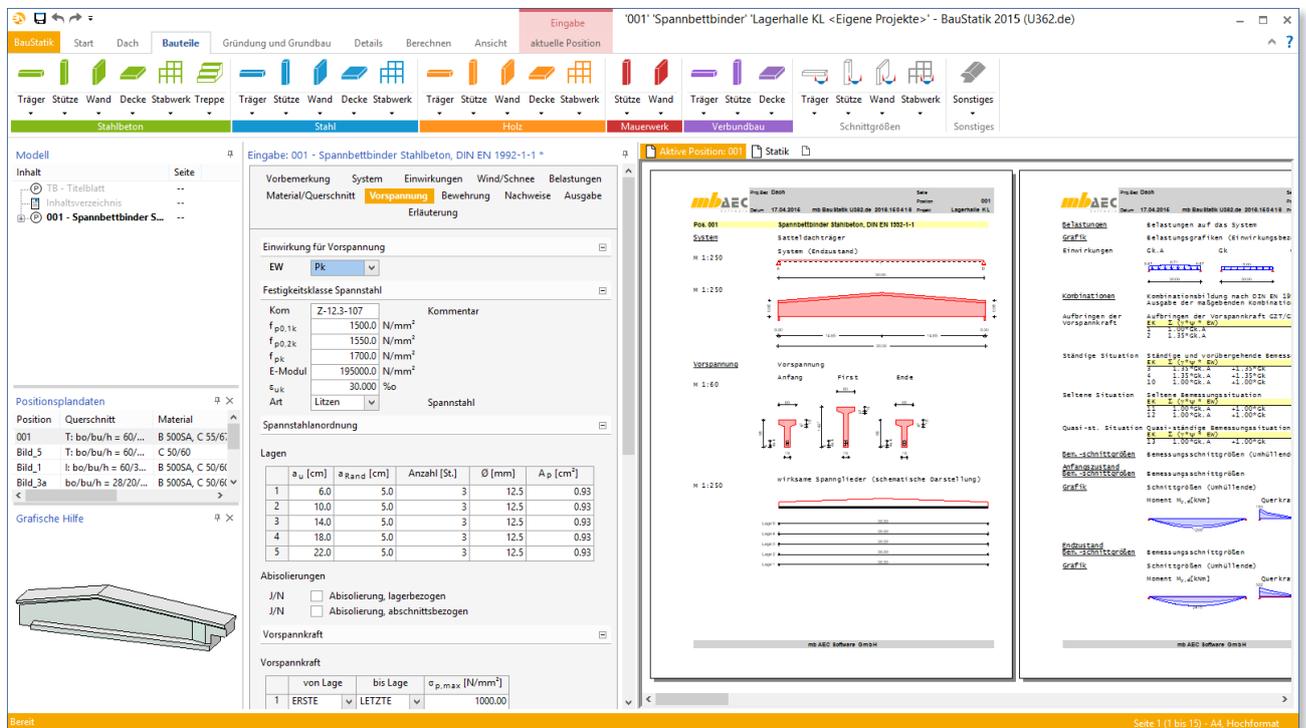


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

# Spannbettbinder nach EC 2

## Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls U362.de Spannbettbinder – EC 2, 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 behandelt, die als Fertigteile hergestellt werden. Als statisches System kommen daher Einfeldträger mit optionalen Kragarmen zum Einsatz.

Die Träger können als Parallelbinder 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.

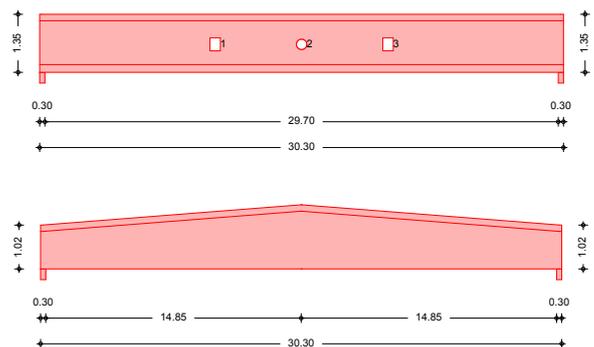


Bild 1. Parallel- und Satteldachbinder

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

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

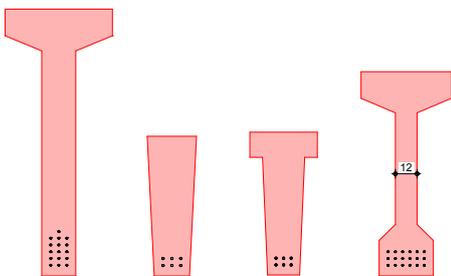


Bild 3. Beispiele möglicher Querschnittstypen

### 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.

Bild 4. Eingabe Materialparameter Spannstahl

## Vorspannung

### Anordnung der Spannglieder

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

### 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 Eingabebereich 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  $\kappa$  und die Spannstahlspannung im Spannbett  $\sigma_{p,max}$  berechnet.

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

$\sigma_{cp}$       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

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

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

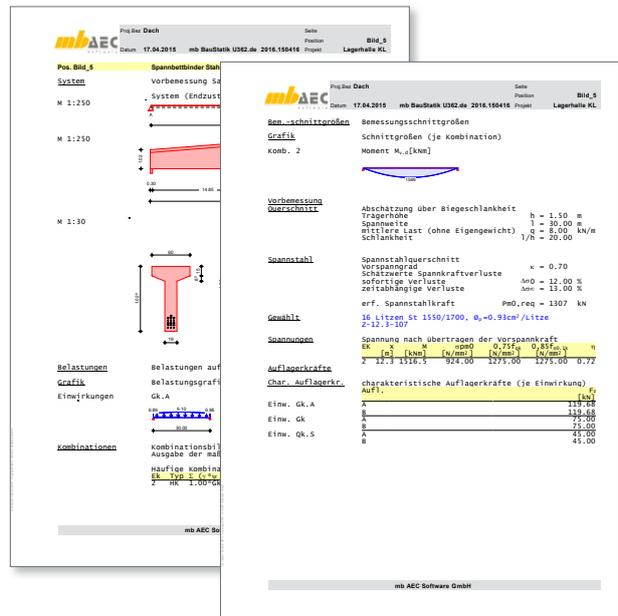


Bild 5. Ausgabe Vorbemessung

### 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.

Folgende Zeitpunkte werden 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, so 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.

Verluste		Kriechen und Schwinden	
Aufbringen der Vorspannung		$t_0 = 1$ [d]	
Belastungsbeginn		$t_1 = 28$ [d]	
Austrocknungsbeginn		$t_s = 4$ [d]	
Luftfeuchtigkeit $t_0 - t_1$		$RH_0 = 50.00$ [%]	
Luftfeuchtigkeit $t_1 - t_s$		$RH_s = 80.00$ [%]	
Temperatur bis $t_0$		$T_0 = 60.00$ [°C]	
Temperatur $t_0 - t_1$		$T_s = 20.00$ [°C]	
Kriechzahl $t_0 - t_1$		$\phi(t_0; t_1) = 0.75$ [-]	
Kriechzahl $t_1 - t_s$		$\phi(t_1; t_s) = 1.07$ [-]	
Schwindmaß $t_0 - t_1$		$\epsilon(t_0; t_1) = -0.16$ [%]	
Schwindmaß $t_1 - t_s$		$\epsilon(t_1; t_s) = -0.20$ [%]	
Relaxation		Die gesamte Relaxation findet während der Wärmebehandlung statt.	
Spannungsverlust sofortige Verluste		$\Delta R_z = 4.00$ [%]	
Lage		$x$	$\sigma_p = \sigma_{ax}$
Feld 1		$(L = 30.00$ m)	$\Delta \sigma_{c+s}$
		$\sigma_{p-0}$	
1	2.50	1000.00	107.49
2		1000.00	102.01
3		1000.00	96.52
4		1000.00	91.03
5		1000.00	85.54
zeitabhängige Verluste			
Lage		$x$	$\Delta \sigma_{c+s}$
Feld 1		$(L = 30.00$ m)	$\sigma_{p-0}$
		$\sigma_{p-0}$	
1	2.50	123.83	728.68
2		122.03	735.96
3		120.24	743.24
4		118.45	750.52
5		116.65	757.80

Bild 6. Verlustberechnung

## 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 oben 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.

### 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 Obergurt 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.

### 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, ergeben sich maximale Öffnungabmessungen und minimale Öffnungs- und Randabstände.

Die Zugstreben werden im Öffnungsbereich durch eine zusätzliche Aufhängebewehrung abgedeckt.

## 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  $t_{\infty}$ . Wahlweise kann eine ständige Einwirkung, der in der Regel die Ausbaulasten zugeordnet sind, bereits zum Zeitpunkt  $t_1$  oder erst zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  angesetzt werden. Ein Ansatz der Ausbaulasten zum Zeitpunkt  $t_1$  führt zu größeren Durchbiegungen zum betrachteten Zeitpunkt, ein Ansatz zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  führt zu größeren Differenzverformungen. Abhängig von der Fragestellung kann der Nachweis hier flexibel angepasst werden.

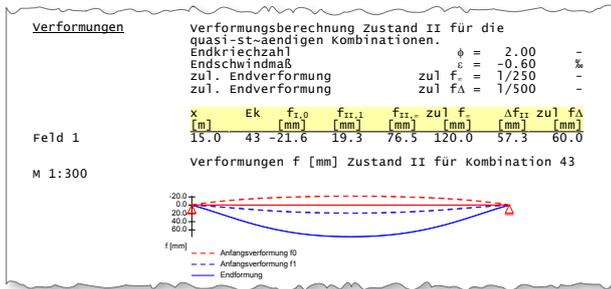


Bild 7. Ausgabe Verformungsnachweis

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.

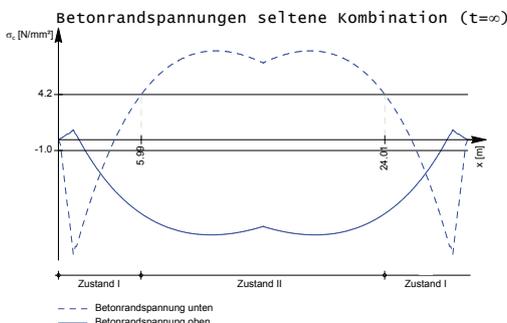


Bild 8. Spannungsverlauf in der seltenen Kombination

### Spannungen

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

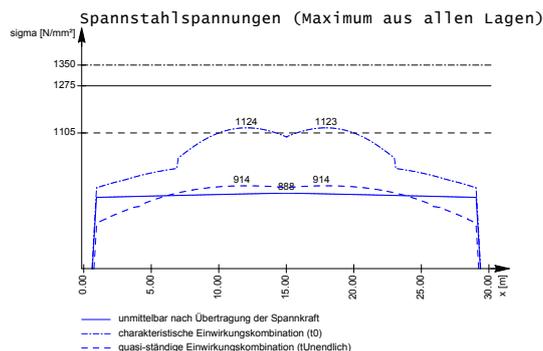


Bild 9. Grafische Ausgabe Spannungsnachweise

Es werden alle im EC 2 [1] 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  $t_{\infty}$  nach Abs. 7.2(5)
- Betonstahl
  - Betonstahlspannungen in der charakteristischen Kombination zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  nach Abs. 7.2(5)
- Stahlbeton
  - Betonrandspannungen in der charakteristischen Kombination zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  nach Abs. 7.2(2)
  - Betonrandspannungen in der quasi-ständigen Kombination zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  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. 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 9).

Bild 10. 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 EC 2 [1], Abs. 7.3.1(5) zum Zeitpunkt  $t_{\infty}$  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.

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

Dekompression						
Abs. 7.3.1						
Nachweis über die Grenzlinie der Dekompression						
Ek	x	d <sub>eff</sub>	M <sub>Ed</sub>	N <sub>p, inf</sub>	σ <sub>dek</sub>	
	[m]	[cm]	[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
feld 1	13	2.50	32.91	435.87	-1484.32	-9.69
	13	17.60	0.00	1412.43	-1593.17	-1.82

Auf Höhe der Dekompressionslinie treten nur Druckspannungen auf.

Bild 11. Ausgabe Dekompressionsnachweis

## 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 und den 2. Teil des Grundlagenartikels von Dr. Kretz in der nächsten mb-news 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 EC 2 [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 maßstabgetreuen 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 vorab eine Position mit Lasten in der richtigen Größenordnung in das Statikdokument eingepflegt werden, um die lastaufnehmenden Bauteile bis hin zur Gründung vorab nachzuweisen 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



## Aktuelle Angebote

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

**1.499,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

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: Februar 2020  
Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)