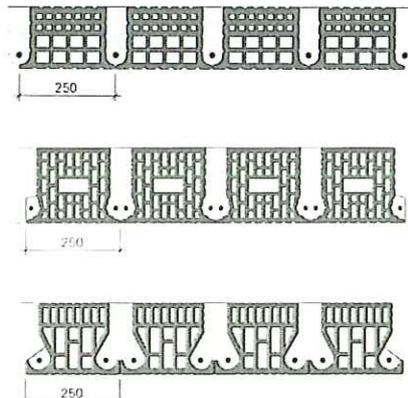
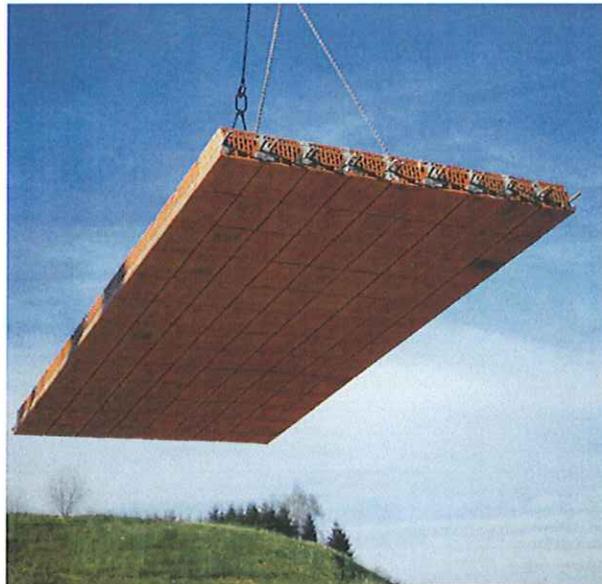


ZIEGELELEMENTDECKEN nach DIN 1045-100

Erläuterungen zur Bemessung
und
Tragfähigkeitstabellen



LGAD
Landesgewerbeanstalt Bayern
Abteilung Statik
S-N/130139 v. 25.11.13



Bemessung von Ziegeldecken nach DIN 1045-100

Inhaltsverzeichnis		Seite
1.	Biegebemessung von Ziegeldecken	3
1.1.	Ablaufdiagramm für die Biegebemessung	3
1.2.	Allgemeine Erläuterungen zum Bemessungsablauf	4
1.3.	Bemessungsfestigkeiten	5
1.4.	Erstes Versagenskriterium (Biegezugbruch)	6
1.5.	Zweites Versagenskriterium (Biegedruckbruch)	8
1.6.	Aufnehmbares Biegemoment	10
2.	Querkraftbemessung von Ziegeldecken	11
3.	Ermittlung der zulässigen Stützweite einer Ziegeldecke	11
3.1.	Stützweitenermittlung aus dem aufnehmbaren Moment	12
3.2.	Stützweitenermittlung aus der aufnehmbaren Querkraft	12
3.3.	Stützweitenermittlung aus der zulässigen Biegeschlankheit	13
4.	Verankerung der Biegebewehrung	13

Anhang A

Tabellentübersicht

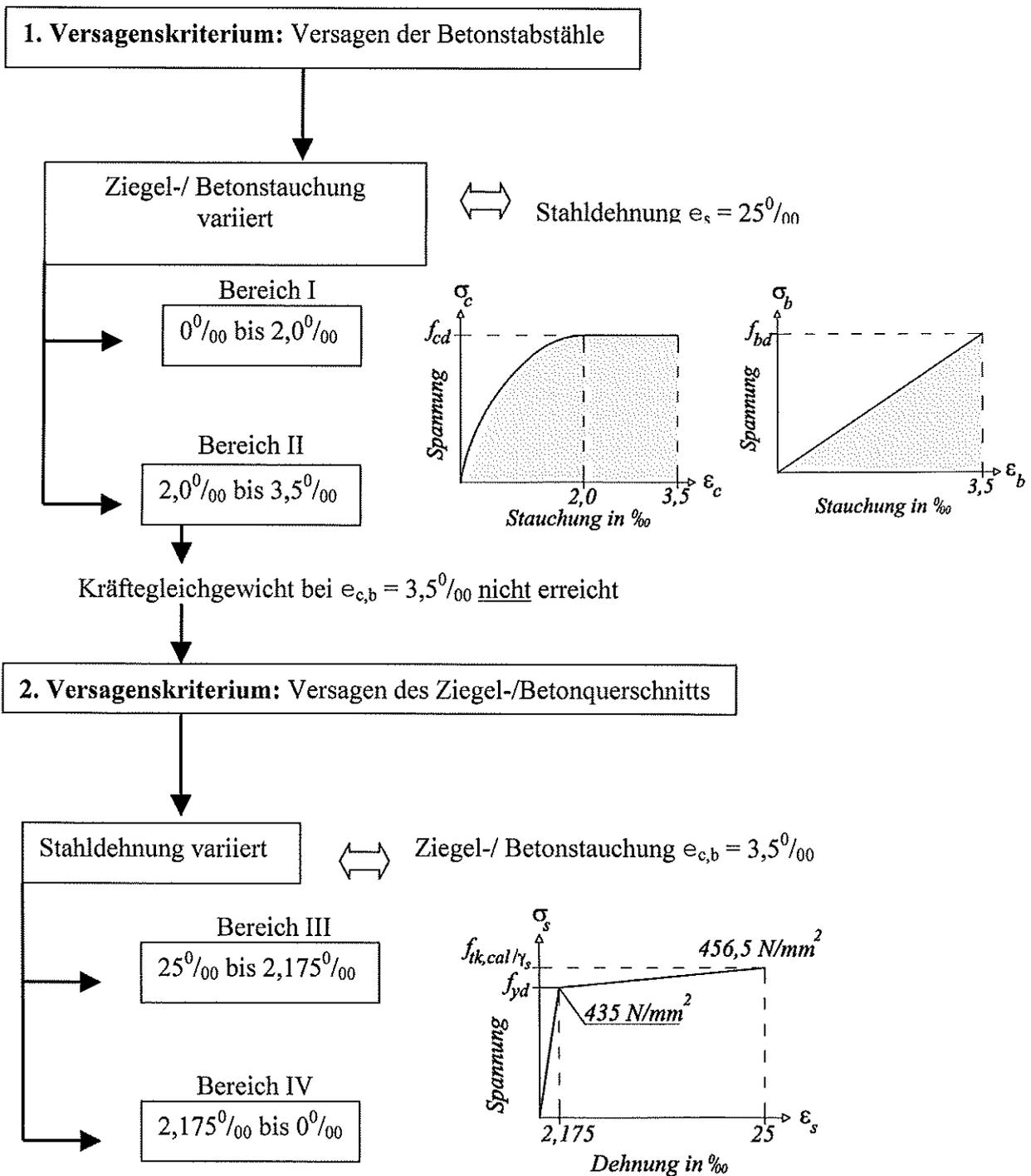
Tabellen 1 bis 4 (Fußleistenform B)

Tabellen 5 bis 8 (Fußleistenformen C u. D)

Tabellen N1 bis N8 (Nebenrechnungen zu den Tragfähigkeitstabellen)

1. Biegebemessung von Ziegeldecken

1.1. Ablaufdiagramm für die Biegebemessung



Die Spannungs-Dehnungs-Linien für die Bemessung ergeben sich

- für den Beton als Parabel-Rechteck-Diagramm aus DIN EN 1992-1-1:2011-01, Abs. 3.1.7, Bild 3.3.;
- für den Ziegel aus DIN 1045-100:2011-12, Abs. 6.1; und
- für den Betonstahl als bilineare Kurve mit oberem ansteigenden Ast aus DIN EN 1992-1-1, Abs. 3.2.7, Bild 3.8.

1.2. Allgemeine Erläuterungen zum Bemessungsablauf

Bei der Biegebemessung werden grundsätzlich zwei Versagenskriterien unterschieden. Zu Beginn der Bemessung geht man von einem rechnerischen Versagen der Bewehrung in den Betonrippen aus (Versagenskriterium 1). Die rechnerische Bruchdehnung des Betonstahls ε_{ud} wird gem. Abb. 4 mit 25‰ (volle Ausnutzung des Betonstahls) festgelegt. Damit lässt sich die Bemessungszugkraft der vorhandenen Bewehrung F_{s1d} berechnen. Durch iterative Steigerung der Druckzonenstauchung kann die Summe der Biegedruckkräfte erhöht werden, bis sich ein Gleichgewicht der inneren Kräfte mit der berechneten Biegezugkraft einstellt. Da für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betonquerschnitts das Parabel-Rechteck-Diagramm nach Abb. 3 zugrunde liegt, müssen bei der Berechnung die Bereiche unterhalb und oberhalb von $\varepsilon_c = 2,0\text{‰}$ unterschieden werden. Sobald ein Gleichgewicht der Kräfte erreicht ist, kann das aufnehmbare Biegemoment aus der Lage der Druckkraft (Ziegel und Beton gem. Abb. 1) ermittelt werden (vgl. hierzu auch Abs. 6).

Ist eine Stauchung von $3,5\text{‰}$ erreicht, ohne dass sich ein Gleichgewicht zwischen Zug- und Druckkraft einstellt, wird das zweite Versagenskriterium maßgebend. Da die rechnerische Bruchstauchung der Druckzone erreicht ist, geht man nun von einem Versagen dieses Bereiches aus. Die Bruchstauchung der Druckzone wird mit $3,5\text{‰}$ gem. Abb. 3 festgelegt und die Stahldehnung wird nun variabel gehalten. Wiederum wird ein Gleichgewicht der inneren Kräfte angestrebt, indem iterativ die Stahldehnung vermindert wird. Für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Betonstahls wird ein bilinearer Verlauf mit ansteigendem Ast gem. Abb. 4 angenommen, wodurch bei der Berechnung die Bereiche oberhalb und unterhalb von $\varepsilon_s = 2,175\text{‰}$ unterschieden werden müssen. Anhand der ermittelten Stahldehnung im Gleichgewichtszustand und der daraus errechneten Zugkraft kann schließlich gem. Abs. 6 das aufnehmbare Biegemoment berechnet werden.

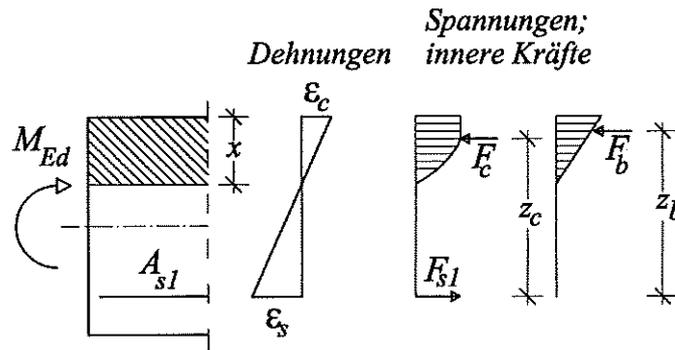


Abb. 1: Deckenquerschnitt bei Biegebeanspruchung

1.3. Bemessungsfestigkeiten

Ziegel:

$$f_{bd} = 0,88 * \alpha_{cb} * \frac{f_{bk}}{\gamma_b}$$

f_{bd} = Bemessungswert der Ziegeldruckfestigkeit bei einer Randstauchung von $\epsilon_{2u} = 3,5 ‰$

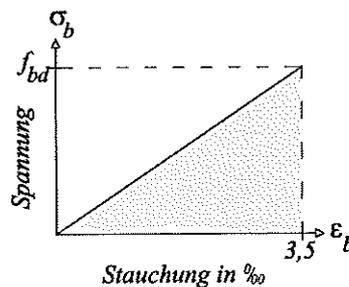


Abb. 2: Spannungs-/Dehnungslinie Ziegel

- f_{bk} charakteristische Ziegeldruckfestigkeit nach DIN 4159 Tabelle 4
- $\gamma_b = 1,7$ Teilsicherheitsbeiwert des Ziegels nach DIN 1045-100 Abs. 2 (2)
- $\alpha_{cb} = 0,85$ Dauerstandsbeiwert nach DIN 1045-100 Abs. 6.1 (2)
- Faktor 0,88 Bei der maximal zugelassenen Randstauchung von $3,5 ‰$ werden in der Regel nur 88% der charakteristischen Druckfestigkeit des Deckenziegels als Randspannung erreicht.

Beton:

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

f_{cd} = Bemessungswert der Betondruckfestigkeit bei einer Randstauchung von

$\epsilon_{2u} = 3,5 ‰$

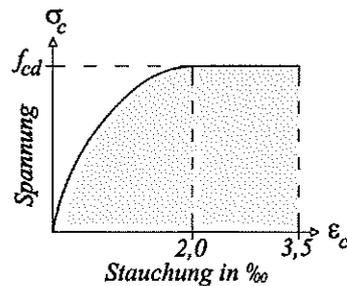


Abb. 3: Spannungs-/Dehnungslinie Beton

f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons
nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, Tab. 3.1

$\gamma_c = 1,5$ Teilsicherheitsbeiwert des Betons nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, Tab. 2.1N

$\alpha = 0,85$ Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung von Langzeiteinwirkungen auf die
Druckfestigkeit nach DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, NDP zu 3.1.6 (2) P

Betonstahl:

$$\frac{f_{tk,cal}}{\gamma_s} = 456,5 \frac{N}{mm^2}$$

Für die Querschnittsbemessung ist die Stahldehnung ϵ_s auf eine rechnerische Bruchdehnung ϵ_{su} von 25 ‰ zu begrenzen. Der charakteristische Wert der Zugfestigkeit für Betonstahl nach DIN 488 – BSt 500 S beträgt dabei $f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$. Als Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl ist nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, Tab 2.1N, Tabelle 2, $\gamma_s = 1,15$ anzusetzen.

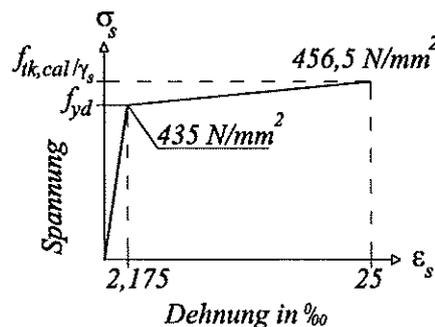


Abb. 4: Spannungs-/Dehnungslinie Betonstahl

1.4. Erstes Versagenskriterium (Biegezugbruch)

Beim ersten Versagenskriterium geht man von einem rechnerischen Bruch der Bewehrung aus. Die vorhandene Stahldehnung nach Abb. 4 wird mit $\epsilon_{su} = 25,0^0/_{00}$ angenommen. Die vorhandene Biegezugkraft der Bewehrung F_{s1d} lässt sich aus der vorhandenen Querschnittsfläche der Bewehrung vorh. $a_{s,1}$ und der rechnerischen, charakteristischen Zugfestigkeit der

Bewehrung für die Bemessung $f_{tk,cal}$ mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_s ermitteln. Die Kräfte des inneren Hebelarms müssen gem. Abb. 1 ein Kräftegleichgewicht bilden. Die Summe aus Biegedruckkraft des Betonquerschnitts F_{cd} und Biegedruckkraft des Ziegelquerschnitts F_{bd} muss gleich der vorhandenen Biegezugkraft der Bewehrung F_{s1d} sein. Anteilig ihrer Querschnittsfläche fließen die Biegedruckkräfte aus Beton und Ziegel in die Gesamtsumme der Biegedruckkräfte ein:

$$F_{cd} + F_{bd} = F_{s1d}$$

Bei der Ermittlung der Biegedruckkraft des Betonquerschnitts F_{cd} wird das Parabel-Rechteck-Diagramm für Normalbeton nach Abb. 3 zugrunde gelegt. Die Biegedruckkraft ergibt sich wie folgt:

$$F_{cd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * x$$

mit $x = \xi * d$

Für den Ziegelanteil wird eine lineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung nach Abb. 2 angenommen. Die Biegedruckkraft des Ziegelquerschnitts F_{bd} ergibt sich damit zu:

$$F_{bd} = \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * x$$

mit $x = \xi * d$

Aus dem Verhältnis der Beton-/Ziegeldehnung und der Stahldehnung wird die bezogene Druckzonenhöhe ξ berechnet:

$$\xi = \frac{\varepsilon_{c,b}}{\varepsilon_{c,b} + \varepsilon_{su}}$$

Die Gleichgewichtsbedingung lautet dann:

$$\alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * \xi * d = a_{s1} * \frac{f_{tk,cal}}{\gamma_s}$$

Die Lösung ergibt sich iterativ. Aufgrund des Parabel-Rechteck-Diagramms müssen der Volligkeitsbeiwert α_{Rc} und der später benötigte Beiwerte k_{ac} in Abhängigkeit von der Betonstauchung unterschiedlich berechnet werden:

Betonstauchung: $0 \leq \varepsilon_c \leq 2,0$

$$\alpha_{Rc} = \frac{1}{2} \varepsilon_c - \frac{1}{12} \varepsilon_c^2 = \frac{\varepsilon_c}{12} * (6 - \varepsilon_c)$$

$$k_{ac} = \frac{8 - \varepsilon_c}{4 * (6 - \varepsilon_c)}$$

0	0,25	0,50
0,1	0,2	0,15
0,2	0,15	0,1
0,3	0,1	0,05
0,4	0,05	0

Betonstauchung: $2,0 \leq \varepsilon_c \leq 3,5$

$$\alpha_{Rc} = 1 - \frac{2}{3\varepsilon_c} = \frac{(3 * \varepsilon_c - 2)}{3 * \varepsilon_c}$$

$$k_{ac} = \frac{2 - 4\varepsilon_c + 3\varepsilon_c^2}{-6\varepsilon_c * (\frac{2}{3} - \varepsilon_c)} = \frac{\varepsilon_c(3 * \varepsilon_c - 4) + 2}{2 * \varepsilon_c(3 * \varepsilon_c - 2)}$$

Für den Ziegelanteil gilt allgemein ($0 \leq \varepsilon_b \leq 3,5$):

$$\alpha_{Rb} = \frac{\varepsilon_b}{7} \quad k_{ab} = \frac{1}{3}$$

Nun wird -getrennt für beide Bereiche- unter Ansatz der vorher erstellten Gleichgewichtsbedingung und der Völligkeitsbeiwerte α_R die Druckzonenstauchung $\varepsilon_{c,b}$ iterativ verändert, bis sich das gewünschte Gleichgewicht der inneren Kräfte einstellt. Mit der ermittelten Druckzonenstauchung kann anschließend die bezogene Druckzonenhöhe ξ und der tatsächliche Völligkeitsbeiwert des Betonquerschnitts α_{Rc} und Ziegelquerschnitts α_{Rb} bestimmt werden.

Bei einer Randstauchung von 3,5 ‰ beträgt die maximale Druckzonenhöhe $x = d * 3,5 / (3,5 + 25) = 0,1228 * d$ und liegt damit deutlich unterhalb der Stoßfugentiefe s_t bei teilvermörtelbaren Ziegeln.

1.5. Zweites Versagenskriterium (Biegedruckbruch)

Beim zweiten Versagenskriterium wird von einem rechnerischen Bruch der Druckzone ausgegangen. Dabei wird die Stahldehnung variiert und die Druckzonenstauchung mit $3,5^0/00$ angenommen. Wiederum muss sich ein Gleichgewicht der inneren Kräfte einstellen. Die Gesamtbiegedruckkraft ergibt sich erneut anteilig aus der Biegedruckkraft des Betonquerschnitts F_{cd} und des Ziegelquerschnitts F_{bd} . Dem gegenüber steht die Biegezugkraft der Bewehrung F_{s1d} , welche sich aus der bilinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung mit ansteigendem Ast ergibt. Diese Tatsache verlangt erneut eine Fallunterscheidung bei der Berechnung. Es muss zwischen einer Stahldehnung über und unter $2,175^0/00$ unterschieden werden:

Stahldehnung: $0 \leq \varepsilon_s \leq 2,175^0 / 00$

$$F_{s1d} = (200 * \varepsilon_s) * a_{s1}$$

Stahldehnung: $2,175 \leq \varepsilon_s \leq 25,0$



$$F_{s1d} = (f_{yd} + 0,9524 * (\varepsilon_s - 2,174)) * a_{s,1}$$

Mit der jeweils maßgebenden Biegezugkraft F_{s1d} kann nun die **Gleichgewichtsbedingung** aufgestellt werden.

$$\alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * \xi * d = F_{s1d}$$

Aus dem Verhältnis der Beton-/Ziegelstauchung und der Stahldehnung ergibt sich die bezogene Druckzonenhöhe ξ zu:

$$\xi = \frac{\varepsilon_{c,b}}{\varepsilon_{c,b} + \varepsilon_s}$$

Völligkeitsbeiwert α_R und Beiwert k_a , der später zur Berechnung des inneren Hebelarms benötigt wird, ergeben sich für den Betonquerschnitt und den Ziegelquerschnitt folgendermaßen:

$$\alpha_{Rc} = 0,8095 \quad k_{ac} = 0,4156$$

$$\alpha_{Rb} = 0,5 \quad k_{ab} = \frac{1}{3}$$

Unter Ansatz der o. a. Gleichgewichtsbedingung wird die Stahldehnung iterativ verändert, bis sich das Gleichgewicht der inneren Kräfte einstellt. Mit dem ermittelten Wert kann schließlich die bezogene Druckzonenhöhe ξ bestimmt werden.

Für den Ziegelquerschnitt gelten die genannten Formeln allerdings nur solange, wie die Druckzonenhöhe x kleiner als die Stoßfugentiefe s_t ist, da die Druckzonenhöhe im Ziegelquerschnitt auf die Stoßfugentiefe beschränkt ist.

Bei größeren Druckzonenhöhen ist die Spannungsverteilung im Ziegelquerschnitt nicht mehr dreieckförmig, sondern es ergibt sich eine trapezförmige Spannungsverteilung, da die untere Spitze des Dreiecks abgeschnitten wird.

Die oben genannten Formeln sind deshalb wie folgt zu modifizieren:

Ziegelstauchung: $\varepsilon_{c,b} = 3,5$

$$\alpha_{Rb} = 1 - \frac{s_t * (3,5 + \varepsilon_s)}{d * 3,5} * 0,5$$

$$k_{ab} = \frac{1,75 * d - 0,6667 * s_t * (\varepsilon_s + 3,5) * 0,5}{3,5 * d - s_t * (\varepsilon_s + 3,5) * 0,5}$$

11	12	13	14
15	16	17	18
19	20	21	22
23	24	25	26
27	28	29	30
31	32	33	34

1.6. Aufnehmbares Biegemoment

Aus dem in Abhängigkeit von der Versagensart ermittelten Gleichgewichtszustand ergeben sich Zug- und Druckkraft sowie Dehnungsverlauf über den Querschnitt. Damit ist auch der Hebelarm der inneren Kräfte festgelegt. Für das aufnehmbare Biegemoment gilt dann:

$$m_{Rd} = F_{cd} * z_c + F_{bd} * z_b$$

$$\Rightarrow m_{Rd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * x_c * z_c + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * x_b * z_b$$

Fall 1: $x < s_t$

$$\Rightarrow m_{Rd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d * z_c + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * \xi * d * z_b$$

Fall 2: $x \geq s_t \rightarrow x_b = s_t$

$$\Rightarrow m_{Rd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d * z_c + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * s_t * z_b$$

Die Höhe des inneren Hebelarms für die Betondruckkraft ergibt sich wie folgt:

$$z = d - k_{ac} * x \Leftrightarrow z = d - k_{ac} * \xi * d \Leftrightarrow z = d * (1 - k_{ac} * \xi)$$

Die Höhe des inneren Hebelarms für die Ziegeldruckkraft kann aufgrund des linearen Spannungsverlaufes wie folgt berechnet werden:

Fall 1: $x < s_t$

$$z_c = d * \left(1 - \frac{\xi}{3}\right)$$

Fall 2: $x \geq s_t$

$$z_b = d - s_t * k_{ab}$$

Damit ergibt sich die Gleichung zur Ermittlung des aufnehmbaren Moments:

Fall 1: $x < s_t$

$$m_{Rd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d^2 * (1 - k_{ac} * \xi) + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * \xi * d^2 * \left(1 - \frac{\xi}{3}\right)$$

Fall 2: $x \geq s_t$

$$m_{Rd} = \alpha_{Rc} * f_{cd} * b_c * \xi * d^2 * (1 - k_{ac} * \xi) + \alpha_{Rb} * f_{bd} * b_b * s_t * (d - s_t * k_{ab})$$

In den anliegenden Tabellen N1-N8 sind zu den korrespondierenden Tragfähigkeitstabellen 1-8 die Dehnungsverteilungen und die inneren Schnittgrößen im Gleichgewicht zusammengestellt.

2. Querkraftbemessung von Ziegeldecken

Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} ist dem Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd} gegenüberzustellen.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit

$$V_{Rd} = \tau_{Rd} * b_w * d$$

τ_{Rd} : Bemessungswert der aufnehmbaren Schubspannung nach Tabelle 1 aus DIN1045-100:2011-12

Druckfestigkeitsklasse der Deckenziegel nach DIN 4159 f_{bk} in N/mm ²	Festigkeitsklasse des Betons	Bemessungswert der aufnehmbaren Schubspannung t_{Rd} in N/mm ²
18 und 20	C20/25 bis C35/45	0,53
>24	C20/25 bis C35/45	0,63

b_w : kleinste Querschnittsbreite innerhalb der Zugzone des Querschnitts. Es ist die Breite der Betonrippe und der Rechenwert der Stegdicke und Wandungen der Deckenziegel in halber Deckenhöhe nach Tabelle 2 in DIN 4159 anzusetzen.

Tabelle 2 aus DIN 4159

Summe der vorhandenen Stegdicken	Rechenwert der Stegdicke und Wandungen
50 bis 59	50
60 bis 69	60
70 bis 79	70
>80	80

Maße in mm

d: die statische Nutzhöhe im betrachteten Querschnitt

3. Ermittlung der zulässigen Stützweite einer Ziegeldecke

Die zulässige Stützweite einer Ziegeldecke ergibt sich aus dem maßgebenden Wert von drei zu berücksichtigen Faktoren: das maximal zulässige Moment, die maximal zulässige Querkraft und die zulässige Biegeschlankheit.

Die Ermittlung der zulässigen Stützweite erfolgt mit Hilfe von Nebenrechnungen (vgl. Erläuterungen zu den Tragfähigkeitstabellen für Ziegel vom 11.04.2013 mit Anlage 1).

Bei diesen Nebenrechnungen wird zur Abschätzung des inneren Hebelarms und der erf. Bewehrung mit einer vereinfachten Spannungs-Dehnungs-Linie gerechnet, indem auf der sicheren Seite liegend die für die Deckenziegel vorgeschriebene lineare Spannungs-Dehnungs-Linie auch für die Betonrippe angesetzt wird. Auf der anderen Seite wird allerdings kein Abzug vorgenommen für den Fall, dass die Druckzonenhöhe den Wert s_t überschreitet. Durch Vergleichsrechnungen kann gezeigt werden, dass diese Annahme dennoch auf der sicheren Seite liegt.

Für den ungünstigen Fall der 190er Decke mit 2 Bewehrungsstäben je Rippe (Tragfähigkeitstabelle 5) ergibt sich bei der maximalen Bewehrung von $12,32 \text{ cm}^2/\text{m}$ aus der vereinfachten Bemessung (lineare Spannungs.-Dehnungs-Linie):

$$d = 0,151 \text{ m}$$

$$\varepsilon_b = 3,5 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = 1,6494 \text{ ‰}$$

$$x = 10,6233 \text{ cm}$$

$$F_d = 10,6233 * 0,792 * 100 * 0,5 = 406,4 \text{ kN}$$

$$F_{sI} = 20 * 1,6494 * 12,32 = 406,4 \text{ kN} = F_d$$

$$m_{Rd} = 406,4 * (0,151 - 0,106233/3) = 46,98 \text{ kNm/m}$$

Dieses Moment liegt deutlich unterhalb des Wertes bei exakter Bemessung und damit auf der sicheren Seite.

3.1. Stützweitenermittlung aus dem aufnehmbaren Moment

$$\max l_i = \sqrt{\frac{8 * m_{Rd}}{P_d}}$$

m_{Rd} : Bemessungswert des aufnehmbaren Moments

P_d : Bemessungswert der einwirkenden Belastungen ($P_d = G_d + Q_d$)

$$\Rightarrow P_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k$$

3.2. Stützweitenermittlung aus der aufnehmbaren Querkraft

$$\max l_i = 2 * \frac{V_{Rd}}{P_d}$$

V_{Rd} : Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft

P_d : Bemessungswert der einwirkenden Belastungen ($P_d = G_d + Q_d$)

$$\Rightarrow P_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k$$



3.3. Stützweitenermittlung aus der zulässigen Biegeschlankheit

Gemäß DIN 1045-100:2011-12, Abs. 7 dürfen die Verformungsnachweise durch Einhaltung der zulässigen Biegeschlankheiten nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, 7.4.2, geführt werden. In Gleichung (7.16) ist dabei für f_{ck} die charakteristische Ziegeldruckfestigkeit f_{bk} einzusetzen. Die Biegeschlankheit l/d von Ziegeldecken darf nicht größer als $K*35$ sein; dies gilt abweichend von DIN EN 1992-1-1:2011-01, 7.4.3, auch für Ziegeldecken mit aufstehenden Trennwänden, sofern die Länge der Deckenziegel ≥ 333 mm ist.

4. Verankerung der Biegebewehrung

Die mindestens erforderlichen Verankerungslängen der Biegebewehrung an den Endauflagern (direkte Auflagerung) ergeben sich wie folgt (Beton C 20/25; Verbundbedingung gut):

Gerades Stabende: $l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \{0,3 * l_{b,rqd.} ; 6,7 * \emptyset\}$

Winkelhaken: $l_{bd} \geq l_{b,min} = \max \{0,7 * 0,3 * l_{b,rqd.} ; 6,7 * \emptyset\}$

$l_{bd,dir} = 2/3 * l_{bd} \geq 6,7 \emptyset$

für $\emptyset 10$:

Gerades Stabende: $l_{bd,dir} = 2/3 * 0,3 * 47 = 9,4 \text{ cm} \geq 6,7 * 1 = 6,7 \text{ cm}$ (9,4 cm maßgebend)

Winkelhakem: $l_{bd,dir} = 2/3 * 0,7 * 0,3 * 47 = 6,6 \text{ cm} < 6,7 * 1 = 6,7 \text{ cm}$ (6,7 cm maßgebend)

für $\emptyset 16$:

Gerades Stabende: $l_{bd,dir} = 2/3 * 0,3 * 75 = 15,0 \text{ cm} \geq 6,7 * 1,6 = 10,7 \text{ cm}$ (15 cm maßgebend)

Winkelhakem: $l_{bd,dir} = 2/3 * 0,7 * 0,3 * 75 = 10,5 < 6,7 * 1,6 = 10,7 \text{ cm}$
(10,7 cm maßgebend)