

**statik.tools**

**Dokumentation**

(08/2023)

Copyright:

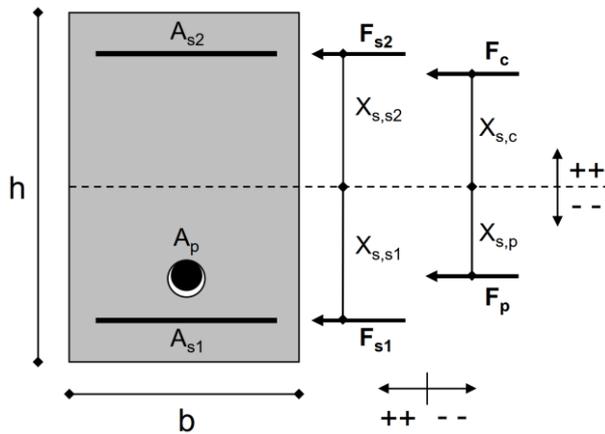
M.Sc. Robert Lachmann

M.Sc. Kurt Lachmann

# Inhaltsverzeichnis

1	Innere Kräfte .....	3
1.1	Normalkraft $N_{Rd}$ .....	3
1.2	Biegemoment $M_{Rd}$ .....	3
2	Beton .....	4
2.1	Druckkraft $F_c$ .....	4
2.2	Hebelarm $x_{s,c}$ .....	5
3	Bewehrung .....	6
3.1	Druck- / Zugkraft $F_s$ .....	6
3.2	Hebelarm $x_{s,s}$ .....	6
4	Spannstahl .....	7
4.1	Druck- / Zugkraft $F_p$ .....	7
4.1.1	Verbundlose Vorspannung .....	7
4.1.2	Spannglied im Verbund .....	7
4.2	Hebelarm $x_{s,p}$ .....	7
5	Materialkennwerte .....	8
5.1	Beton .....	8
5.2	Bewehrung .....	9
5.3	Spannstahl .....	10
5.3.1	DIBt-Zulassungen – Übersicht .....	10
5.3.1.1	Spannstahldraht (Z-12.2-...)	10
5.3.1.2	Spannstahlilitzen (Z-12.3-...)	11
5.3.1.3	Spannstabstahl (Z-12.4-...)	11
5.3.2	Zusammenfassung .....	12
6	Dehnungen .....	13
6.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) .....	13
6.2	Dekompression .....	13
6.3	$\sigma_c < 0,45 \cdot f_{ck}$ .....	14
7	Grenzwerte .....	15
7.1	Allgemein .....	15
7.2	Bewehrungsgrad $\rho$ .....	15
7.3	Druckzonenhöhe $\xi$ .....	16
7.4	Rissmoment $M_{cr}$ .....	17
7.5	Vorspannung .....	18
7.5.1	Anfangsdehnung $\epsilon_p^{(0)}$ .....	18
7.5.2	Gesamtdehnung $\epsilon_p$ .....	18
7.5.3	Spannung $\sigma_p$ .....	18

# 1 Innere Kräfte



## 1.1 Normalkraft $N_{Rd}$

$$N_{Rd} = F_c + (F_{s1} - \Delta F_{c,s1}) + (F_{s2} - \Delta F_{c,s2}) + (F_p - \Delta F_{c,p})$$

- mit:
- $F_c$  - Druckkraft des Betons <sup>(1)</sup>
  - $F_{s1}$  - Druck- / Zugkraft der Bewehrung  $A_{s1}$
  - $\Delta F_{c,s1}$  - anteiliges  $F_c$  bezogen auf  $A_{s1}$  <sup>(2)</sup>
  - $F_{s2}$  - Druck- / Zugkraft der Bewehrung  $A_{s2}$
  - $\Delta F_{c,s2}$  - anteiliges  $F_c$  bezogen auf  $A_{s2}$  <sup>(2)</sup>
  - $F_p$  - Druck- / Zugkraft des Spannstahls  $A_p$  <sup>(3)</sup>
  - $\Delta F_{c,p}$  - anteiliges  $F_c$  bezogen auf  $A_p$  <sup>(2)(3)</sup>

- (1) Zugkraft führt zum Reißen des Betons
- (2) nur zu beachten bei Überlagerung von Druckkräften
- (3) nur zu beachten bei Spannglied im Verbund

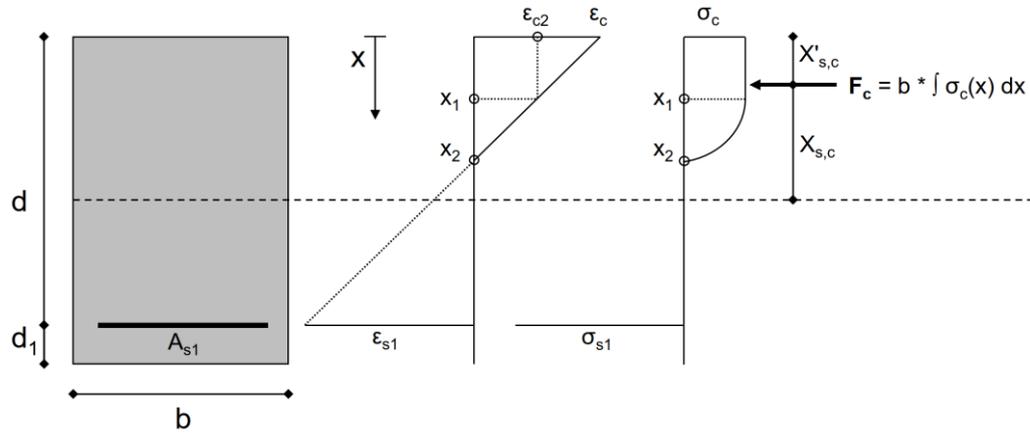
## 1.2 Biegemoment $M_{Rd}$

$$M_{Rd} = F_c * x_{s,c} + (F_{s1} - \Delta F_{c,s1}) * x_{s,s1} + (F_{s2} - \Delta F_{c,s2}) * x_{s,s2} + (F_p - \Delta F_{c,p}) * x_{s,p}$$

- mit:
- $x_{s,c}$  - Hebelarm der Betondruckkraft bezogen auf die QS-Schwereachse
  - $x_{s,s1}$  - Hebelarm der Bewehrung  $A_{s1}$  (...)
  - $x_{s,s2}$  - Hebelarm der Bewehrung  $A_{s2}$  (...)
  - $x_{s,p}$  - Hebelarm des Spannstahls  $A_p$  (...)

## 2 Beton

### 2.1 Druckkraft $F_c$



Funktionsgleichung der linearen Dehnungsverteilung:

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_c - \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{s1}}{d} * x$$

Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betons gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.1.7:

$$\sigma_c(x) = \begin{cases} f_{cd} * \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] & \text{für } 0 \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{c2} \\ f_{cd} & \text{für } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \end{cases}$$

Formeln der Integrationsgrenzen  $x_1$  und  $x_2$ :

$$x_1 = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{c2}}{\varepsilon_c - \varepsilon_{s1}} * d$$

$$x_2 = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \varepsilon_{s1}} * d$$

Allgemein gilt:

$$F_c = \int_0^{x_1} f_{cd} * b * dx + \int_{x_1}^{x_2} \sigma_c(x) * b * dx = b * \left( \int_0^{x_1} f_{cd} * dx + \int_{x_1}^{x_2} \sigma_c(x) * dx \right)$$

## 2.2 Hebelarm $x_{s,c}$

Allgemein gilt:

$$x_{s,c} = \frac{h}{2} - x'_{s,c}$$

Der Schwerpunkt der Betondruckkraft ab Oberkante (OK) des Querschnitts berechnet sich zu:

$$x'_{s,c} = \frac{\sum F_{ci} * x_{ci}}{F_c} = \frac{\int b * \sigma_c(x) * x * dx}{F_c} = \frac{b * (\int_0^{x_1} f_{cd} * x * dx + \int_{x_1}^{x_2} \sigma_c(x) * x * dx)}{F_c}$$

### 3 Bewehrung

#### 3.1 Druck- / Zugkraft $F_s$

Die Dehnung  $\varepsilon_{s1}$  der untersten Bewehrungslage ist mit der Formel der Betondruckkraft  $F_c$  direkt verknüpft.

Die Dehnung jeder weiteren Bewehrungslage wird über die lineare Dehnungsverteilung in Abhängigkeit der Positionierung innerhalb des Querschnitts berechnet.

Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Baustahls gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.2.7:

$$\sigma_s = \begin{cases} \varepsilon_s * E_s & \text{für } 0 \leq \varepsilon_s < f_{yd}/E_s \\ f_{yd} & \text{für } f_{yd}/E_s \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{ud} \end{cases}$$

Die Kraft des Bewehrungsstahls berechnet sich zu:

$$F_s = A_s * \sigma_s$$

#### 3.2 Hebelarm $x_{s,s}$

Der Hebelarm der untersten Bewehrungslage bezogen auf die QS-Schwerachse berechnet sich zu:

$$x_{s,s1} = d_1 - \frac{h}{2}$$

mit:

$d_1$  - Lage der Bewehrung ab Unterkante (UK) des Querschnitts

Der Hebelarm der obersten Bewehrungslage bezogen auf die QS-Schwerachse berechnet sich zu:

$$x_{s,s2} = \frac{h}{2} - d_2$$

mit:

$d_2$  - Lage der Bewehrung ab Oberkante (OK) des Querschnitts

## 4 Spannstahl

### 4.1 Druck- / Zugkraft $F_p$

#### 4.1.1 Verbundlose Vorspannung

Bei verbundloser Vorspannung leistet der Spannstahl keinen Beitrag zur Tragfähigkeit des Querschnitts. Durch die Aufbringung einer Spannkraft entstehen lediglich äußere Kräfte.

Die Spannstahldehnung infolge Aufbringung einer Vorspannkraft berechnet sich zu:

$$\varepsilon_p^{(0)} = \frac{(P/A_p)}{E_p}$$

mit:  $P$  - Vorspannkraft  
 $A_p$  - Querschnittsfläche des Spannstahls  
 $E_p$  - E-Modul des Spannstahls

#### 4.1.2 Spannglied im Verbund

Die Anfangsdehnung des Spannglieds wird analog der Verbundlosen Vorspannung berechnet. In Abhängigkeit der Positionierung des Spannglieds ergibt sich eine Zusatzdehnung  $\Delta\varepsilon_p$  infolge linearer Dehnungsverteilung über die Höhe des Betonquerschnitts.

Die Gesamtdehnung des Spannglieds berechnet sich zu:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p^{(0)} + \Delta\varepsilon_p$$

Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Spannstahls gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.3.6:

$$\sigma_p = \begin{cases} \varepsilon_p * E_p & \text{für } 0 \leq \varepsilon_p < f_{pd}/E_p \\ f_{pd} & \text{für } f_{pd}/E_p \leq \varepsilon_p \leq \varepsilon_{ud} \end{cases}$$

### 4.2 Hebelarm $x_{s,p}$

Der Hebelarm des Spannglieds bezogen auf die QS-Schwerachse berechnet sich zu:

$$x_{s,p} = d_p - \frac{h}{2}$$

mit:

$d_p$  - Lage des Spannglieds ab Unterkante (UK) des Querschnitts

## 5 Materialkennwerte

### 5.1 Beton

Festigkeits- und Formänderungskennwerte für Beton gemäß DIN EN 1992-1-1, Kapitel 3.1.3, Tabelle 3.1:

		C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$\epsilon_{c2}$	[‰]	2,0								
$\epsilon_{cu2}$	[‰]	3,5								
n	-	2,0								

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 3.1.6, Abs. (1):

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

mit:  $\gamma_c$  - Teilsicherheitsbeiwert für Beton  
 $\alpha_{cc}$  - Beiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen

Gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 2.4.2.4, Tab. 2.1N gilt:

$\gamma_c = 1,50$  (Bemessungssituation: *ständig und vorübergehend*)

Gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu Kap. 3.1.6 (1)P gilt:

$\alpha_{cc} = 0,85$

## 5.2 Bewehrung

			B500 A/B	
			DIN 488-1:2009-08	
Streckgrenze	$f_{yk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	500	
	$f_{yd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	434,8	(= $f_{yk}/\gamma_s$ )
Fließdehnung	$\epsilon_{yk}$	[‰]	2,500	(= $1000 * f_{yk}/E_s$ )
	$\epsilon_{yd}$	[‰]	2,174	(= $1000 * f_{yd}/E_s$ )
Bruchdehnung	$\epsilon_u$	[‰]	25 / 50	
E-Modul	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	200 000	

Gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NCP zu 3.2.7 (2) ist die Bruchdehnung zu begrenzen auf:

$$\epsilon_{ud} = 0,025 = 25 \text{ ‰}$$

Bemessungswert der Stahlspannung:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

mit:

$\gamma_s$  - Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl

Gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 2.4.2.4, Tab. 2.1N gilt:

$\gamma_s = 1,15$  (Bemessungssituation: *ständig und vorübergehend*)

### 5.3 Spannstahl

#### 5.3.1 DIBt-Zulassungen – Übersicht

##### 5.3.1.1 Spannstahldraht (Z-12.2-...)

Zulassung	Gültig bis	Werkstoff	$f_{p0,1k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [‰]
Z-12.2-143	30.03.2026	St 1375/1570	1360	1570	196000	35
Z-12.2-144	30.03.2026				196000	
Z-12.2-127	02.11.2023				200000	
Z-12.2-120	02.09.2027				201000	
Z-12.2-80	02.09.2027				201000	
Z-12.2-83	02.11.2023				201000	
Z-12.2-112	21.01.2027				202000	
Z-12.2-140	06.01.2025				203300	
Z-12.2-13	02.06.2026				204000	
Z-12.2-41	02.11.2023				204000	
Z-12.2-27	02.08.2023	St 1470/1670	1420	1670	199000	35
Z-12.2-72	03.12.2026				199000	
Z-12.2-100	02.01.2028				202000	
Z-12.2-42	02.11.2023				202000	
Z-12.2-95	02.08.2025				202000	
Z-12.2-47	02.11.2023				203000	
Z-12.2-56	02.03.2025				204000	
Z-12.2-92	02.05.2025				204000	
Z-12.2-11	02.06.2026				207000	
Z-12.2-137	04.10.2023				207000	
Z-12.2-14	02.06.2026	208000				
Z-12.2-117	02.08.2027	St 1570/1770	1500	1770	199000	35
Z-12.2-50	02.11.2024				201000	
Z-12.2-35	02.03.2024				204000	
Z-12.2-48	02.11.2023				204000	
Z-12.2-145	19.05.2026				205000	
Z-12.2-134	22.10.2026				206000	
Z-12.2-12	02.06.2026				208000	
Z-12.2-124	11.08.2024				208000	
Z-12.2-141	03.05.2026	208000				

5.3.1.2 Spannstahllitzen (Z-12.3-...)

Zulassung	Gültig bis	Werkstoff	$f_{p0,1k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [%]
Z-12.3-139	02.07.2024	St 1570/1770	1500	1770	193000	35
Z-12.3-150	26.11.2026				193000	
Z-12.3-66	03.11.2025				194000	
Z-12.3-151	16.12.2027				195000	
Z-12.3-10	02.11.2023				195000	
Z-12.3-8	02.09.2023				196000	
Z-12.3-152	16.12.2027				197000	
Z-12.3-147	08.09.2025				198000	
Z-12.3-107	08.09.2025				198000	
Z-12.3-24	03.12.2023				199000	
Z-12.3-60	02.04.2025				199000	
Z-12.3-6	02.03.2026				200000	
Z-12.3-58	02.07.2024				203000	
Z-12.3-115	03.05.2027	St 1600/1820	1560	1820	197000	35
Z-12.3-125	02.10.2023	St 1660/1860	1600	1860	193000	
Z-12.3-84	02.09.2023				193000	
Z-12.3-91	02.07.2025				193000	
Z-12.3-109	02.11.2023				195000	
Z-12.3-101	02.01.2028				197000	
Z-12.3-153	16.12.2027				197000	
Z-12.3-88	03.12.2023				198000	
Z-12.3-146	03.12.2023				198000	
Z-12.3-128	29.01.2024				199000	
Z-12.3-113	16.03.2027				199000	
Z-12.3-116	03.06.2027				199000	
Z-12.3-111	17.08.2026				202000	

5.3.1.3 Spannstabstahl (Z-12.4-...)

Zulassung	Gültig bis	Werkstoff	$f_{p0,1k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_{uk}$ [%]
Z-12.4-138	09.09.2024	St 835/1030	835	1030	183000	35
Z-12.4-71	03.07.2026	St 950/1050	950	1050	204000	50
Z-12.4-148	31.12.2024				205000	
Z-12.4-26	03.09.2024				205000	

### 5.3.2 Zusammenfassung

	St 835/1030	St 950/1050	St 1375/1570	St 1470/1670	St 1570/1770	St 1600/1820	St 1660/1860
<b>f<sub>p0,1k</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	835	950	1360	1420	1500	1560	1600
<b>f<sub>pk</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	1030	1050	1570	1670	1770	1820	1860
<b>ε<sub>pk</sub></b> [‰]	1000 * f <sub>pk</sub> /E <sub>p</sub>						
<b>ε<sub>pd</sub></b> [‰]	1000 * f <sub>pd</sub> /E <sub>p</sub>						
<b>ε<sub>uk</sub></b> [‰]	35	50	35				
<b>ε<sub>ud</sub></b> [‰]	0,9 * ε <sub>uk</sub>						
<b>E<sub>p</sub></b> [N/mm <sup>2</sup> ]	183 000	193 000 ... 203 000 (Litzen) 196 000 ... 208 000 (Stäbe, Drähte)					

Bemessungswert der Stahlspannung gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 3.3.6, Abs. (6):

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s}$$

mit:

$\gamma_s$  - Teilsicherheitsbeiwert für Spannstahl

Gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 2.4.2.4, Tab. 2.1N gilt:

$\gamma_s = 1,15$  (Bemessungssituation: *ständig und vorübergehend*)

## 6 Dehnungen

### 6.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Die zulässigen Bruchdehnungen von Beton und Bewehrung werden vollständig ausgenutzt.

<b>Oben</b> [‰]	<b>Unten</b> [‰]	<b>Referenzierte QS-Höhe</b> [-]
-2,20	-2,20	h
-2,50	-1,33	h
-3,00	-0,67	h
- $\epsilon_{cu2}$	0,00	h
- $\epsilon_{cu2}$	0,00	(...)
- $\epsilon_{cu2}$	0,00	d
- $\epsilon_{cu2}$	$\epsilon_{yd}$	d
- $\epsilon_{cu2}$	$\epsilon_{ud}$	d
0,00	$\epsilon_{ud}$	d
$\epsilon_{ud}$	$\epsilon_{ud}$	d

(= Ende Zustand I)

(= Rissbildung)

(= Beginn Zustand II)

(= Fließdehnung der Zugbewehrung)

(= Bruchdehnung der Zugbewehrung)

### 6.2 Dekompression

Es treten keine Zugdehnungen im Querschnitt auf.

<b>Oben</b> [‰]	<b>Unten</b> [‰]	<b>Referenzierte QS-Höhe</b> [-]
-2,20	-2,20	h
-2,50	-1,33	h
-3,00	-0,67	h
- $\epsilon_{cu2}$	0,00	h
0,00	0,00	h

### 6.3 $\sigma_c < 0,45 \cdot f_{ck}$

Für die Gewährleistung eines linearen Kriechverhaltens wird die Spannung des Betons begrenzt.

Die Dehnung des Betons wird begrenzt auf:

$$\varepsilon_c = 1,0924 \text{ ‰}$$

Aus der Begrenzung der Betondehnung resultiert der Grenzwert der Betonspannung:

$$\sigma_c = \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} * f_{ck} * \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right]$$

$$\sigma_c = \frac{0,85}{1,5} * f_{ck} * \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1,0924 \text{ ‰}}{2,0 \text{ ‰}} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_c = 0,45 * f_{ck}$$

<b>Oben</b> [‰]	<b>Unten</b> [‰]	<b>Referenzierte QS-Höhe</b> [-]
-1,0924	-1,0924	h
-1,0924	-0,67	h
-1,0924	0,00	h
-1,0924	0,00	(...)
-1,0924	0,00	d
-1,0924	$\varepsilon_{yd}$	d
-1,0924	$\varepsilon_{ud}$	d
0,00	$\varepsilon_{ud}$	d
$\varepsilon_{ud}$	$\varepsilon_{ud}$	d

(= Ende Zustand I)

(= Rissbildung)

(= Beginn Zustand II)

(= Fließdehnung der Zugbewehrung)

(= Bruchdehnung der Zugbewehrung)

## 7 Grenzwerte

### 7.1 Allgemein

Das Programm richtet sich ausschließlich an fachkundige Ingenieure/-innen auf dem Gebiet des Stahlbetonbaus.

In einschlägigen Normen und Fachliteratur werden verschiedene Grenzwerte definiert, welche bei der Bemessung von Betonbauteilen einzuhalten sind.

Programmseitig erfolgt **keine** automatische Begrenzung maßgebender Kenngrößen. Die Einhaltung von zulässigen Grenzwerten muss durch den/die Nutzer/-in selbstständig und eigenverantwortlich überprüft werden.

Nachfolgend werden die Wesentlichen durch den Nutzer zu überprüfenden Grenzwerte vorgestellt.

### 7.2 Bewehrungsgrad $\rho$

Die im Querschnitt vorhandene Bewehrungsmenge muss begrenzt werden.

Der geometrische Bewehrungsgrad berechnet sich zu:

$$\rho = \frac{A_{s,vorh.}}{A_c}$$

Die insgesamt vorhandene Bewehrungsmenge berechnet sich zu:

$$A_{s,vorh.} = A_{s1} + A_{s2} + A_p$$

Gemäß DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, NDP zu 9.2.1.1 (3) gilt:

$$A_{s,max} = 0,08 * A_c$$

mit:

$A_{s,max}$  - max. zulässiger Stahlquerschnitt

$A_c$  - Fläche des Betonquerschnitts

Die maximal zulässige Bewehrungsmenge muss auch im Bereich von Übergreifungsstößen eingehalten werden.

Grenzwert	Bedeutung
$\rho > 0,04$	<i>Übergreifungsstöße staffeln oder als Schraubanschlüsse ausführen!</i>
$\rho > 0,08$	<i>Bewehrungsmenge reduzieren!</i>

### 7.3 Druckzonenhöhe $\xi$

Die Höhe der Druckzone des Betons muss begrenzt werden. Die bezogene Druckzonenhöhe  $\xi$  kann an jedem beliebigen Punkt der Interaktionskurve ausgelesen werden. Die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte gemäß nachfolgender Tabelle ist selbstständig und eigenverantwortlich zu überprüfen.

Die bezogene Druckzonenhöhe berechnet sich zu:

$$\xi = \frac{x}{d}$$

mit:

$x$  - Höhe der Betondruckzone

$d$  - Statische Nutzhöhe

$\xi_{lim}$	Bedeutung
0,617	Für statisch bestimmte Systeme (= „Balance-Punkt“)
0,450	Für statisch unbestimmte Systeme
0,250	Für zweiachsig gespannte Platten nach Plastizitätstheorie ohne Nachweis der Rotationsfähigkeit

## 7.4 Rissmoment $M_{cr}$

Das Rissmoment  $M_{cr}$  des Querschnitts kann als Lastpunkt auf der X-Achse des Interaktionsdiagramms dargestellt werden und berechnet sich zu:

$$M_{cr} = f_{ctm} * \frac{b * h^2}{6}$$

Bei Aufbringung einer Spannkraft müssen die daraus resultierenden Schnittgrößen  $N_P$  und  $M_P$  bei der Berechnung des Rissmoments berücksichtigt werden.

### Verbundlose Vorspannung:

Die Normalkraft  $N_P = P$  wird in der Berechnung des Rissmoments berücksichtigt und erzeugt eine Druckspannung, welche zusätzlich zur Zugfestigkeit des Betons überwunden werden muss.

Ohne Verbund zwischen Spannglied und Betonquerschnitt ist das Biegemoment  $M_P$  lediglich eine äußere Einwirkung, welche mit dem einwirkenden Moment  $M_{Ed}$  überlagert wird.

Das Rissmoment berechnet sich zu:

$$M_{cr} = \left( f_{ctm} + \frac{P}{A_c} \right) * \frac{b * h^2}{6}$$

### Spannglied im Verbund:

Spannglied und Betonquerschnitt sind im Verbund, das Biegemoment  $M_P$  wird bei der Berechnung des Rissmoments berücksichtigt.

Bei der Darstellung von Einwirkungen im Interaktionsdiagramm erfolgt keine Überlagerung mit den Schnittgrößen infolge aufgebrachtener Spannkraft, da diese bereits in den Betonquerschnitt übergehen.

Das Rissmoment berechnet sich zu:

$$M_{cr} = \left( f_{ctm} + \frac{P}{A_c} \right) * \frac{b * h^2}{6} - M_P$$

Die mittlere Zugfestigkeit des Betons ergibt sich gemäß DIN EN 1992-1-1, Kapitel 3.1.3, Tabelle 3.1 zu:

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$$

Die Bewehrung ist durch den Nutzer des Programms so festzulegen, dass die Interaktionskurve den Lastpunkt des Rissmoments umschließt.

## 7.5 Vorspannung

### 7.5.1 Anfangsdehnung $\varepsilon_p^{(0)}$

Die Anfangsdehnung  $\varepsilon_p^{(0)}$  des Spannstahls infolge aufgebrachter Vorspannkraft P ist zu begrenzen.

Grenzwert der Anfangsdehnung ist die Fließdehnung des Spannstahls:

$$\varepsilon_p^{(0)} \leq \varepsilon_{pd} = \frac{f_{pd}}{E_p}$$

### 7.5.2 Gesamtdehnung $\varepsilon_p$

Die Gesamtdehnung  $\varepsilon_p$  des Spannstahls ist entlang der Interaktionskurve für die gewünschte Normalkraft selbstständig auszulesen und eigenverantwortlich zu begrenzen.

Grenzwert der Gesamtdehnung ist die Bruchdehnung des Spannstahls:

$$\varepsilon_p \leq \varepsilon_{ud} = 0,9 * \varepsilon_{uk}$$

### 7.5.3 Spannung $\sigma_p$

Die Spannung  $\sigma_p$  im Spannstahl infolge aufgebrachter Vorspannkraft P ist zu begrenzen.

$$\sigma_p = \frac{P}{A_p} \leq \begin{cases} \sigma_{pm0} \\ \sigma_{p,max} \end{cases}$$

Für die Spannung im Spannglied unmittelbar nach dem Vorspannen oder der Spannkraftübertragung gilt gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 5.10.3 (2):

$$\sigma_{pm0} = \min\{0,75 * f_{pk}; 0,85 * f_{p0,1k}\}$$

Für die max. Spannung im Spannglied während des Spannvorgangs gilt gemäß DIN EN 1992-1-1, Kap. 5.10.2.1 (1):

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,80 * f_{pk}; 0,90 * f_{p0,1k}\}$$