine Erhöhung der Stabkräfte.

Als Druckpfosten werden

- nahtlose oder geschweißte Stahlrohre nach DIN 2448 bzw. DIN 2458 mit einer maximalen Wandstärke von 16mm zugelassen, die jedoch durch Rechteck- oder Quadratrohre gleicher oder größerer Querschnitts- und Trägheitswerte ersetzt werden können. Die Streckgrenze der Rohre beträgt bei Wandstärken $\leq 16\text{mm}$ für St 35 und St 37 235 N/mm^2 und für St 52 355 N/mm^2 .
- I-Walzprofile nach DIN 1025, dieses sind die Profilreihen IPE, HEA, HEB, HEM, bzw. die nichtgenormten Profilreihen IPEo, IPEv, IPEa und HEAA. Dabei wird vorausgesetzt, daß alle Druckpfosten aus dem gleichen Profil bestehen. Diese Voraussetzung trifft sicherlich in den meisten baupraktischen Fällen zu, da die biegemomentbeanspruchten Pfetten, die gleichzeitig Pfosten eines Verbandes sind, in der Regel die gleiche Bauhöhe aufweisen.

Als Zugdiagonalen können entweder Zugstangen mit Gewindeende nach [1] oder beliebig andere Zugprofile verwendet werden.

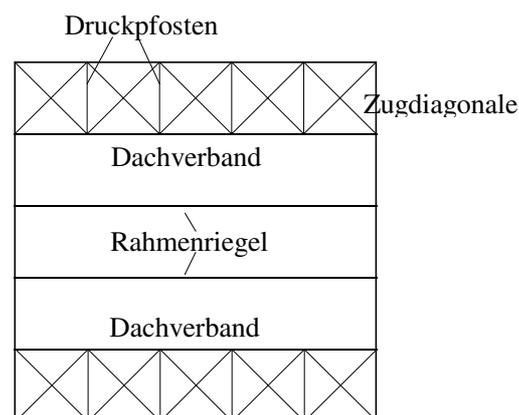


Bild 3.1 Dachgrundriß

3.2 Berechnung des Verbandes

3.2.1 Beanspruchung

Der Verband wird durch die anteilig in das Dach eingeleitete Windlast (γ -fache Last) und die Abstützkräfte der Rahmenriegel beansprucht. Letztere werden über die Riegelgurte und



entsprechende Tragwerke (z.B. Pfetten, Trapezbleche oder Schlaudern) in die Verbände eingeleitet.

Gemäß [2] wird für die Abstützkräfte eine Ersatzstreckenlast q_s angesetzt, die sich aus einer geometrischen Ersatzimperfektion und einer Ersatznormalkraft der Rahmenriegel bestimmen läßt.

$$q_s = \frac{8 \cdot N_{\text{Gurt}} \cdot n}{l^2} \cdot w_0$$

n : Anzahl der zu stabilisierenden Riegel oder Träger je Verband

Die Ersatznormalkraft N_{Gurt} des Riegels kann entweder angenommen oder über dessen Feldmoment bestimmt werden.

a) Annahme nach [3]

Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird die Druckkraft zu $2/3$ der Beanspruchung des Riegels durch sein vollplastisches Moment gewählt.

$$N_{\text{Gurt}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \cdot f_{y,d}$$

b) Berechnung durch das Feldmoment, siehe auch [4]

Die Ersatzdruckkraft wird über die Randspannung des Druckgurtes (b_1, t_1) und einer gewählten Gurtfläche berechnet.

$$N_{\text{Gurt}} = \sigma_R \cdot \left(b_1 \cdot t_1 + \frac{1}{5} \cdot A_S \right) - \frac{N_d}{2}$$

$$\text{mit } A_S = A - b_1 \cdot t_1 - b_2 \cdot t_2$$

$$\sigma_R = \frac{|M_{y,d}| \cdot e_D}{I_y} \leq f_{y,d}$$

Übersteigt die Randspannung die zulässige Spannung $f_{y,d}$, so befindet sich das Profil im teil- oder vollplastischen Zustand, so daß σ_R gleich $f_{y,d}$ zu setzen ist. Die Normalkraft N_d des Riegels wird je zur Hälfte dem Zug- und Druckgurt zugewiesen.

Berechnung der geometrischen Ersatzimperfektion nach [2], Element 205

Als geometrische Ersatzimperfektion wird dem Riegel eine Vorverdrehung in der Da- chebene zugewiesen.

$$\psi_0 = \frac{1}{200} \cdot r_1 \cdot r_2$$

$$\text{mit } r_1 = \sqrt{\frac{5}{L}} \leq 1 \text{ Lin [m]}$$

$$r_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{1}{1}} \right) = 1$$

Die Vorkrümmung des Verbandes wird damit zu:

$$w_0 = \psi_0 \cdot L$$

Als Verformungsfigur des Verbandes wird eine quadratische Parabel angenommen, siehe Bild 3.2.

1. angehängter Ersatzstab, der die außerhalb des Verbandes liegenden, zu stabilisierenden Riegel je Verband darstellt

2. gedachte Stäbe oder Pfetten

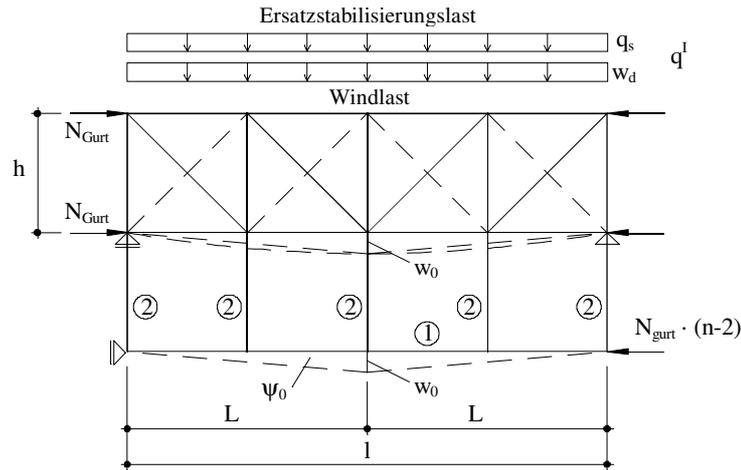


Bild 3.2: Statisches Ersatzmodell zur Bestimmung der Stabilisierungskräfte

Die gesamte Beanspruchung des Verbandes ergibt sich dann als Streckenlast nach Theorie I. Ordnung durch Addition der planmäßigen γ -fachen Streckenlast (z.B. infolge Wind) und der Ersatzstabilisierungs-streckenlast. Die γ -fachen Windlast w_d stellt dabei die Beanspruchung für einen Verband dar. Sie kann der gesamten in das Dach eingeleiteten Windlast entsprechen, wenn angenommen wird, daß nur ein Verband diese Last aufnimmt.

$$q^I = q_s + w_d$$

3.2.2 Berechnung der Stab- und Auflagerkräfte

Ausgehend von der Streckenlast q^I werden zunächst Ersatzkräfte bestimmt, die in den Knotenpunkten angreifen.

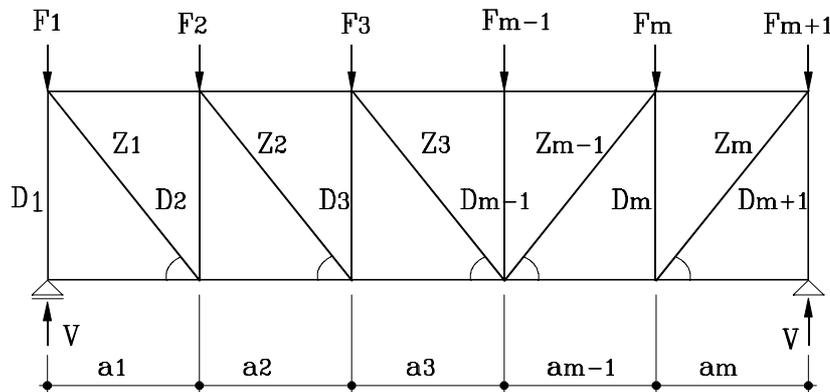


Bild 3.3: Aufbereitetes statisches System des Dachverbandes

$$F_1 = \frac{a_1}{2} \cdot q^I$$

$$F_i = \frac{a(i-1) + a_i}{2} \cdot q^I \text{ für } 2 \leq i \leq m$$

$$F_{m+1} = \frac{a_m}{2} \cdot q^I$$

$$V = \frac{q^I \cdot l}{2}$$



Zur Bestimmung der Druckkräfte ist es bei Verbänden mit ungerader Feldanzahl zunächst erforderlich festzustellen, welche der beiden Zugdiagonalen des mittleren Verbandsfeldes druckschlaff ist.

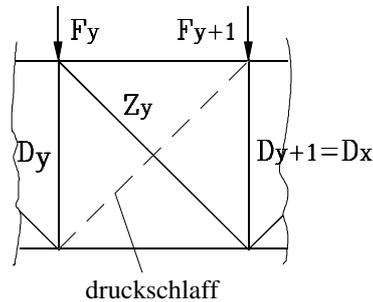


Bild 3.4: Mittleres Verbandsfeld y

Die Zugkraft Z_y wird umso kleiner, je größer die bis dahin wirkenden Ersatzkräfte F sind. Somit wird die Zugdiagonale so gelegt, daß sie die größte Zugkraft erfährt.

Als Kriterium dient dazu:

$$\sum_1^y F_i \leq \sum_{y+1}^{m+1} F_i \Rightarrow \text{Zugdiagonale nach links geneigt}$$

$$\sum_1^y F_i > \sum_{y+1}^{m+1} F_i \Rightarrow \text{Zugdiagonale nach rechts geneigt}$$

oder einfacher

$$\sum_1^{y-1} a_i \leq \sum_{y+1}^m a_i \Rightarrow \text{Zugdiagonale nach links geneigt}$$

$$\sum_1^{y-1} a_i > \sum_{y+1}^m a_i \Rightarrow \text{Zugdiagonale nach rechts geneigt}$$

Die Berechnung der Stabkräfte erfolgt durch Ritterschnitte im Verband ausgehend vom linken und rechten Auflager bis hin zu dem Druckstab x , wo die Ersatzkraft F_x direkt eingeleitet wird.

Alle Druckkräfte müssen sich mit negativem Vorzeichen ergeben, ansonsten liegt ein Fehler im Berechnungsmodell vor. Dieser Fall tritt ein, wenn die Summe der Längen der linken Verbandsfelder sich erheblich von denen der rechten Seite unterscheidet. Da man aber in der Praxis bestrebt ist annähernd gleiche Feldlängen zu wählen, stellt diese Einschränkung keinen Nachteil dar.

3.2.3 Dimensionierung der Verbandsstäbe

Ausgehend von den Stabkräften nach Theorie I. Ordnung können näherungsweise die Druckpfosten und die Anzahl der Zugstangen bzw. die erforderlichen Nettoquerschnitte der Zugprofile bestimmt werden.

3.2.3.1 Bestimmung der Druckrohre

Hierbei wird eine zentrische Druckbeanspruchung vorausgesetzt, eine Biegebeanspruchung existiert nicht. Eine unmittelbare Dimensionierung der Druckrohre ist nicht möglich, da die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicke sowohl von der Fläche als auch vom Trägheitsmoment der Rohre abhängt. Es kann somit nur für ein gewähltes Rohr geprüft werden, ob es unter der Druckkraft nicht ausknickt.

Tragsicherheitsnachweis für Biegeknicke nach [2]

$$N \leq \kappa \cdot N_{pl,d}$$

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}}$$

mit $N_{pl} = A \cdot f_{y,k}$

$$N_{Ki} = \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{h^2}$$

$$\bar{\lambda}_K \leq 0,2 \rightarrow \kappa = 1$$

$$\bar{\lambda}_K > 0,2 \rightarrow \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}} \quad \text{mit} \quad k = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2 \right]$$

$$a = 0,34 \text{ für kalt gefertigte Rohre}$$

$$a = 0,21 \text{ für warm gefertigte Rohre}$$

Ist das Herstellverfahren der Rohre nicht bekannt, so sollte das Rohr als kalt gefertigt angenommen werden, was den ungünstigeren Fall für seine Beanspruchbarkeit darstellt.

3.2.3.2 Bestimmung und Nachweis der Pfosten bei Ausbildung als I-Walzprofil

Alle Pfosten des Verbandes werden als gleiches I-Walzprofil ausgebildet. Die Nennhöhe der gewählten Profilveriehe kann entweder vorgegeben oder automatisch durch das Programm ausgelegt werden.

Die Pfosten können dabei unterschiedliche Abstände und verschiedene Momentenbeanspruchung haben, die zusätzlichen Normalkräfte aus den Verbandswirkungen werden vom Programm ermittelt. Die Momentenform, die Randordinaten der Momente und die konstante Streckenlast $q_{z,d}$ müssen eingegeben werden, siehe dazu Abschnitt 7. Dabei gelten die in Bild 3.5 dargestellten Vorzeichendefinitionen.

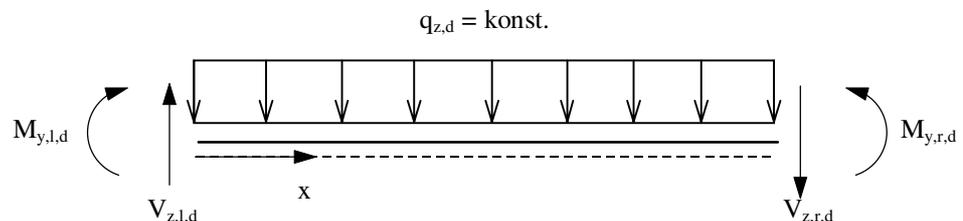


Bild 3.5: Vorzeichendefinition der Momente und der Streckenlast



Es können die in Bild 3.6 dargestellten Momentenverläufe eingegeben werden.

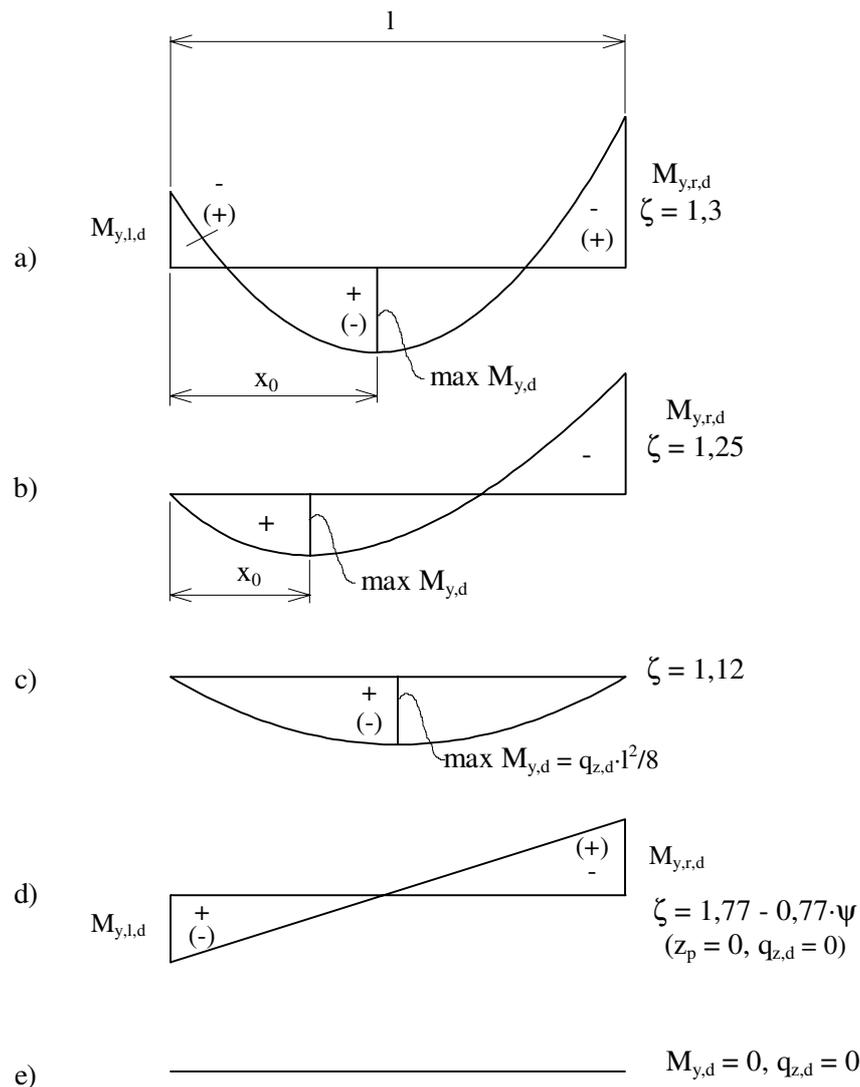


Bild 6: Mögliche Momentenbelastungen der Pfosten (Momente sind vorzeichenbehaftet)

Alle Momente und die Streckenlast sind vorzeichenrichtig und entsprechend dem gewählten Momentenverlauf einzugeben. Wirkt im Pfosten kein Moment (Momentenverlauf e), so ist dies als Sonderfall von Momentenverlauf d) mit $M_{y,l,d} = 0$, $M_{y,r,d} = 0$ und $q_{z,d} = 0$ einzugeben.

Aus den Randmomenten und der Streckenlast werden vom Programm die Querkräfte, die Stelle x_0 des Maximalmomentes und das maximale Feldmoment $\max M_{y,d}$ berechnet. Nach Berechnung der Normalkraft aus dem Verband werden alle Pfosten nach DIN 18800 Teil 1 und 2 [2,7] nachgewiesen. Es werden Spannungs- (Interaktion von Grenzschnittgrößen) und Stabilitätsnachweise (Biegeknicken und Biegedrillknicken) geführt, wobei die Ermittlung der kleinst möglichen Nennhöhe (automatische Auslegung durch das Programm) des I-Walzprofils so lange iterativ erfolgt, bis alle Nachweise für jeden Pfosten erfüllt werden.

a) Vereinfachter Interaktionsnachweis für doppelsymmetrische I-Profile

Der Nachweis erfolgt nach DIN 18800, Teil 1 [7], Element (757), Tabelle 16 als vereinfachter Tragsicherheitsnachweis für doppelsymmetrische I-Profile unter N_d -, $M_{y,d}$ - und $V_{z,d}$ - Belastung. Die Nachweise werden an den Stabenden und an der Stelle x_0 geführt, dazu wird die jeweils zu dieser Stelle gehörende Querkraft $V_{z,d}$ berechnet. Ausgegeben wird der maximale Interaktionswert und die dazugehörige Stelle. Nach Element (755) [7] ist für diesen Nachweis der plastische Formbeiwert $\alpha_{pl,y}$ auf $\leq 1,25$ zu begrenzen.

$$M_{pl,y,d} = \alpha_{pl,y} \cdot 2 \cdot S_y \cdot f_{y,k} / \gamma_M$$

$$\alpha_{pl,y} \leq 1,25$$

	$\frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} \leq 0,33$	$0,33 < \frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} \leq 0,9$
$\frac{N_d}{N_{pl,d}} \leq 0,1$	$\frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} \leq 1,0$	$0,88 \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} + 0,37 \frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} \leq 1,0$
$0,1 < \frac{N_d}{N_{pl,d}} \leq 1,0$	$0,9 \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} + \frac{N_d}{N_{pl,d}} \leq 1,0$	$0,8 \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} + 0,89 \frac{N_d}{N_{pl,d}} + 0,33 \frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} \leq 1,0$

Tabelle 3.1: Vereinfachter Tragsicherheitsnachweis [7]

Falls die zulässigen Grenzwerte nicht eingehalten werden, z.B.

$$\frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} > 0,9$$

wird das nächst größere Profil nachgewiesen.

b) Nachweis des Biegeknickens

Der Nachweis des Biegeknickens erfolgt nach der Nachweismethode 1 (Element (321), DIN 18800 Teil 2 [2]) für Knicken um die z und um die y-Achse. Nach Element (321) ist dabei der plastische Formbeiwert nicht zu begrenzen, jedoch ist nach Element (315) [2] der Einfluß der Querkraft $V_{z,d}$ auf die Tragfähigkeit zu berücksichtigen (siehe auch Tabelle 1):

$$\frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} > 0,33 \Rightarrow \text{red. } M_{pl,y,d} = \left(1 - 0,37 \frac{V_{z,d}}{V_{pl,z,d}} \right) \frac{M_{pl,y,d}}{0,88}$$

• Knicken um die z-Achse

Entsprechend Tabelle 5 [2] wird die zum Profil zugehörige Knickspannungslinie und daraus der Parameter α_z ermittelt. Der Nachweis erfolgt nach Gleichung (3) und (4) [2]:

$$\bar{\lambda}_a = \pi \sqrt{\frac{E_k}{f_{y,k}}}, \quad \bar{\lambda}_{kz} = \frac{1}{i_z \lambda_a}$$

$$k = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_{kz} - 0,2) + \bar{\lambda}_{kz}^2 \right]$$

$$\kappa_z = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 + \bar{\lambda}_{kz}^2}}$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{\kappa_z N_{pl,d}} \leq 1,0$$

• Knicken um die y-Achse

Nach α_y aus Tabelle 4 und 5 [2] wird analog zum Knicken um die z-Achse mit

$$\bar{\lambda}_{ky} = 1 / (i_y \lambda_a)$$

der Abminderungsfaktor κ_y berechnet. Nach der Fallunterscheidung entsprechend Tabelle 5 [2] wird der Momentenbeiwert β_{My} ermittelt (Wert für Biegeknicken nach Verfahren 1 ist gleich dem Beiwert für das Biegedrillknicken).



$$\psi = \frac{M_{y,r,d}}{M_{y,l,d}}, -1 \leq \psi \leq 1$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$$

$$\beta_{M,Q} 1,3 \text{ für } q_{z,d} \neq 0$$

$$M_Q = q_{z,d} l^2 / 8$$

$$\beta_{My} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$$

Die Momentendifferenz ΔM hängt von der Momentenform ab (Tabelle 5 [2]) und wird vom Programm mit Hilfe der Randmomente und $\max M_{y,d}$ berechnet. Der Nachweis lautet:

$$\frac{N_d}{\kappa_y N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{\text{red. } M_{pl,y,d}} k_y \leq 1,0$$

mit den Beiwerten

$$k_y = 1 - \frac{N_d}{\kappa_y N_{pl,d}} a_y \leq 1,5$$

$$a_y = \bar{\lambda}_{k,y} (2\beta_{My} - 4) + (\alpha_{pl,y} - 1) \leq 0,8$$

c) Nachweis des Biegedrillknickens

Das ideale Biegedrillknickmoment $M_{ki,y}$ wird nach Gleichung (19) [2] ermittelt, wobei die in Bild 6 angegebenen Momentenbeiwerte ζ benutzt werden. Der Abstand der Pfettenquerlast (= Pfosten) ist vom Anwender zuvor einzugeben. Der Nachweis erfolgt nach Element (320).

$$\frac{N_d}{\kappa_z N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{\kappa_M \text{red. } M_{pl,y,d}} k_y \leq 1,0$$

mit

$$k_y = 1 - \frac{N_d}{\kappa_z N_{pl,d}} a_y \leq 1,0$$

$$a_y = 0,15 \bar{\lambda}_{k,z} \beta_{My} - 0,15 \leq 0,9$$

$$\kappa_M = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^{2n}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,k}}{M_{ki,y}}}$$

Für gewalzte Träger beträgt der Trägerbeiwert $n = 2,5$ ist jedoch nach Bild 14 [2] im Fall eines linearen Momentenverlaufes für $\psi > 0,5$ abzumindern.

3.2.3.3 Dimensionierung der Zugstäbe

Zugstange mit Gewindeende nach [1]

Die Grenzzugkraft für eine Zugstange ($\varnothing 18,3\text{mm}$ - St52 - M20) beträgt 86,1 kN. Damit ergibt sich die erforderliche Anzahl der Zugstangen für eine Stabkraft wie folgt:

$$n_i \geq \frac{Z_i}{86,1} \quad Z_i \text{ in [kN]}$$

Andere Zugprofile

Erforderlicher Nettoquerschnitt:

$$A_{\text{erf}_i} = \frac{Z_i}{f_{y,d}}$$

3.2.4 Berechnung der Beanspruchungen nach Theorie II. Ordnung

Durch die zusätzliche Verformung des Systems erhöhen sich auch die Schnittgrößen und Auflagerkräfte. Ihre Berechnung erfolgt nach [6].

Ersatzschubsteifigkeit des Verbandes S^*

$$\frac{1}{S^*} = \frac{1}{E \cdot A_D \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{E \cdot A_H \cdot \cot \alpha}$$

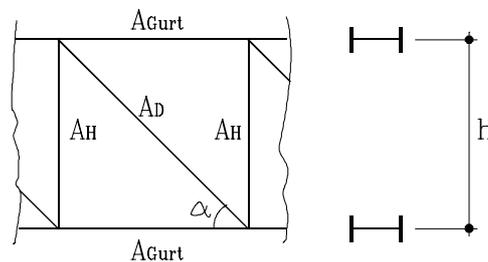


Bild 3.7: Berechnungsgrößen der Ersatzschubsteifigkeit

Für die Flächen und Winkel werden jeweils Mittelwerte eingesetzt.

$$A_H = \frac{\sum_{n_d} A_{\text{Rohr}_i}}{n_d}$$

$$A_D = \frac{\sum_{n_z} n_i \cdot A_{\text{Zugstange}}}{n_z} \text{ für Zugstangen mit } A_{\text{Zugstange}} = 2,63\text{cm}^2$$

 Für die Berechnung der mittleren Bruttoquerschnittsfläche der Zugstäbe A_D werden näherungsweise die erforderlichen Nettoquerschnitte angesetzt, jedoch nicht weniger als der Bruttoquerschnitt A_{min} des kleinsten Zugprofiles, das der Anwender verwenden möchte. Dadurch wird bei sehr kleinen Zugkräften und damit kleinen Nettoquerschnitten vermieden, daß sich die Schubsteifigkeit stark verringert und die Stabkräfte entsprechend vergrößert.

$$A_D = \frac{\sum_{n_z} A_{\text{erf}_i}}{n_z} \text{ für Profile mit } A_{\text{erf}_i} \geq A_{\text{min}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{h \cdot m}{1}$$

$$S_d^* = \frac{S^*}{\gamma_M}$$

Ersatzbiegesteifigkeit des Verbandes nach [3]

$$E \cdot I_G^* = E \cdot 2 \cdot A_{\text{Gurt}} \cdot \frac{h^2}{4}$$



Als Fläche des Fachwerkgurtes wird der kleinere Riegelflansch und 1/5 der Stegfläche A_s angesetzt.

$$A_{\text{Gurt}} = \min(b \cdot t) + \frac{1}{5} \cdot A_s$$

$$(E \cdot I_G^*)_d = \frac{E \cdot I_G^*}{\gamma M}$$

Stabkennzahl ϵ

$$\epsilon = 1 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot N_{\text{Gurt}} \cdot n}{(E \cdot I_G^*)_d}}$$

$$\text{mit } \gamma = \frac{1}{1 - \frac{N_{\text{Gurt}} \cdot n}{S_d}}$$

Unabhängig von der Größe der Stabkennzahl erfolgt die weitere Berechnung nach Theorie II. Ordnung. Die Berechnungsformeln wurden aus [6] entnommen.

Auflagerkräfte II. Ordnung

$$V^{\text{II}} = \frac{\gamma}{\epsilon} \cdot \tan\left(\frac{\epsilon}{2}\right) \cdot q^{\text{I}} \cdot l > V^{\text{I}}$$

Ersatzstreckenlast II. Ordnung

Zur Vereinfachung wird die Erhöhung der Beanspruchung als konstante Streckenlast Δq angenommen.

$$q^{\text{II}} = q^{\text{I}} + \Delta q = \frac{2 \cdot V^{\text{II}}}{l}$$

Durch die größere Streckenlast erhöhen sich auch die Ersatzknotenkräfte F_1 bis F_{m+1} und damit auch die Stabkräfte. Da diese linear von der Streckenlast abhängen, vergrößern sie sich im gleichem Maße, wie das Verhältnis der Streckenlast II. zur I. Ordnung.

$$Z_i^{\text{II}} = Z_i^{\text{I}} \cdot \frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}}$$

$$D_i^{\text{II}} = D_i^{\text{I}} \cdot \frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}}$$

Ausgehend von den größeren Stabkräften II. Ordnung müssen die Druck- und Zugstäbe neu bemessen werden.

Durch die gegenseitige Beeinflussung von Beanspruchung und Querschnittsfläche kann eine exakte Dimensionierung nur iterativ erfolgen.

Maximales Moment II. Ordnung in der Verbandsmitte

$$M^{\text{II}} = \frac{\gamma}{\epsilon^2} \left[\frac{1}{\cos \frac{\epsilon}{2}} - 1 \right] \cdot q^{\text{I}} \cdot l^2$$

Zusätzliche Druck- und Zugkräfte im Riegelgurt infolge Strecken- und Stabilisierungslast

$$Z_G = -D_G \approx \frac{M^{\text{II}}}{h}$$

Mittendurchbiegung nach Theorie II. Ordnung infolge Strecken- und Stabilisierungslast

$$w_{\text{ges}} = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \cdot q^I \cdot I^2 \cdot \left\{ \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \left[\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right] - \frac{1}{8} \right\} \cdot \frac{l^2}{(E \cdot I_G^*) d}$$

Mittendurchbiegung des Verbandes infolge Windlast nach Theorie I. Ordnung

$$w = \frac{1}{96} \cdot \left(\frac{5}{4} + 12\rho \right) \cdot \frac{w_d l^4}{(E \cdot I_G^*) d}, \quad \rho = \frac{(E \cdot I_G^*) d}{S_d^* l^2}$$

Stabilisierungskräfte der Verbandsfelder

Zur Übertragung der Abstützkkräfte der Riegel in die Verbände müssen entsprechende Tragwerke vorgesehen werden. Für deren Bemessung werden die Stabilisierungskräfte je Verbandsfeld berechnet.

$$F_{S_i} = a_i \cdot (q^{\text{II}} - w_d)$$

Horizontalkräfte der Verbände

Da sich die Stabilisierungskräfte in der Dachebene aufheben, werden somit nur Windlasten in die lastabnehmenden Konstruktionen eingeleitet. Diese Kräfte müssen bei der Berechnung der weiterleitenden Konstruktionen herangezogen werden.

$$V_w = \gamma \cdot \frac{\tan \frac{\varepsilon}{2}}{\varepsilon} \cdot w_d \cdot l$$

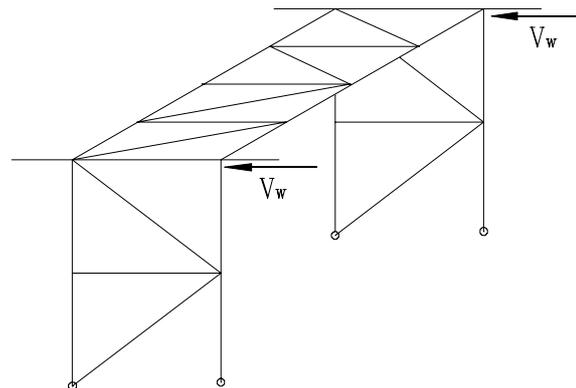


Bild 3.8: Abzuleitende Kräfte V_w aus planmäßiger Streckenlast (ohne Stabilisierungskräfte)

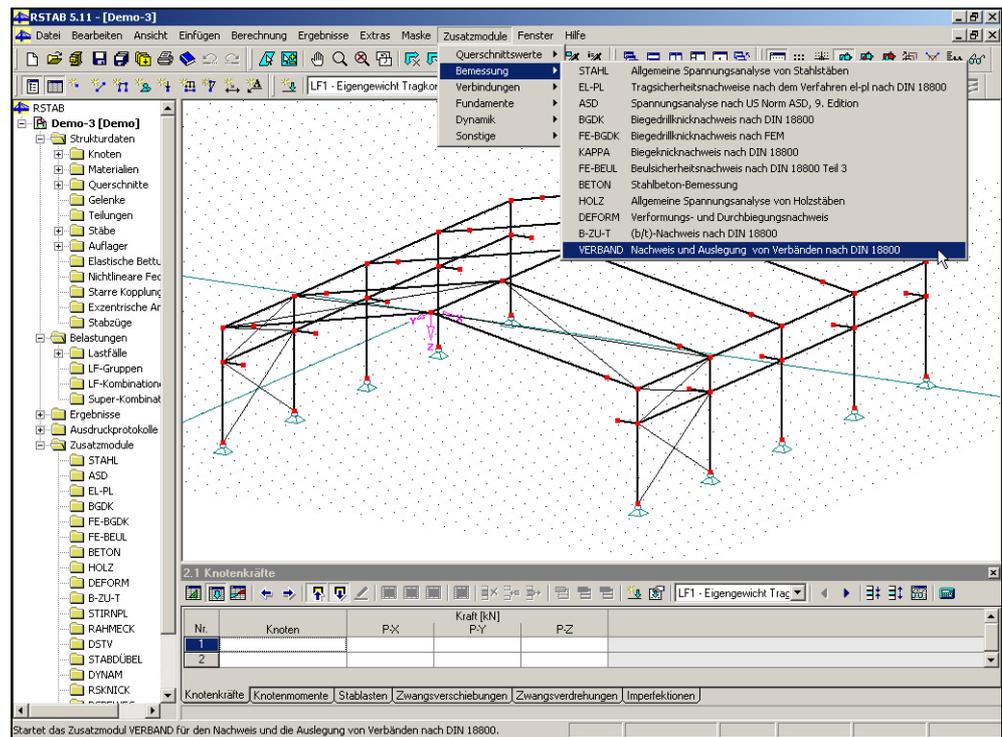


4. Arbeiten mit Verband

4.1 Verband starten



Das Modul VERBAND kann entweder aus dem Pulldownmenü *Zusatzmodule* → *Bemessung* → *VERBAND* aufgerufen werden, oder auch über das entsprechende Icon auf dem Desktop.



Aufruf von VERBAND über das Pulldownmenü Zusatzmodule

4.2 Masken

Sowohl die Eingaben zur Definition der VERBAND *Fälle* als auch die numerische Ausgabe der Ergebnisse auf dem Bildschirm geschehen in Masken.

Links sehen Sie nach dem Aufruf von VERBAND den VERBAND -Navigator, der alle aktuell anwählbaren Masken anzeigt. Unterhalb der Titelleiste befinden sich die Pulldownmenüs *Datei*, *Bearbeiten*, *Extras*, *Optionen* und *Hilfe*. Zu den darin enthaltenen Funktionen lesen Sie bitte Kapitel 4.5. Die Ansteuerung aller Masken kann wahlweise durch Anklicken des entsprechenden Eintrages im VERBAND -Navigator oder sequentielles Durchblättern geschehen. Geblättert werden kann entweder mit den Tasten [F2] und [F3] oder durch Anklicken der Buttons [\ll] und [\gg]. [Abbruch] hat ein Beenden ohne Sicherung zur Folge. [Hilfe] beziehungsweise die Taste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.

4.3 Eingabemasken

In den Eingabemasken sind alle für die Berechnung notwendigen Angaben zu treffen und die gewünschten Parametereinstellungen vorzunehmen.

Weiter (F2) >>

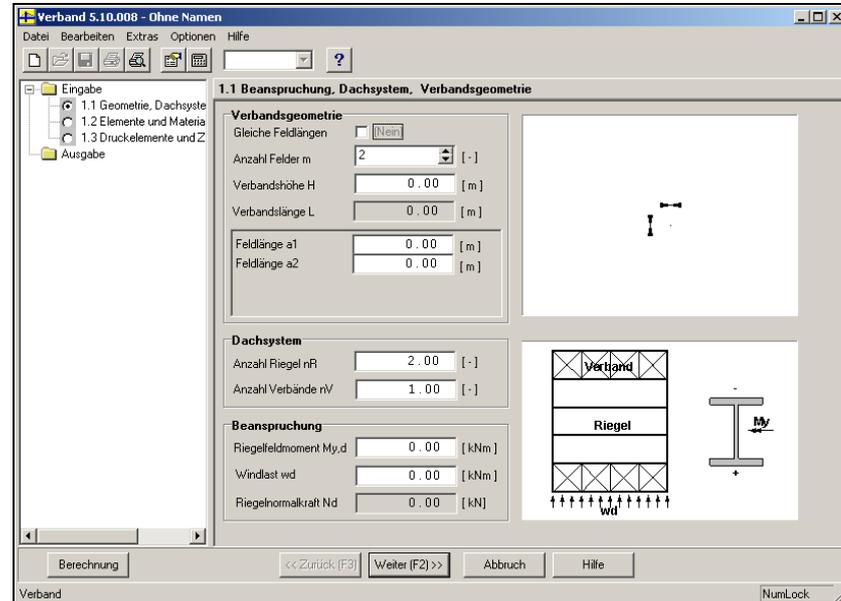
<< Zurück (F3)

Abbruch

Hilfe

4.3.1 Maske 1.1 Beanspruchung, Dachsystem, Verbandsgeometrie

Nach dem Aufruf von VERBAND wird das VERBAND -Fenster mit der Maske *1.1 Beanspruchung, Dachsystem, Verbandsgeometrie* eingeblendet.



Maske 1.1 Beanspruchung, Dachsystem, Verbandsgeometrie

Verbandsgeometrie:

Anzahl der Verbandsfelder m:

Die Anzahl der Verbandsfelder muss sich im Bereich von 2 bis 20 bewegen.

Höhe des Verbandes H:

Höhe des Verbandes in Metern (entspricht dem Abstand der Verbandsriegel).

Systemlänge a:

Bei der Wahl gleicher Feldlängen ist nur die Verbandslänge L anzugeben.

Bei der Wahl ungleicher Feldlängen sind die einzelnen Systemlängen $a_1 \dots a_m$ des Verbandes in Metern anzugeben.

Dachsystem:

Anzahl Riegel nR:

Beschreibt die gewünschte Anzahl der Riegel wie in nebenstehender Skizze dargestellt. Die Anzahl der Riegel dividiert durch die Anzahl der Verbände ergibt die Anzahl der auszusteienden Riegel je Verband. ($nR \geq 2$)

Anzahl Verbände:

Beschreibt die gewünschte Anzahl der Verbände wie in nebenstehender Skizze dargestellt. ($nV \geq 1$).

Beanspruchung:

Riegelfeldmoment $M_{y,d}$:

Gammafaches Moment in der Mitte des Riegels in KNm. Das Moment ist positiv, wenn es im unteren Flansch Zug und im oberen Flansch Druck erzeugt. Aus dem Moment und der Normalkraft des Riegels wird die Ersatzbeanspruchung des Riegels N_{Gurt} berechnet. Wird das Moment zu Null eingegeben, so wird die Ersatzbeanspruchung durch das Programm angenommen (s. Abschnitt 3.1).



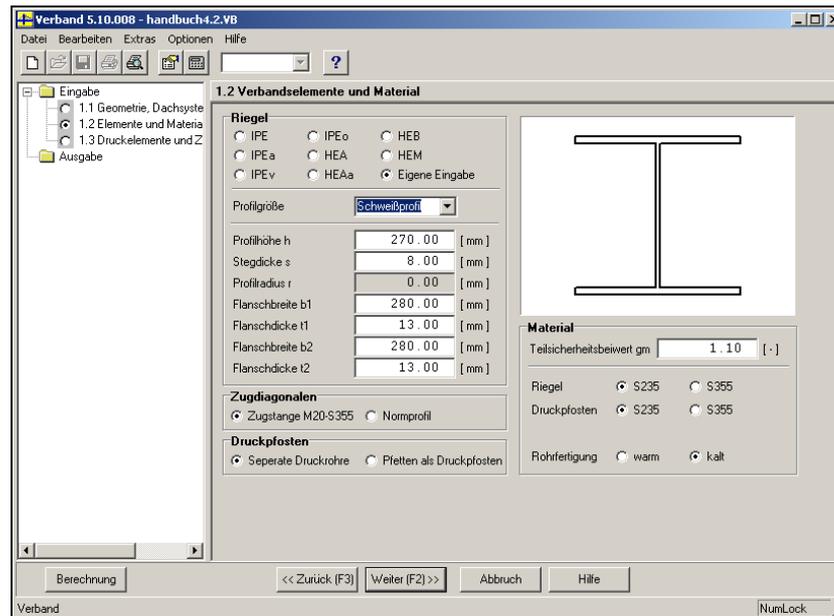
Windlast w_d :

Gammafache, anteilige Windlast für einen Verband in KN/m. Die Windlast muß positiv eingegeben werden.

Normalkraft N_d (für $M_{y,d} \neq 0$):

Gammafache Normalkraft des Riegels in kN. Die Normalkraft ist positiv, wenn sie Zug erzeugt. Die Eingabe erfolgt nur, wenn das Rieglmoment ungleich Null ist.

4.3.2 Maske 1.2 Verbandselemente und Material



Maske 1.2 Verbandselemente und Material

Riegelprofil:

Profil der Dachriegel. Entweder genormtes Walzprofil (Kurzzeichen und Nennhöhe) oder Sonderprofil. Folgende Walzprofile werden vom Programm unterstützt:

IPE

IPEv / IPEo

IPEa

IPB HEA

HEAA

IPB HEB

IPBv HEM

Als eigenes Profil, kann unter *Profilgröße* ein Schweiß- oder Walzprofil selbst definiert werden. Hier sind für die Trägermaße folgende Angaben notwendig:

- h Profilhöhe
- b1 Breite des oberen Flanschbleches
- t1 Dicke des oberen Flanschbleches
- r Radius des Trägers (für Blechträger $r = 0$)
- s Stegdicke des Trägers
- t2 Dicke des unteren Flanschbleches
- b2 Breite des unteren Flanschbleches

Zugdiagonalen:

Als Zugdiagonalen können entweder Zugstangen mit Gewindeende nach [1] oder beliebig andere Zugprofile verwendet werden.

Beschreibung der Gewindestange:

Zugstange, Rundstahl, Nenndurchmesser 18,3mm - Material St52 an den Enden aufgewalztes Gewinde M20 mit Anschlußstück (25x40-130) aus St52-3 mit Kontrollbohrung.

Anschluß über einschnittige Schraubenverbindung M20 am Knotenblech (dieser Anschluß ist vom Anwender gesondert nachzuweisen).

Die Zugstangen sind mit einer Kontermutter M20 zu sichern.

Versagen der Zugstange:

$$N_{R,d} = \frac{A_{\text{Stange}} \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{2,63 \cdot 36}{1,1} = 86,1 \text{ kN} \quad (\text{maßgebend})$$

Versagen im Gewindebereich

$$N_{R,d} = \frac{A_{\text{Sp}} \cdot f_{u,b,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} = \frac{2,45 \cdot 50}{1,25 \cdot 1,1} = 89,1 \text{ kN}$$

Tragsysteme, deren Bestandteile die Zugstangen sind, dürfen nur nach dem Nachweisverfahren "elastisch-elastisch" oder "elastisch-plastisch" berechnet werden.

Hinweis bei der Verwendung von Normprofilen als Zugprofile:

Bei der Wahl eines Normprofils, wird es in der nächsten Maske 1.3 notwendig weitere Angaben über das Profil vorzunehmen.

Die Normprofile sind anhand der ausgegebenen Flächen A_{erfBr} und A_{erfNe} zu dimensionieren. Diese Flächen haben dabei folgende Bedeutung:

A_{erfBr} : Erforderliche Bruttofläche eines Diagonalstabes

Mit dieser Fläche wird die Schubsteifigkeit des Verbandes berechnet. Bei Verwendung mehrerer Querschnitte werden die erforderlichen Bruttoquerschnittswerte automatisch vom Programm ermittelt und den Stäben zugewiesen. Die vom Anwender gewählten Profile dürfen diese Bruttowerte nicht unterschreiten.

A_{erfNe} : Erforderliche Nettofläche eines Diagonalstabes.

Die erforderliche Nettofläche folgt aus dem Spannungsnachweis. Diese Fläche entspricht der Nettofläche nach Lochabzug beim Schraubenanschluß.

Bei Verwendung von nz' Zugdiagonalen werden die Zugkräfte nach Größe sortiert und in nz' Gruppen eingeteilt. Jeder Gruppe wird nur ein Bruttoquerschnitt zugewiesen (Vergrößerung der Schubsteifigkeit), der aus dem Spannungsnachweis für die größte Kraft der Gruppe folgt. Für den Stab in dem diese Kraft wirkt, entspricht damit die Nettofläche der Bruttoquerschnittsfläche.

Druckpfosten:

Als Druckpfosten werden

- nahtlose oder geschweißte Stahlrohre nach DIN 2448 bzw. DIN 2458 mit einer maximalen Wandstärke von 16mm zugelassen, die jedoch durch Rechteck- oder Quadratrohre gleicher oder größerer Querschnitts- und Trägheitswerte ersetzt werden können. Die Streckgrenze der Rohre beträgt bei Wandstärken $\leq 16\text{mm}$ für S 235 (St 37) 235 N/mm^2 und für S 355 (St 52) 355 N/mm^2 .
- I-Walzprofile nach DIN 1025, dieses sind die Profilvereihen IPE, HEA, HEB, HEM, bzw. die nichtgenormten Profilvereihen IPEo, IPEv, IPEa und HEAA. Dabei wird vorausgesetzt, dass alle Druckpfosten aus dem gleichen Profil bestehen. Diese Voraussetzung trifft sicherlich in den meisten baupraktischen Fällen zu, da die Biegemomentbean-



spruchten Pfetten, die gleichzeitig Pfosten eines Verbandes sind, in der Regel die gleiche Bauhöhe aufweisen.

Material:

Als Material für die Verbandsstäbe kann entweder S 235 oder S355 verwendet werden. S 355 verringert einerseits die Querschnittsflächen der Stäbe, bewirkt aber andererseits durch die Verkleinerung der Ersatzschubsteifigkeit des Verbandes eine Erhöhung der Stabkräfte.

Teilsicherheitsbeiwert für Material ($\gamma_M \geq 1$):

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M gilt für alle Bauteile des Verbandes (Riegel, Druckpfosten, Zugdiagonalen) und vermindert deren Festigkeiten für die Berechnung. Er darf nicht kleiner 1 sein und wird in der Regel mit 1.1 angesetzt (DIN 18800, T1, EI(720)).

Material für Riegel, Zugdiagonalen (wenn keine Zugstangen verwendet werden), Rohre oder Pfetten:

S 235 oder S 355 bzw. S 235 oder S 355 für Rohre

Rohrfertigung (bei Verwendung von Druckrohren):

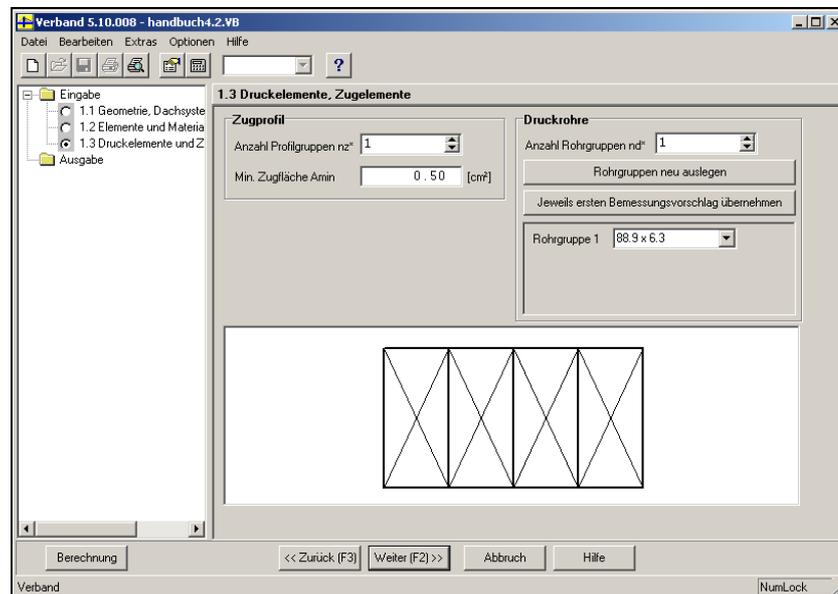
Diese Eingabe ist notwendig für den Tragsicherheitsnachweis für Biegeknicken (siehe Abschnitt 3.3.1)

- warm ($\alpha = 0,21$)

- kalt ($\alpha = 0,34$)

Ist das Herstellverfahren der Rohre nicht bekannt, so sollte das Rohr als kalt gefertigt angenommen werden, was den ungünstigeren Fall für seine Beanspruchbarkeit darstellt.

4.3.3 Maske 1.3 Druckelemente, Zugelemente



Maske 1.3 Druckelemente, Zugelemente

Zugprofil:

Anzahl unterschiedlicher Zugprofile nz' ($1 \leq nz' \leq m$):

Vom Programm werden automatisch nz' Kraftgruppen gebildet, von denen die jeweils größte Kraft für die Bemessung der einzelnen Zugprofile maßgebend ist. Die Eingabe erfolgt, wenn keine Zugstangen verwendet werden.

Kleinste Fläche der Zugprofile A_{min} :

Wenn Sie ein bestimmtes Profil als Zugprofil verwenden möchten, so geben Sie dessen Bruttofläche als kleinste Fläche in cm^2 ein.

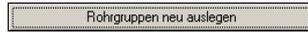
Druckrohre:

Anzahl unterschiedlicher Druckrohrprofile nd' ($1 \leq nd' \leq m+1$)

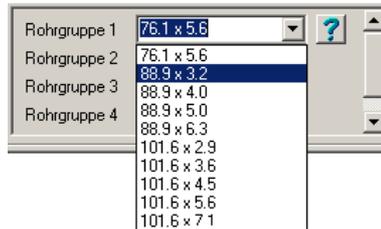
Ist $nd' > 1$, so werden vom Programm automatisch nd' Kraftgruppen gebildet, von denen die jeweils größte Kraft für die Bemessung der einzelnen Rohre maßgebend ist. Die Eingabe erfolgt nur für Druckrohre. Bei Zuordnung der Druckkräfte zu den Pfetten wird vorausgesetzt, dass nur ein Pfettenprofil verwendet wird.

Rohrgruppen neu auslegen:

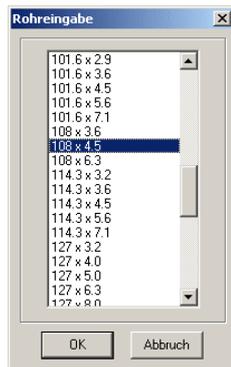
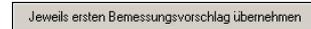
Aus Grund der automatisch gebildeten nd' Kraftgruppen, können 10 Bemessungsvorschläge für Rohre ausgegeben werden.



Wählen Sie mittels der [Pfeil nach unten Taste] aus den 10 Bemessungsvorschlägen ein Rohr aus, oder



übernehmen Sie den „jeweils ersten Bemessungsvorschlag“.

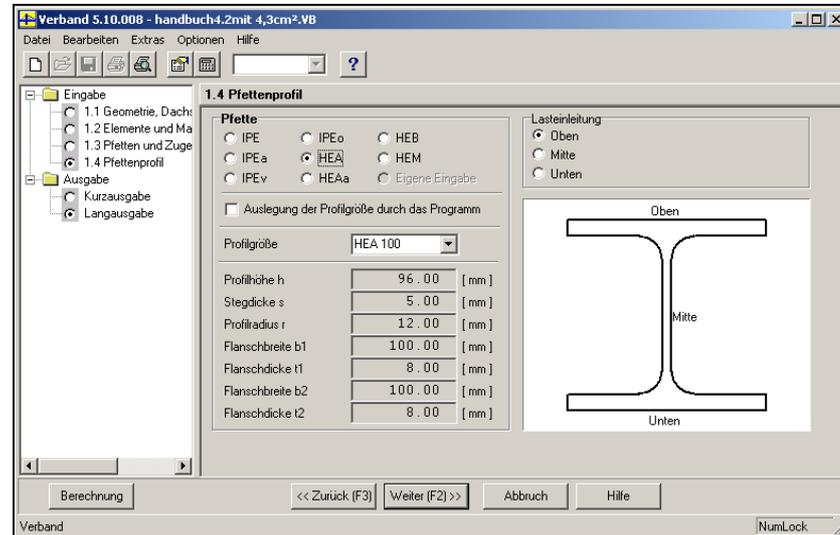


Ein gesondertes Profil können Sie über den Button [?] festlegen. Hier werden alle vom Programm ermöglichten Rohre anwählbar.



4.3.4 Maske 1.4 Pfettenprofil

Diese *Maske 1.4 Pfettenprofil* wird nur aktiv, wenn in der *Maske 1.2 Verbandselemente und Material* unter Druckpfosten „*Pfetten als Druckpfosten*“ ausgewählt wurden. Zudem ändert sich durch diese Auswahl auch die *Maske 1.3 Druckelemente, Zugelemente*, denn in dieser wird es nun ermöglicht die Pfettenbeanspruchung zu definieren.



Maske 1.4 Pfettenprofil

Pfettenprofil:

Folgende Profile werden vom Programm unterstützt:

- IPE
- IPEv / IPEo
- IPEa
- IPB HEA
- HEAA
- IPB HEB
- IPBv HEM

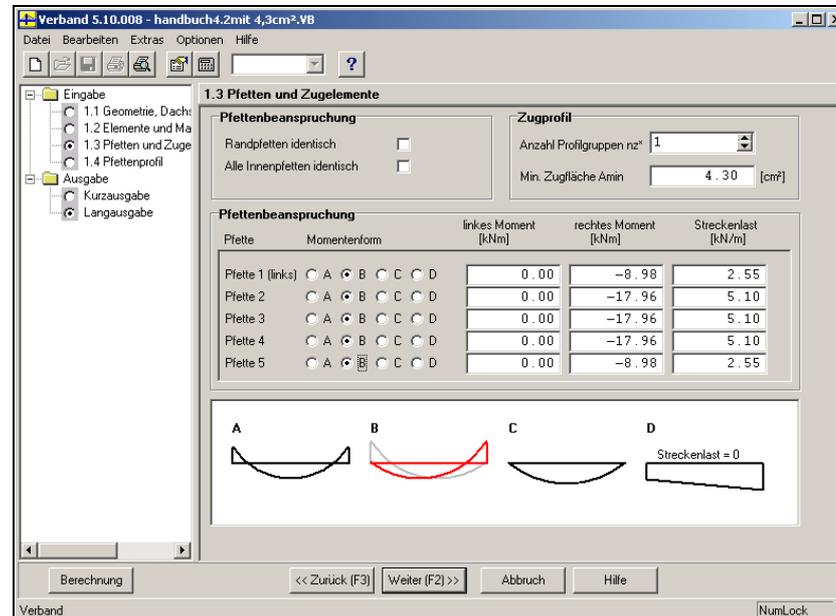
Durch aktivieren der Option „*Auslegung der Profilgröße durch das Programm*“, wird vom Programm automatisch für die jeweils gewählte Profilreihe die optimale Größe ausgelegt.

Lasteinleitung:

Lasteinleitungspunkt der Streckenlast in die Pfette. Für Pfetten mit linearem Momentenverlauf ($q_{z,d} = 0$, $z_p = 0$) wird die Eingabe ignoriert.

4.3.5 Maske 1.3 Pfetten und Zugelemente

Wenn in der *Maske 1.2 Verbandselemente und Material* unter Druckpfosten „Pfetten als Druckpfosten“ ausgewählt wurde, ist es möglich in dieser Maske Die Pfettenbeanspruchung einzugeben.



Maske 1.3 Pfetten und Zugelemente

Pfettenbeanspruchung:

Im oberen Bereich dieser Maske wird festgelegt ob für die Rand- bzw. Innenpfetten eine Momenten- und Streckenlastgleichheit besteht. Geben Sie durch aktivieren der Checkbox ein, welche Pfetten eine identische Moment- und Streckenlastbeanspruchung besitzen.

Die Definition des Zugprofils entnehmen Sie bitte dem Kapitel 4.3.3. *Maske 1.3 Druckelemente, Zugelemente.*

Momentenformen der Pfetten:

Wählen Sie die Momentenformen für die einzelnen Pfetten aus, indem Sie für die jeweilige Pfette entsprechend den Momentenskizzen A, B, C oder D aktivieren. Wirkt in der Pfette kein Moment, so ist dies als Sonderfall des Momentenverlaufes D) (linearer Momentenverlauf) mit $M_{y,l,d} = 0$, $M_{y,r,d} = 0$ und $q_{z,d} = 0$ einzugeben.

Schnittgrößen der Pfetten:

Linkes, γ -faches Moment $M_{y,l,d}$

Rechtes, γ -faches Moment $M_{y,r,d}$

γ -fache Streckenlast

Alle Momente und die Streckenlast sind vorzeichenrichtig und entsprechend dem gewählten Momentenverlauf einzugeben.



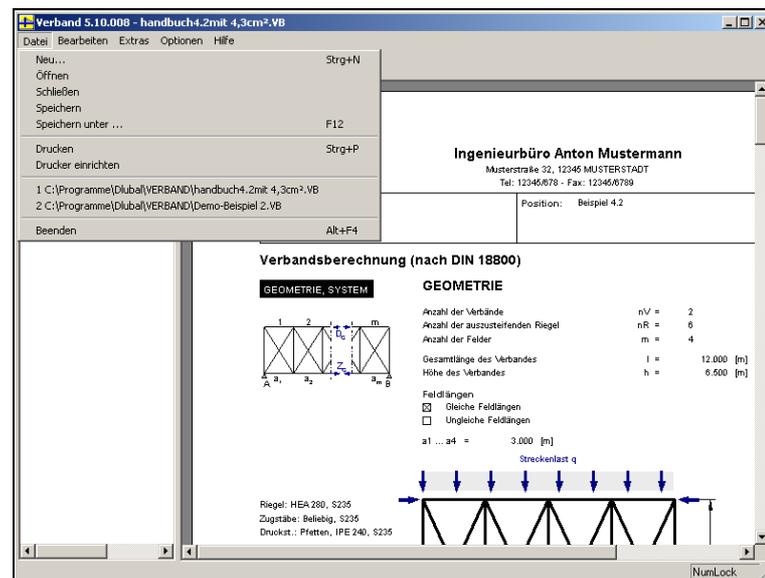
4.4 Pulldownmenüs

Die Pulldownmenüs enthalten alle notwendigen Funktionen zum Handling der VERBAND - Fälle bzw. Dateien und deren Resultate. Sie aktivieren ein Pulldownmenü durch Anklicken des Menünamens oder Drücken von [Alt] gefolgt von der Taste des im Menütitel unterstrichenen Buchstabens. Im Falle des Pulldownmenüs Datei wäre dies also die Tastenfolge [Alt+D]. Die im Pulldownmenü enthaltenen Funktionen rufen Sie dann analog dazu auf, indem Sie wiederum die Taste des im Funktionsnamen unterstrichenen Buchstaben drücken.

4.4.1 Datei

[Alt+D]

...dient der Handhabung der VERBAND – Fälle bzw. Dateien.



Pulldownmenü Datei



Neu [Strg+N]

...erlaubt das Anlegen einer neuen VERBAND Datei.



Öffnen

Öffnet eine bestehende VERBAND Datei im Format *.VB

Schließen

Schließt eine bestehende VERBAND Datei.



Speichern

Speichert die Eingabe

Speichern unter.. [F12]

Speichert die Eingabe in ein gewünschtes Verzeichnis.



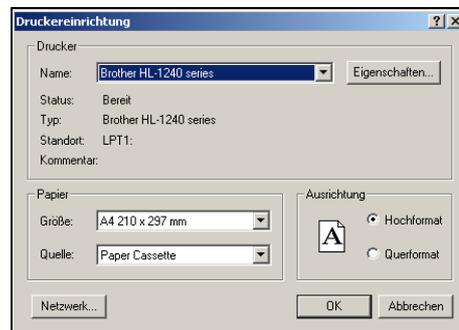
Drucken [Strg+P]

Startet den Druckauftrag, siehe auch Kapitel 5.1 Bildschirmausgabe, Drucken.



Drucker einrichten

Stellt alle installierten Drucker zur Auswahl und ermöglicht alle bekannten Windows Einstellungen bezüglich des Druckens.



Drucker einrichten

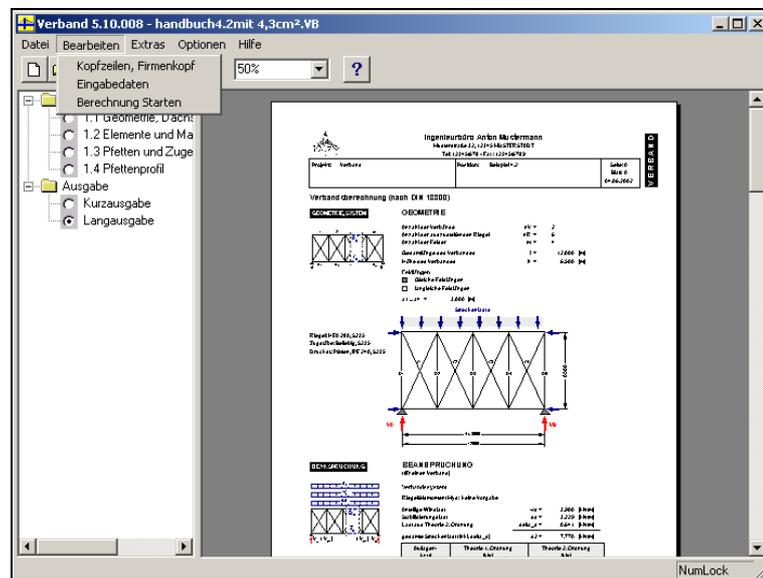
Beenden [Alt+F4]

Beendet das Programm VERBAND.

4.4.2 Bearbeiten

Kopfzeilen, Firmenkopf

... bietet vor allem zahlreiche Funktionen hinsichtlich der Bearbeitung des Firmenkopfes (siehe Kapitel 5.1 Bildschirmausgabe, Drucken)



Pulldownmenü Bearbeiten

Eingabedaten

Öffnet die Maske 1.1. Beanspruchung, Dachsystem, Verbandsgeometrie

Berechnung starten

Startet die Berechnung



Berechnung

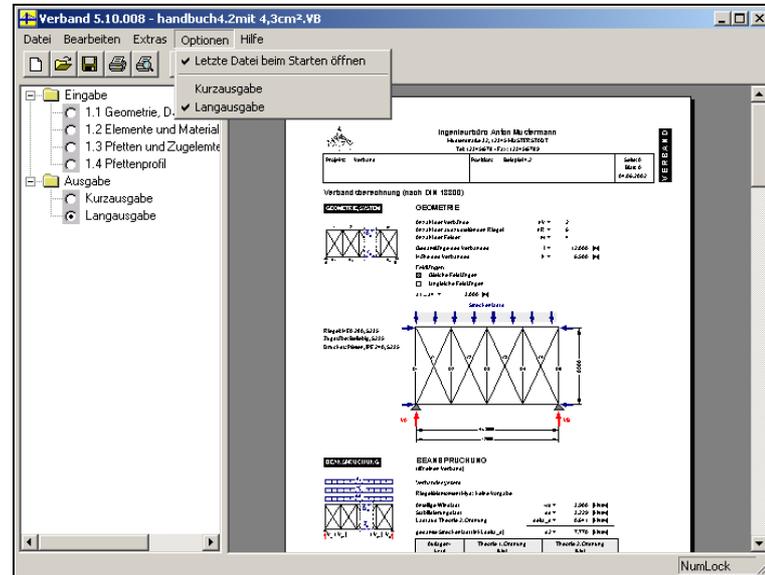


4.4.3 Extras

Rechner

Öffnet den Microsoft Rechner

4.4.4 Optionen



Pulldownmenü Optionen

Letzte Datei beim Starten öffnen

Durch aktivieren dieser Funktion kann festgelegt werden, ob beim nächsten Start von VERBAND die zuletzt verwendete Datei automatisch wieder geöffnet werden soll.

Kurzausgabe, Langausgabe

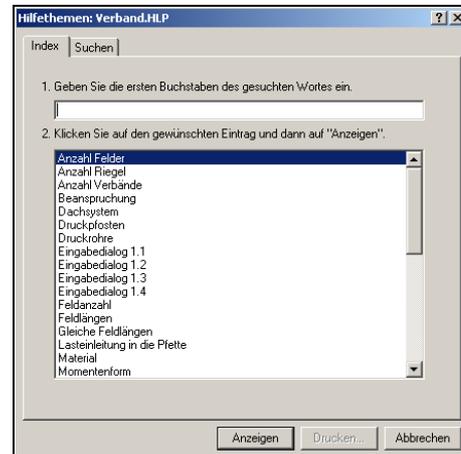
Hier kann zwischen der unter *Kapitel 5.1 Bildschirmausgabe, Drucken* beschriebenen Kurz- oder Langausgabe der Ergebnisse bzw. der Ausdrucks gewählt werden.

4.4.5 Hilfe [Alt+H]



Inhalt

Mittels Inhalt oder dem Button [?] wird folgendes Fenster geöffnet. Hier lässt sich mittels der Maus ein bestimmtes Hilfethema auswählen.



Hilfethemen Verband

Eine direkte **Hilfe** über die **F1** Taste steht natürlich auch an der jeweils gewünschten Stelle zur Verfügung.

Info

Öffnet folgendes Fenster mit Informationen zur Programm – Entwicklung.

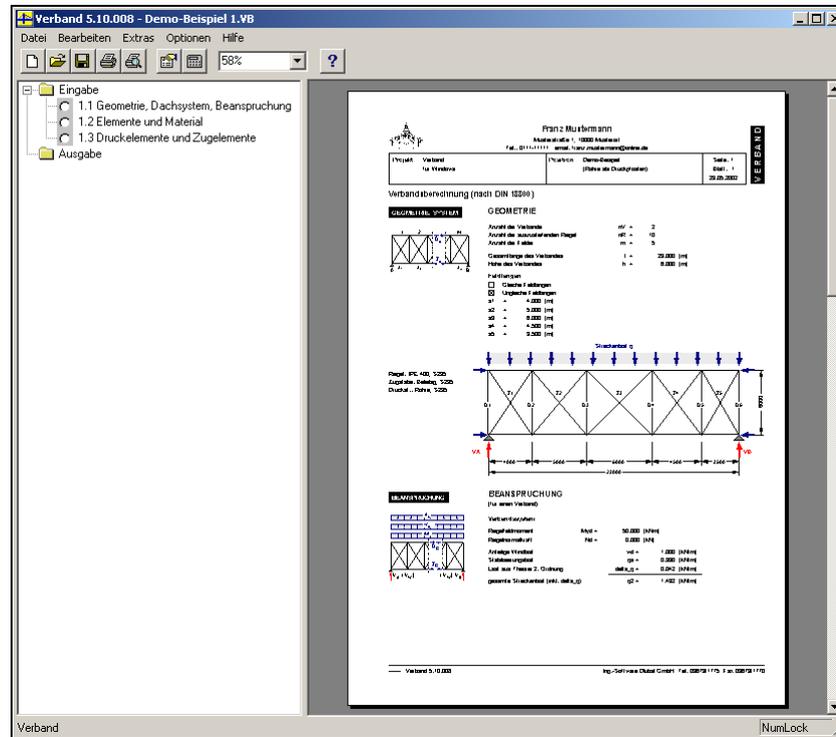


Verband Info



5. Ergebnisse und Ausgabe

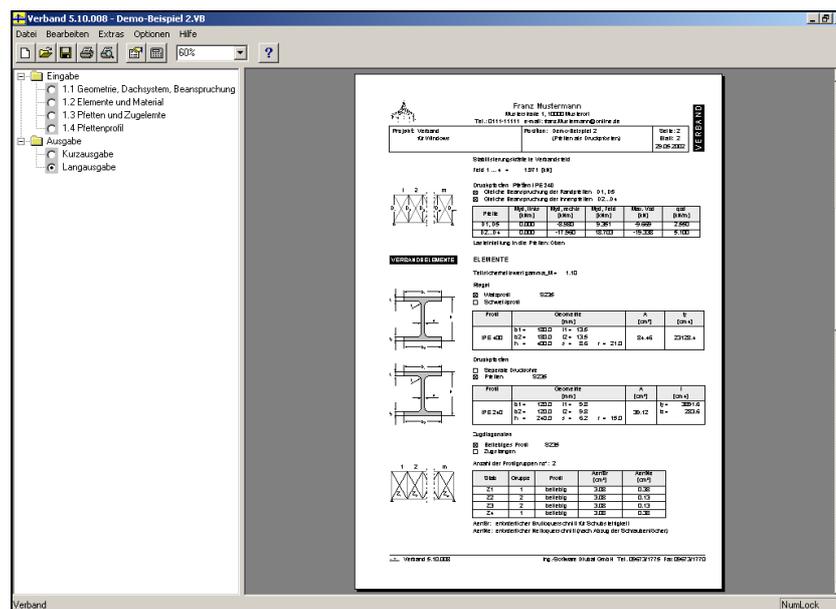
5.1 Bildschirmausgabe, Drucken



Bildschirmausgabe

Berechnung

Nachdem die Schaltfläche [Berechnung] gedrückt wurde, gelangen Sie automatisch in die Bildschirmausgabe und im Navigator erscheint der neue Eintrag „Ausgabe“. Mittels der Bildlaufleiste kann man sich den gesamten Text bzw. die Grafiken anzeigen lassen.



Ausgabe in Kurz- und in Langfassung



Wurden in der Maske 1.2 *Verbandselemente und Material* Pfetten als Druckpfosten definiert, so wird es möglich sich zwischen einer Kurz- bzw. Langfassung der Ausgabe zu entscheiden. Die wesentlichen Unterschiede hierbei sind, dass beim Kurzausdruck jeweils nur die maximal beanspruchten Pfetten in den entsprechenden Tabellen ausgegeben werden.

Steuern lässt sich die Kurz- bzw. Langfassung der Ausgabe entweder über den Navigator, oder über das Pulldownmenü „*Optionen*“.

Kopfzeilen, Firmenkopf

Das Fenster *Kopfzeilen, Firmenkopf* kann über „*Bearbeiten*“ geöffnet werden.

Legen Sie unter *Anzeigen* Ihren Vorstellungen entsprechend fest, ob VERBAND den *Firmenkopf anzeigen*, die *Projekt, Position und Seitennummerierung* sowie das *Datum in Ihren Firmenkopf einbinden* soll. Bestimmen Sie den Beginn der Seitennummerierung. Unter *Firmenname, Anschrift* können Sie Ihre individuellen Einträge vornehmen.

Durchsuchen...

Sollte Ihr *Firmenlogo* als Grafik im *.bmp-Format verfügbar sein, kann VERBAND es einbinden und das *Firmenlogo anzeigen*. Den Pfad der Datei müssen Sie im Feld *Firmenlogo-Datei (.bmp)* angeben oder gegebenenfalls mit [Durchsuchen] ermitteln.

Unter *Projekt* und *Position* lassen sich zweizeilig Projekt- und Positionsnamen vergeben.

Der mit der RSTAB Autorisierung festgelegte Firmenname, bzw. die Anschrift kann von RSTAB übernommen werden. Mit dem Button „*Als Standard für Verband übernehmen*“, lassen sich die selbst eingegebenen oder aus RSTAB übernommenen Daten als Standard setzen.

OK

Nach getätigten Änderungen und Bestätigung mit [OK] gibt auch die Seitenansicht die neuen Angaben wieder.

Diese Combobox ermöglicht es Ihnen, wie es auch in Microsoft Produkten üblich ist die Seitendarstellung in prozentualen Maßstäben darzustellen.



Das Ausdrucken erfolgt entweder über den Button „*Drucken*“ oder über das Pulldownmenü „*Datei, Drucken*“.



6. Beispiele

6.1 Verband mit zentrisch beanspruchten Pfosten

Anzahl der Verbände : $z=2$

Gesamtzahl der Riegel : $n_R=10$

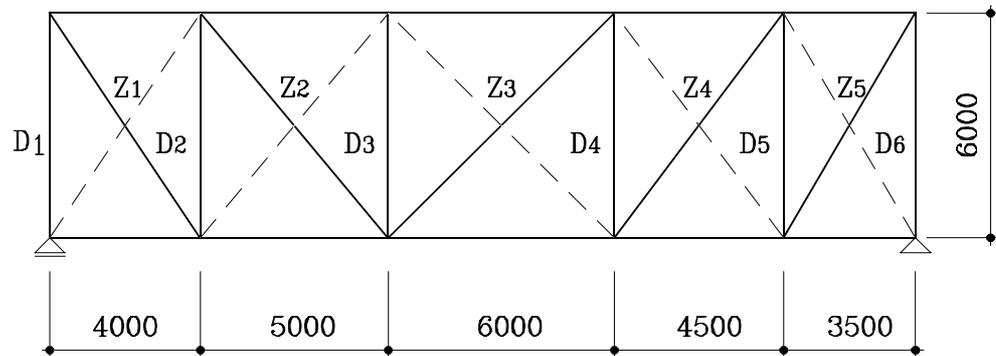
Riegel : IPE 300 - S 235

Windlast : $w=1$ kN/m (Beanspruchung eines Verbandes)

Druckrohre : S 235, 3 unterschiedliche Rohre

Zugprofile : gleichschenklige Winkel, S 235, 1 unterschiedlicher Winkel

kleinster Winkel: L45x5



Abmessung des Verbandes

Ersatznormalkraft des Riegels (Annahme)

$$N_{\text{Gurt}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \cdot f_{y,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{53,8}{2} \cdot \frac{24}{1,1} = 391,273 \text{ kN}$$

Vorverdrehung des Riegels

$$\psi_0 = \frac{1}{200} \cdot \sqrt{\frac{5}{L}} = \frac{1}{200} \cdot \sqrt{\frac{5}{11,5}} = 3,297 \cdot 10^{-3}$$

Verbandsvorkrümmung

$$w_0 = \psi_0 \cdot L = 11,5 \cdot 3,297 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 3,7914 \text{ cm}$$

Ersatzstreckenlast (Stabilisierungsanteil)

$$q_s = \frac{n_R}{z} \cdot \frac{8 \cdot N_{\text{Gurt}}}{l^2} \cdot w_0 = \frac{8 \cdot 391,273 \cdot 10}{23^2 \cdot 2} \cdot \frac{3,7914}{100} = 1,1217 \text{ kN/m}$$

Gesamtstreckenlast



$$q^I = q_s + w_d = 1,1217 + 1 = 2,1217 \text{ kN/m}$$

Winkel

$$\alpha_1 = \arctan \frac{6}{4} = 56,310^\circ \quad \alpha_4 = 53,130^\circ$$

$$\alpha_2 = 50,194^\circ \quad \alpha_5 = 59,744^\circ$$

$$\alpha_3 = 45,000^\circ$$

Ersatzkräfte

$$F_1 = \frac{a_1}{2} \cdot q^I = \frac{4}{2} \cdot 2,1217 = 4,243 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot q^I = \frac{4 + 5}{2} \cdot 2,1217 = 9,548 \text{ kN}$$

$$F_3 = \frac{a_2 + a_3}{2} \cdot q^I = \frac{5 + 6}{2} \cdot 2,1217 = 11,669 \text{ kN}$$

$$F_4 = \frac{a_3 + a_4}{2} \cdot q^I = \frac{6 + 4,5}{2} \cdot 2,1217 = 11,139 \text{ kN}$$

$$F_5 = \frac{a_4 + a_5}{2} \cdot q^I = \frac{4,5 + 3,5}{2} \cdot 2,1217 = 8,487 \text{ kN}$$

$$F_6 = \frac{a_5}{2} \cdot q^I = \frac{3,5}{2} \cdot 2,1217 = 3,713 \text{ kN}$$

Auflagerkraft

$$V^I = \frac{q^I \cdot l}{2} = \frac{2,1217 \cdot 23}{2} = 24,400 \text{ kN}$$

Druckkräfte

$$D_1 = D_6 = -V = -24,400 \text{ kN}$$

$$D_2 = F_1 - V = 4,243 - 24,400 = -20,157 \text{ kN}$$

$$D_3 = -F_3 = -11,669 \text{ kN}$$

$$D_4 = F_5 + F_6 - V = 8,487 + 3,713 - 24,400 = -12,200 \text{ kN}$$

$$D_5 = F_6 - V = 3,713 - 24,400 = -20,687 \text{ kN}$$



Zugkräfte

$$Z_1 = \frac{V - F_1}{\sin \alpha_1} = \frac{24,40 - 4,243}{\sin 56,31} = 24,226 \text{ kN}$$

$$Z_2 = \frac{V - F_1 - F_2}{\sin \alpha_2} = \frac{24,40 - 4,243 - 9,548}{\sin 50,194} = 13,810 \text{ kN}$$

$$Z_3 = \frac{V - F_4 - F_5 - F_6}{\sin \alpha_3} = \frac{24,40 - 11,139 - 8,478 - 3,713}{\sin 45} = 1,500 \text{ kN}$$

$$Z_4 = \frac{V - F_5 - F_6}{\sin \alpha_4} = \frac{24,40 - 8,487 - 3,713}{\sin 53,13} = 15,250 \text{ kN}$$

$$Z_5 = \frac{V - F_6}{\sin \alpha_5} = \frac{24,40 - 3,713}{\sin 59,744} = 23,949 \text{ kN}$$

Bestimmung der Druckrohre

Es sollen 3 verschiedene Druckrohre verwendet werden, die entsprechend der Beträge der Kräfte zuzuordnen sind.

Von den ersten 10 möglichen Druckrohren, die die Druckkraft übertragen können, wird für die Berechnung der Schubsteifigkeit das Rohr mit der kleinsten Querschnittsfläche herangezogen.

Druckrohr 1 und 6

$$\max N = 24,400 \text{ kN}$$

gewähltes Rohr: Ro 70x5,6 mit $A=11,33 \text{ cm}^2$ und $I=59,180 \text{ cm}^4$

$$N_{Ki} = \frac{EI \cdot \pi^2}{h^2} = \frac{21000 \cdot 59,18 \cdot \pi^2}{600^2} = 34,072 \text{ kN}$$

$$N_{pl} = 11,33 \cdot 23,5 = 266,255 \text{ kN}$$

$$\lambda_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}} = \sqrt{\frac{266,255}{34,072}} = 2,795$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_K - 0,2) + \lambda_K^2]$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,795 - 0,2) + 2,795^2] = 4,848$$

$$\kappa = \frac{1}{\kappa + \sqrt{\kappa^2 - \lambda_K^{-2}}} = \frac{1}{4,848 + \sqrt{4,848^2 - 2,795^2}} = 0,1135$$

$$N < \kappa \cdot N_{pl,d}$$

$$24,400 < 0,1135 \cdot \frac{271,916}{1,1} = 27,474 \text{ kN}$$

weitere mögliche Rohre:

76,1x3,6; 76,1x4,5; 76,1x5,6; 88,9x2,9 $\rightarrow A_{\min} = 7,835 \text{ cm}^2$; 88,9x3,2; 88,9x4;
88,9x5; 88,9x6,3; 101,6x2,9

Druckrohr 2 und 5

$$\max N = 20,687 \text{ kN}$$



mögliche Rohre:

70x4,5; 70x5,6; 76,1x3,6; 76,1x4,5; 76,1x5,6; 88,9x2,9 → $A_{\min} = 7,835 \text{ cm}^2$; 88,9x4;
88,9x5; 88,9x6,3

Druckrohr 3 und 4

$\max N = 12,200 \text{ kN}$

mögliche Rohre:

60,3x4; 60,3x5; 70x2,6 → $A_{\min} = 5,505 \text{ cm}^2$; 70x2,9; 70x3,6; 70x4,5; 70x5,6;
76,1x2,6; 76,1x2,9; 76,1x3,6

Dimensionierung der Zugprofile

Als kleinstes Zugprofil, das verwendet werden soll, wird ein L45x5 mit einer Querschnittsfläche von $4,30 \text{ cm}^2$ gewählt. Dieses Profil besitzt eine Grenzzugkraft, unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch einen Lochdurchmesser von 13 mm, von

$$Z_d = (4,30 - 1,3 \cdot 0,5) \cdot \frac{24}{1,1} = 79,636 \text{ kN.}$$

Da alle Zugkräfte Z_1 bis Z_5 wesentlich kleiner sind, werden die Zugstäbe als L45x5 ausgeführt.

Ersatzschubsteifigkeit S^*

$$A_H = \frac{\sum_1^{n_d} A_{\text{Rohr}_i}}{n_d} = \frac{2(7,835 + 7,835 + 5,505)}{6} = 7,058 \text{ cm}^2$$

$$A_D = 4,30 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = \arctan \frac{m \cdot h}{1} = \arctan \frac{5 \cdot 6}{23} = 52,524^\circ$$

$$\frac{1}{S^*} = \frac{1}{EA_D \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{EA_H \cdot \cot \alpha}$$

$$\frac{1}{S^*} = \frac{1}{21000 \cdot 4,3 \cdot \sin^2 52,524 \cdot \cos 52,524} + \frac{1}{21000 \cdot 7,058 \cdot \cot 52,524}$$

$$S^* = 26525 \text{ kN}$$

$$S_d^* = \frac{S^*}{\gamma_M} = \frac{26525}{1,1} = 24113 \text{ kN}$$

Ersatzbiegesteifigkeit

$$E \cdot I_G^* = E \cdot 2 \cdot A_{\text{Gurt}} \cdot \frac{h^2}{4}$$

$$E \cdot I_G^* = 21000 \cdot 2 \cdot (15 \cdot 1,07 + \frac{1}{5} \cdot (53,8 - 2 \cdot 15 \cdot 1,07)) \cdot \frac{600^2}{4} = 7,70742 \cdot 10^{10} \text{ kNcm}^2$$

$$(E \cdot I_G^*)_d = \frac{EI_G^*}{\gamma_M} = \frac{7,70742 \cdot 10^{10}}{1,1} = 7,006745 \cdot 10^{10} \text{ kNcm}^2$$



Stabkennzahl

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{N_{\text{Gurt}} \cdot n}{S_d^*}} = \frac{1}{1 - \frac{391,273 \cdot 5}{24113}} = 1,0883$$

$$\varepsilon = 1 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot N_{\text{Gurt}} \cdot n}{(EI_G^*)_d}} = 2300 \cdot \sqrt{\frac{1,0883 \cdot 391,273 \cdot 5}{7,0067 \cdot 10^{10}}} = 0,40093$$

Auflagerkraft

$$V^{\text{II}} = \frac{\gamma}{\varepsilon} \cdot \tan \frac{\varepsilon}{2} \cdot q^{\text{I}} \cdot l = \frac{1,0883}{0,40093} \cdot \tan \frac{0,40093}{2} \cdot 2,1217 \cdot 23 = 26,916 \text{ kN}$$

$$\frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}} = \frac{V^{\text{II}}}{V^{\text{I}}} = \frac{26,916}{24,40} = 1,1031$$

Druckkräfte

$$D_1^{\text{II}} = D_6^{\text{II}} = -V^{\text{II}} = -26,916 \text{ kN}$$

$$D_2^{\text{II}} = D_2^{\text{I}} \cdot \frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}} = -20,157 \cdot 1,1031 = -22,235 \text{ kN}$$

$$D_3^{\text{II}} = -12,873 \text{ kN}$$

$$D_4^{\text{II}} = -13,458 \text{ kN}$$

$$D_5^{\text{II}} = -22,820 \text{ kN}$$

Zugkräfte

$$Z_1^{\text{II}} = Z_1^{\text{I}} \cdot \frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}} = 24,226 \cdot 1,1031 = 26,723 \text{ kN}$$

$$Z_2^{\text{II}} = 15,233 \text{ kN}$$

$$Z_3^{\text{II}} = 1,655 \text{ kN}$$

$$Z_4^{\text{II}} = 16,822 \text{ kN}$$

$$Z_5^{\text{II}} = 26,419 \text{ kN}$$

Die geringe Änderung der Stabkräfte bewirkt, dass sich die Querschnittswerte der Druckrohre und Zugprofile nicht ändern. Die Iteration ist damit abgeschlossen.

Als auszuführende Druckrohre werden jeweils die Bemessungsvorschläge mit den kleinsten Außendurchmessern gewählt. Diese sind im einzelnen:

Rohr 1 und 6: Ro 70x5,6 mit A= 11,330 cm² und $\kappa \cdot N_{\text{pl,d}} = 27,512 \text{ kN}$

Rohr 2 und 5: Ro 70x4,5 mit A= 9,260 cm² und $\kappa \cdot N_{\text{pl,d}} = 23,148 \text{ kN}$

Rohr 3 und 4: Ro 60,3x5 mit A= 8,687 cm² und $\kappa \cdot N_{\text{pl,d}} = 15,843 \text{ kN}$



Hilfsgrößen

$$A_H = \frac{2 \cdot (11,330 + 9,26 + 8,687)}{6} = 9,759 \text{ cm}^2$$

$$A_D = 4,3 \text{ cm}^2$$

$$S_d^* = 25779 \text{ kN}$$

$$\gamma = 1,0821$$

$$\varepsilon = 0,3998$$

Auflagerkraft

$$V^{\text{II}} = 26,761 \text{ kN}$$

$$\frac{q^{\text{II}}}{q^{\text{I}}} = 1,0967$$

Druckkräfte

$$D_1^{\text{II}} = -26,761 \text{ kN}$$

$$D_2^{\text{II}} = -22,107 \text{ kN}$$

$$D_3^{\text{II}} = -12,799 \text{ kN}$$

$$D_4^{\text{II}} = -13,381 \text{ kN}$$

$$D_5^{\text{II}} = -22,689 \text{ kN}$$

$$D_6^{\text{II}} = -26,761 \text{ kN}$$

Zugkräfte

$$Z_1^{\text{II}} = 26,569 \text{ kN}$$

$$Z_2^{\text{II}} = 15,146 \text{ kN}$$

$$Z_3^{\text{II}} = 1,645 \text{ kN}$$

$$Z_4^{\text{II}} = 16,726 \text{ kN}$$

$$Z_5^{\text{II}} = 26,267 \text{ kN}$$

Ersatzstreckenlast II. Ordnung

$$q^{\text{II}} = q^{\text{I}} + \Delta q = \frac{2 \cdot V^{\text{II}}}{1} = \frac{2 \cdot 26,761}{23} = 2,3270 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q = q^{\text{II}} - q^{\text{I}} = 2,3270 - 2,1217 = 0,2053 \text{ kN/m}$$

Maximales Moment II. Ordnung in der Verbandsmittle

$$M^{\text{II}} = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right) \cdot q^{\text{I}} \cdot l^2$$

$$M^{\text{II}} = \frac{1,0821}{0,3998^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{0,3998}{2}} - 1 \right) \cdot 2,1217 \cdot 23^2 = 154,392 \text{ kNm}$$



Zusätzliche Druck- und Zugkräfte im Riegelgurt

$$Z_G = -D_G \approx \frac{M^{\text{II}}}{h} = \frac{154,392}{6} = 25,732 \text{ kN}$$

Resultierende Mittendurchbiegung

$$w_{\text{ges}} = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \cdot q_{\text{I}} \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\gamma}{\varepsilon^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right) - \frac{1}{8} \right) \cdot \frac{l^2}{(EI_G^*)_d}$$

$$w_{\text{ges}} = \frac{1,0821}{0,3998^2} \cdot 0,021217 \cdot 2300^2 \cdot \left(\frac{1,0821}{0,3998^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{0,3998}{2}} - 1 \right) - \frac{1}{8} \right) \cdot \frac{2300^2}{7,006745 \cdot 10^{10}}$$

$$w_{\text{ges}} = 0,720 \text{ cm}$$

Mittendurchbiegung des Verbandes infolge Windlast nach Theorie I. Ordnung

$$\rho = \frac{(EI_G^*)_d}{S_d \cdot l^2} = \frac{7,006745 \cdot 10^{10}}{25779 \cdot 2300^2} = 0,5138$$

$$w = \frac{1}{96} \cdot \left(\frac{5}{4} + 12\rho \right) \cdot \frac{w_d l^4}{(EI_G^*)_d} = \frac{1}{96} \cdot \left(\frac{5}{4} + 12 \cdot 0,5138 \right) \cdot \frac{0,01 \cdot 2300^2}{7,006745 \cdot 10^{10}}$$

$$w = 0,3085 \text{ cm}$$

Stabilisierungskräfte der Verbandfelder

$$F_{S1} = a_1 \cdot (q^{\text{II}} - w) = 4 \cdot (2,3270 - 1) = 5,308 \text{ kN}$$

$$F_{S2} = 5 \cdot (2,3270 - 1) = 6,635 \text{ kN}$$

$$F_{S3} = 6 \cdot (2,3270 - 1) = 7,962 \text{ kN}$$

$$F_{S4} = 4,5 \cdot (2,3270 - 1) = 5,9715 \text{ kN}$$

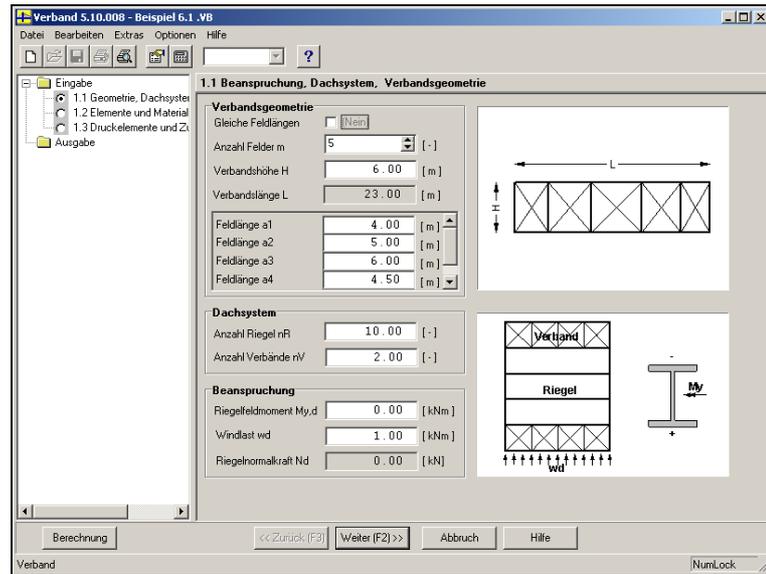
$$F_{S5} = 3,5 \cdot (2,3270 - 1) = 4,645 \text{ kN}$$

Horizontalkräfte des Verbandes

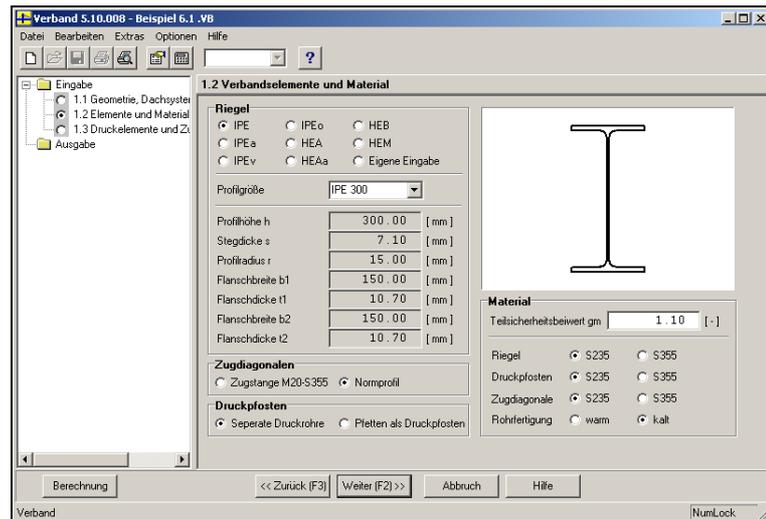
$$V_W = \gamma \cdot \frac{\tan \frac{\varepsilon}{2}}{\varepsilon} \cdot w \cdot l = 1,0821 \cdot \frac{\tan \frac{0,3998}{2}}{0,3998} \cdot 1 \cdot 23 = 12,612 \text{ kN}$$



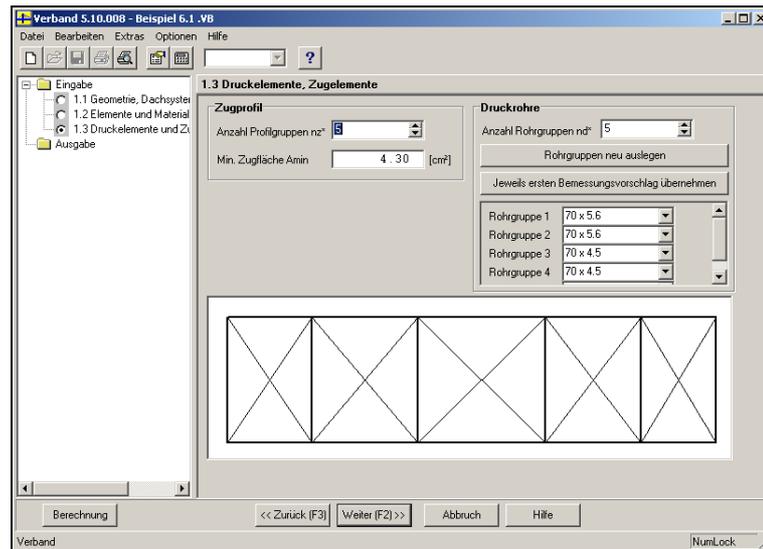
Eingabedaten in VERBAND:



Eingabedaten Maske 1.1



Eingabedaten Maske 1.2



Eingabedaten Maske 1.3



Berechnungsergebnisse des Programms:



Ingenieurbüro Anton Mustermann

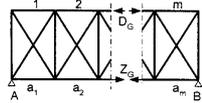
Musterstraße 32, 12345 MUSTERSTADT
Tel: 12345/678 - Fax: 12345/6789

VERBAND

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.1	Seite: 1 Blatt: 1 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

Verbandsberechnung (nach DIN 18800)

GEOMETRIE, SYSTEM



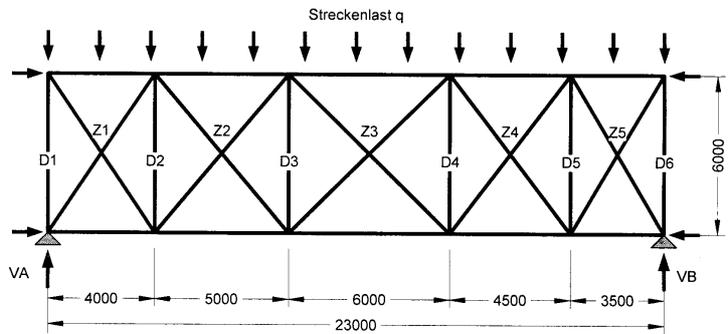
GEOMETRIE

Anzahl der Verbände $nV = 2$
 Anzahl der auszusteifenden Riegel $nR = 10$
 Anzahl der Felder $m = 5$
 Gesamtlänge des Verbandes $l = 23.000 \text{ [m]}$
 Höhe des Verbandes $h = 6.000 \text{ [m]}$

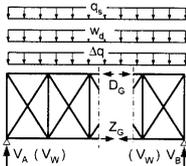
Feldlängen

Gleiche Feldlängen
 Ungleiche Feldlängen
 $a1 = 4.000 \text{ [m]}$
 $a2 = 5.000 \text{ [m]}$
 $a3 = 6.000 \text{ [m]}$
 $a4 = 4.500 \text{ [m]}$
 $a5 = 3.500 \text{ [m]}$

Riegel: IPE 300, S235
 Zugstäbe: Beliebig, S235
 Druckst.: Rohre, S235



BEANSPRUCHUNG



BEANSPRUCHUNG

(für einen Verband)

Verbandssystem

Riegelfeldmoment Myd: keine Vorgabe

Anteilige Windlast $w_d = 1.000 \text{ [kN/m]}$
 Stabilisierungslast $q_s = 1.122 \text{ [kN/m]}$
 Last aus Theorie 2. Ordnung $\text{delta}_q = 0.205 \text{ [kN/m]}$
 gesamte Streckenlast (inkl. delta_q) $q_2 = 2.327 \text{ [kN/m]}$

Auflagerkraft	Theorie 1. Ordnung [kN]	Theorie 2. Ordnung [kN]
VA	24.403	26.765
VB	24.403	26.765
Vwd	11.500	12.613

Vwd: Kraft aus Windlast

Zusätzliche Gurtkräfte der Riegel inklusive Stabilisierungslast
 $Z_g = -D_g = 25.735 \text{ [kN]}$



Ingenieurbüro Anton Mustermann

Musterstraße 32, 12345 MUSTERSTADT
Tel: 12345/678 - Fax: 12345/6789

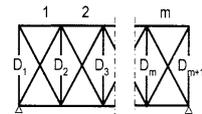
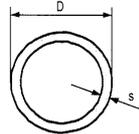
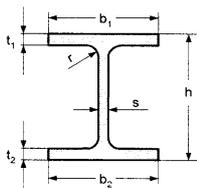
VERBAND

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.1	Seite: 2 Blatt: 2 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

Stabilisierungskräfte je Verbandsfeld

- Feld 1 = 5.309 [kN]
- Feld 2 = 6.637 [kN]
- Feld 3 = 7.964 [kN]
- Feld 4 = 5.973 [kN]
- Feld 5 = 4.646 [kN]

VERBANDELEMENTE



ELEMENTE

Teilsicherheitswert $\gamma_{M} = 1.10$

Riegel

- Walzprofil S235
- Schweißprofil

Profil	Geometrie [mm]					A [cm ²]	I _y [cm ⁴]
IPE 300	b1 =	150.0	t1 =	10.7	r = 15.0	53.81	8356.1
	b2 =	150.0	t2 =	10.7			
	h =	300.0	s =	7.1			

Druckpfosten

- Separate Druckrohre S235 - kalt gefertigt
- Pfetten

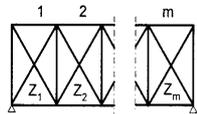
Anzahl der Rohrgruppen $n_d = 5$

Pfosten	Gruppe	Profil D x s [mm]	A [cm ²]	I [cm ⁴]
D1	2	70 x 5.6	11.33	59.18
D2	4	70 x 4.5	9.26	49.89
D3...D4	5	60.3 x 5.0	8.69	33.48
D5	3	70 x 4.5	9.26	49.89
D6	2	70 x 5.6	11.33	59.18

Zugdiagonalen

- Beliebiges Profil S235
- Zugstangen

Anzahl der Profilgruppen $n_z = 5$



Stab	Gruppe	Profil	AerfBr [cm ²]	AerfNe [cm ²]
Z1	1	beliebig	4.30	1.22
Z2	4	beliebig	4.30	0.69
Z3	5	beliebig	4.30	0.08
Z4	3	beliebig	4.30	0.77
Z5	2	beliebig	4.30	1.20

AerfBr: erforderlicher Bruttoquerschnitt für Schubsteifigkeit
AerfNe: erforderlicher Nettoquerschnitt (nach Abzug der Schraubenlöcher)

**Ingenieurbüro Anton Mustermann**Musterstraße 32, 12345 MUSTERSTADT
Tel: 12345/678 - Fax: 12345/6789

VERBAND

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.1	Seite: 3 Blatt: 3 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

NACHWEISE**Druckpfosten (Rohre)**

Nachweis wurde erbracht

Pfosten	Rohrprofil	Stabkraft inkl. Stabilisierungslast [kN]	Beanspruchbarkeit NRd [kN]	Nachweis
D1	70 x 5.6	-26.765	27.474	Ja
D2	70 x 4.5	-22.110	23.115	Ja
D3	60.3 x 5.0	-12.801	15.825	Ja
D4	60.3 x 5.0	-13.382	15.825	Ja
D5	70 x 4.5	-22.692	23.115	Ja
D6	70 x 5.6	-26.765	27.474	Ja

Zugdiagonalen (Beliebiges Profil)

Nachweis wurde erbracht

Stab	Profil	Stabkraft inkl. Stabilisierungslast [kN]	Beanspruchbarkeit NRd [kN]	Nachweis
Z1	Beliebig	26.573	93.818	Ja
Z2	Beliebig	15.148	93.818	Ja
Z3	Beliebig	1.646	93.818	Ja
Z4	Beliebig	16.728	93.818	Ja
Z5	Beliebig	26.270	93.818	Ja

Mittendurchbiegung des Verbandes

Infolge Windlast nach Theorie 1. Ordnung

$$w_{ges1} = 0.309 \text{ cm}$$

Infolge Stabilisierungs- und Windlast nach Theorie 2. Ordnung

$$w_{ges2} = 0.720 \text{ cm}$$



6.2 Verband, Pfosten als Pfetten

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.

Verband, Pfosten sind gleichzeitig Dachpfetten

Anzahl der Verbände: $z = 2$

Gesamtzahl der Riegel: $nR = 6$

Riegel: HEA 280, St 37

Windlast (γ -fach) für einen Verband: $wd = 3,9 \text{ kN/m}$

Pfetten:

Für die Pfetten, die gleichzeitig Pfosten des Windverbandes sein sollen, wurde vorab eine Momentenberechnung durchgeführt, diese ergab die folgende Beanspruchungen (γ -fache Werte):

Randpfetten

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.

Innenpfetten

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.

Die Momentenform, die Randmomente und die konstante Streckenlast müssen eingegeben werden. Die Querkräfte und die Maximalmomente werden vom Programm ermittelt. Alle Pfetten sind als gleiches Profil auszuführen. Das Pfettenprofil soll ein IPE-Profil aus St 37 sein.

Zugprofil:

Alle Zugprofile sollen gleich sein, vorgegebene Bruttofläche $A_{\text{Brutto}} = 3,08 \text{ cm}^2$, St 37 (Winkel 40 x 4)

Ersatznormalkraft des Riegels (Annahme)

$$N_{\text{Gurt}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{A}{2} \cdot f_{y,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{97,3}{2} \cdot \frac{24}{1,1} = 707,64 \text{ kN}$$

Vorverdrehung des Riegels

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} \cdot \sqrt{\frac{5}{L}} = \frac{1}{200} \cdot \sqrt{\frac{5}{6}} = 4,564 \cdot 10^{-3}$$

Verbandsvorkrümmung

$$w_0 = \varphi_0 \cdot L = 4,564 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 2,7386 \text{ cm}$$



Ersatzstreckenlast (Stabilisierungsanteil)

$$q_S = \frac{n_R}{z} \cdot \frac{8 \cdot N_{\text{Gurt}}}{l^2} \cdot w_0 = \frac{6}{2} \cdot \frac{8 \cdot 707,64}{12^2} \cdot \frac{2,7386}{100} = 3,2299 \text{ kN/m}$$

Gesamtstreckenlast

$$q_I = q_S + w_d = 3,2299 + 3,9 = 7,1299 \text{ kN/m}$$

Winkel

$$\alpha = \arctan \frac{6,5}{3,0} = 65,225^\circ$$

Ersatzkräfte

$$F_1 = F_5 = \frac{3}{2} \cdot 7,1299 = 10,69 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_3 = F_4 = 21,38 \text{ kN}$$

Auflagerkraft

$$V_I = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{7,1299 \cdot 12}{2} = 42,78 \text{ kN}$$

Druckkräfte

$$D_1 = D_5 = -V = -42,78 \text{ kN}$$

$$D_2 = D_4 = F_1 - V = 10,69 - 42,78 = -32,09 \text{ kN}$$

$$D_3 = -F_3 = -21,38 \text{ kN}$$

Zugkräfte

$$Z_1 = Z_4 = \frac{V - F_1}{\sin \alpha} = \frac{32,09}{\sin 65,225} = 35,343 \text{ kN}$$

$$Z_2 = Z_3 = \frac{V - F_1 - F_2}{\sin \alpha} = \frac{10,71}{\sin 65,225} = 11,796 \text{ kN}$$

Bestimmung der Pfetten

Es wird nur die IPE-Reihe vorgegeben, das Programm ermittelt selbständig die günstigste Nennhöhe. Hier wird mit dem Profil IPE 240 der Nachweis zahlenmäßig nachvollzogen.

Dimensionierung der Zugprofile

Als kleinstes Profil wurde ein L 40 x 4 mit $A_{\text{Brutto}} = 3,08 \text{ cm}^2$ gewählt. Unter Berücksichtigung einer Lochschwächung von 13mm ergibt sich eine Grenzzugkraft von

$$Z_d = (3,08 - 1,3 \cdot 0,4) \cdot 24/1,1 = 55,85 \text{ kN},$$



die ausreichend für alle Zugdiagonalen ist.

Mit der Bruttofläche gilt:

$$NR,d = 3,08 \cdot 24/1,1 = 67,2 \text{ kN} .$$

Ersatzschubsteifigkeit S^*

$$A_H = \frac{\sum A_{\text{Pfosten}}}{n_d} = \frac{5 \cdot 39,1}{5} = 39,1 \text{ cm}^2$$

$$A_D = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$\alpha = \arctan \frac{m \cdot h}{l} = \arctan \frac{4 \cdot 6,5}{12} = 65,225^\circ$$

$$\frac{1}{S^*} = \frac{1}{E \cdot A_D \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{E \cdot A_H \cdot \cot \alpha}$$

$$\frac{1}{S^*} = \frac{1}{21000 \cdot 3,08 \cdot \sin^2 65,225 \cdot \cos 65,225} + \frac{1}{21000 \cdot 39,1 \cdot \cot 65,225}$$

$$S^* = 21100,6 \text{ kN}$$

$$S_{d^*} = \frac{S^*}{\gamma_M} = \frac{21100}{1,1} = 19182,4 \text{ kN}$$

Ersatzbiegesteifigkeit

$$E \cdot IG^* = E \cdot 2 \cdot AG_{\text{Gurt}} \cdot \frac{h^2}{4}$$

$$E \cdot IG^* = 21000 \cdot 2 \cdot \left((28 \cdot 1,30 + \frac{1}{5} \cdot (97,3 - 2 \cdot 28 \cdot 1,3)) \cdot \frac{650}{4} \right) = 1,83217 \cdot 10^{11} \text{ kNcm}^2$$

$$(E \cdot IG^*)_d = \frac{E \cdot IG^*}{\gamma_M} = \frac{1,83217 \cdot 10^{11}}{1,1} = 1,6656 \cdot 10^{11} \text{ kNcm}^2$$

Stabkennzahl

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{N_{\text{Gurt}} \cdot n}{S_d}} = \frac{1}{1 - \frac{707,64 \cdot 6/2}{19182,4}} = 1,12444$$

$$\varepsilon = 1 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot N_{\text{Gurt}} \cdot n}{(EI_G^*)_d}} = 1200 \cdot \sqrt{\frac{1,12444 \cdot 707,64 \cdot 3}{1,6656 \cdot 10^{11}}} = 0,14366$$

Auflagerkraft

$$VII = \frac{\gamma}{\varepsilon} \cdot \tan \frac{\varepsilon}{2} \cdot qI \cdot l = \frac{1,12444}{0,14366} \cdot \tan \frac{0,14366}{2} \cdot 7,1299 \cdot 12 = 48,186 \text{ kN}$$

$$\frac{q^{II}}{q^I} = \frac{V^{II}}{V^I} = \frac{48,186}{42,78} = 1,1264$$

Druckkräfte

$$D1II = D5II = -VII = -48,19 \text{ kN}$$

$$D2II = D4II = -32,09 \cdot 1,1264 = -36,14 \text{ kN}$$

$$D3II = -21,38 \cdot 1,1266 = -24,09 \text{ kN}$$

Zugkräfte

$$Z1II = Z4I = Z1I \cdot \frac{q^{II}}{q^I} = 35,343 \cdot 1,1264 = 39,81 \text{ kN}$$

$$Z2II = Z3II = 13,28 \text{ kN}$$

Der Nachweis erfolgt hier mit dem vom Programm ermittelten endgültigem Pfettenprofil ohne auf die iterative Ermittlung der erforderlichen Profilhöhe einzugehen. Daher ändern sich die Werte für AH, AD, SD*, γ und ε nicht mehr.

Ersatzstreckenlast II. Ordnung

$$qII = qI + \Delta q = \frac{2 \cdot V^{II}}{l} = \frac{2 \cdot 48,19}{12} = 8,03 \text{ kN/m}$$



$$\Delta q = q_{II} - q_I = 8,03 - 7,13 = 0,90 \text{ kN/m}$$

Maximales Moment II. Ordnung in der Verbandsmitte

$$M_{II} = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right) \cdot q_I \cdot l^2$$

$$M_{II} = \frac{1,12444}{0,14366^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{0,14366}{2}} - 1 \right) \cdot 7,1299 \cdot 12^2 = 144,62 \text{ kNm}$$

Zusätzliche Druck- und Zugkräfte im Riegelgurt

$$Z_G = -D_G \approx \frac{M_{II}}{h} = \frac{144,62}{6,5} = 22,25 \text{ kN}$$

Resultierende Mittendurchbiegung

$$w_{\text{ges}} = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \cdot q_I \cdot l^2 \cdot \left(\frac{\gamma}{\varepsilon^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} - 1 \right) - \frac{1}{8} \right) \cdot \frac{l^2}{(EI_G^*)_d}$$

$$w_{\text{ges}} = \frac{1,12444}{0,14366^2} \cdot 0,071299 \cdot 1200^2 \cdot \left(\frac{1,12444}{0,14366^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{0,14366}{2}} - 1 \right) - \frac{1}{8} \right) \cdot \frac{1200^2}{1,6656 \cdot 10^{11}}$$

$$w_{\text{ges}} = 0,767 \text{ cm}$$

Mittendurchbiegung des Verbandes infolge Windlast nach Theorie I. Ordnung

$$\rho = \frac{(EI_G^*)_d}{S_d \cdot l^2} = \frac{1,6656 \cdot 10^{11}}{19182,4 \cdot 1200^2} = 6,0298$$

$$w = \frac{1}{96} \cdot \left(\frac{5}{4} + 12\rho \right) \cdot \frac{w_d l^4}{(EI_G^*)_d}$$

$$w = \frac{1}{96} \cdot \left(\frac{5}{4} + 126,0298 \right) \cdot \frac{0,039 \cdot 1200^4}{1,6656 \cdot 10^{11}}$$

$$w = 0,372 \text{ cm}$$

Stabilisierungskräfte der Verbandfelder

$$FS1 = FS5 = a1 \cdot (q_{II} - w_d) = 1,5 \cdot (8,03 - 3,9) = 6,195 \text{ kN}$$

$$FS2 = FS3 = FS4 = 3,0 \cdot (8,03 - 3,9) = 12,390 \text{ kN}$$

Auflagerkraft aus der Windlast nach Theorie II. Ordnung

$$V_w = \gamma \cdot \frac{\tan \frac{\varepsilon}{2}}{\varepsilon} \cdot w_d \cdot l = 1,12444 \cdot \frac{\tan \frac{0,14366}{2}}{0,14366} \cdot 3,9 \cdot 12 = 26,36 \text{ kN}$$

Nun erfolgt der Nachweis der Pfetten, die gleichzeitig Pfosten des Windverbandes sind. Der Nachweis erfolgt getrennt nach Innen- und Randpfetten.

Unveränderliche Werte für alle Pfetten IPE 240, S 235

Lasteinleitung der konstanten Querlast ist der obere Flansch: $z_p = -12 \text{ cm}$

$$N_{pl,d} = 39,1 \cdot 24/1,1 = 853,09 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,d} = (24 - 0,98) \cdot 0,62 \cdot \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 179,79 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,d} = 2 \cdot 183 \cdot 24/1,1 \cdot 10^{-2} = 79,85 \text{ kNm}$$

(kleine Abweichung zum Programm, da $M_{pl,y,d}$ im Programm mit dem ungerundeten Wert 183,323 des statischen Momentes berechnet wird)

$$N_{ki,z} = \frac{EI_z \cdot \pi^2}{l^2} = \frac{21000 \cdot 284 \cdot \pi^2}{650^2} = 139,32 \text{ kN}$$

$$N_{ki,y} = \frac{EI_y \cdot \pi^2}{l^2} = \frac{21000 \cdot 3890 \cdot \pi^2}{650^2} = 1908,28 \text{ kN}$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{M_{pl,y}}{M_{el,y}} = \frac{2 \cdot S_y}{W_y} = \frac{2 \cdot 183}{324} = 1,13$$

Momentenbeiwert $\zeta = 1,25$, $z_p = -12 \text{ cm}$

$$c^2 = \frac{I_{\square} + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{37390 + 0,039 \cdot 650^2 \cdot 12,9}{284} = 880,1 \text{ cm}^2$$

$$M_{ki,y} = 1,25 \frac{21000 \cdot 284 \cdot \pi^2}{650^2} \left[\sqrt{880,1 + 0,25(-12)^2} + 0,5(-12) \right]$$

$$M_{ki,y} = 4226 \text{ kNcm} = 42,26 \text{ kNm}$$

Vereinfachter Nachweis nach Tabelle 16

Vom Programm werden getrennt für die Innen- und Randpfetten die maximalen Feldmomente und die dazugehörigen Querkräfte ermittelt (mit den eingegebenen Randmomenten und den Streckenlasten):

Randpfette:

$$M_L = 0, \quad M_R = -8,98 \text{ kNm}, \quad q_{z,d} = 2,55 \text{ kN/m}$$

$$V_{z,R,d} = \max V_{z,d} = \frac{1}{6,50} (-8,98 - 0) - \frac{2,55 \cdot 6,5}{2} = -9,67 \text{ kN} < 0,33 \cdot V_{pl,z,d} = 59,33 \text{ kN}$$

Maximales Feldmoment bei:

$$x_0 = \frac{1}{2,55 \cdot 6,50} (-8,98) + \frac{6,5}{2} = 2,708 \text{ m}$$



$$\max M_{y,d,\text{Feld}} = \frac{1}{6,50} (-8,98) \cdot 2,708 + \frac{2,55 \cdot 6,5}{2} \cdot 2,708 - 2,55 \cdot \frac{2,708^2}{2} = 9,35 \text{ kNm}$$

$$V_{z,d}(x_0) = 0$$

Interaktion

$$N = -48,19 \text{ kN} < \frac{1}{11} \cdot N_{pl,d} = \frac{1}{11} \cdot 853,09 = 77,55 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} = \frac{9,35}{79,85} = 0,117 < 1,0$$

Innenpfette:

$$M_L = 0, \quad M_R = -17,96 \text{ kNm}, \quad q_{z,d} = 5,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{z,R,d} = \max V_{z,d} = \frac{-17,96}{6,50} - \frac{5,1 \cdot 6,5}{2} = -19,34 \text{ kN}$$

$$x_0 = 2,708 \text{ m}$$

$$\max M_{y,d,\text{Feld}} = 18,70 \text{ kNm}$$

Interaktion

$$N = -36,14 < 77,55 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} = \frac{18,70}{79,85} = 0,234 < 1,0$$

Nachweis des Biegeknickens nach EI.(321)

Vorwerte:

$$\lambda a = \pi \sqrt{\frac{21000}{24}} = 92,9$$

$$\bar{\lambda}_{kz} = \frac{650}{2,69 \cdot 92,9} = 2,601$$

$$\bar{\lambda}_{ky} = \frac{650}{9,97 \cdot 92,9} = 0,702$$

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 > 1,2 \quad \text{und} \quad t = 9,8 < 40$$

$$\Rightarrow \alpha_y = 0,21 \cdot \cdot \cdot \quad \alpha_z = 0,34 \quad (\text{Tab. 5})$$

$$k_z = 0,5 [1 + 0,34 (2,601 - 0,2) + 2,601^2] = 4,291$$

$$k_z = \frac{1}{4,291 + \sqrt{4,291^2 - 2,601^2}} = 0,13$$

$$k_y = 0,5 [1 + 0,21 (0,702 - 0,2) + 0,702^2] = 0,799$$

$$k_y = \frac{1}{0,799 + \sqrt{0,799^2 - 0,702^2}} = 0,847$$

Exemplarisch wird hier der Nachweis für Pfette 2 geführt:

$$\psi = 0, \quad \beta_{M,\psi} = 1,8, \quad \beta_{M,Q} = 0$$

$$M_Q = 5,1 \cdot 6,5^2/8 = 26,93 \text{ kNm}$$

ΔM nach Tabelle 5



$$\Delta M = \max M_{\text{Feld}} + |MR| = 18,70 + |-17,96| = 36,66 \text{ kNm}$$

$$\beta_{My} = 1,8 + \frac{26,93}{36,66} (1,3 - 1,8) = 1,4326$$

$$a_y = 0,702 (2 \cdot 1,4326 - 4) + 1,13 - 1 = -0,667$$

$$k_y = 1 - \frac{36,14}{0,847 \cdot 853,09} \cdot (-0,667) = 1,033$$

Knicken um die z-Achse

$$D_z = \frac{N_d}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} = \frac{36,14}{0,13 \cdot 853,09} = 0,326$$

Knicken um die y-Achse

$$D_y = \frac{N_d}{\kappa_y \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} k_y = \frac{36,14}{0,847 \cdot 853,09} + \frac{18,70}{79,85} \cdot 1,033 = 0,292$$

Nachweis des Biegedrillknickens nach Gl.(320) für Pfette 2

Kein linearer Momentenverlauf mit $\psi > 0,5$: Trägerbeiwert $n = 2,5$ nach Bild 14

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y,k}}{M_{ki,y}}} = \sqrt{\frac{87,84}{42,26}} = 1,4417$$

$$\kappa_M = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^{2\pi}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\kappa_M = \left(\frac{1}{1 + 1,4417^5} \right)^{\frac{1}{2,5}} = 0,453$$

$$a_y = 0,15 \bar{\lambda}_{k,z} \beta_{My} - 0,15 = 0,15 \cdot 2,601 \cdot 1,4326 - 0,15 = 0,4089$$

$$k_y = 1 - \frac{N_d}{\kappa_y \cdot N_{pl,d}} a_y = 1 - \frac{36,14}{0,13 \cdot 853,09} \cdot 0,4089 = 0,867$$

Nachweis an der Stelle x_0

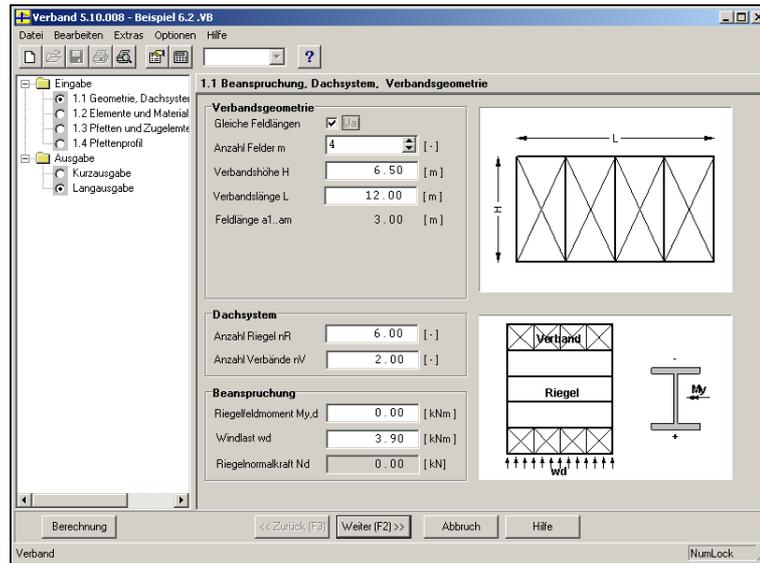
$$\frac{N_d}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} k_y \leq 1,0,$$

$$D = \frac{36,14}{0,13 \cdot 853,09} + \frac{18,70}{0,453 \cdot 79,85} \cdot 0,867 = 0,774$$

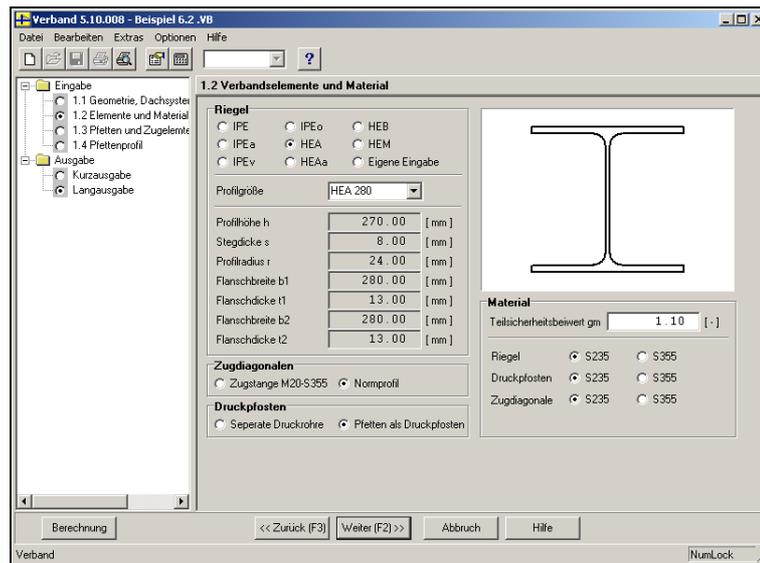
Der Nachweis der restlichen Pfetten erfolgt analog durch das Programm.



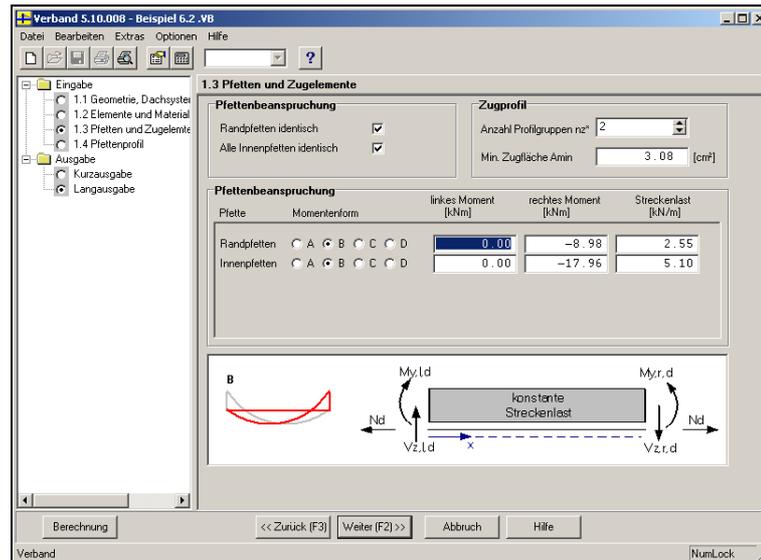
Eingabedaten in VERBAND:



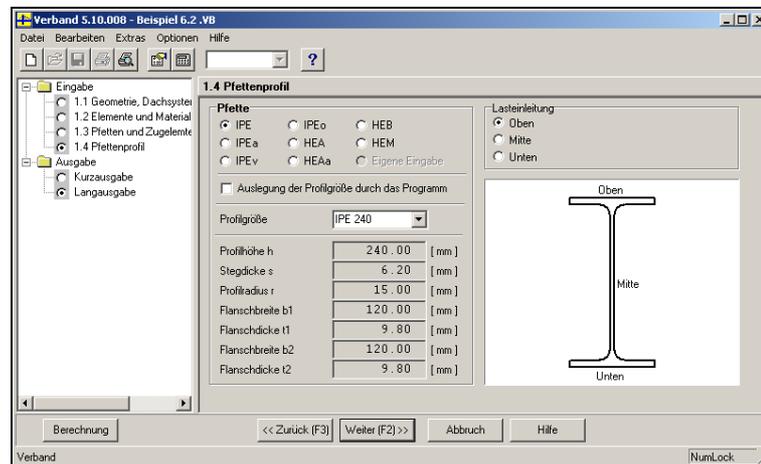
Eingabedaten Maske 1.1



Eingabedaten Maske 1.2



Eingabedaten Maske 1.3



Eingabedaten Maske 1.4



Berechnungsergebnisse des Programms:



Ingenieurbüro Franz Mustermann

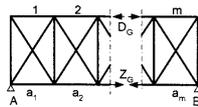
Musterstraße 1, 98765 MUSTERHAUSEN
Tel: 987/654 - Fax: 987/123

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.2	Seite: 1 Blatt: 1 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

VERBAND

Verbandsberechnung (nach DIN 18800)

GEOMETRIE, SYSTEM



GEOMETRIE

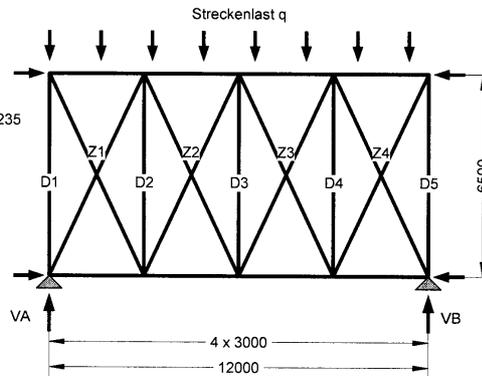
Anzahl der Verbände $nV = 2$
 Anzahl der auszusteienden Riegel $nR = 6$
 Anzahl der Felder $m = 4$
 Gesamtlänge des Verbandes $l = 12.000$ [m]
 Höhe des Verbandes $h = 6.500$ [m]

Feldlängen

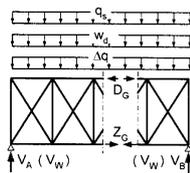
- Gleiche Feldlängen
 Ungleiche Feldlängen

$a1 \dots a4 = 3.000$ [m]

Riegel: HEA 280, S235
 Zugstäbe: Beliebig, S235
 Druckst.: Pfetten, IPE 240, S235



BEANSPRUCHUNG



BEANSPRUCHUNG

(für einen Verband)

Verbandssystem

Riegefeldmoment Myd: keine Vorgabe

Anteilige Windlast $w_d = 3.900$ [kN/m]
 Stabilisierungslast $q_s = 3.229$ [kN/m]
 Last aus Theorie 2. Ordnung $\Delta q = 0.901$ [kN/m]

gesamte Streckenlast (inkl. Δq) $q_2 = 8.029$ [kN/m]

Auflagerkraft	Theorie 1. Ordnung [kN]	Theorie 2. Ordnung [kN]
VA	42.772	48.176
VB	42.772	48.176
Vwd	23.400	26.356

Vwd: Kraft aus Windlast

Zusätzliche Gurtkräfte der Riegel inklusive Stabilisierungslast

$Z_g = -D_g = 22.244$ [kN]



Ingenieurbüro Franz Mustermann

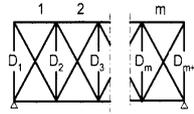
Musterstraße 1, 98765 MUSTERHAUSEN
Tel: 987/654 - Fax: 987/123

VERBAND

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.2	Seite: 2 Blatt: 2 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

Stabilisierungskräfte je Verbandsfeld

Feld 1 ... 4 = 12.388 [kN]



Druckpfosten Pfetten IPE 240

- Gleiche Beanspruchung der Randpfetten D1, D5
- Gleiche Beanspruchung der Innenpfetten D2...D4

Pfette	Myd, links [kNm]	Myd, rechts [kNm]	Myd, Feld [kNm]	Max. Vzd [kN]	qzd [kN/m]
D1, D5	0.000	-8.980	9.351	-9.669	2.550
D2...D4	0.000	-17.960	18.703	-19.338	5.100

Lasteinleitung in die Pfetten: Oben

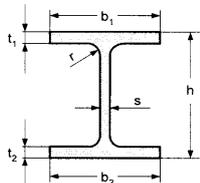
VERBANDSELEMENTE

ELEMENTE

Teilsicherheitswert $\gamma_M = 1.10$

Riegel

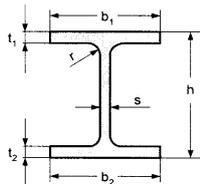
- Walzprofil S235
- Schweißprofil



Profil	Geometrie [mm]					A [cm²]	Iy [cm4]
HEA 280	b1 = 280.0	t1 = 13.0				97.26	13673.3
	b2 = 280.0	t2 = 13.0					
	h = 270.0	s = 8.0	r = 24.0				

Druckpfosten

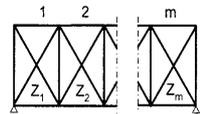
- Separate Druckrohre
- Pfetten S235



Profil	Geometrie [mm]					A [cm²]	I [cm4]
IPE 240	b1 = 120.0	t1 = 9.8				39.12	ly = 3891.6
	b2 = 120.0	t2 = 9.8					lz = 283.6
	h = 240.0	s = 6.2	r = 15.0				

Zugdiagonalen

- Beliebige Profil S235
- Zugstangen



Anzahl der Profilgruppen nz^* : 2

Stab	Gruppe	Profil	AerfBr [cm²]	AerfNe [cm²]
Z1	1	beliebig	3.08	1.82
Z2	2	beliebig	3.08	0.61
Z3	2	beliebig	3.08	0.61
Z4	1	beliebig	3.08	1.82

AerfBr: erforderlicher Bruttoquerschnitt für Schubsteifigkeit
AerfNe: erforderlicher Nettoquerschnitt (nach Abzug der Schraubenlöcher)



Ingenieurbüro Franz Mustermann

Musterstraße 1, 98765 MUSTERHAUSEN
Tel: 987/654 - Fax: 987/123

VERBAND

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.2	Seite: 3 Blatt: 3 04.06.2002
-------------------------	-------------------------------	------------------------------------

NACHWEISE

Druckpfosten Pfetten IPE 240

Nachweis wurde erbracht

Beanspruchbarkeit

Pfette	Npld [kN]	Vplzd [kN]	Mplyd [kNm]	Nkiz [kN]	Nkiy [kN]
IPE 240	853.445	179.786	79.995	139.140	1909.077

mit $\alpha_{ply} = 1.131$

Vereinfachter Tragsicherheitsnachweis für I-Profil
nach DIN 18800, Teil 1, Tabelle 16

Pfette	Nd2 [kN]	Vzd [kN]	Myd [kNm]	Position [m]	Interaktion nach Tab. 16
D1	-48.18	-0.00	9.35	2.708	0.1169
D2	-36.13	-0.00	18.70	2.708	0.2338
D3	-24.09	-0.00	18.70	2.708	0.2338
D4	-36.13	-0.00	18.70	2.708	0.2338
D5	-48.18	-0.00	9.35	2.708	0.1169

Nd2: Pfettennormalkraft inkl. Stabilisierungslast nach Theorie 2. Ordnung
Vzd, Myd: Querkraft und Moment, die den größten Interaktionswert liefern

Nachweis des Biegeknickens nach DIN 18800 T2 EI.(321) GI.(28)

$\kappa_z = 0.1301$ $\kappa_y = 0.8472$ GI.(4b)

Pfette	Dz	red. Mplyd Tab. 16 T1 [kNm]	ky EI.(321)	Position [m]	Dy GI.(28)
D1	0.4338	80.00	1.0443	2.708	0.1887
D2	0.3253	80.00	1.0332	2.708	0.2915
D3	0.2169	80.00	1.0222	2.708	0.2723
D4	0.3253	80.00	1.0332	2.708	0.2915
D5	0.4338	80.00	1.0443	2.708	0.1887

red_Mplyd = $(1 - 0.37 \cdot Vzd/Vplzd) \cdot Mplyd / 0.88$ für $Vzd > 0.33 \cdot Vplzd$
red_Mplyd = Mplyd für $Vzd \leq 0.33 \cdot Vplzd$

Knicken um die z-Achse: $Dz = Nd / (\kappa_z \cdot Npld)$

Knicken um die y-Achse: $Dy = Nd / (\kappa_y \cdot Npld) + (Myd \cdot ky) / red_Mplyd$

Nachweis des Biegedrillknickens nach DIN 18800 T2 EI.(320) GI.(27)

Pfette	n Tab. 9	zp [mm]	zeta	Mkiy [kNm]
D1	2.50	-120.0	1.250	42.206
D2	2.50	-120.0	1.250	42.206
D3	2.50	-120.0	1.250	42.206
D4	2.50	-120.0	1.250	42.206
D5	2.50	-120.0	1.250	42.206

**Ingenieurbüro Franz Mustermann**Musterstraße 1, 98765 MUSTERHAUSEN
Tel: 987/654 - Fax: 987/123**VERBAND**

Projekt: Verband	Position: Beispiel 6.2	Seite: 4 Blatt: 4 04.06.2002
------------------	------------------------	------------------------------------

Pfette	kappa_M Gl. (18)	beta_My Tab. 11	ky El. (320)	Position [m]	D Gl. (27)
D1	0.4521	1.4327	0.8229	2.708	0.6465
D2	0.4521	1.4327	0.8672	2.708	0.7738
D3	0.4521	1.4327	0.9115	2.708	0.6882
D4	0.4521	1.4327	0.8672	2.708	0.7738
D5	0.4521	1.4327	0.8229	2.708	0.6465

$$D = Nd / (\kappa_z \cdot N_{pld}) + (M_{yd} \cdot \kappa_y) / (\kappa_M \cdot red \cdot M_{plyd})$$

Zugdiagonalen (Beliebiges Profil)

Nachweis wurde erbracht

Stab	Profil	Stabkraft inkl. Stabilisierungslast [kN]	Beanspruchbarkeit NRd [kN]	Nachweis
Z1	Beliebig	39.794	67.200	Ja
Z2	Beliebig	13.265	67.200	Ja
Z3	Beliebig	13.265	67.200	Ja
Z4	Beliebig	39.794	67.200	Ja

Mittendurchbiegung des Verbandes

Infolge Windlast nach Theorie 1. Ordnung

$$w_{ges1} = 0.372 \text{ cm}$$

Infolge Stabilisierungs- und Windlast nach Theorie 2. Ordnung

$$w_{ges2} = 0.767 \text{ cm}$$



Anhang A: Literatur

[1] Beschreibung der Gewindestange:

- Zugstange, Rundstahl, Nenndurchmesser 18,3mm - Material St52
- an den Enden aufgewalztes Gewinde M20 mit Anschlußstück (25x40-130) aus St52-3 mit Kontrollbohrung
- Anschluß über einschnittige Schraubenverbindung M20 am Knotenblech (dieser Anschluß ist vom Anwender gesondert nachzuweisen)
- die Zugstangen sind mit einer Kontermutter M20 zu sichern

Versagen der Zugstange:

$$N_{R,d} = \frac{A_{\text{Stange}} \cdot f_{y,k}}{\gamma M} = \frac{2,63 \cdot 36}{1,1} = 86,1 \text{ kN} \quad (\text{maßgebend})$$

Versagen im Gewindebereich

$$N_{R,d} = \frac{A_{\text{Sp}} \cdot f_{u,b,k}}{1,25 \cdot \gamma M} = \frac{2,45 \cdot 50}{1,25 \cdot 1,1} = 89,1 \text{ kN}$$

Tragsysteme, deren Bestandteile die Zugstangen sind, dürfen nur nach dem Nachweisverfahren "elastisch-elastisch" oder "elastisch-plastisch" berechnet werden.

- [2] DIN 18800, Teil 2: Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken Ausgabe November 1990
- [3] Meister, J.: Rahmennachweise nach DIN 18800; Stahlbau 60 (1991), Heft 1, S. 15-24
- [4] DIN 4114: Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung); Ausgabe 1952
- [5] DIN 1629: Nahtlos kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besondere Anforderungen Ausgabe Oktober 1984
- [6] Rubin, H.; Vogel, U. Baustatik ebener Stabtragwerke, Stahlbau Handbuch Band1, 2. Aufl.; Stahlbau-Verlags-GmbH: Köln 1982
- [7] DIN 18800, Teil 1: Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion Ausgabe November 1990