



LIMApus kmg

In der Breite 8

8162 Steinmaur

044 504 79 79

info@lima.plus

www.lima.plus

CHE-269.696.889 HR/MWST

INSIDE+

1

BEWEHRUNGEN IM RADIUS



Bewehrungen im Radius

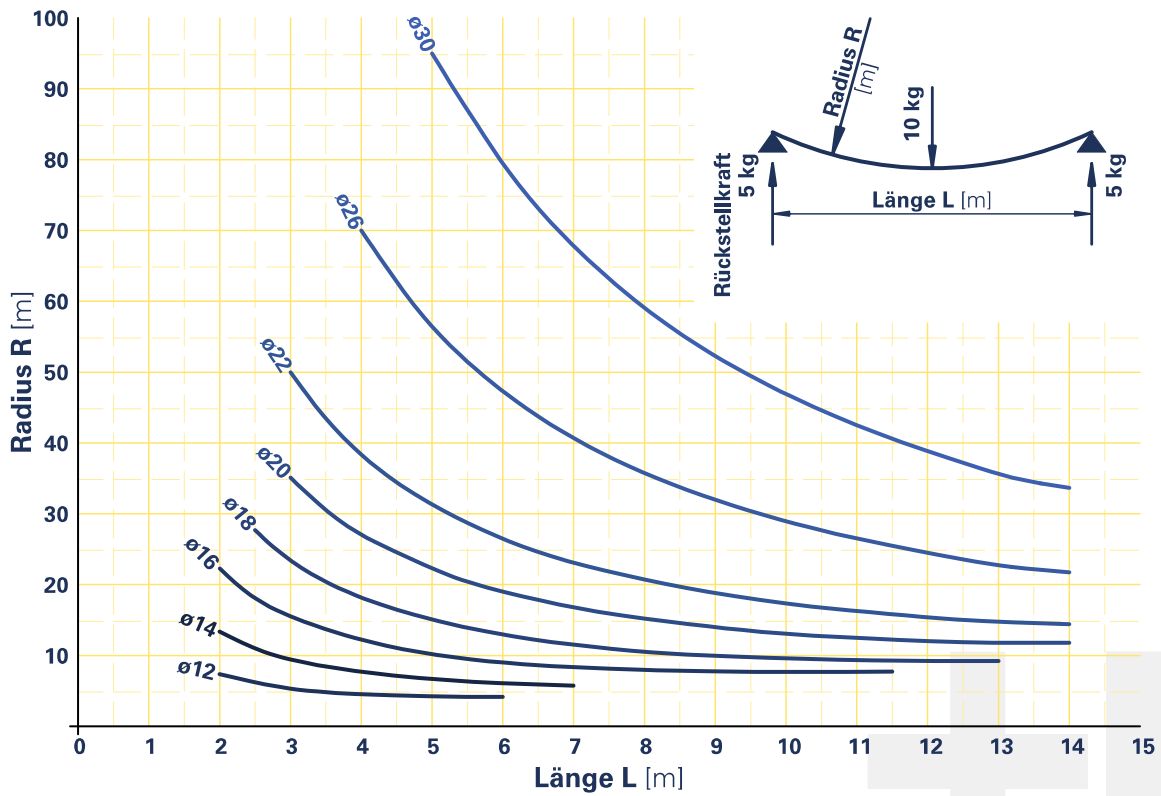
Gemäss Eisenliste im Radius biegen lassen oder bauseitig anpassen? Diese Entscheidung beeinflusst den Ablauf, die Genauigkeit und den Aufwand auf der Baustelle. Wir zeigen auf, welche Lösung sich wann bewährt – und worauf bei der Umsetzung zu achten ist.

Planung und Vorbereitung

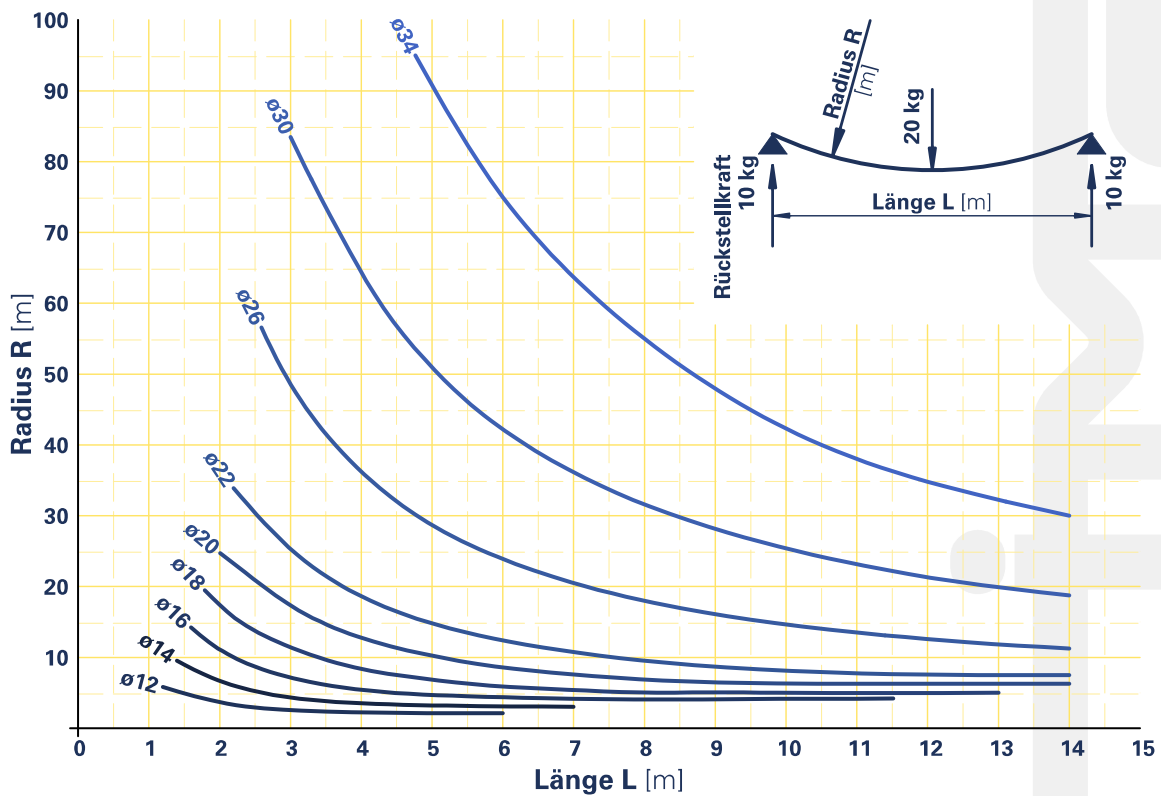
Bereits in der CAD-Planung wird festgelegt, ob Bewehrungen im Radius werkseitig vorgebogen oder erst auf der Baustelle angepasst werden sollen. Eine präzise Modellierung der Radien und Biegeformen erleichtert die Erstellung der Eisenlisten und reduziert spätere Abweichungen. Besonders bei wiederkehrenden Geometrien oder standardisierten Bauteilen kann die genaue Planung Vorteile bringen. Wichtig ist dabei, dass alle Massangaben eindeutig und nachvollziehbar aus dem Planungsmodell auf die Eisenliste übertragen werden. **Wenn bereits im Vorherein bekannt ist, dass radiusgebogene Bewehrungen benötigt werden, ist es sinnvoll und zweckmässig, dies bereits in die Planung einfließen zu lassen.** Vor allem in der immer mehr verbreiteten 3D-Planung macht es Sinn, die im Modell an den Radius angepasste Bewehrung auch so auf die Eisenliste zu exportieren. Zu beachten gilt jedoch, dass nach **SIA 262:2013, Anhang A** gewisse Toleranzen an die Abmessungen der Bewehrungen zugelassen werden. Diese sind für radiusgebogene Bewehrungen nicht explizit ausgewiesen, können aber aus den vorhandenen Toleranzen leicht hergeleitet werden. Zu beachten gilt, dass für den Fall, dass Bewehrungen segmentweise (polygonal) gebogen werden, als grobe Annäherung an den Radius, die Abbiegungen zwischen den Segmentabschnitten mindestens $5-7^\circ$ betragen sollten. Unter 5° ist in der Regel durch den Spannungszustand des Materials eine vergrösserte Rückstellfederung zu beobachten.

Machbarkeiten von Radienbiegungen

Ab Biegerei sind grundsätzlich **fast keine Begrenzungen bezüglich der Radien vorhanden**. Für den Fall, dass gerade bestellte Bewehrungen auf der Baustelle im Radius verlegt werden sollen, sind nachfolgende Grafiken dienlich, die grob die Machbarkeiten aufzeigen. **Die Resultate in der Grafik sind gültig für den Fall, dass die Bewehrungen mit einer Kraft von maximal 10 oder 20 kg in ihre radiale Form gedrückt werden.** Dabei gilt zu beachten, dass sich entsprechend eine Rückstellkraft ergibt, die ebenfalls in der Summe 10 bzw. 20 kg beträgt. Beim Binden der Bewehrungen ist darauf zu achten, passende Drahtbinder zu verwenden, sodass die Bewehrungsstäbe stabil in ihrer Lage verbleiben und durch sich plötzlich lösende Bewehrungen, die unter Spannung stehen, keine Verletzungen entstehen.



Bauseitige Biegemöglichkeiten bei einer Rückstellkraft von 10 kg



Bauseitige Biegemöglichkeiten bei einer Rückstellkraft von 20 kg

Vorbiegen nach Eisenliste?

Das Vorbiegen ab Biegerei sorgt für **gleichmässige Radien** und **eine in der Regel hohe Massgenauigkeit**. Dadurch lassen sich die Verlegezeiten verkürzen, wie auch der notwendige Krafteinsatz der Eisenleger. **Die Qualität ist üblicherweise mit vorgebogenen Bewehrungen höher**. Allerdings erfordert diese Variante eine abgestimmte Planung, da nachträgliche Änderungen auf der Baustelle nur begrenzt möglich sind. Unklare Geometrien oder spätere Anpassungen durch rollende Planungen können den Vorteil des Vorbiegens schnell relativieren. Im Radius vorgebogene Bewehrungen können in der Regel auf einen kleineren Radius angepasst werden. Die Anpassung auf grössere Radien ist oft schwierig bis gar nicht umsetzbar.

Bauseitiges anpassen?

Das Anpassen der Eisen vor Ort bietet mehr Flexibilität, insbesondere wenn während der Ausführung geometrische Abweichungen oder Planänderungen auftreten oder zu erwarten sind. **Die Bewehrung kann direkt an die tatsächlichen Verhältnisse angepasst werden**. Diese Vorgehensweise setzt jedoch erfahrenes Personal und geeignete Werkzeuge und Bindematerialien voraus, um die geforderte Qualität sicherzustellen. Der zeitliche Aufwand ist im Vergleich zur werkseitigen Vorbiegung meist höher. Ebenfalls ist zu beachten, dass der Richtprozess in der Biegerei bei Ringmaterial die mechanischen Eigenschaften massgeblich beeinflusst und dadurch Bewehrungen mit gleichen Abmessungen und Durchmessern je nach Lieferant abweichende Radien ermöglichen könnten.



Rampendecke mit bauseitiger Anpassung der Bewehrungen an vorhandenen Radius

Fazit

Welche Methode geeigneter ist, hängt von den jeweiligen Projektbedingungen ab. Eine sorgfältige Planung mittels CAD, kombiniert mit einer engen Abstimmung zwischen Planer und Baustelle, ist entscheidend für ein sauberes Ergebnis und die definitive Wahl des Vorgehens.

Was ist hinsichtlich der Statik zu berücksichtigen?

Jegliche im Radius gebogene und verlegte Bewehrungen erzeugen Umlenkkräfte. Die Umlenkkräfte, zusammen mit den Verbundspannungen, verursachen dabei Zugspannungen im Beton senkrecht zur Betonoberfläche. Abplatzungen entstehen dabei dann, wenn die zulässige Betonzugfestigkeit überschritten wird. Die Umlenkkräfte treten dabei auf der Zug- wie auch Druckseite auf, wobei die Umlenkkräfte jeweils gegen Aussen wirken. Mittels der **Formel [106] aus der SIA-Norm 262:2013** kann die Umlenkraft u [1] ermittelt werden:

$$u = \frac{F}{t} \quad [1]$$

Diese Formel wird aus der sogenannten Kesselformel [2] hergeleitet, die lautet:

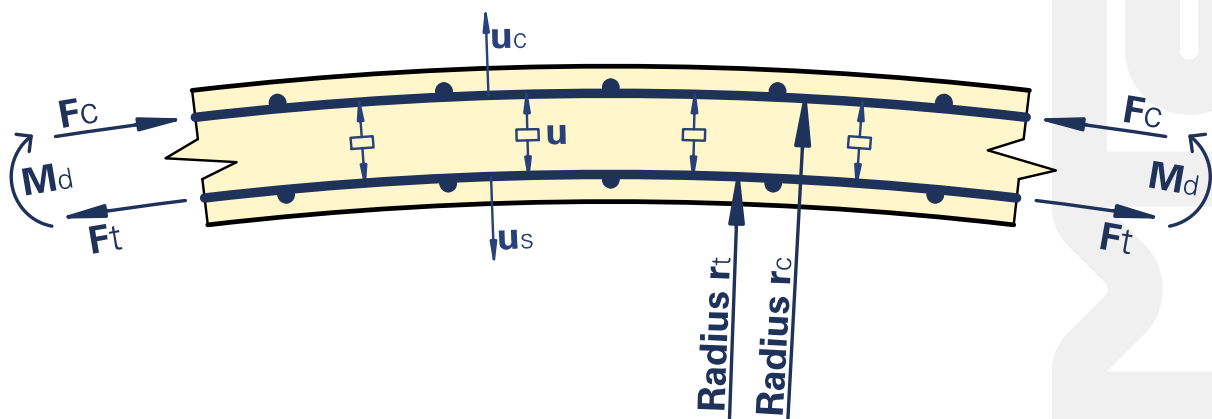
$$T = p \times r \quad [2]$$

T = Ringkraft, p = Kesselinnendruck, r = Radius

Aus den Umlenkkräften ergeben sich ableitend folgende Formeln für die Zug- [3] und Druckseite [4]:

$$u_t = \frac{F_t}{r_t} = \frac{A_s \times f_{yd}^+}{r_t} \quad [3]$$

$$u_c = \frac{F_c}{r_c} \quad [4]$$



Wenn das Biegemoment dabei Zugkräfte auf der Innenseite der Krümmung erzeugt (konkave Seite), ist die Gefahr von Abplatzungen gegeben, auf der Zug- wie auch Druckseite. Als Lösung der Problemstellung sind die Bewehrungslagen auf der Zug- und Druckseite mit einer Bügelbewehrung zu umschließen. Falls darauf verzichtet werden soll, muss die auftretende Betonzugspannung zwingend über den Beton aufgenommen werden können. Bei negativem Moment erzeugen die Umlenkkräfte übrigens Querdruck.

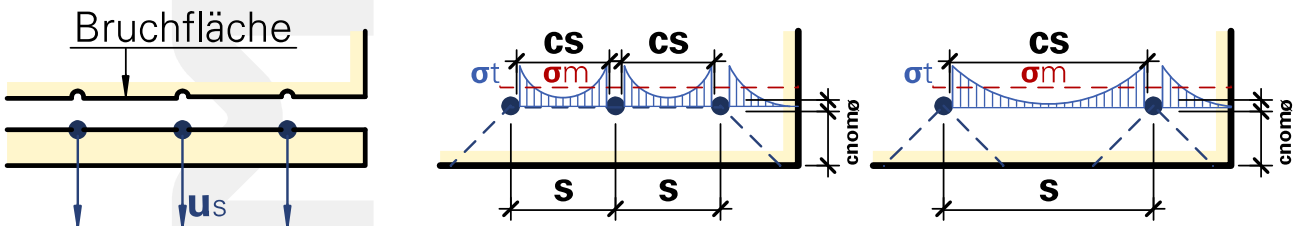
Beispiele

- Stützmauern entlang von Strassen mit Anpassung an Strassenradius und entsprechendem Erddruck. Die der Strasse zugewandte Bewehrung ist dabei genauer zu untersuchen (konkave Seite auf Strassenseite, dem Erddruck abgewandt).
- Bei Tübbings in Tunnels erzeugt die innenliegende Bewehrung Umlenkräfte, wenn Zugkräfte in den Bewehrungsstäben auftreten.
- Bei Gewölbedecken ist die auf der Gewölbeunterseite liegende Bewehrung hinsichtlich der Umlenkräfte zu untersuchen.

Für die Zugfestigkeit des Betonstahls soll f_{yd}^+ [5] eingesetzt werden im Nachweis. Damit wird sichergestellt, dass im Falle des Erreichens der Betonzugfestigkeit der Betonstahl bereits fließt. Dies erzeugt ein duktiler Systemverhalten (Dehnungsduktilität auf Materialebene → Stahlbruch soll in jedem Fall massgebend sein!).

$$f_{yd}^+ = 1.2 \times f_{yk} \quad [5]$$

Durch die punktuelle Lage der Bewehrung im Querschnitt entsteht dabei eine ungleichmässige Wirkung der Zugspannungen mit Spannungsspitzen an den Rändern der Bewehrungsstäbe. Für den Fall, bei dem der Widerstand des Betons auf Zug überschritten wird, entstehen dabei Abplatzungen, bei denen sich der Überdeckungsбетон zusammen mit den Bewehrungslagen vom Betonquerschnitt abspaltet. Problematisch hierbei ist wie erwähnt das spröde Versagen, dass dem Grundsatz der duktilen Bauweise widerspricht.



Es ist zu empfehlen, für den Nachweis die Spannungen entsprechend zu erhöhen [6-9]. Die maximal auftretende Spannung soll angesetzt werden zu:

$$b_u = \min \left[c_s, 2 \times \sqrt{3} \times \left(c_{nom} + \frac{\varnothing}{2} \right) \right] \quad [6]$$

$$c_s = s - \varnothing \quad [7]$$

$$\sigma_m = \frac{u_t}{b_u} \quad [8]$$

$$\sigma_t = \sigma_m \times k = \frac{u_t}{b_u} \times k \quad [9]$$

k soll dabei konservativ angenommen werden mit:

$$k \geq 3.5$$

[10]

Die zulässige Betonzugspannung [11] darf dabei gemäss Formel [105] SIA 262:2013 folgendermassen angesetzt werden:

$$f_{ctd} = \frac{1}{3} \times \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$$

[11]

und daraus ableitend ergibt sich der Nachweis:

$$f_{ctd} \geq \sigma_t$$

[12]

Zu beachten sind, dass je nach System zusätzliche Kräfte auftreten können wie z.B. Spannungen aus Aufhängelasten, Querkräfte oder Zugkraftänderungen, die die Umlenkkräfte zusätzlich erhöhen. Wie gewöhnlich im Stahlbetonbau ist grundsätzlich Vorsicht geboten, wenn die Zugfestigkeit des Betons berücksichtigt wird. Lösungen ohne entsprechende Berücksichtigung der Betonzugfestigkeit, in diesem Fall mittels Einlegen einer Verbügelung, sind in der Regel vorzuziehen.

Beim Einlegen einer Verbügelung ist eine enge Verlegung mit kleinen Durchmessern einer Verlegung mit grossen Durchmessern und Verlegeabständen vorzuziehen. Der Bügelabstand soll geschätzt auf $\geq 10 \times \phi$ beschränkt werden. Genauere Untersuchungen über den minimalen und maximalen Bügelabstand in grösseren Serien sind jedoch nach unserem Wissensstand keine vorhanden. Die Betonüberdeckung sollte ebenfalls nicht zu knapp gewählt werden und bei $\geq 1.5 \times \phi$ liegen. Die Mindestbetonüberdeckung gemäss Expositionsklassen ist dabei ebenfalls jederzeit einzuhalten.

Der notwendige Querschnitt der Bügel [13] beträgt dabei:

$$A_{sB} = \frac{u_t}{f_{sd}} = \frac{\sigma_m \times b_u}{f_{sd}}$$

[13]

Literaturverzeichnis

- SIA 262:2013 Betonbau, Herausgeber "SIA Zürich"
- prSIA 262:2024-04 Betonbau, Vernehmlassungsentwurf, Herausgeber "SIA Zürich"
- Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1:2011-01), Herausgeber "CEN"
- ÖNORM B 4/00 (zurückgezogen), Herausgeber "Austrian Standards International"
- fib Model Code for Concrete Structures (2020), Herausgeber "fib technical council"

Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der in diesem Beitrag enthaltenen Angaben übernehmen wir keine Gewährleistung und schliessen jegliche Haftung aus.

INSIDEplus Nr. 1 | 10.2025



LIMApus kmg

In der Breite 8
8162 Steinmaur

044 504 79 79
info@lima.plus
www.lima.plus