

Über die Berechnung von Cellformträgern mit ASE

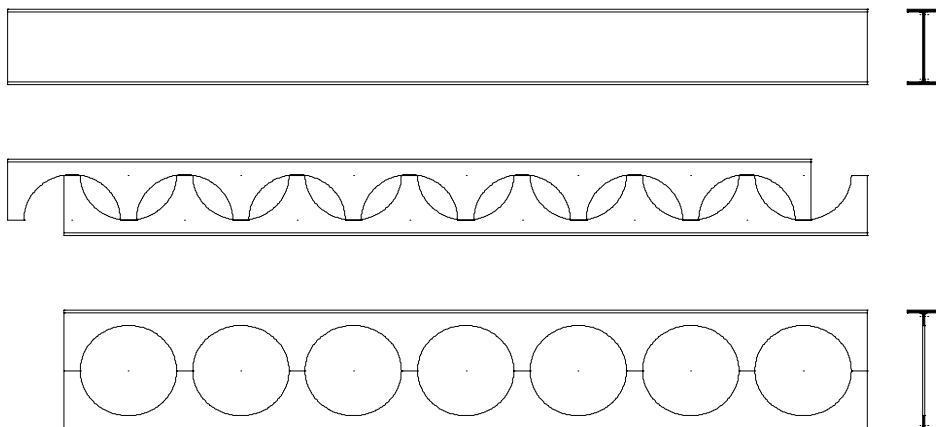
Dipl. - Ing. Frank Olitzscher, Regensburg

Zusammenfassung:

Folgender Artikel gibt einen Einblick in die Berechnung von Cellformträgern mit Hilfe der FE – Methode.

1 EINFÜHRUNG

Wenn man ein Walzprofil entlang seiner Längsachse mit einer bestimmten Schnittform trennt und versetzt wieder zusammenschweißt erhält man einen Cellformbinder. Durch die Vergrößerung des Flanschabstandes wird sowohl die Tragfähigkeit als auch die Steifigkeit des Profils erhöht.



Beispiel : HEAA 800 ... S 355 ... L = ca. 28 m

	Walzprofil	Cellformträger	
Höhe	770 mm	1120 mm	145 %
$M_{R,d}$	2037 kNm	2634 kNm	129 %
I_z	208900 cm ⁴	414437 cm ⁴	198 %

Obwohl diese Binderform nicht nur aus architektonischen Aspekten, sondern auch wirtschaftlich betrachtet interessant ist, wird sie in Deutschland noch relativ wenig eingesetzt. Gründe dafür sind der mangelnden Bekanntheitsgrad bei Architekten und Tragwerksplanern, die relativ komplizierte Berechnung und die spärliche Literatur im deutschsprachigen Raum.

2 EINSATZGEBIETE

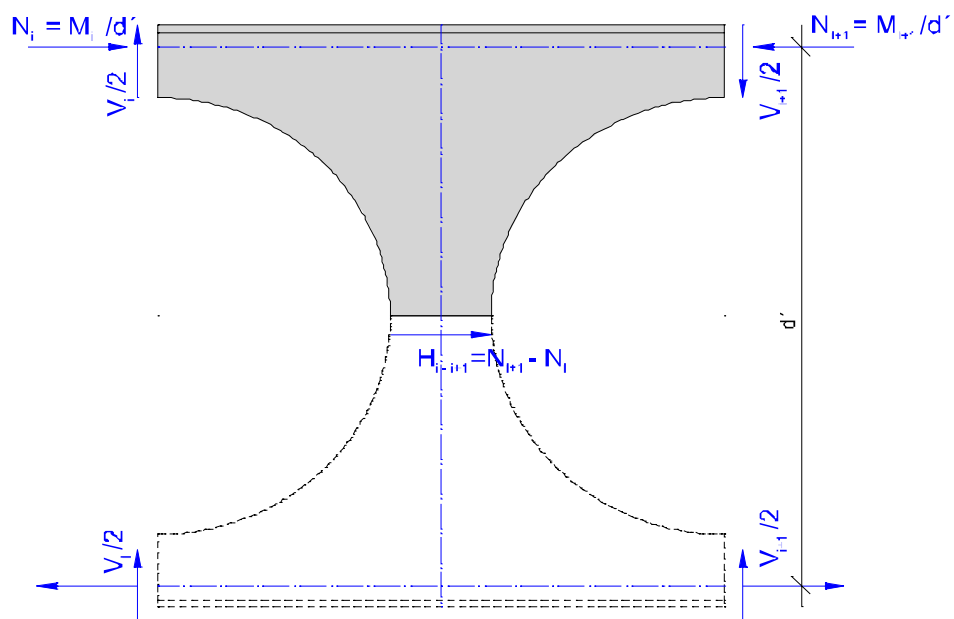
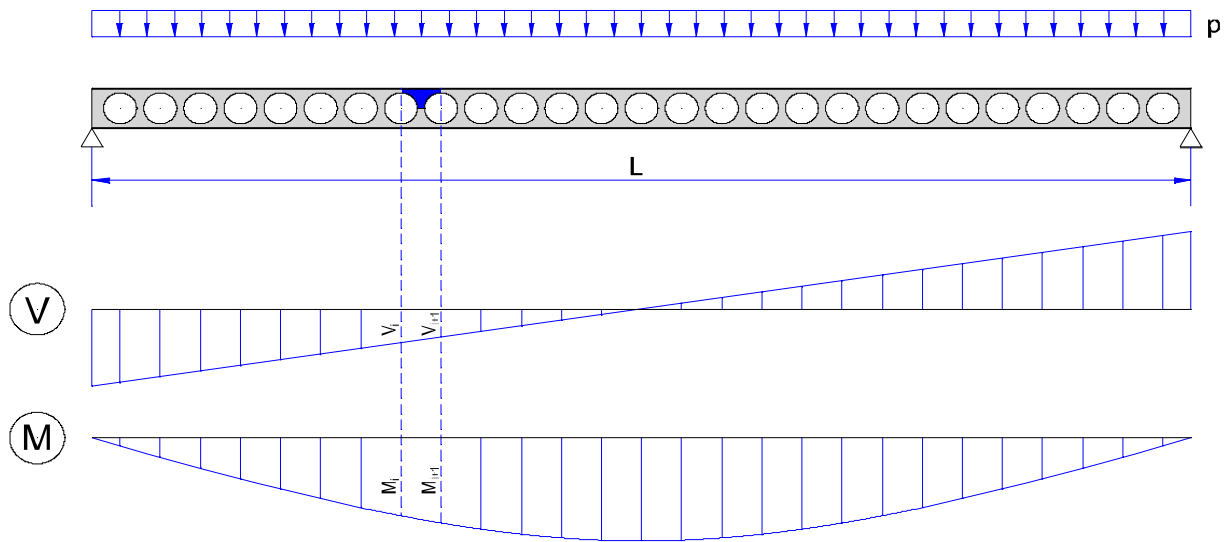
Der Cellformträger ist als Dachbinder wirtschaftlich, wenn er als Einfeldträger für Spannweiten zwischen 16 und 36 m eingesetzt wird. Wichtig ist, dass das Trapezblech direkt auf den Bindern lagert und ausreichend steif ist, das Ausweichen des Druckgurtes zu behindern. Die Materialgüte von pfettenlosen Dachbindern sollte man auf das Material S 355 beschränken, da Setzbolzen nicht in höherwertige Stähle befestigt werden können.

Durch modifizierte Schnittformen kann man auch gevoutete Träger herstellen und diese als Kragarme oder Satteldachbinder einsetzen. Diese Satteldachbinder (olisys – beams) benötigen eine geringere Konstruktionshöhe als vergleichbare Fachwerkträger oder vorgespannte Stahlbeton – Fertigteilebinder.

Existieren für den parallelgurtigen Einfeldträger zuverlässige Berechnungsprogramme (z.B. ARCELOR Cellular beams), können davon abweichende Trägerformen jedoch nur mit FEM – Programmen berechnet werden.

3 BERECHNUNG MIT DER VIERENDEEL – ANALOGIE

Die Berechnung von parallelgurtigen Cellformträgern unter gleichmäßig verteilter Last kann zuverlässig anhand der Vierendeel – Analogie erfolgen. Dabei denkt man sich den Cellformbinder als Rahmenträger (Vierendeelträger). Da in den Stabmitten der Biegemoment nahezu verschwindet, werden dort Gelenke eingebaut und man erhält ein statisch bestimmtes System, in dem die Schnittkräfte mühelos ermittelt werden können. Der Querschnittsnachweis wird nach dem Verfahren elastisch – plastisch geführt.



4 BERECHNUNG MIT DER FE - METHODE

Wenn der Tragsicherheitsnachweis von Cellformträgern mit Hilfe der FE – Methode erfolgen soll, muss das Programm über folgende Features verfügen :

- einfache Generierbarkeit der Trägergeometrie

- Berechnung nach Theorie II. Ordnung
- nichtlineares Materialgesetz (plastisches Materialverhalten)
- Möglichkeit der Ermittlung von Stabilitätseigenformen und deren skaliertes Aufbringen als Imperfektion

Programme, die kein plastisches Materialverhalten berücksichtigen, sind für solche Berechnungen ungeeignet.

Die FE – Berechnung läuft nach folgendem Schema ab :

- Generierung des Systems (parametrisiert mit Sofimesh)
- Aufbringen eines Primärlastfalles unter Ansatz der Bemessungslast (elastisches Materialverhalten)
- Ermittlung der ersten positiven Eigenformen unter dem Primärlastfall (mit BEUL)
- Auswahl einer geeigneten Eigenform
- Aufbringen der Eigenform als skalierte Vorverformung (Vorschlag : $e = H_{\text{Träger}}/200$)
- Nachweis, dass das imperfekte System unter der Bemessungslast stabil ist (plastisches Materialverhalten)
- Ermittlung der Traglast um das Sicherheitsniveau zu bestimmen (plastisches Materialverhalten)

5 STEGPFOSTENBEULEN

Wenn bei ausreichend steifer Trapezblecheindeckung das Biegedrillknicken des Binders ausgeschlossen werden kann, beschränkt sich die Stabilitätsuntersuchung auf das Stegpfostenbeulen. Je dünner der Steg und je schmaler der verbleibende Stegpfosten ist, umso größer ist die Gefahr, dass dieser unter Last ausweicht. In der Literatur findet man dazu zwei unterschiedliche Nachweisverfahren. Das eine basiert auf Untersuchungen von WARD und wurde im Jahre 1990 veröffentlicht [1]. Das andere wurde von BITAR, DEMARCO und MARTIN entwickelt und im Jahre 2002 publiziert [2]. Beide Verfahren basieren auf Versuchsergebnissen und Vergleichsberechnungen mit FEM. Das zweite Verfahren führt zu wesentlich wirtschaftlicheren Bemessung und ist in der aktuellen Version der ARCELOR Cellular Beams Software implementiert.

5.1 Stegpfostenbeulen am parallelgurtigen Binder nach dem Verfahren von WARD

An einem aus dem Träger herausgeschnittenen Teil wird der kritische Schnitt A – A in einer Höhe von $0,9 \cdot R$ über der Mittellinie definiert. In diesem Schnitt ergibt sich ein Biegemoment von :

$$M_d^{wpb} = V_{h,i} \cdot 0,9 \cdot R$$

Das maximal aufnehmbare Moment in diesem Schnitt beträgt :

$$M_{R,d}^{wpb} = \left[C_1 \left(\frac{S}{D_0} \right) - C_2 \left(\frac{S}{D_0} \right)^2 - C_3 \right] \cdot M_{R,d}^{el} = \kappa^{wpb} \cdot M_{R,d}^{el}$$

$M_{R,d}^{wpb}$ maximal aufnehmbares elastisches Moment des Stegpfostens

$M_{R,d}^{el}$ elastisches Grenzmoment im Schnitt A-A

S Öffnungsabstand

D_0 Lochdurchmesser

C_1, C_2, C_3 Konstanten

$$C_1 = 0,5097 + 0,1464 \left(\frac{D_0}{t} \right) - 0,00174 \left(\frac{D_0}{t} \right)^2$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 \left(\frac{D_0}{t} \right) - 0,000683 \left(\frac{D_0}{t} \right)^2$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 \left(\frac{D_0}{t} \right) - 0,00108 \left(\frac{D_0}{t} \right)^2$$

t Stegstärke

Die Anwendungsgrenzen dieses Verfahrens werden mit $1,08 < S/D_0 < 1,5$ angegeben. Das bedeutet, dass die Breite des Stegpfostens mindestens $w = 0,08 \cdot D_0$ sein muss.

Anhand der Formel erkennt man, dass das Stegpfostenbeulen am parallelgurtigen Einfeldträger unter gleichmäßig verteilter Last am Auflager (ersten Stegpfosten) auftritt. FEM Berechnungen kommen zu dem selben Ergebnis.

5.2 Stegpfostenbeulen am Satteldachbinder

Obwohl Satteldachbinder auch als Einfeldträger ausgebildet sind, zeigen die FEM – Berechnungen häufig, dass der erste Eigenwert in Form des Stegpfostenbeulens in Trägermitte auftritt. Die Querkraft ist an dieser Stelle gering. In Trägermitte befindet sich das größte Loch mit dem schmalsten Steg. Durch die Voutenform ist in Trägermitte bereits eine geringe Querkraft vorhanden, die den Stegpfosten zum Ausweichen zwingt.

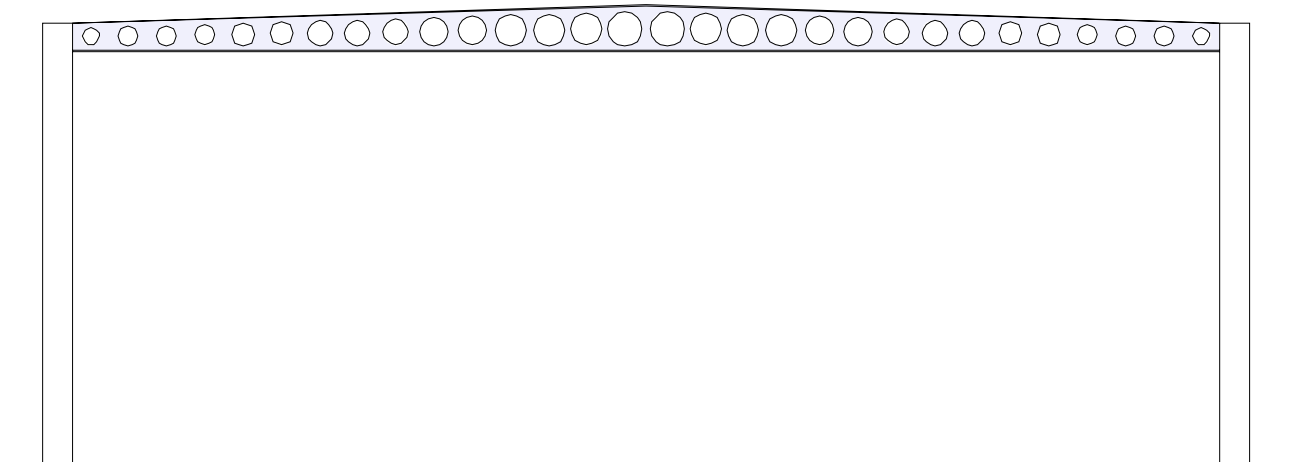
Da bei satteldachförmigen Cellformbindern mit steigender Querkraft die Stegpfostenbreite zunimmt, besitzen sie in der Regel eine höhere Tragfähigkeit (ca. 10 %) als vergleichbare parallelgurtige Cellformträger.

6 TRAGLASTEN VON OLISYS – BEAMS

Bei weitgespannten, hohen Industriehallen ist oft ein typischer Zweigelenrahmen nicht mehr wirtschaftlich. Kostengünstiger sind hier eingespannte Stützen (aus Stahl bzw. Stahlbeton) und ein Satteldachbinder (olisys – beam). Am Beispiel eines Binders mit einer Spannweite von $L = 30,0$ m geben wir mit ASE ermittelte Traglasten wieder.

Profil	Materialgüte	Traglast $p_{R,d}$
IPE 750 x 137	S 355	18,5 kN/m
IPE 750 x 147	S 355	20,5 kN/m
IPE 750 x 173	S 355	25,4 kN/m
IPE 750 x 196	S 355	32,7 kN/m

Beispiel – Hallenbinder



Spannweite	L	=	30,0 m
Raster	R	=	7,50 m
Eigengewicht	Σg_k	=	0,50 kN/m ²
Schnee	s_k	=	1,00 kN/m ²
Bemessungslast	p_d	=	$(1,35 \cdot 0,60 + 1,50 \cdot 1,00) \cdot 7,50 = 17,3$ kN/m

ausgewähltes Profil : **IPE 750 x 137 ... S 355**

spezifischer Materialbedarf : $g_{\text{Stahl}} = 137 / 7,5 = 18,3$ kg/m²

Anmerkung :

Das Trägerrücken wird durch ausreichende Trapezblechsteifigkeit verhindert.