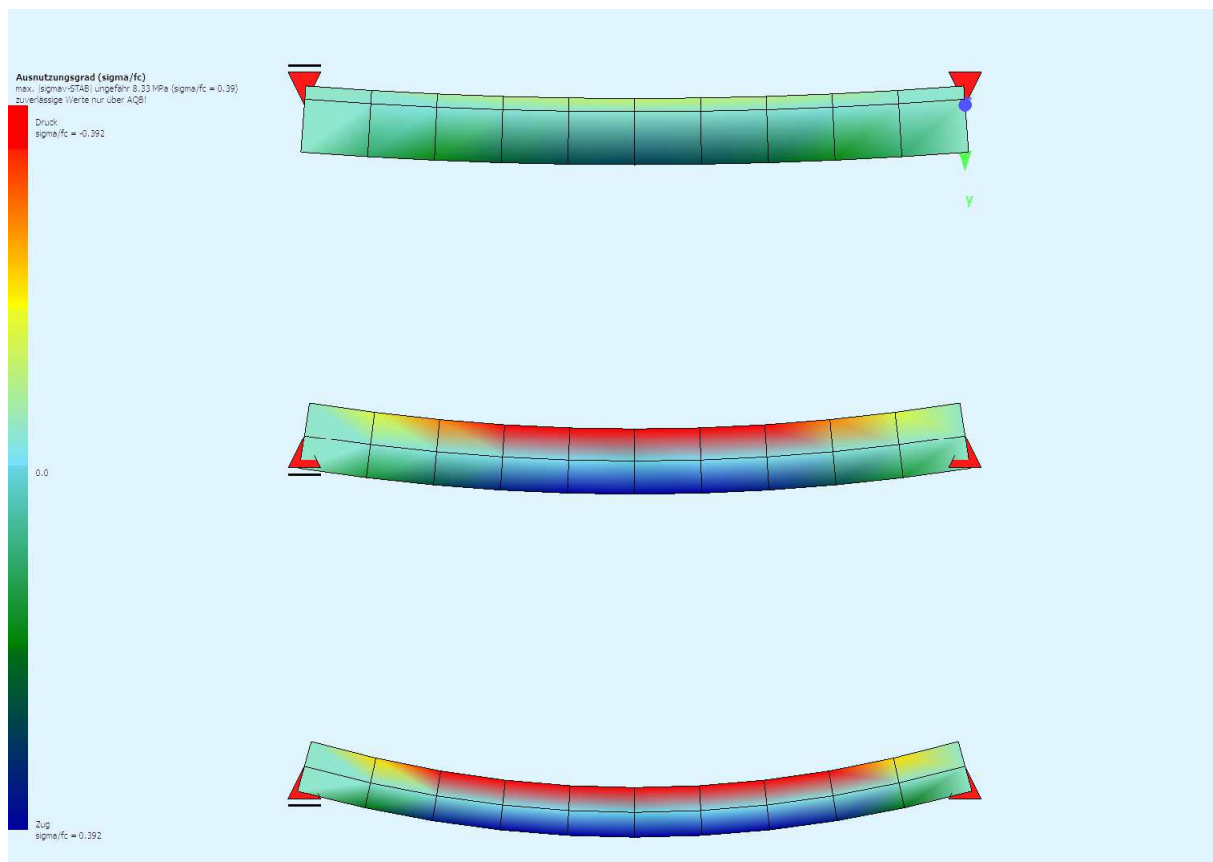


Normenbeispiel

Nachweis GZG gemäß DIN 1045-1 (06-2008)



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	3
2	System + Belastung	3
2.1	Querschnitte	3
2.2	Bemessungsschnittgrößen:.....	5
2.3	Nachweise im Gebrauchzustand (GZG).....	5
3	Nachweise GZG – Biegung	6
3.1	Begrenzung der Spannungen (Kapitel 11.1)	6
3.1.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	6
3.1.2	Handrechnung	6
3.1.3	CADINP Eingabe	6
3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissweite (Kapitel 11.2.2).....	7
3.2.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	7
3.2.2	Handrechnung	7
3.2.3	CADINP Eingabe	10
3.3	Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung (Kapitel 11.2.3).....	11
3.3.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	11
3.3.2	Handrechnung	11
3.3.3	CADINP Eingabe	12
3.4	Berechnung der Rissweite (Kapitel 11.2.4)	13
3.4.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	13
3.4.2	Handrechnung	13
3.4.3	CADINP Eingabe	15
4	Nachweise GZG – Biegung + Längskraft.....	16
4.1	Begrenzung der Spannungen (Kapitel 11.1)	16
4.1.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	16
4.1.2	Handrechnung	16
4.1.3	CADINP Eingabe	16
4.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissweite (Kapitel 11.2.2).....	17
4.2.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	17
4.2.2	Handrechnung	17
4.2.3	CADINP Eingabe	20
4.3	Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung (Kapitel 11.2.3).....	21
4.3.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	21
4.3.2	Handrechnung	21

4.3.3	CADINP Eingabe	21
4.4	Berechnung der Rissweite (Kapitel 11.2.4)	23
4.4.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	23
4.4.2	Handrechnung	23
4.4.3	CADINP Eingabe	24
5	Mindestbewehrung (Kapitel 13.1.1)	25
5.1	Ergebnisse der Bemessung mit AQB	25
5.2	Handrechnung	25
5.3	CADINP Eingabe	26

1 Einführung

Nachfolgend werden alle notwendigen Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit (GZG) gemäß DIN 1045-1 (Ausgabe 06/2008) am Beispiel von 3 unterschiedlichen Querschnitten durchgeführt. Die durch das Programm berechneten Ergebnisse werden mittels einer Handrechnung überprüft. Die Nachweise werden an einzelnen Stabschnitten mit vorgegebenen Bemessungsschnittgrößen durchgeführt.

2 System + Belastung

2.1 Querschnitte

Es werden drei unterschiedliche Querschnitte untersucht:

Querschnitt 1: Plattenbalken mit 1,00 m Bauhöhe, 2,00 m Flanschbreite, 20 cm Flanschdicke und 30 cm Stegdicke.
Beton: C 25/30
Bewehrungsstahl: BSt 500 S
Mindestbewehrung: oben 2 Ø12 → 2,26 cm²
unten 6 Ø20 → 18,80 cm²

Querschnitt 2: Recheckquerschnitt mit 1,00 m Bauhöhe und 30 cm Stegbreite
Beton: C 25/30
Bewehrungsstahl: BSt 500 S
Mindestbewehrung: oben 2 Ø12 → 2,26 cm²
unten 5 Ø25 → 24,50 cm²

Querschnitt 3: Recheckquerschnitt mit 0,75 m Bauhöhe und 40 cm Stegbreite
Beton: C 25/30
Bewehrungsstahl: BSt 500 S
Mindestbewehrung: oben 2 Ø12 → 2,26 cm²
unten 7 Ø25 → 24,40 cm²

Als Belastung wird eine ständige Last in Höhe von 25 kN/m und eine Verkehrslast in Höhe von 20 kN/m aufgebracht.

Die Rissweite wird mit $w_k=0.3 \text{ mm}$ vorgegeben.



Die Eingabe erfolgt ausschließlich auf numerischer Basis mit der CADINP Eingabesprache im TEDDY

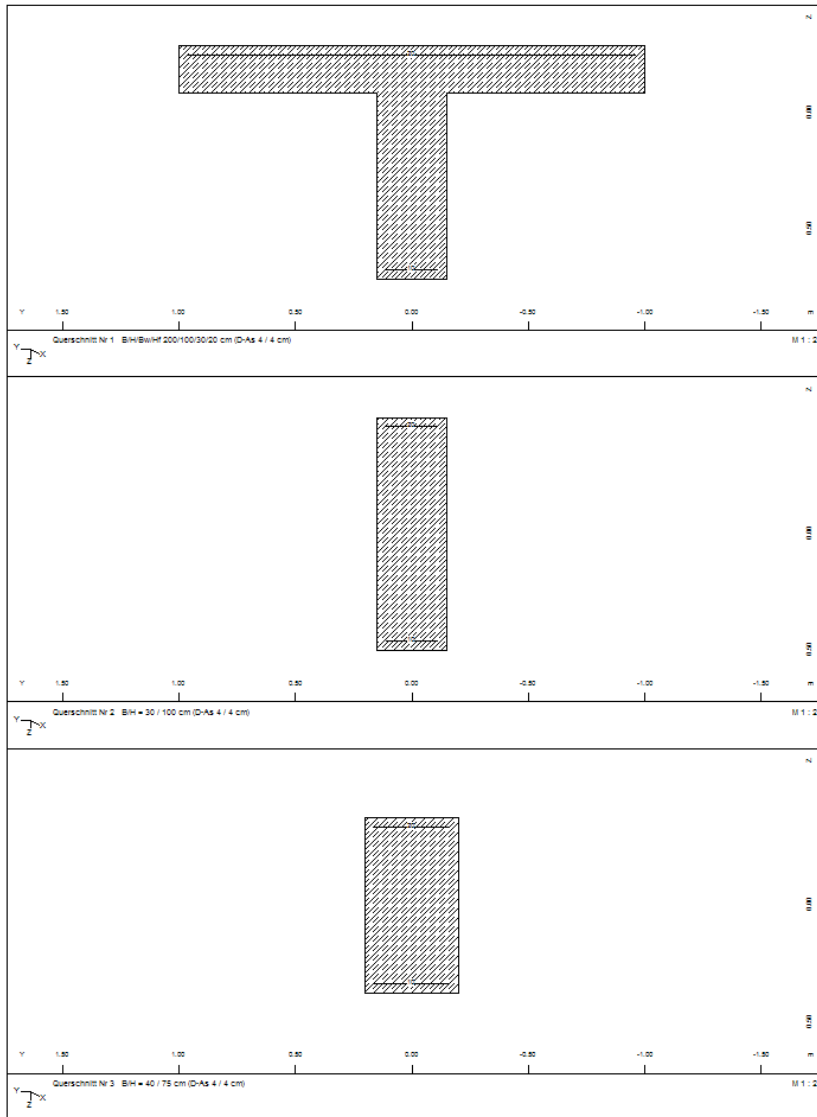


Abbildung 1: Querschnitte

Querschnittswerte Übersicht

Nr.	Mat	A[m ²]	Ay/Az/Ayz	Iy/Iz/Iyz	ys/zs	y/z-smp	E/G-Modul	gam
	MBw	It[m ⁴]	[m ²]	[m ⁴]	[m]	[m]	[MPa]	[kN/m]
1	=	B/H/Bw/Hf 200/100/30/20 cm						
(CENT)	=	(D-As 4 / 4 cm)						
	1	6.4000E-01		5.163E-02	0.000	0.000	26663	16.00
	2	1.112E-02		1.351E-01	0.000	-0.175	11109	
2	=	B/H = 30 / 100 cm						
(CENT)	=	(D-As 4 / 4 cm)						
	1	3.0000E-01		2.500E-02	0.000	0.000	26663	7.50
	2	7.263E-03		2.250E-03	0.000	0.000	11109	
3	=	B/H = 40 / 75 cm						
(CENT)	=	(D-As 4 / 4 cm)						
	1	3.0000E-01		1.406E-02	0.000	0.000	26663	7.50
	2	1.060E-02		4.000E-03	0.000	0.000	11109	

Tabelle 1: Querschnittswerte

2.2 Bemessungsschnittgrößen:

Die Nachweise werden auf Basis von vorgegebenen Schnittgrößen (Satz S) im Programm AQB geführt. In Feldmitte eines 10 m langen Einfeldträgers ergibt sich mit 1,0 fachen Sicherheiten nachfolgendes Moment:

$$\text{Biegung ohne Längskraft} \quad M_y = (1,00 \cdot 25 + 1,00 \cdot 20) \cdot \frac{10^2}{8} = 562,50 \text{ kNm}$$

$$\text{Biegung mit Längskraft} \quad N = +300 \text{ kN}, M_y = 562,50 \text{ kNm}$$

2.3 Nachweise im Gebrauchszustand (GZG)

Folgende Nachweise werden in diesem Beispiel geführt

- Begrenzung der Spannungen nach Kapitel 11.1
- Begrenzung der Rissbreite nach Kapitel 11.2
 - Mindestbewehrung nach Kapitel 11.2.2
 - Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung nach Kapitel 11.2.3
 - Berechnung der Rissbreite nach Kapitel 11.2.4
- Mindestbewehrung nach Kapitel 13.1.1

3 Nachweise GZG – Biegung

Die zugehörigen Eingaben sind in der Datei „gebrauch_b_din1045-1.dat“ zusammengestellt.

3.1 Begrenzung der Spannungen (Kapitel 11.1)

3.1.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand										
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o [o/o]	ky/kz [1/km]	Ni/Vi [kN]	Myi/Mzi [kNm]	sig-c [MPa]	sig-t [MPa]	sig- [MPa]
1001	0.000	1	0	0.347	1.889	0.0	562.51	-5.70		323.45
2001	0.000	2	0	0.431	1.942	0.0	562.50	-14.36		264.84
3001	0.000	3	0	0.373	2.766	-0.1	562.51	-17.06		260.02

Parameter nichtlineare Spannungen/Rissweite DIN 1045-1 (neu)									
MNr	sig-comp [MPa] [o/o]		sig-tens [MPa] [o/o]		nom. Rissweiten [mm]	Verbund [mm]	Last [-]	h-max [m]	
1	-17.06	113.8	0.00	100.0					
2	-110.66	27.66	323.45	80.86	0.300	0.300	0.80	0.25	0.800

3.1.2 Handrechnung

Die nichtlinearen Dehnungsverteilungen ergeben als maximale Betondruckspannung einen Wert von 18,23 MPa und eine maximale Betonstahlspannung von 322,87 MPa.

In Bezug auf die zulässigen Spannungen ergeben sich Ausnutzungsgrade in [%] von:

$$\frac{17,06}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{17,06}{0,6 \cdot 25} = 113,73\% \text{ für die Betondruckspannung } \nrightarrow$$

$$\frac{323,45}{0,8 \cdot f_{yk}} = \frac{323,45}{0,8 \cdot 500} = 80,86\% \text{ für die Betonstahlspannung}$$



In diesem Fall ist die Betondruckspannung mit 60% f_{ck} nicht eingehalten!

3.1.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb $Begrenzung der Spannungen urs:6
kopf Begrenzung der Spannungen
echo voll nein
echo schn,dehn,ausn ja
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 2 2001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 3 3001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
$ CHKC -0.6 --> Obergrenze Betondruckspannung = 60% fck
$ CHKS 0.8 --> Obergrenze Stahlspannung = 80% fyk
Dehn S0 rw 0.3 chkc -0.6 chks 0.8 ksv sl ksb sl
ende
```

3.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissweite (Kapitel 11.2.2)

3.2.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Spannungen [MPa]			LF	M	A	sig-	sig+	tau	sig-I	sig-II	sig-v
Stab	x[m]	NQ									
1001	0.000	1	0	1		-3.13	7.76	0.00	0.00	0.00	0.00
			Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)								
			zentr. Spannung 0.00 [MPa]								
			Betonzugfestigkeit 3.00 [MPa]								
			Fläche der Zugzone 0.2138 [m2]								
			Nachweisdurchmesser 20 [mm]								
			Stahlspannung Tab.20 232.38 [MPa]								
			Effektive Dicke d0 1.000 [m]								
			zentr. Spannung bv 0.00 [MPa]								
			Beiwert k = 0.800								
			Beiwert k1 = 1.500								
			Beiwert kc = 0.400								
			Erforderl. Bewehrung 8.83 [cm2]								
			Anteil Bewehrung R 1 18.80 (18.80)								
			Anteil Bewehrung R 2 0.00 (2.26)								
2001	0.000	2	0	1		-11.25	11.25	0.00	0.00	0.00	0.00
			Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)								
			zentr. Spannung 0.00 [MPa]								
			Betonzugfestigkeit 3.00 [MPa]								
			Fläche der Zugzone 0.1500 [m2]								
			Nachweisdurchmesser 25 [mm]								
			Stahlspannung Tab.20 207.85 [MPa]								
			Effektive Dicke d0 1.000 [m]								
			zentr. Spannung bv 0.00 [MPa]								
			Beiwert k = 0.800								
			Beiwert k1 = 1.500								
			Beiwert kc = 0.400								
			Erforderl. Bewehrung 6.93 [cm2]								
			Anteil Bewehrung R 1 24.50 (24.50)								
			Anteil Bewehrung R 2 0.00 (2.26)								
3001	0.000	3	0	1		-15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)								
			zentr. Spannung 0.00 [MPa]								
			Betonzugfestigkeit 3.00 [MPa]								
			Fläche der Zugzone 0.1500 [m2]								
			Nachweisdurchmesser 25 [mm]								
			Stahlspannung Tab.20 207.85 [MPa]								
			Effektive Dicke d0 0.750 [m]								
			zentr. Spannung bv 0.00 [MPa]								
			Beiwert k = 0.740								
			Beiwert k1 = 1.500								
			Beiwert kc = 0.400								
			Erforderl. Bewehrung 6.41 [cm2]								
			Anteil Bewehrung R 1 34.40 (34.40)								
			Anteil Bewehrung R 2 0.00 (2.26)								

3.2.2 Handrechnung

Querschnitt 1:

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \quad (\text{Gl. 127})$$

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad (\text{Gl. 128})$$

$$k_1 = 1,5 \cdot \frac{h'}{h} = 1,5 \cdot \frac{1,0m}{1,0m} = 1,5 \text{ mit } h' = h = 1,0m \text{ für } h \geq 1,0m$$

$$k = 0,8 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 1000mm \\ \text{Breite} = 300mm \end{array} \right\} = 300mm$$

$$f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,3 \cdot 25^{(2/3)} = 2,565MPa \geq 3,00MPa$$

Rissbreite $w_k = 0.3mm$, Grenzdurchmesser $d_s = 20mm$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich

$$\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{d_s^*}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0.3}{20}} = 232,38MPa$$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 235MPa$

Es liegen keine Normalspannungen vor, daher ist $\sigma_c = 0,00MPa$

Zur Berechnung der Fläche der Betonzugzone wird ein Zugkeil der Spannungen unter der Einwirkungskombination untersucht, bei dem gerade die Zugfestigkeit erreicht wird. Bei reiner Biegung ist die Höhe der Zugzone gleich dem Abstand des Schwerpunktes zum unteren Rand.

$$A_{ct} = h_{eff} \cdot b = 0,7125 \cdot 0,3 = 0,2138m^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 3,00MPa \cdot \frac{0,2138m^2}{232,380MPa} \cdot 10^4 \frac{cm^2}{m^2} = 8,83cm^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 235,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 8,73cm^2$

Querschnitt 2:

$$k_1 = 1,5 \cdot \frac{h'}{h} = 1,5 \cdot \frac{1,0m}{1,0m} = 1,5 \text{ mit } h' = h = 1,0m \text{ für } h \geq 1,0m$$

$$k = 0,8 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 1000mm \\ \text{Breite} = 300mm \end{array} \right\} = 300mm$$

Rissbreite $w_k = 0.3mm$, Grenzdurchmesser $d_s = 25mm$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich

$$\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{d_s^*}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0.3}{25}} = 207,84MPa$$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 210\text{MPa}$

Es liegen keine Normalspannungen vor, daher ist $\sigma_c = 0,00\text{MPa}$

Die Höhe der Zugzone ermittelt sich zu

$$A_{ct} = h_{eff} \cdot b = 0,5 \cdot h \cdot b = 0,50 \cdot 1,00 \cdot 0,3 = 0,15\text{m}^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 3,00\text{MPa} \cdot \frac{0,15\text{m}^2}{207,84\text{MPa}} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 6,93\text{cm}^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 210,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 6,87\text{cm}^2$

Querschnitt 3:

$$k_1 = 1,5 \cdot \frac{h'}{h} = 1,5 \cdot \frac{0,75\text{m}}{0,75\text{m}} = 1,5 \quad \text{mit } h' = h = 0,75\text{m} \text{ für } h < 1,0\text{m}$$

$$k = 0,74 \quad \text{interpoliert zwischen } 0,8 \text{ und } 0,5 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 750\text{mm} \\ \text{Breite} = 400\text{mm} \end{array} \right\} = 400\text{mm}$$

Rissbreite $w_k = 0,3\text{mm}$, Grenzdurchmesser $d_s = 25\text{mm}$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich $\sigma_s = 207,84\text{MPa}$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 210\text{MPa}$!

Es liegen keine Normalspannungen vor, daher ist $\sigma_c = 0,00\text{MPa}$

Die Höhe der Zugzone ermittelt sich zu

$$A_{ct} = h_{eff} \cdot b = 0,5 \cdot h \cdot b = 0,50 \cdot 0,75 \cdot 0,4 = 0,15\text{m}^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,4 \cdot 0,74 \cdot 3,00\text{MPa} \cdot \frac{0,15\text{m}^2}{207,84\text{MPa}} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 6,41\text{cm}^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 210,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 6,34\text{cm}^2$

	Vergleich AQB-Ergebnisse und Handrechnung.	
	AQB [cm ²]	Handrechnung [cm ²]
Quer 1	8,83	8,83 (8,73)
Quer 2	6,93	6,93 (6,87)
Quer 3	6,41	6,41 (6,34)

3.2.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb
kopf Mindestbewehrung 11.2.2
echo voll ja
ECHO riss voll
$ Bemessungsmoment als Variable #my in Datenbasis speichern
sto#l 10.0 $ Spannweite
sto#g 25.0 $ ständige Last kN/m
sto#p 20.0 $ veränderliche Last kN/m
sto#my (1.00*#g+1.00*#p)*#l*#l/8
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 2 2001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 3 3001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
bew bmod einz LFB 1 $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
Span E RL SD 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.2 : Mindestbewehrung
ende
```

3.3 Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung (Kapitel 11.2.3)

3.3.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand										
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o [o/oo]	ky/kz [1/km]	x [m]	zn/yn [m]	Ni/Vi [kN]	Myi/Mzi [kNm]	Ey/Ez/G-EFF [MPa]
1001	0.000	1	0	0.347	1.889	0.104-0.184		0.0	562.51	5767
				----- D[mm] w[mm] sig[MPa] ssr[MPa] As-eff[cm2]						
				Zugzone h	0.160	20.0	0.30	323.45	477.54	18.80
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
2001	0.000	2	0	0.431	1.942	0.278-0.222		0.0	562.50	11587
				----- D[mm] w[mm] sig[MPa] ssr[MPa] As-eff[cm2]						
				Zugzone h	0.160	25.0	0.30	264.84	441.21	24.50
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
3001	0.000	3	0	0.373	2.766	0.240-0.135		-0.1	562.51	14460
				----- D[mm] w[mm] sig[MPa] ssr[MPa] As-eff[cm2]						
				Zugzone h	0.160	25.0	0.30	260.02	448.63	34.40
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						

3.3.2 Handrechnung

Die Ermittlung der zulässigen Stahlspannungen darf gemäß DIN nach Tabelle 20 oder Tabelle 21 durchgeführt werden.

Beim Nachweis über den Grenzdurchmesser nach Tabelle 20 darf der Grenzdurchmesser in Abhängigkeit der Bauteilhöhe und muss in Abhängigkeit der wirksamen Betonzugfestigkeit modifiziert werden, Formel 131. Dies wird im Programm AQB nun wie folgt umgesetzt.

Im Querschnitt sind die Durchmesser der Bewehrung vorgegeben. Damit wird dann die Formel 131 zurückgerechnet und eine zulässige Spannung ermittelt. Dies ist der Wert ssr.

Nun wird eine Dehnungsverteilung unter den Gebrauchsschnittgrößen derart gesucht, dass die Stahlspannung maximal gleich der Rissspannung ssr ist.

Sollte die Stahlspannung größer werden, so wird die Bewehrung so lange erhöht, bis der maximale Wert eingehalten ist.

Im Einzelnen sind dies für:

Querschnitt 1, b = 30 cm, w_k = 0,3 mm, Ø = 20 mm,

$$d_s = 20\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{323,45\text{MPa} \cdot 18,80\text{cm}^2}{4 \cdot (100-96)\text{cm} \cdot 30\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 4,223$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{20\text{mm}}{4,223} = 4,736\text{mm}$$

$$\text{Nach Tabelle 20 ist } \sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{4,736}} = 477,53\text{MPa} = \text{ssr}$$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,347 + 1,889 \cdot (0,7125 - 0,04) = 1,617 \rightarrow \sigma_s = 0,001617 \cdot 200.000 = 323,47\text{MPa}$$

Querschnitt 2, $b = 30 \text{ cm}$, $w_k = 0,3 \text{ mm}$, $\varnothing = 25 \text{ mm}$

$$d_s = 25\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{264,84\text{MPa} \cdot 24,50\text{cm}^2}{4 \cdot (100-96)\text{cm} \cdot 30\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 4,506$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{25\text{mm}}{4,506} = 5,548\text{mm}$$

$$\text{Nach Tabelle 20 ist } \sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{5,548}} = 441,21\text{MPa} = \text{ssr}$$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,431 + 1,942 \cdot (0,50 - 0,04) = 1,324 \rightarrow \sigma_s = 0,001324 \cdot 200.000 = 264,86\text{MPa}$$

Querschnitt 3, $b = 40 \text{ cm}$, $w_k = 0,3 \text{ mm}$, $\varnothing = 25 \text{ mm}$

$$d_s = 25\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{260,02\text{MPa} \cdot 34,40\text{cm}^2}{4 \cdot (75-71)\text{cm} \cdot 40\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 4,659$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{25\text{mm}}{4,659} = 5,366\text{mm}$$

$$\text{Nach Tabelle 20 ist } \sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{5,366}} = 448,62\text{MPa} = \text{ssr}$$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,373 + 2,766 \cdot (0,375 - 0,04) = 1,30 \rightarrow \sigma_s = 0,001300 \cdot 200.000 = 260,00\text{MPa}$$

3.3.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:3
kopf Begrenzung der Rissbreite 11.2.3
echo voll nein
ECHO riss extr
txa Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung nach Kapitel 11.2.3
txa Nachweis über Grenzdurchmesser und Stahlspannung nach Tabelle 20
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 2 2001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 3 3001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
bew bmod einz LFB 2 $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
DEHN S0 RISS tab RW 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.3
$ Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite
ende
```

3.4 Berechnung der Rissweite (Kapitel 11.2.4)

3.4.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand												
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o	ky/kz	x	zn/yn	Ni/Vi	Myi/Mzi	Ey/Ez/G-EFF		
				[o/oo]	[1/km]	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]		
1001	0.000	1	0	0.347	1.889	0.104-0.184		0.0	562.51	5767		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.130	20.0	0.13	323.45	106.88	18.80
---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten												
2001	0.000	2	0	0.431	1.942	0.278-0.222		0.0	562.50	11587		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.130	25.0	0.10	264.84	60.38	24.50
---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten												
3001	0.000	3	0	0.373	2.766	0.240-0.135		-0.1	562.51	14460		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.117	25.0	0.10	260.02	44.46	34.40
---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten												

3.4.2 Handrechnung

Für den Rechenwert der Rissbreite gilt: $w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (Gl. 135)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.000}{26.663} = 7,501 \quad \text{Verhältnis der E-Moduln}$$

Für die effektive Betonfläche wird der Ansatz nach Bild 53 für die Höhe der Zugzone verwendet.

DIN 1045-1:2008-08

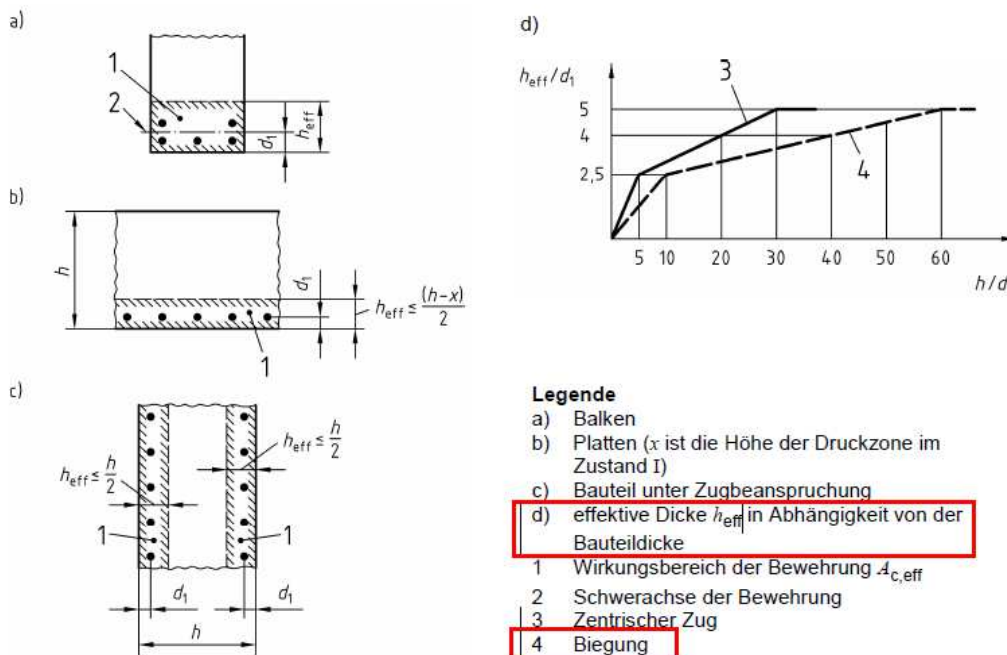


Bild 53 — Wirkungsbereich $A_{c,eff}$ der Bewehrung

$$\frac{h}{d_1} = \begin{cases} 25,00 \\ 25,00 \\ 28,75 \end{cases} \rightarrow \frac{h_{eff}}{d_1} = \begin{cases} 3,25 \\ 3,25 \\ 2,938 \end{cases} \rightarrow A_{c,eff} = h_{eff} \cdot b = \begin{cases} 3,25 \cdot 4 \cdot 30 = 13 \cdot 30 = 390cm^2 \\ 3,25 \cdot 4 \cdot 30 = 13 \cdot 30 = 390cm^2 \\ 2,938 \cdot 4 \cdot 40 = 11,75 \cdot 40 = 470cm^2 \end{cases}$$

$$eff\rho = (A_s + \xi_1^2 \cdot A_p) / A_{c,eff} = \begin{cases} 18,80cm^2 / 390cm^2 = 0,04821 \dots QNR1 \\ 24,50cm^2 / 390cm^2 = 0,06282 \dots QNR2 \\ 34,40cm^2 / 470cm^2 = 0,07319 \dots QNR3 \end{cases}$$

mit $A_p = 0,00cm^2$ Fläche Spannstahl

$f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 2,565MPa \geq 3,00MPa$ wirksame Betonzugfestigkeit

$$\sigma_s = \begin{cases} 323,45 \\ 264,84 MPa \dots \dots \dots \text{Stahlspannung aus der Dehnungsermittlung in AQB} \\ 260,02 \end{cases}$$

Die Differenz der mittleren Dehnungen von Beton und Betonstahl ergibt sich zu:


$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{eff\rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot eff\rho)}{E_s} = \begin{cases} 1,4477 \cdot 10^{-3} \\ 1,2463 \cdot 10^{-3} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \\ 1,2258 \cdot 10^{-3} \end{cases} = \begin{cases} 0,9704 \cdot 10^{-3} \\ 0,7945 \cdot 10^{-3} \\ 0,7801 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

Der maximale Rissabstand wird nach GL. 137 berechnet.

$$s_{r,max} = \frac{d_s}{3,6 \cdot eff\rho} = \begin{cases} \frac{20}{3,6 \cdot 0,04821} = 115,237 \\ \frac{25}{3,6 \cdot 0,06282} = 110,545 \\ \frac{25}{3,6 \cdot 0,07319} = 94,882 \end{cases} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,6 \cdot f_{ct,eff}} = \begin{cases} \frac{323,45 \cdot 20}{3,6 \cdot 3,00} = 598,9mm \\ \frac{264,84 \cdot 25}{3,6 \cdot 3,00} = 613,1mm \\ \frac{260,02 \cdot 25}{3,6 \cdot 3,00} = 601,9mm \end{cases}$$

Damit ergeben sich rechnerische Rissweiten von

$$w_k = \begin{cases} 115,237 \cdot 1,4477 \cdot 10^{-3} = 0,166 \dots QNR1 \\ 110,545 \cdot 1,2463 \cdot 10^{-3} = 0,137 \dots QNR2 < 0,30mm \rightarrow \text{Nachweise erfüllt.} \\ 94,882 \cdot 1,2258 \cdot 10^{-3} = 0,116 \dots QNR3 \end{cases}$$

	Vergleich AQB-Ergebnisse und Handrechnung.	
	Die Rissweite $w_k=0.3$ mm ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten	
	AQB [mm]	Handrechnung [mm]
Quer 1	0,17	0,166
Quer 2	0,13	0,137
Quer 3	0,11	0,116

3.4.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:4
kopf Begrenzung der Rissbreite 11.2.4
echo voll nein
ECHO riss extr

$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 2 2001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
S 3 3001 0.0 N 0 VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ 0
bew bmod einz LFB 3      $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
DEHN S0 RISS DIN RW 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.4
                        $ Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite
ende
```


4 Nachweise GZG – Biegung + Längskraft

Die zugehörigen Eingaben sind in der Datei „gebrauch_b_din1045-1.dat“ zusammengestellt.

4.1 Begrenzung der Spannungen (Kapitel 11.1)

4.1.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand										
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o	ky/kz	Ni/Vi	Myi/Mzi	sig-c	sig-t	sig-
				[o/oo]	[1/km]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1101	0.000	1	0	0.432	2.072	300.0	562.52	-4.79		365.16
2101	0.000	2	0	0.596	2.164	300.0	562.50	-13.12		318.26
3101	0.000	3	0	0.495	2.955	300.0	562.50	-15.97		297.06

Parameter nichtlineare Spannungen/Rissweite DIN 1045-1 (neu)										
MNr	sig-comp	sig-tens	nom. Rissweiten	Verbund	Last	h-max				
	[MPa] [o/o]	[MPa] [o/o]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[m]			
1	-15.97 106.5	0.00 100.0								
2	-98.91 24.73	365.16 91.29	0.300	0.300	0.80	0.25	0.800			

4.1.2 Handrechnung

Die nichtlinearen Dehnungsverteilungen ergeben als maximale Betondruckspannung einen Wert von 15,97 MPa und eine maximale Betonstahlspannung von 365,16 MPa.

In Bezug auf die zulässigen Spannungen ergeben sich Ausnutzungsgrade in [%] von:

$$\frac{15,97}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{15,97}{0,6 \cdot 25} = 106,47\% \text{ für die Betondruckspannung } \nrightarrow$$

$$\frac{365,16}{0,8 \cdot f_{yk}} = \frac{365,16}{0,8 \cdot 500} = 91,29\% \text{ für die Betonstahlspannung}$$



In diesem Fall ist die Betondruckspannung mit 60% f_{ck} nicht eingehalten!

4.1.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb $Begrenzung der Spannungen urs:8
kopf Begrenzung der Spannungen
echo voll nein
echo schn,dehn,ausn ja
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 2 2101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 3 3101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
$ CHKC -0.6 --> Obergrenze Betondruckspannung = 60% fck
$ CHKS 0.8 --> Obergrenze Stahlspannung = 80% fyk
Dehn S0 rw 0.3 chkc -0.6 chks 0.8 ksv sl ksb sl
ende
```

4.2 Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissweite (Kapitel 11.2.2)

4.2.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Spannungen [MPa]											
Stab	x[m]	NQ	LF	M	A	sig-	sig+	tau	sig-I	sig-II	sig-v
1101	0.000	1	0	1		-2.66	8.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)											
zentr. Spannung										0.30 [mm]	
Betonzugfestigkeit										0.47 [MPa]	
Fläche der Zugzone										3.00 [MPa]	
Nachweisdurchmesser										0.3289 [m ²]	
Stahlspannung Tab.20										20 [mm]	
Effektive Dicke d0										232.38 [MPa]	
zentr. Spannung bv										1.000 [m]	
Beiwert k =										0.47 [MPa]	
Beiwert k1 =										0.500	
Beiwert kc =										0.667	
Erforderl. Bewehrung										0.510	
Anteil Bewehrung R 1										16.77 [cm ²]	
Anteil Bewehrung R 2										18.80 (18.80)	
2101	0.000	2	0	1		-10.25	12.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)											
zentr. Spannung										0.30 [mm]	
Betonzugfestigkeit										1.00 [MPa]	
Fläche der Zugzone										3.00 [MPa]	
Nachweisdurchmesser										0.2250 [m ²]	
Stahlspannung Tab.20										25 [mm]	
Effektive Dicke d0										207.85 [MPa]	
zentr. Spannung bv										1.000 [m]	
Beiwert k =										1.00 [MPa]	
Beiwert k1 =										0.800	
Beiwert kc =										0.667	
Erforderl. Bewehrung										0.600	
Anteil Bewehrung R 1										15.59 [cm ²]	
Anteil Bewehrung R 2										24.50 (24.50)	
3101	0.000	3	0	1		-14.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rissweite: (DIN 1045-1 11.2.2.)											
zentr. Spannung										0.30 [mm]	
Betonzugfestigkeit										1.00 [MPa]	
Fläche der Zugzone										3.00 [MPa]	
Nachweisdurchmesser										0.2250 [m ²]	
Stahlspannung Tab.20										25 [mm]	
Effektive Dicke d0										207.85 [MPa]	
zentr. Spannung bv										0.750 [m]	
Beiwert k =										1.00 [MPa]	
Beiwert k1 =										0.740	
Beiwert kc =										0.667	
Erforderl. Bewehrung										0.600	
Anteil Bewehrung R 1										14.42 [cm ²]	
Anteil Bewehrung R 2										34.40 (34.40)	
										0.00 (2.26)	

4.2.2 Handrechnung

Querschnitt 1:

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \quad (\text{Gl. 127})$$

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad (\text{Gl. 128})$$

$$k_1 = \frac{2}{3} \text{ für eine Zugnormalkraft}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,3 \cdot 25^{(2/3)} = 2,565 \text{ MPa} \geq 3,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{0,300 \text{ MN}}{0,64 \text{ m}^2} = 0,4688 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{0,4688}{\frac{2}{3} \cdot 3,00} \right] = 0,494 \leq 1$$

$$k = 0,8 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 1000 \text{ mm} \\ \text{Breite} = 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = 300 \text{ mm}$$

Rissbreite $w_k = 0.3 \text{ mm}$, Grenzdurchmesser $d_s = 20 \text{ mm}$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich

$$\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{d_s^*}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{20}} = 232,38 \text{ MPa}$$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$

Zur Berechnung der Fläche der Betonzugzone wird ein Zugkeil der Spannungen unter der Einwirkungskombination untersucht, bei dem auf der Unterseite des Querschnitts gerade die Zugfestigkeit und in der Schwerachse die Betonspannung aus der Normalkraft erreicht wird.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_s = \sigma_c = \frac{N}{A} = \frac{0,300}{0,64} = 0,4688 \text{ MPa} \\ \sigma_u = f_{ct,eff} = 3,00 \text{ MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow h_{eff} = \frac{3,00 \cdot 71,25 \text{ cm}}{3,00 - 0,4688} = 84,45 \text{ cm}$$

$$A_{ct} = (h_{eff} - 0,8) \cdot 2,0 + 0,8 \cdot 0,3 = 0,3289 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,494 \cdot 0,8 \cdot 3,00 \text{ MPa} \cdot \frac{0,3289 \text{ m}^2}{232,38 \text{ MPa}} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 16,78 \text{ cm}^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 235,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 16,59 \text{ cm}^2$

Querschnitt 2:

$$k_1 = \frac{2}{3} \text{ für eine Zugnormalkraft}$$

$$\sigma_c = \frac{0,300 \text{ MN}}{0,30 \text{ m}^2} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{1,0}{\frac{2}{3} \cdot 3,00} \right] = 0,600 \leq 1$$

$$k = 0,8 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 1000\text{mm} \\ \text{Breite} = 300\text{mm} \end{array} \right\} = 300\text{mm}$$

Rissbreite $w_k = 0,3\text{mm}$, Grenzdurchmesser $d_s = 25\text{mm}$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich

$$\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{d_s^*}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{25}} = 207,84\text{MPa}$$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 210\text{MPa}$

Es liegen keine Normalspannungen vor, daher ist $\sigma_c = 0,00\text{MPa}$

Die Höhe der Zugzone ermittelt sich zu

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_s = \sigma_c = \frac{N}{A} = \frac{0,300}{0,30} = 01,00\text{MPa} \\ \sigma_u = f_{ct,eff} = 3,00\text{MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow h_{eff} = \frac{3,00 \cdot 50}{3,00 - 1,00} = 75,00\text{cm}$$

$$A_{ct} = h_{eff} \cdot b = 0,75 \cdot 0,3 = 0,2250\text{m}^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,600 \cdot 0,8 \cdot 3,00\text{MPa} \cdot \frac{0,2250\text{m}^2}{207,84\text{MPa}} \cdot 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 15,59\text{cm}^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 210,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 15,42\text{cm}^2$

Querschnitt 3:

$$k_1 = \frac{2}{3} \text{ für eine Zugnormalkraft}$$

$$\sigma_c = \frac{0,300\text{MN}}{0,30\text{m}^2} = 1,0\text{MPa}$$

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{1,0}{\frac{2}{3} \cdot 3,00} \right] = 0,600 \leq 1$$

$$k = 0,74 \text{ interpoliert zwischen } 0,8 \text{ und } 0,5 \text{ für } h = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 750\text{mm} \\ \text{Breite} = 400\text{mm} \end{array} \right\} = 400\text{mm}$$

Rissbreite $w_k = 0.3mm$, Grenzdurchmesser $d_s = 25mm$

Aus der Beziehung $d_s^* = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{\sigma_s^2}$ nach Tabelle 20 ergibt sich

$$\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{w_k}{d_s^*}} = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0.3}{25}} = 207,84MPa$$

Aus der Interpolation nach Tabelle 20 ergibt sich eine Stahlspannung von $\sigma_s = 210MPa$!

Die Höhe der Zugzone ermittelt sich zu

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_s = \sigma_c = \frac{N}{A} = \frac{0,300}{0,30} = 01,00MPa \\ \sigma_u = f_{ct,eff} = 3,00MPa \end{array} \right\} \Rightarrow h_{eff} = \frac{3,00 \cdot 37,50}{3,00 - 1,00} = 56,25cm$$

$$A_{ct} = h_{eff} \cdot b = 0,5625 \cdot 0,4 = 0,2250m^2$$

Damit ergibt sich für die Mindestbewehrung nach Gl. 127

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,600 \cdot 0,74 \cdot 3,00MPa \cdot \frac{0,2250m^2}{207,84MPa} \cdot 10^4 \frac{cm^2}{m^2} = 14,42cm^2$$

Mit der interpolierten größeren Stahlspannung von 210,00 MPa ergibt sich eine Mindestbewehrung von $A_s = 14,27cm^2$

	Vergleich AQB-Ergebnisse und Handrechnung.	
	AQB [cm ²]	Handrechnung [cm ²]
Quer 1	16,77	16,77 (16,59)
Quer 2	15,59	15,59 (15,42)
Quer 3	14,42	14,42 (14,27)

4.2.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:9
kopf Mindestbewehrung 11.2.2
echo voll ja
ECHO riss voll
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 2 2101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 3 3101 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
bew bmod einz LFB 1 $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
Span E RL SD 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.2 : Mindestbewehrung
ende
```

4.3 Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung (Kapitel 11.2.3)

4.3.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand										
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o [o/oo]	ky/kz [1/km]	x [m]	zn/yn [m]	Ni/Vi [kN]	Myi/Mzi [kNm]	Ey/Ez/G-EFF [MPa]
1001	0.000	1	0	0.432	2.072	0.079-0.209		300.0	562.52	5258
				-----		D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]
				Zugzone h	0.160	20.0	0.30	365.16	507.40	18.80
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
2001	0.000	2	0	0.596	2.164	0.225-0.275		300.0	562.50	10395
				-----		D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]
				Zugzone h	0.160	25.0	0.30	318.26	483.67	24.50
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
3001	0.000	3	0	0.495	2.955	0.207-0.168		300.0	562.50	13537
				-----		D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]
				Zugzone h	0.160	25.0	0.30	297.06	479.52	34.40
				---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						

4.3.2 Handrechnung

Die Ermittlung der zulässigen Stahlspannungen darf gemäß DIN nach Tabelle 20 oder Tabelle 21 durchgeführt werden. (siehe auch Kapitel 3.3.2)

Im Einzelnen sind dies für:

Querschnitt 1, b = 30 cm, w_k = 0,3 mm, Ø = 20 mm,

$$d_s = 20\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{365,16\text{MPa} \cdot 18,80\text{cm}^2}{4 \cdot (100-96)\text{cm} \cdot 30\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 4,767$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{20\text{mm}}{4,767} = 4,195\text{mm}$$

$$\text{Nach Tabelle 20 ist } \sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{4,196}} = 507,38\text{MPa} = \text{ssr}$$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,432 + 2,072 \cdot (0,7125 - 0,04) = 1,825 \rightarrow \sigma_s = 0,001825 \cdot 200.000 = 365,1\text{MPa}$$

Querschnitt 2, b = 30 cm, w_k = 0,3 mm, Ø = 25 mm

$$d_s = 25\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{318,26\text{MPa} \cdot 24,50\text{cm}^2}{4 \cdot (100-96)\text{cm} \cdot 30\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 5,415$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{25\text{mm}}{5,415} = 4,617\text{mm}$$

$$\text{Nach Tabelle 20 ist } \sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{4,617}} = 483,65\text{MPa} = \text{ssr}$$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,596 + 2,164 \cdot (0,50 - 0,04) = 1,591 \rightarrow \sigma_s = 0,001591 \cdot 200.000 = 318,2\text{MPa}$$

Querschnitt 3, $b = 40 \text{ cm}$, $w_k = 0,3 \text{ mm}$, $\varnothing = 25 \text{ mm}$

$$d_s = 25\text{mm} = d_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4 \cdot (h-d) \cdot b \cdot f_{ct,0}} = d_s^* \cdot \frac{297,06\text{MPa} \cdot 34,40\text{cm}^2}{4 \cdot (75-71)\text{cm} \cdot 40\text{cm} \cdot 3,0\text{MPa}} = d_s^* \cdot 5,322$$

$$\rightarrow d_s^* = \frac{25\text{mm}}{5,322} = 4,697\text{mm}$$

Nach Tabelle 20 ist $\sigma_s = \sqrt{3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3}{4,697}} = 479,5\text{MPa} = \text{ssr}$

Überprüfung der Stahlspannung auf Basis der gefundenen Dehnungsverteilung

$$\varepsilon_s = 0,495 + 2,955 \cdot (0,375 - 0,04) = 1,485 \rightarrow \sigma_s = 0,001485 \cdot 200.000 = 297\text{MPa}$$

4.3.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:10
kopf Begrenzung der Rissbreite 11.2.3
echo voll nein
ECHO riss extr
txa Begrenzung der Rissweite ohne direkte Berechnung nach Kapitel 11.2.3
txa Nachweis über Grenzdurchmesser und Stahlspannung nach Tabelle 20
$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 2 2001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 3 3001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
bew bmod einz LFB 2 $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
DEHN S0 RISS tab RW 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.3
$ Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite
ende
```

4.4 Berechnung der Rissweite (Kapitel 11.2.4)

4.4.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Dehnungszustand												
Stab	x[m]	NQ	LF	e-o	ky/kz	x	zn/yn	Ni/Vi	Myi/Mzi	Ey/Ez/G-EFF		
				[o/oo]	[1/km]	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[MPa]		
1001	0.000	1	0	0.432	2.072	0.079-0.209		300.0	562.52	5258		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.130	20.0	0.19	365.16	113.79	18.80
						---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
2001	0.000	2	0	0.596	2.164	0.225-0.275		300.0	562.50	10395		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.130	25.0	0.16	318.26	66.64	24.50
						---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						
3001	0.000	3	0	0.495	2.955	0.207-0.168		300.0	562.50	13537		
						D[mm]	w[mm]	sig[MPa]	ssr[MPa]	As-eff[cm2]		
						Zugzone h	0.117	25.0	0.13	297.06	47.62	34.40
						---- Rissweite ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten						

4.4.2 Handrechnung

Für den Rechenwert der Rissbreite gilt: $w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ (Gl. 135)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.000}{26.663} = 7,501 \quad \text{Verhältnis der E-Moduln}$$

Für die effektive Betonfläche wird der Ansatz nach Bild 53 für die Höhe der Zugzone verwendet.

$$\frac{h}{d_1} = \begin{cases} 25,00 \\ 25,00 \\ 28,75 \end{cases} \rightarrow \frac{h_{eff}}{d_1} = \begin{cases} 3,25 \\ 3,25 \\ 2,938 \end{cases} \rightarrow A_{c,eff} = h_{eff} \cdot b = \begin{cases} 3,25 \cdot 4 \cdot 30 = 13 \cdot 30 = 390cm^2 \\ 3,25 \cdot 4 \cdot 30 = 13 \cdot 30 = 390cm^2 \\ 2,938 \cdot 4 \cdot 40 = 11,75 \cdot 40 = 470cm^2 \end{cases}$$

$$eff\rho = (A_s + \xi_1^2 \cdot A_p) / A_{c,eff} = \begin{cases} 18,80cm^2 / 390cm^2 = 0,04821...QNR1 \\ 24,50cm^2 / 390cm^2 = 0,06282...QNR2 \\ 34,40cm^2 / 470cm^2 = 0,07319...QNR3 \end{cases}$$

mit $A_p = 0,00cm^2$ Fläche Spannstahl

$f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 2,565MPa \geq 3,00MPa$ wirksame Betonzugfestigkeit

$$\sigma_s = \begin{cases} 365,16 \\ 318,26 MPa \text{ Stahlspannung aus der Dehnungsermittlung in AQB} \\ 297,06 \end{cases}$$

Die Differenz der mittleren Dehnungen von Beton und Betonstahl ergibt sich zu:


$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{eff\rho} \cdot (1 + \alpha_e \cdot eff\rho)}{E_s} = \begin{cases} 1,6563 \cdot 10^{-3} \\ 1,4508 \cdot 10^{-3} \\ 1,3583 \cdot 10^{-3} \end{cases} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \begin{cases} 1,0955 \cdot 10^{-3} \\ 0,9548 \cdot 10^{-3} \\ 0,8912 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

Der maximale Rissabstand wird nach GL. 137 berechnet.

$$s_{r,max} = \frac{d_s}{3,6 \cdot eff\rho} = \begin{cases} \frac{20}{3,6 \cdot 0,04821} = 115,237 \\ \frac{25}{3,6 \cdot 0,06282} = 110,545 \\ \frac{25}{3,6 \cdot 0,07319} = 94,882 \end{cases} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,6 \cdot f_{ct,eff}} = \begin{cases} \frac{365,16 \cdot 20}{3,6 \cdot 2,565} = 790,90mm \\ \frac{318,26 \cdot 25}{3,6 \cdot 2,565} = 861,65mm \\ \frac{297,06 \cdot 25}{3,6 \cdot 2,565} = 804,26mm \end{cases}$$

Damit ergeben sich rechnerische Rissweiten von

$$w_k = \begin{cases} 115,237 \cdot 1,6563 \cdot 10^{-3} = 0,190 \dots QNR1 \\ 110,545 \cdot 1,4508 \cdot 10^{-3} = 0,160 \dots QNR2 < 0,30mm \rightarrow \text{Nachweise erfüllt.} \\ 94,882 \cdot 1,3583 \cdot 10^{-3} = 0,128 \dots QNR3 \end{cases}$$

 Vergleich AQB-Ergebnisse und Handrechnung. Die Rissweite $w_k=0.3$ mm ist mit vorhandener Bewehrung eingehalten		
	AQB [mm]	Handrechnung [mm]
Quer 1	0,19	0,190
Quer 2	0,16	0,160
Quer 3	0,13	0,128

4.4.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:11
kopf Begrenzung der Rissbreite 11.2.4
echo voll nein
ECHO riss extr

$ Manuelle Eingabe der Schnittgrößen für die Stäbe 1001,2001,3001
S 1 1001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 2 2001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
S 3 3001 0.0 N #n VY 0 VZ 0 MT 0 MY #my MZ #mz
bew bmod einz LFB 3 $ Speicherung der Rissbreitenbewehrung zur Kontrolle
DEHN S0 RISS DIN RW 0.3 $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 11.2.4
$ Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite
ende
```

5 Mindestbewehrung (Kapitel 13.1.1)

Für die Berechnung der Mindestbewehrung mit dem Programm AQB ist ein System mit Stabelementen notwendig. Dazu wird der oben beschriebene Einfeldträger mit den 3 Querschnitten definiert. Die zugehörigen Eingaben sind in der Datei „robu_b_din1045-1.dat“ zusammengestellt.

5.1 Ergebnisse der Bemessung mit AQB

Kombinationen Bruchnachweis

K01 (Brutto) 1
 MAX + MY :
 0.00 * LF 1 + 1.00 * M_{cr}

Rechenwerte der Kombinations - Schnittgrößen

Stab	x[m]	LF	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	My[kNm]	Mz[kNm]
1006	0.000	K01	0.0	0.00	0.00	0.00	185.88	0.00
2006	0.000	K01	0.0	0.00	0.00	0.00	128.25	0.00
3006	0.000	K01	0.0	0.00	0.00	0.00	96.19	0.00

Erforderliche Bewehrung

Stab	x[m]	NQ	LF	Ni [kN]	Myi/Mzi [kNm]	e1/yn [o/oo]	e2/zn [mm]	nue C/S	rel tra	As [cm ²]	R
1006	0.000	1	K01	0.0	185.88	-0.67	25.00	1.50	1.00	4.27	1
2006	0.000	2	K01	0.0	128.25	-1.44	25.00	1.50	1.00	2.99	1
3006	0.000	3	K01	0.0	96.19	-1.56	25.00	1.50	1.00	3.03	1

5.2 Handrechnung

Ermittlung des Mindestrissmomentes: $M_{cr} = f_{cm} \cdot W_y = \frac{f_{cm}}{1/WMy}$ mit $f_{cm} = 2,565 MN / m^2$

Querschnitt	1/WMy
	[1/m ³]
1	13.7992
2	20.0000
3	26.6667

$$\rightarrow M_{cr} = \begin{cases} 2,565 / 13,7992 \cdot 10^3 = 185,88 kNm \\ 2,565 / 20,0000 \cdot 10^3 = 128,25 kNm \\ 2,565 / 26,6667 \cdot 10^3 = 96,19 kNm \end{cases}$$

Die weitere Bemessung für die Rissmomente wird hier nicht weiter verfolgt. Siehe dazu auch das Normenbeispiel „Nachweise GZT“.

5.3 CADINP Eingabe

```
+prog aqb urs:35
kopf GZG Robustheit Mindestbewehrung 13.1.1
echo beme ja          $ Nach DIN 1045-1 (06.08), 13.1.1 (1)
                      $ Mindestbewehrung zur Sicherstellung duktilen Verhalten
echo komb voll       $ zur Kontrolle der Mindestrissmomente
LF 1
$ Nachweise für die Stäbe 1006,2006,3006 an der Stelle x=0.0
stab 1006,2006,3006 x 0.0
bew bmod einz LFB 4   $ Speicherung der Robustheitsbewehrung zur Kontrolle
KOMB max MY LF1 1 F1 0.0001 LF2 MCR F2 1.0 $ Mindestrissmoment mit fctm
beme bruc smod kein
ende
```



In dieser Eingabe werden die Ergebnisse des LF 1 mit einem sehr kleinen Faktor $F1 = 0,0001$ verwendet und haben keine Auswirkung auf die Bemessung. Dies dient nur als Information zur Lage der notwendigen Bewehrung, in diesem Fall im Rang 1 auf der Unterseite der Querschnitte.

Das Literal MCR ist nur innerhalb eines KOMB Satzes verwendbar.