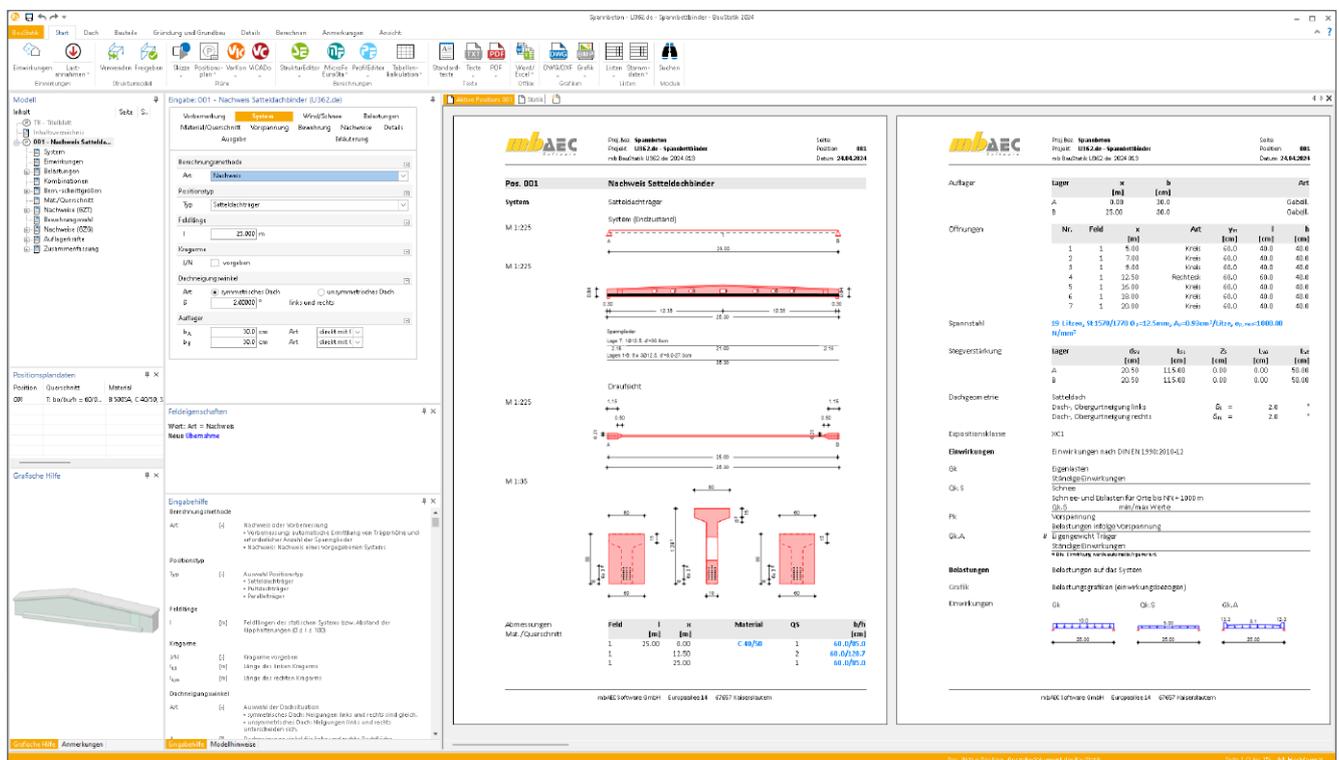


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Spannbettbinder nach EC 2

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls U362.de Spannbettbinder, DIN EN 1992-1-1

Durch Spannbeton ist es möglich, schlanke, weitgespannte Konstruktionen zu realisieren. Die auf der Hand liegenden Vorteile gehen mit einem erheblichen Aufwand in Fertigung und Berechnung einher. Das Modul U362.de ist in der Lage, alle im Planungsprozess notwendigen Schritte effizient abzuarbeiten. Das Leistungsspektrum reicht von der Vorbemessung mit überschläglicher Dimensionierung bis hin zu detaillierten Nachweisen im GZT und GZG.



System

Es werden Spannbettbinder, die als Fertigteile hergestellt werden, behandelt. Als statisches System kommen daher Einfeldträger mit optionalen Kragarmen zum Einsatz.

Die Träger können als Parallelbinder, Pultdachträger oder als Satteldachbinder ausgebildet werden, wobei die Satteldachbinder auch über unterschiedliche Dachneigungen rechts und links verfügen können.

Die Lagerung erfolgt direkt mit oder ohne Gabellager. Aufgrund der Kippgefahr muss mindestens ein Lager als Gabellager ausgebildet sein.

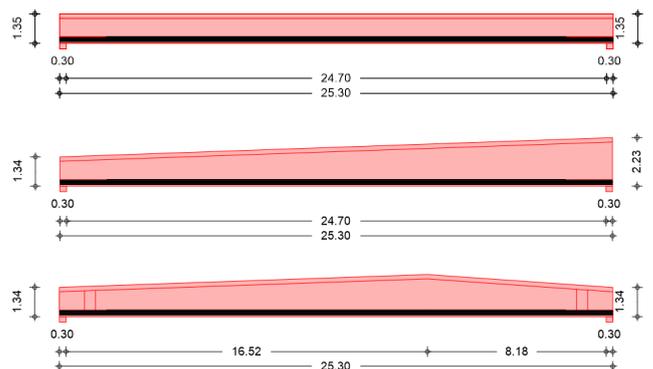


Bild 1. Parallel-, Pultdach- und Satteldachbinder

Einwirkungen

Für die Einwirkungstypisierung stehen alle relevanten Einwirkungstypen zur Verfügung, unter anderem auch der Einwirkungstyp „Vorspannung“. Für das Eigengewicht des Trägers wird stets eine eigene Einwirkung automatisch generiert, um diese Lasten separat erfassen zu können.

Belastungen

Es stehen Punkt-, Gleich-, Trapez- und Blocklasten in z-Richtung und Einzelmomente zur Verfügung.

Die Wind- und Schneelasten können aus S031.de übernommen werden, sofern dort ein Bauteil in Dachlager definiert ist.

Im Transportzustand werden Lasten aus Schalungshaftung, Hub und Transport aus dem Eigengewicht mit den entsprechenden Zuschlägen generiert.

Transportzustand

J/N Nachweis führen

HK Traversenkonstruktion Seilgehänge

Anhebepunkte für den Transport

HP automatisch manuell

Belastungen

SH Haftung

H Hubgerät

Stabilität Transport

J/N Kippnachweis führen

Ankerbemessung

J/N Nachweis führen Eingabe zul. Tragfähigkeit Auswahl Hersteller

Kom Kommentar

F_{zul} kN

Bild 2. Eingaben Transportzustand

Wird der Träger mit einem Seilgehänge gehoben, ergeben sich Normalkräfte, die aus dem Anschlagswinkel der Seile berechnet werden.

Material/Querschnitt

Querschnitte

Folgende im Fertigteilbau üblichen Querschnitte können durch eine parametrisierte Eingabe ausgewählt werden:

- Rechteckquerschnitt
- Trapezquerschnitt
- T-Querschnitt
- I-Querschnitt symmetrisch
- I-Querschnitt unsymmetrisch

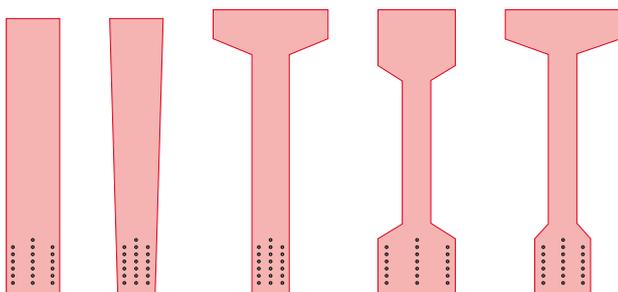


Bild 3. Querschnittstypen

Material

Es stehen die Normalbeton- und Betonstahlsorten gemäß EC 2 zur Verfügung. Da der Spannstahl in Zulassungen geregelt ist, werden die benötigten Parameter katalogseitig abgefragt.

Stegverstärkungen

Im Auflagerbereich treten erhöhte Querkraft- und Torsionsbeanspruchungen sowie zusätzliche Schnittgrößen infolge der Lasteinleitung der Spannglieder auf. Diese Beanspruchungen können bei hoch ausgenutzten Trägern nicht vom Regelquerschnitt aufgenommen werden. Aus diesem Grund ist es möglich, im Bereich der Auflagerungen Stegverstärkungen vorzugeben.

Stegverstärkung

J/N vorgeben

Lager	d _{sv} [cm]	L _{SK} [cm]	L _{SF} [cm]	L _{VA} [cm]	L _{VE} [cm]
1 ALLE	20.5	15.0	100.0	0.0	50.0

Öffnungen

J/N vorgeben

Feld	x [m]	y [m]	l [m]	d [m]
1 Feld 1	5.000	0.600	0.400	
2 Feld 1	7.000	0.600	0.400	
3 Feld 1	9.000	0.600	0.400	
4 Feld 1	12.500	0.600	0.600	0.400
5 Feld 1	16.000	0.600	0.400	
6 Feld 1	18.000	0.600	0.400	
7 Feld 1	20.000	0.600	0.400	

Bild 4. Eingabe Stegverstärkungen und Öffnungen

Vorspannung

Anordnung der Spannglieder

Die Eingabe der Spannglieder erfolgt lagenweise unter Angabe des unteren und seitlichen Randabstandes, der Anzahl je Lage und des Querschnittes der Spannglieder. Die Verteilung innerhalb einer Lage erfolgt programmseitig an den Rändern beginnend.

Vorbemerkung System Wind/Schnee Belastungen

Material/Querschnitt **Vorspannung** Bewehrung Nachweise Details

Ausgabe Erläuterung

Einwirkung für Vorspannung

EW

Festigkeitsklasse Spannstahl

Kom N/mm² Kommentar

f_{p0,1k} N/mm²

f_{p0,2k} N/mm²

f_{pk} N/mm²

E-Modul %

ε_{uk} Spannstahl

Art 3 Drähte 7 Drähte

Spannstahlanordnung

Lagen	a _u [cm]	a _{Rand} [cm]	Anzahl [St.]	Ø [mm]	A _p [cm ²]
1	8.0	4.0	3	12.5	0.93
2	11.8	4.0	3	12.5	0.93
3	15.6	4.0	3	12.5	0.93
4	19.4	4.0	3	12.5	0.93
5	23.2	4.0	3	12.5	0.93
6	27.0	4.0	3	12.5	0.93
7	30.8	4.0	1	12.5	0.93

Abisolierungen

J/N Abisolierung, lagerbezogen

J/N Abisolierung, abschnittsbezogen

Vorspannkraft

Vorspannkraft

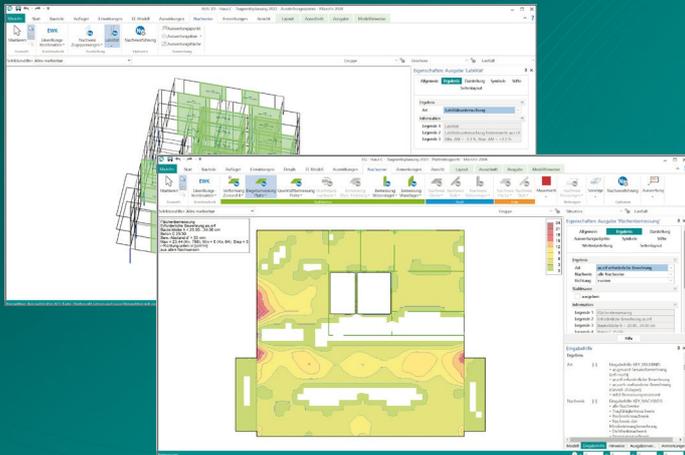
von Lage	bis Lage	σ _{p,max} [N/mm ²]
1 ERSTE	LETZTE	1000.00

Bild 5. Eingabe Materialparameter Spannstahl

MicroFe 2024



Finite Elemente für die Tragwerksplanung



MicroFe – eines der ersten FEM-Systeme für die Tragwerksplanung – dient der Analyse und Bemessung ebener und räumlicher Stab- und Flächen-tragwerke. Es ist modular aufgebaut und zeichnet sich durch eine konsequent positionsorientierte Arbeitsweise aus. Spezielle Eingabemodi machen die Bearbeitung verschiedenster Tragsysteme (Platte, Scheibe, 3D-Faltwerk, Rotationskörper und Geschossbauten) besonders komfortabel.

MicroFe ist ein Bestandteil der mb WorkSuite. Die mb WorkSuite umfasst Software aus dem gesamten AEC-Bereich: Architecture. Engineering. Construction.

MicroFe 2024 für räumliche und ebene Systeme

Module

**M130.de MicroFe 3D Aussteifung –
Massivbau-Aussteifungssysteme** **1.499,- EUR**
statt 1.999,- EUR

Eurocode 2 – DIN EN 1992-1-1:2011-01
Eurocode 6 – DIN EN 1996-1-1:2010-12
Berechnung und Nachweisführung
der Gebäudeaussteifung

Weitere Informationen unter
<https://www.mbaec.de/modul/M130de>

**M280 Bettung mit Volumen-
elementen, mehrschichtige Böden** **499,- EUR**
statt 799,- EUR

Weitere Informationen unter
<https://www.mbaec.de/modul/M280>

Pakete

MicroFe Paket „Zusatzmodule“ **999,- EUR**

4 der folgenden Module nach Wahl:

- M312.de Stahlbeton-Stützenbemessung, 399,- EUR
Verfahren mit Nennkrümmung
(räumliche Systeme)
- M313.de Stahlbeton-Stützenbemessung, 399,- EUR
Verfahren nach Nennkrümmung
(ebene Systeme)
- M314.de Mauerwerk-Stütze 399,- EUR
(ebene Systeme)
- M315.de Stahl-Stützensachweis 399,- EUR
(ebene Systeme)
- M350.de Durchstanznachweis für Platten 299,- EUR
- M351.de Durchstanznachweis 399,- EUR
für Faltwerke
- M360.de Mauerwerk-Wandnachweis 399,- EUR
(ebene Systeme)
- M361.de Stahlbeton-Wand 399,- EUR
(ebene Systeme)
- M362.de Nachweis der Bodenpressung 299,- EUR



© mb AEC Software GmbH. Alle Preise zzgl. Versandkosten und ges. MwSt. Für Einzelplatzlizenz Hardlock je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR).
Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen & Irrtümer vorbehalten.
Unterstützte Betriebssysteme: Windows 10® (22H2, 64-Bit), Windows 11® (22H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver. Stand: Mai 2024

Abisolierungen

Innerhalb jeder Lage kann eine beliebige Anzahl an Spanngliedern abisoliert werden, um die Vorspannung in einem Abstand vom Trägerende einzuleiten. Um schiefe Biegung infolge der Vorspannung zu vermeiden, lässt das Modul U362.de nur im Querschnitt symmetrische Abisolierungen zu.

Vorspannkraft

Die Vorspannkraft wird durch Vorgabe der Spannbettspannung $\sigma_{p,max}$ definiert. Diese kann, sofern erforderlich, lagenweise unterschiedlich angesetzt werden.

Vorbemessung

Allgemeines

Das Modul U362.de bietet die Berechnungsmethoden „Vorbemessung“ und „Nachweis“. Wählt man die Option „Vorbemessung“ steht ein reduzierter Eingabebumfang zur Verfügung, um mit wenigen relevanten Parametern schnell die erforderliche Querschnittshöhe und die notwendige Anzahl an Spanngliedern festzulegen.

Die Qualität der Ergebnisse hängt dabei wesentlich von den Vorgaben zur Vorbemessung ab, die anwenderseitig zu treffen sind (Hinweise hierzu siehe unten). Die Vorbemessung ersetzt dabei nicht den Nachweis, sondern dient in erster Linie dazu, sinnvolle Eingangsparameter zu finden, die im Zuge der Nachweisführung ggf. noch anzupassen sind.

Querschnittshöhe

Die Querschnittshöhe wird abhängig von der Querschnittsform, der Belastung, der Spannweite und der Binderart (Parallel- oder Satteldachbinder) in Anlehnung an die Tragfähigkeitstabellen in [5] abgeschätzt.

Anzahl und Lage der Spannglieder

Die erforderliche Anzahl an Spanngliedern wird über den Vorspanngrad κ und die Spannstahlspannung im Spannbett $\sigma_{p,max}$ abgeschätzt.

Der Vorspanngrad ist definiert als das Verhältnis der Betonspannungen aus Vorspannung und aus äußeren Einwirkungen in der häufigen Kombination.

$$\kappa = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{c,frequ}}$$

mit

σ_{cp} Betonspannungen infolge Vorspannung

$\sigma_{c,frequ}$ Betonspannungen infolge Last in der häufigen Kombination

Nach [6] liegt der wirtschaftlichste Bereich des Vorspanngrades bei $\kappa = 0,3 \div 0,7$.

Sind die Vorspannung im Spannbett und die Verluste bekannt, so lässt sich nach [7] über die erforderliche Vorspannkraft die erforderliche Anzahl der Spannglieder ermitteln.

In [7] werden Angaben zur sinnvollen Wahl der Spannbettspannung und zur Abschätzung der sofortigen und zeitabhängigen Verluste gemacht.

In der Regel erhält man brauchbare Ergebnisse, wenn man die Spannbettspannung zu $\sigma_{p,max} = 900 \div 1100 \text{ N/mm}^2$ annimmt. Sowohl zeitabhängige als auch sofortige Verluste liegen jeweils in der Größenordnung von $\Delta\sigma = 10 \div 15\%$.

Das Modul U362.de ermittelt belastungs- und querschnittsabhängig die maßgebende Stelle im Träger, für die die erforderliche Spanngliedzahl berechnet wird. Maßgebend ist die Stelle, die die größte Zugkraft in der Spanngliedlage aufweist.

Iteration der Spanngliedlagen

Um den inneren Hebelarm z genau bestimmen zu können, wird die Anordnung der Spannglieder im Querschnitt automatisch vorgenommen. Damit ist zusätzlich sichergestellt, dass ausreichend Platz für die Anordnung der benötigten Spannglieder zur Verfügung steht.

Ausgabe

Das Ergebnis der Vorbemessung ist eine kompakte Ausgabe, die folgende Inhalte enthält:

- statisches System
- Belastungen
- Materialien und Querschnitte
- Anzahl der Spannglieder
- Schnittgrößen und Auflagerkräfte

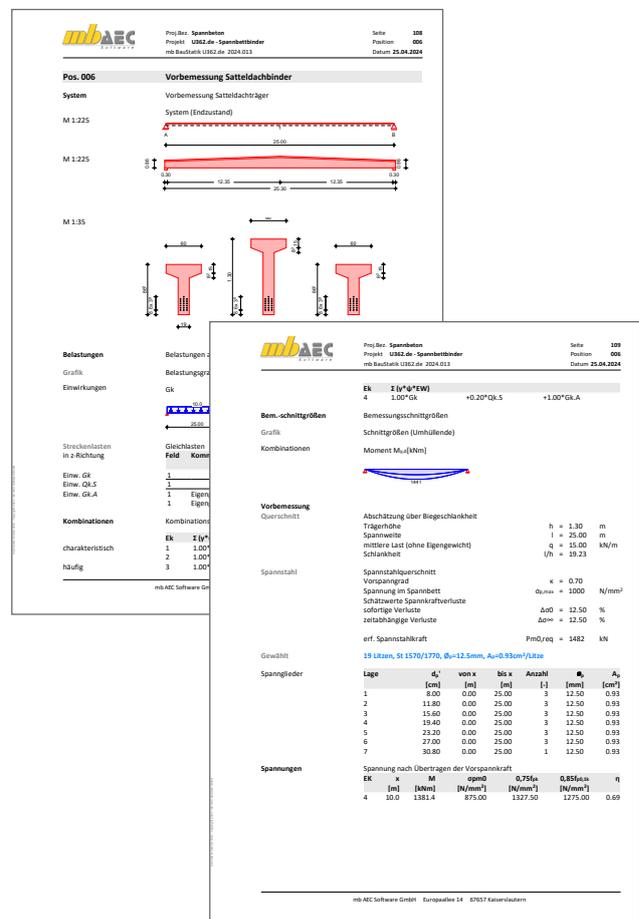


Bild 6. Ausgabe Vorbemessung

Spannkraftverluste

Sofortige Verluste

Nach dem Durchtrennen der Spannglieder erfährt der Beton eine Verkürzung, die zu einem Abfall der Spanngliedspannung führt. Programmseitig erfolgt die Verlustberechnung für jede Spanngliedlage exakt durch Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte. Dabei hat man die Möglichkeit, die Festigkeitsbeiwerte des noch nicht vollständig erhärteten Betons mit in die Berechnung aufzunehmen.

Kriechen, Schwinden und Relaxation

Kriechen, Schwinden und Relaxation können alternativ durch Vorgabe der Kriech- und Schwindzahlen oder durch programmseitige Ermittlung festgelegt werden.

Dabei werden folgende Zeitpunkte unterschieden:

- t_0 Aufbringen der Vorspannung
- t_1 Aufbringen der Belastungen

Damit ergeben sich zwei Zeiträume, die rechnerisch getrennt erfasst werden.

Wird im Spannungsnachweis der Betondruckfestigkeit festgestellt, dass nichtlineares Kriechen berücksichtigt werden muss, geschieht dies bei programmseitiger Ermittlung automatisch.

Auch die zeitabhängigen Verluste werden durch Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte exakt für jede Spanngliedlage getrennt erfasst. Von der Näherungslösung nach EC 2 [1], Gl. 5.46 wird bewusst kein Gebrauch gemacht, da sie keine Allgemeingültigkeit besitzt.

Bei der Verlustermittlung wird, wie auch in allen folgenden Nachweisen, die Vorspannung über die Vordehnung des Spannstahls erfasst. Durch Iteration der Dehnungsebene zu unterschiedlichen Zeitpunkten lassen sich die Spannkraftverluste exakt bestimmen.

Der im Kapitel „Nachweise“ beschriebene Kippnachweis wird unter Berücksichtigung der Spannkraftverluste zum Zeitpunkt $t = \infty$ geführt. Es sei darauf hingewiesen, dass hierbei keine anwenderseitige Abschätzung der Spannkraftverluste erforderlich ist, sondern die Berechnung normgerecht vollständig vom Programm ausgeführt wird.

Schnittgrößen

Vorspannung

In der Ausgabe erscheinen getrennt die Schnittgrößen aus äußeren Lasten und infolge Vorspannung. Da die Vorspannung direkt in den Nachweisen über die Vordehnung erfasst wird, werden die Schnittgrößen aus Vorspannung und aus äußeren Lasten nicht überlagert. D.h. weder in der Kombinatorik noch in den Bemessungsschnittgrößen taucht die Vorspannung auf. Dennoch werden die Schnittgrößen infolge Vorspannung ausgegeben. Diese Ausgabe hat jedoch rein informativen Charakter und dient der besseren Übersichtlichkeit.

Querkraft

Liegen wie beim Satteldachbinder geneigte Obergurte vor, so sind zusätzliche Vertikalkomponenten der Querkraft zu berücksichtigen. Diese Komponenten können sich sowohl negativ als auch positiv auf den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit auswirken und sind daher in jedem Fall zu berücksichtigen. Bei den vom Modul U362.de unterstützten Binderformen wirken sich die Komponenten in der Regel positiv aus, so dass deren Berücksichtigung zu wirtschaftlicheren Ergebnissen führt.

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Grundsätzliches

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten unter Ansatz der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Festigkeiten und Verlusten geführt. Wie bereits erwähnt erfolgt die Berücksichtigung der Vorspannung nicht als Einwirkung sondern über die Vordehnung. Daher werden alle Nachweise mit den Schnittgrößen aus äußeren Lasten geführt.

Biegung

Der Nachweis der Biegetragfähigkeit erfolgt unter Berücksichtigung der Vorspannung und der Dehnungsreserven des Spannstahls. Sofern die Tragfähigkeit hierdurch noch nicht vollständig sichergestellt ist, erfolgt die Bemessung und automatische Wahl der erforderlichen Biegebewehrung durch Betonstahlzulagen.

mbAEC SOFTWARE		Proj.Bez: Spannbeton	Seite: 114			
		Projekt: U362.de - Spannbettbinder	Position: 007			
		mb.BauStatik.U362.de 2024.013	Datum: 25.04.2024			
im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1992-1-1:2011-01						
Nachweise (GZT)						
Verluste						
Kriechen und Schwinden	Aufbringen der Vorspannung	$t_0 =$	1 d			
	Belastungsbeginn	$t_1 =$	21 d			
	Austrocknungsbeginn	$t_2 =$	4 d			
	Luftfeuchtigkeit $t_0 - t_1$	RH ₀ =	70.00 %			
	Luftfeuchtigkeit $t_1 - t_{\infty}$	RH _∞ =	50.00 %			
	Temperatur bis t_0	$T_0 =$	20.00 °C			
	Temperatur $t_0 - t_1$	$T_{\infty} =$	20.00 °C			
	Kriechzahl $t_0 - t_1$	$\phi(t_0, t_1) =$	0.84 -			
	Kriechzahl $t_1 - t_{\infty}$	$\phi(t_1, t_{\infty}) =$	1.90 -			
	Schwindmaß $t_0 - t_1$	$\epsilon(t_0, t_1) =$	-0.10 ‰			
	Schwindmaß $t_1 - t_{\infty}$	$\epsilon(t_1, t_{\infty}) =$	-0.49 ‰			
Relaxation	Die gesamte Relaxation findet während der Wärmebehandlung statt.					
	Spannungsverlust	$\Delta R_s =$	4.00 %			
Übertragungslängen Abs. 8.10.2.2	Übertragung der Vorspannung					
	Absetzen schrittweise	$\alpha_1 =$	1.00 -			
	Litzen	$\alpha_2 =$	0.19 -			
	Beiwert Art des Spannglieds	$\eta_{lit} =$	2.85 -			
	gute Verbundbedingungen	$\eta_1 =$	1.00 -			
Übertragungslängen für die Nachweise (GZT)						
Lage	ϕ_p	f_{ctd}	f_{opt}	l_{pe}	1.2 l_{pe}	0.8 l_{pe}
	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[m]	[m]	[m]
ständig/vorüberg.	1-7	12.5	1.15	3.28	0.69	0.83
Übertragungslängen für die Nachweise (GZG)						
Lage	ϕ_p	f_{ctd}	f_{opt}	l_{pe}	1.2 l_{pe}	0.8 l_{pe}
	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[m]	[m]	[m]
1-7	12.5	1.73	4.92	0.46	0.55	0.37
sofortige Verluste	Lage	x	$\sigma_{p,max}$	$\Delta\sigma_{el}$	$\Delta\sigma_k$	$\sigma_{p,net}$
		[m]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
Feld 1	(L = 25.00 m)					
	4	0.22	1000.00	35.40	40.00	924.60 _g
	4	0.68	1000.00	35.22	40.00	924.78
	4	12.50	1000.00	120.41	40.00	839.59
	4	24.32	1000.00	35.22	40.00	924.78
	4	24.78	1000.00	35.40	40.00	924.60 _g
zeitabhängige Verluste	Lage	x	$\Delta\sigma_{el}$	$\sigma_{p,net}$		
		[m]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Feld 1	(L = 25.00 m)					
	4	0.22		172.00		752.61 _g
	4	0.68		165.48		759.30
	4	12.50		139.36		700.24
	4	24.32		165.48		759.30
	4	24.78		172.00		752.61 _g

Bild 7. Berechnung der sofortigen und zeitabhängigen Spannkraftverluste

Querkraft

Auch im Querkraftnachweis wird der positive Einfluss der Vorspannung auf den Nachweis sowohl auf der Lastseite als auch auf der Widerstandsseite (positive Wirkung von Druckspannungen) im Nachweis berücksichtigt. Der Bemessungswert des Querkraftwiderstandes wird hierbei für die gerissenen Bereiche nach EC 2 [1], Gl. 6.2 und für die ungerissenen Bereiche nach Gl. 6.4 berechnet. Sofern Querkraftbewehrung erforderlich wird, erfolgt eine programmseitige Wahl unter Berücksichtigung der erforderlichen Mindestbewehrung.

Kippen

Insbesondere bei weit gespannten Bindern ist der Nachweis der Kippstabilität zu führen. Das Modul U362.de führt eine nichtlineare Berechnung nach Theorie II. Ordnung im Zustand II durch.

Dabei sind Imperfektionen in Form einer seitlichen Auslenkung und einer Verdrehung der Trägerachse vorzugeben. Die Größe der jeweiligen Imperfektionen kann vorgegeben oder programmseitig nach Norm berechnet werden.

Aufgrund der Imperfektionen erzeugen die Lasten am Obergrut sowohl Biegemomente um die schwache Achse als auch Torsionsmomente. Sowohl die nichtlineare Berechnung der Schnittgrößen als auch der Nachweis auf zweiachsige Biegung erfolgt nach EC 2 [1], 5.7.

Der Nachweis auf Torsion wird geführt, indem nachgewiesen wird, dass die vorhandenen Torsionsmomente das Torsionsrissmoment nicht überschreiten.

Bei automatischer Einstellung werden die Spannkraftverluste, der Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung, die effektive Kriechzahl in der maßgebenden Einwirkungskombination und die Imperfektionen normgerecht automatisch bestimmt.

Zu Vergleichszwecken mit weniger leistungsfähiger Software können diese Parameter auch manuell vorgegeben werden, wobei aus fachlicher Sicht die exaktere automatische Berechnung zu bevorzugen ist.

Stabilität	Kippsicherheit nach DIN EN 1992-1-1, 5.9						
Endzustand	Imperfektionen nach nach Abs. 5.9(2)						
	Vorverformung $l/300$						
	Sicherheitsbeiwert Vorspannung $\gamma_p = 0.83$						
effektive Kriechzahl $\phi_{ef} = 1.0$							
Biegung	Schnittgrößen im Zustand II, Theorie II. Ordnung						
	Ek	x	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	η
Feld 1	4	9.20	2278.2	83.36	2523.5	92.34	0.90
Torsion	Nachweis Torsionsrissmoment						
	Ek	x	$M_{t,Ed}$	W_t	$M_{t,Ed}$	η	
Feld 1	4	1.50	-36.09	15341	53.69		0.67

Bild 8. Nachweis der Stabilität

Öffnungen

Die Öffnungsbemessung erfolgt nach [8]. Das dort beschriebene Bemessungskonzept ist für Spannbetonbauteile anwendbar und sieht die Anordnung der Öffnungen zwischen den Druck- und Zugstreben vor. Aus der Forderung, dass sich die Druckstreben ausbilden können müssen, ergeben sich maximale Öffnungsabmessungen und minimale Öffnungs- und Randabstände.

Die Zugstreben werden im Öffnungsbereich durch eine zusätzliche Aufhängebewehrung abgedeckt.

Spaltzugbewehrung im Verankerungsbereich

Im Verankerungsbereich der Spannlieder entstehen Spaltzugkräfte, die durch eine entsprechende Spaltzugbewehrung aufzunehmen sind. Die erforderliche Bügelbewehrung wird ermittelt und bei der Bewehrungswahl berücksichtigt.

Spaltzugbewehrung									
Spaltzugbewehrung infolge Verankerung der Spannlieder nach Kupfer, Betonkalendar 2014									
von	bis	γ_p	$N_{s,d}$	$\sigma_{s,d}$	$A_{s,d}$	T_r	B_{w}		
[m]	[m]	[-]	[MN]	[N/mm ²]	[m ²]	[MN]	[cm ² /m]		
-0.15	0.68	1.35	2.18	-9.68	0.11	0.39	14.32		
2.00	2.83	1.35	0.13	-1.12	0.06	0.02	0.73		
22.17	23.00	1.35	0.13	-1.12	0.06	0.02	0.73		
24.32	25.15	1.35	2.18	-9.68	0.11	0.39	14.32		

Bild 9. Nachweis der Spaltzugbewehrung im Verankerungsbereich der Spannlieder

Umlenkungskräfte am First

Bei Satteldachbindern entstehen am Firstpunkt durch die Umlenkung der Querkraft Kräfte, die durch eine zusätzliche lokale Bügelbewehrung abzudecken sind. Der Nachweis wird bei Satteldachbindern automatisch geführt.

Umlenkung am First						
Nachweis der Bügel aus Umlenkung am Firstpunkt						
EK	V_{Ed}	V_{Ed}	$\Sigma V_{Ed} $	$A_{s,verf.}$	$A_{s,verf.}$	gew.
	[kN]	[kN]	[kN]	[cm ²]	[cm ²]	[-]
4	-58.85	58.85	117.69	2.59	3.02	3 BügØ8

Bild 10. Abdeckung der Umlenkkräfte am First durch Bügelzulagen

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Verformungen

Die Verformungsberechnung erfolgt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu den Zeitpunkten t_0 (Aufbringen der Vorspannkraft), t_1 (Aufbringen der Belastung) und t_{∞} . Wahlweise kann eine ständige Einwirkung, der in der Regel die Ausbaulasten zugeordnet sind, bereits zum Zeitpunkt t_1 oder erst zum Zeitpunkt t_{∞} angesetzt werden. Ein Ansatz der Ausbaulasten zum Zeitpunkt t_1 führt zu größeren Durchbiegungen zum betrachteten Zeitpunkt, ein Ansatz zum Zeitpunkt t_{∞} führt zu größeren Differenzverformungen. Abhängig von der Fragestellung kann der Nachweis hier flexibel angepasst werden.

Verformungen		Verformungsberechnung Zustand II für die quasi-ständigen Kombinationen						
Endkriechzahl		$\phi = 2.74$ -						
Endschwindmaß		$\epsilon = -0.59$ ‰						
zul. Endverformung		zul $f_{\infty} = l/250$ -						
zul. Endverformung		zul $f_{\Delta} = l/500$ -						
Feld 1	x	Ek	$f_{t,0}$	$f_{t,1}$	$f_{t,\infty}$	zul f_{∞}	$\Delta f_{t,1}$	zul f_{Δ}
	[m]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	12.5	11	-21.2	13.1	49.0	100.0	35.9	50.0
Auflagerverdrehungen		Auflagerverdrehungen						
Lager	Ek	$\phi_{t,0}$	$\phi_{t,1}$	$\phi_{t,\infty}$	$\Delta \phi_{t,1}$			
		[rad]x10 ³	[rad]x10 ³	[rad]x10 ³	[rad]x10 ³			
A	11	0.0041	-0.0008	-0.0042	-0.0034			
B	11	-0.0041	0.0008	0.0042	0.0034			
M 1:250		Verformungen f [mm] Zustand II für Kombination 11						

Bild 11. Ausgabe der Verformungsnachweise

Die Verformungen werden nichtlinear ermittelt, wobei unabhängig vom Kombinationstyp des Verformungsnachweises die Festlegung der Grenze zwischen Zustand I und Zustand II in der seltenen Kombination vorgenommen wird.

Der Grafik der Betonrandspannung (siehe Bild 12) kann entnommen werden, welche Bereiche des Trägers im Zustand II sind und welche ggf. im Zustand I verbleiben.

Neben den Durchbiegungen werden auch die Auflagerverdrehungen zu den unterschiedlichen Zeitpunkten dokumentiert.

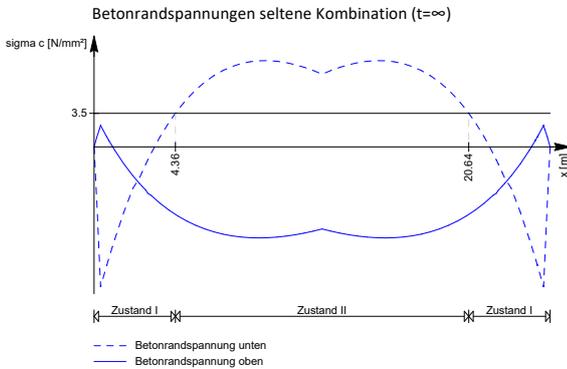


Bild 12. Spannungsverlauf der Betonrandspannungen in der seltenen Kombination

Spannungen

Im Gegensatz zum Stahlbetonbau, bei dem Spannungsnachweise eine eher untergeordnete Rolle spielen, kommt im Spannbetonbau den Spannungsnachweisen eine zentrale Bedeutung zu.

Es werden alle [1] im EC 2 geforderten Spannungsnachweise geführt. Diese sind im Einzelnen:

- Spannstahl
 - Spannbettspannung nach Abs. 5.10.2(1)
 - Spannung im Spannstahl unmittelbar nach Übertragen der Vorspannung nach Abs. 5.10.2.1(2)
 - Spannungen in der charakteristischen Kombination zum Zeitpunkt t_0 nach Abs. 7.2 (NA.6)
 - Spannungen in der quasi-ständigen Kombination zum Zeitpunkt t_∞ nach Abs. 7.2(5)
- Betonstahl
 - Betonstahlspannungen in der charakteristischen Kombination zum Zeitpunkt t_∞ nach Abs. 7.2(5)
- Stahlbeton
 - Betonrandspannungen in der charakteristischen Kombination zum Zeitpunkt t_∞ nach Abs. 7.2(2)
 - Betonrandspannungen in der quasi-ständigen Kombination zum Zeitpunkt t_∞ nach Abs. 7.2(3). Dieser Nachweis wird nur geführt, wenn nichtlineares Kriechen nicht berücksichtigt wird. Schlägt dieser Nachweis fehl, wird automatisch nichtlineares Kriechen berücksichtigt.
 - Betonrandspannung aus Eigengewicht und Vorspannung zum Zeitpunkt t_0 nach Abs. 5.10.2.2(5)

Die Spannungsnachweise werden übersichtlich in tabellarischer Form ausgegeben (siehe Bild 14). Die Nachweise des Spannstahls können wahlweise für alle Lagen getrennt oder nur für die maßgebende Lage ausgegeben werden.

Für die Nachweise der Spannstahlspannungen steht zusätzlich eine grafische Ausgabe zur Verfügung (siehe Bild 7).

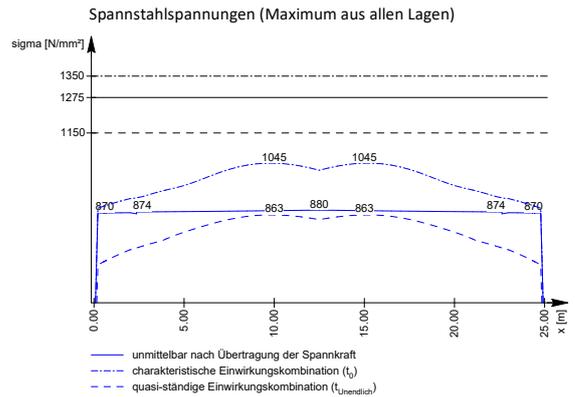


Bild 13. Grafische Ausgabe Spannstahl-Spannungsnachweise

Spannungen		Begrenzung der Spannungen nach Abs. 5.10 u. 7.2				
Spannstahl Abs. 5.10.2.1(2)		Spannbettspannung mit Überspannen				
Lage	x [m]	$\sigma_{p,max}$ [N/mm²]	$0.95f_{pk}$ [N/mm²]	η [-]		
1	0.21	1100.00	1425.00	0.77		
2	0.21	1100.00	1425.00	0.77		
3	0.21	1100.00	1425.00	0.77		
4	0.21	1100.00	1425.00	0.77		
Spannstahl Abs. 5.10.3(2)		unmittelbar nach Übertragung der Spannkraft (t_0)				
Lage	x [m]	σ_{sm0} [N/mm²]	$0.75f_{pk}$ [N/mm²]	$0.85f_{p0,sk}$ [N/mm²]	η [-]	
Feld 1	1	0.21	978.90	1327.50	0.77	
	2	0.21	982.06		0.77	
	3	0.21	985.26		0.77	
	4	0.21	988.51		0.78	
Spannstahl Abs. 7.2(NA.6)		charakteristische Einwirkungskombination (t_0)				
Lage	Ek	x [m]	σ_s [N/mm²]	$0.80f_{pk}$ [N/mm²]	$0.90f_{p0,sk}$ [N/mm²]	η [-]
Feld 1	1	8	9.00	1053.17	1416.00	0.78
	2	8	9.00	1052.26		0.78
	3	8	9.00	1051.35		0.78
	4	8	9.00	1050.43		0.78
Spannstahl Abs. 7.2(5)		quasi-ständige Einwirkungskombination (t_∞)				
Lage	Ek	x [m]	$\sigma_{p=}$ [N/mm²]	$0.65f_{pk}$ [N/mm²]	η [-]	
Feld 1	1	11	9.00	907.26	1150.50	0.79
	2	11	9.00	907.32		0.79
	3	11	9.00	907.37		0.79
	4	11	9.00	907.43		0.79
Betonstahl Abs. 7.2(5)		charakteristische Einwirkungskombination (t_∞)				
Lage	Ek	x [m]	σ_s [N/mm²]	$0.80f_{tk}$ [N/mm²]	η [-]	
Feld 1	unten	7	17.79	-56.25	400.00	0.14
	oben	8	9.00	-31.37		0.08
Stahlbeton Abs. 7.2(3)		quasi-ständige Einwirkungskombination (t_∞)				
Lage	Ek	x [m]	σ_c [N/mm²]	$0.45f_{tk}$ [N/mm²]	η [-]	
Feld 1	unten	11	17.79	-10.99	22.50	0.49
	oben	11	9.00	-4.26		0.19
Die Berücksichtigung des nichtlinearen Kriechens darf entfallen						
Stahlbeton Abs. 5.10.2.2(5)		Eigengewicht und Vorspannung (t_0)				
Lage	Ek	x [m]	σ_c [N/mm²]	$0.70f_{tk}$ [N/mm²]	η [-]	
Feld 1	unten	1	17.79	-15.82	24.50	0.65
	oben	1	17.44	3.00		0.12

Bild 14. Tabellarische Ausgabe der Spannungsnachweise

Dekompression

Mit dem Dekompressionsnachweis wird nachgewiesen, dass der Beton in einem Bereich von 100 mm oder 1/10 der Querschnittshöhe um die Spannglieder unter Druckspannungen steht. Der Nachweis erfolgt nach EC2 [1], Abs. 7.3.1(5) zum Zeitpunkt t_∞ unter Berücksichtigung der Spannkraftverluste. Die Vorspannkraft wird hierzu mit dem Wert r_{inf} multipliziert, um die Streuung der Vorspannkraft auf der sicheren Seite zu berücksichtigen.

Dekompression Abs. 7.3.1		Nachweis über die Grenzlinie der Dekompression				
	Ek	x [m]	h_{dek} [cm]	M_{Ed} [kNm]	$N_{p=,inf}$ [kN]	$\sigma_{c,dek}$ [N/mm²]
Feld 1	11	9.00	0.00	715.14	-894.44	-0.78

Auf Höhe der Dekompressionslinie treten nur Druckspannungen auf.

Bild 15. Ausgabe Dekompressionsnachweis

Der Nachweis der Dekompression ist nicht in jedem Fall zu führen und hängt von der Expositionsklasse des Bauteiles ab. Die Festlegungen hierzu sind in EC 2/NA [2], Tabelle 7.1DE zu finden.

Mindestbewehrung

Der Nachweis der Mindestbewehrung erfolgt nach EC 2 [1], Gl. 7.1. unter Berücksichtigung des Spannstahlanteils gem. 7.3.2 (3).

Damit ergibt sich die erf. Mindestbewehrung aus Betonstahl zu:

$$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} - \xi_1 \cdot A'_p \cdot \Delta\sigma_p}{\sigma_s}$$

Für die Bedeutung der Formelzeichen sowie die Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung der einzelnen Anteile wird auf EC 2 [2], Abs. 7.3.2 verwiesen.

Rissbreiten

Die Begrenzung der Rissbreiten infolge äußerer Lasten wird analog zu schlaff bewehrten Bauteilen durch direkte Berechnung der Rissbreiten nachgewiesen. Dabei wird der Spannstahl unter Berücksichtigung der schlechteren Verbundwirkung entsprechend EC2 [1], Abs. 7.3.4 in der Berechnung berücksichtigt.

Zusammenfassung

Der Nachweis des Spannbettbinders wird als vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe zur Verfügung gestellt.

Neben maßstabsgetreuen Skizzen werden alle Schnittkräfte, Spannungen und Nachweise unter Angabe der Berechnungsgrundlage tabellarisch und grafisch ausgegeben.

Mit der Berechnungsmethode „Vorbemessung“ steht zusätzlich eine sehr kompakte Ausgabe zur Verfügung, die vollständig in Lastabtrag und Lastweiterleitung integriert ist. So kann auch ohne abschließende detaillierte Nachweisführung eine Position mit Lasten in der richtigen Größenordnung in das Statikdokument eingepflegt werden, um die lastaufnehmenden Bauteile bis hin zur Gründung nachweisen zu können.

Dipl.-Ing. Sascha Heuß
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, Eurocode 2: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Eurocode 2 für Deutschland - DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, Kommentierte Fassung. Berlin: Ernst & Sohn; Beuth, 2012.
- [4] DAfStb-Heft 600 - Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). 1. Auflage, Ausgabe 2012.
- [5] FDB - Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V.: Betonfertigteile im Geschoss- und Hallenbau, Neuausgabe 2009, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf
- [6] Kupfer, H., Scholz, U.: Die Wirtschaftlichkeit als Kriterium zur Wahl des Vorspanngrades. In: Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 5/1986, Band 1, Verlag Ernst & Sohn
- [7] FDB - Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V.: Spannbettbinder nach Eurocode 2, Ausgabe 2013
- [8] Reineck, Karl-Heinz: Modellieren der D-Bereiche von Fertigteilen. Betonkalender 2005, Ernst & Sohn, Berlin

Preise und Angebote

U362.de Spannbettbinder – EC 2, DIN EN 1992-1-1

Weitere Informationen unter
<https://www.mbaec.de/modul/U362de>

BauStatik 4er-Paket

bestehend aus 4 BauStatik-Modulen
deutscher Norm nach Wahl

BauStatik 10er-Paket

bestehend aus 10 BauStatik-Modulen
deutscher Norm nach Wahl

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Mai 2024

Betriebssysteme: Windows 10 (22H2, 64-Bit), Windows 11 (22H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver

Preisliste: www.mbaec.de