

Dirk Hölter

Kippsicherheitsnachweis für Stahlbeton- / Spannbetonbinder

Ist der Binder kippsicher – oder nicht? Eine schnelle Antwort auf diese Frage!

In der Literatur finden sich verschiedene gültige Normen und Richtlinien, sowie verschiedene Theorien und Berechnungsansätze, um den Nachweis der Kippsicherheit für Binder führen zu können. Bei nahezu allen Veröffentlichungen ist für den Praktiker nicht auf einen Blick ersichtlich, ob überhaupt eine Untersuchung der Kippsicherheit erforderlich ist. Wenn die Kippsicherheit maßgeblich wird, gilt es schnell zu beurteilen, welche Maßnahmen zum Erreichen der Kippsicherheit untersucht werden müssen. Hier soll der folgende Beitrag Transparenz schaffen.

Stability proof for reinforced concrete- / prestressed concrete truss

In the literature are different valid standards and guidelines as well as different theories and calculation bases around the proof of the stability for trusses. At many publications it is not evident to the practical on a view whether at all an investigation of the stability proof is necessary or not. If the stability proof becomes relevant, it applies to judge fast, which measures must be examined for reaching the stability proof. The following contribution creates transparency.

1 Wann sind Kippsicherheitsnachweise erforderlich?

Statische Grundlage sind **gabelgelagerte Binder** mit annähernd konstanter Last. In der DIN 1045-1 [1] und im Eurocode EC 2 [2] finden sich entsprechende Bedingungen, ab wann Kippsicherheitsnachweise erforderlich werden. Diese geometrischen Bedingungen sind im Programm HS-Kippsicherheit [3] berücksichtigt worden.

Die gewählten Binderquerschnitte sind mit der Arbeitshilfe Typenprogramm der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau [4] ausgewählt worden.

2 Kein Kippsicherheitsnachweis nach DIN 1045-1

Kein Kippsicherheitsnachweis ist nach DIN 1045-1 [1] erforderlich, wenn die Obergurtbreite die nebenstehende Bedingung erfüllt: Hier geht die Höhe des Binders in die Berechnung mit ein. Mit der Binderhöhe steigt nach [1] auch die Kippgefahr.

$$b \geq \sqrt[4]{\left(\frac{l}{50}\right)^3 \cdot h}$$

2.1 Kategorie: Riegel / Pfetten mit Rechteckquerschnitt

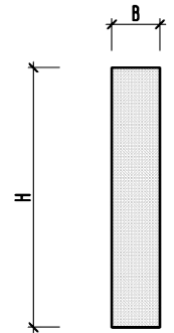
Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach DIN 1045-1:

2.1.1 Querschnitt 20/40cm, max. Spannweite 7.90m

2.1.2 Querschnitt 20/50cm, max. Spannweite 7.35m

2.1.3 Querschnitt 20/60cm, max. Spannweite 6.90m

2.1.4 Querschnitt 20/80cm, max. Spannweite 6.30m



2.2 Kategorie: T Binder mit Obergurt, meist schlaffbewehrte Binder

Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach DIN 1045-1:

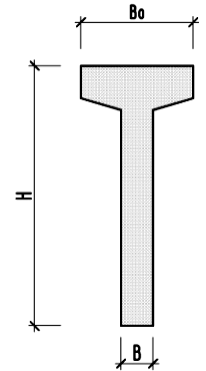
2.2.1 Querschnitt 20/100, Obergurtbreite 40cm, max. 14.70m

2.2.2 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 40cm, max. 13.85m

2.2.3 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 50cm, max. 18.65m

2.2.4 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 40cm, max. 13.15m

2.2.5 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 60cm, max. 22.60m



2.3 Kategorie: I Binder Ober- und Untergurt, Stahlbeton / Spannbetonbinder

Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach DIN 1045-1:

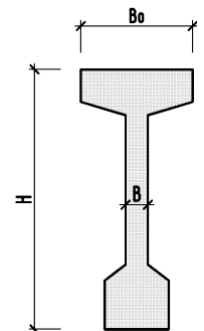
2.3.1 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 50cm, max. 16.95m

2.3.2 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 70cm, max. 26.55m

2.3.3 Querschnitt 15/180, Obergurtbreite 80cm, max. 30.50m

2.3.4 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 70cm, max. 24.65m

2.3.5 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 100cm, max. 39.65m



Steigt die Binderhöhe, steigt auch die Kippgefahr. Wird der Obergurt breiter, verringert sich die Kippgefahr. Ist der Nachweis nach DIN 1045-1 [1] erbracht, braucht kein weiterer Kippsicherheitsnachweis folgen. Lasten spielen bei der DIN 1045-1 keine Rolle. Das Programm HS-Kippsicherheit [3] berechnet, zur weiteren Sicherheit, bei hohen Lasten zusätzliche Nachweise.

Die DIN 1045-1 legt für die Auflagerkonstruktion eine Mindestgröße fest. Das **Torsionsmoment** für die Bemessung der Stützengabel und die zugehörigen Ausführungshinweise zu der Stützengabel werden vom Programm [3] berechnet.

$$T = V \cdot \frac{l}{300}$$

3 Kein Kippsicherheitsnachweis nach Eurocode EC 2

Kein Kippsicherheitsnachweis ist nach EC 2 [2] erforderlich, wenn Binderlänge und Höhe die nebenstehenden Bedingungen erfüllen:

$$l < 35 \cdot b$$

$$h < 2.5 \cdot b$$

Hier wird die vorhandene Obergurtbreite als Grundlage betrachtet.

3.1 Kategorie: Riegel / Pfetten mit Rechteckquerschnitt

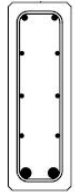
Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach EC 2:

3.1.1 Querschnitt 20/40cm, max. Spannweite 7.00m

3.1.2 Querschnitt 20/50cm, max. Spannweite 7.00m

3.1.3 Querschnitt 20/60cm, Bedingung max. h = 50cm nicht erfüllt

3.1.4 Querschnitt 20/80cm, Bedingung max. h = 50cm nicht erfüllt



3.2 Kategorie: T Binder mit Obergurt, meist schlaffbewehrte Stahlbetonbinder

Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach EC 2:

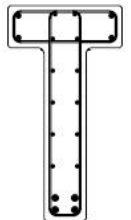
3.2.1 Querschnitt 20/100, Obergurtbreite 40cm, max. 14.00m

3.2.2 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 40cm, max. h = 100cm nicht erfüllt

3.2.3 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 50cm, max. 15.70m

3.2.4 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 40cm, max. h = 100cm nicht erfüllt

3.2.5 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 60cm, max. 21.00m



3.3 Kategorie: I Binder Ober- und Untergurt, Stahlbeton / Spannbetonbinder

Maximale Spannweite ohne Kippsicherheitsnachweis nach EC 2:

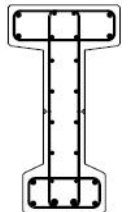
3.3.1 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 50cm, max. h = 125cm nicht erfüllt

3.3.2 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 70cm, max. 24.50m

3.3.3 Querschnitt 15/180, Obergurtbreite 80cm, max. 28.00m

3.3.4 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 70cm, max. h = 175cm nicht erfüllt

3.3.5 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 100cm, max. 35.00m



Steigt die Binderhöhe, muss die Obergurtbreite proportional dazu erhöht werden.

Wird der Obergurt breiter, verringert sich auch hier die Kippgefahr. Ist der Nachweis nach EC 2 [2] erbracht, braucht kein weiterer Kippsicherheitsnachweis folgen. Lasten spielen auch bei dem EC 2 keine Rolle. Das Programm HS-Kippsicherheit [3] berechnet, zur weiteren Sicherheit, bei hohen Lasten auch hier zusätzliche Nachweise.

Da die zulässigen Spannweiten, ohne weiteren Kippsicherheitsnachweis, bei dem EC 2 noch geringer ausfallen, als bei der DIN 1045-1, ist diese Nachweisführung in der Praxis kaum anwendbar.

4 Kippsicherheitsnachweis nach Franz

Dieser Nachweis von Prof. Dr. Ing. G. Franz [5] berücksichtigt sowohl geometrische Größen wie den Binderquerschnitt und die Spannweite, aber auch die zugehörigen Lasten. Es wird Beton C 35/45 und Baustahl BSt 500 A angesetzt. Bei den nachfolgend angegebenen maximalen Spannweiten und Belastungen wird Obergurtbewehrung erforderlich. Diese wird im Programm HS-Kippsicherheit [3] ermittelt. Die angegebene Bewehrung ist seitlich links und rechts im Obergurt zu verlegen.

4.1 Kategorie: **Riegel / Pfetten mit Rechteckquerschnitt**

4.1.1 Querschnitt 20/40cm, max. Spannweite 10m, max. $M = 300\text{kNm}$, 2Ø25

4.1.2 Querschnitt 20/50cm, max. Spannweite 12m, max. $M = 375\text{kNm}$, 2Ø28

4.1.3 Querschnitt 20/60cm, max. Spannweite 14m, max. $M = 375\text{kNm}$, 2Ø28

4.1.4 Querschnitt 20/80cm, max. Spannweite 12m, max. $M = 500\text{kNm}$, 2Ø25

4.2 Kategorie: **T Binder mit Obergurt**, meist schlaffbewehrte Stahlbetonbinder

4.2.1 Querschnitt 20/100, Obergurt 40cm, max. 20m, max. $M = 1000\text{kNm}$, 2Ø25

4.2.2 Querschnitt 20/120, Obergurt 40cm, max. 22m, max. $M = 1200\text{kNm}$, 2Ø28

4.2.3 Querschnitt 20/120, Obergurt 50cm, max. 25m, max. $M = 1500\text{kNm}$, 2Ø28

4.2.4 Querschnitt 20/140, Obergurt 40cm, max. 22m, max. $M = 1200\text{kNm}$, 2Ø28

4.2.5 Querschnitt 20/140, Obergurt 60cm, max. 28m, max. $M = 1750\text{kNm}$, 2Ø28

4.3 Kategorie: **I Binder Ober- und Untergurt**, Stahlbeton / Spannbetonbinder

4.3.1 Querschnitt 15/160, Obergurt 50cm, max. 25m, max. $M = 1500\text{kNm}$, 2Ø28

4.3.2 Querschnitt 15/160, Obergurt 70cm, max. 30m, max. $M = 2100\text{kNm}$, 2Ø25

4.3.3 Querschnitt 15/180, Obergurt 80cm, max. 35m, max. $M = 2750\text{kNm}$, 3Ø28

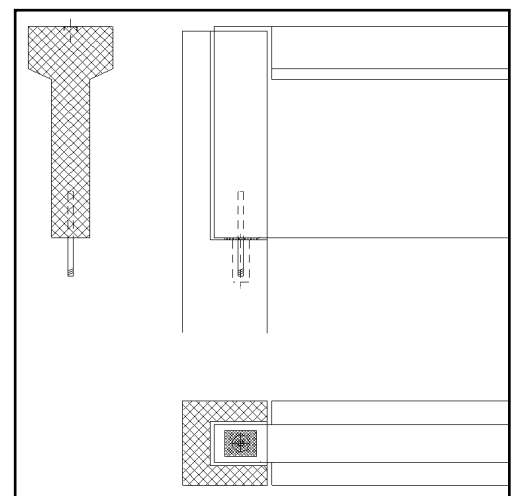
4.3.4 Querschnitt 15/200, Obergurt 70cm, max. 34m, max. $M = 2250\text{kNm}$, 3Ø28

4.3.5 Querschnitt 15/200, Obergurt 100cm, max. 40m, max. $M = 3250\text{kNm}$, 3Ø28

Die Kippgefahr steigt mit der Binderhöhe. Wirtschaftliche Obergurtbewehrungen werden dann erreicht, wenn die Binderlänge im Bereich der max. Spannweite nach DIN 1045-1 liegt.

Die angegebenen Belastungen und Bewehrungen dienen als Richtwert zur Beurteilung einer sinnvollen Querschnittsfestlegung der Binder und stellen keinen rechnerischen Nachweis im Sinne einer statischen Berechnung dar.

Die Abbildung rechts zeigt die zugrunde gelegte Gabelagerung für den Binder.



5 Kippsicherheitsnachweis nach Lebelle

Beim Ausschalen und Montieren der Binder liegt keine Gabellagerung vor. Daher ist ein Nachweis für den **Montagezustand** nach dem Verfahren von P. Lebelle [6] für Stahlbeton- und Spannbetonbinder im Programm [3] berücksichtigt worden. Abheber werden bei Stahlbetonbinder meist in Bereich der Viertels- bis Fünftelpunkte der Binderlänge platziert. Bei Spannbetonbinder liegen die Abhebepunkte meist bei den Zehntelpunkten der Binderlänge. Es wird Beton C 35/45 und Baustahl BSt 500 A angesetzt.

5.1 Kategorie: Riegel / Pfetten mit Rechteckquerschnitt

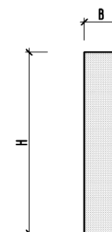
Maximale mögliche Spannweite nach Lebelle für Stahl- und Spannbeton:

5.1.1 Querschnitt 20/40cm, max. Spannweite 10m

5.1.2 Querschnitt 20/50cm, max. Spannweite 12m

5.1.3 Querschnitt 20/60cm, max. Spannweite 14m

5.1.4 Querschnitt 20/80cm, max. Spannweite 17m



5.2 Kategorie: T Binder mit Obergurt, meist schlaffbewehrte Stahlbetonbinder

Maximale mögliche Spannweite nach Lebelle für Stahl- und Spannbeton:

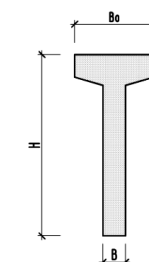
5.2.1 Querschnitt 20/100, Obergurtbreite 40cm, max. 22m

5.2.2 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 40cm, max. 25m

5.2.3 Querschnitt 20/120, Obergurtbreite 50cm, max. 25m

5.2.4 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 40cm, max. 26m

5.2.5 Querschnitt 20/140, Obergurtbreite 60cm, max. 30m



5.3 Kategorie: I Binder Ober- und Untergurt, Stahlbeton / Spannbetonbinder

Maximale mögliche Spannweite nach Lebelle für Stahl- und Spannbeton:

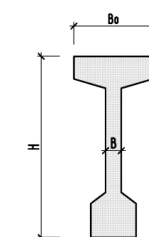
5.3.1 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 50cm, max. 29m

5.3.2 Querschnitt 15/160, Obergurtbreite 70cm, max. 32m

5.3.3 Querschnitt 15/180, Obergurtbreite 80cm, max. 36m

5.3.4 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 70cm, max. 34m

5.3.5 Querschnitt 15/200, Obergurtbreite 100cm, max. 40m



Bei Spannbetonbindern ist die Kippgefahr höher als bei Stahlbetonbindern. Soll die Kippsicherheit bei Spannbetonbindern für den Montagefall erhöht werden, so können die Abhebepunkte von außen nach innen bis zu den Viertels- bis Fünftelpunkten der Binderlänge verschoben werden. Dies erfordert aber eine neue Spannbetonberechnung, da durch diese Maßnahme Spannungsberechnungen neu kontrolliert werden müssen. Die angegebenen max. Spannweiten sind nur für den Montagezustand maßgebend. Die Spannweiten im Gebrauchszustand können deutlich geringer ausfallen.

6 Hinweise zum Berechnungsprogramm

Das Programm HS-Kippsicherheit [3] dient lediglich als schnelle Arbeitshilfe zur Überprüfung der Kippsicherheit für den Praktiker. Mit Hilfe des Programms kann schnell und ohne zusätzliche Berechnungen der Nachweis der Kippsicherheit nach DIN 1045-1 und EC 2 erbracht werden. Grundlagen und Hinweise finden sich im Betonkalender 2005 [7].

Statische Grundlage für das Programm sind gabelgelagerte Binder mit annähernd konstanter Last. Da keine abgeschlossene Berechnung stattfindet, sondern Einzelnachweise am Eingabequerschnitt orientiert ablaufen, ist es auch möglich, Satteldach- oder anders gekrümmte Binderverläufe zu berücksichtigen. Der Anwender kann mehrere Querschnittsstellen eingeben und wertet anschließend die Ergebnisse aus.

Sind weitere Nachweise erforderlich, so dient der integrierte Nachweis nach Franz [5] als Grundlage zur Beurteilung der Kippsicherheit. Das Programm gibt Empfehlungen für evtl. Verstärkungsmaßnahmen an. Der Anwender muss die mit der Software ermittelten Bemessungsergebnisse dann verantwortlich interpretieren.

7 Zusammenfassung

Der Binderquerschnitt ist sinnvoll zu wählen. Steigt die Binderhöhe, steigt auch die Kippgefahr. Ein überdimensionierter Binder kann zwar höhere Belastungen tragen, ist aber kippanfälliger. Ein gut ausgenutzter Binderquerschnitt mit niedriger Höhe ist kippstabiler. Das entscheidende Kriterium ist die Obergurtbreite. Wird der Obergurt breiter, verringert sich die Kippgefahr. Viele Fertigteilhersteller setzten Schalformen mit schmaleren Obergurtbreiten als die DIN 1045-1 [1] erwartet ein. In diesen Fällen ist ein Kippsicherheitsnachweis erforderlich und es sind meist nennenswerte Obergurtbewehrungen seitlich, links und rechts, im Obergurt einzulegen.

Der Montagezustand stellt meist kein Kippsicherheitsproblem dar, muss aber besonders bei, im Gebrauchszustand seitlich abgestützten Bindern, beachtet werden.

Literatur

- [1] DIN 1045-1, Teil 1, Kapitel 8.6.8
- [2] EC 2, Teil 1-1, Abschnitt 4.3.5.7 und DAfStb Anwendungsrichtlinie
- [3] Programm HS-Kippsicherheit, Bausoftwareentwicklung <HöSoft>
Internet: www.hoesoft.de
Mail: info@hoesoft.de
- [4] Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V., Schloßallee 10, 53179 Bonn
Internet: www.fdb-typenprogramm.de
Mail: info@fdb-fertigteilebau.de
- [5] Konstruktionslehre des Stahlbetons von Prof. Dr. Ing. Gotthard Franz,
Springer Verlag, Berlin / Heidelberg / New York, 1966
- [6] Stabilité élastique des poutres en béton précontraint a l'égard du déversement
latéral von P. Lebelle,
Institut Technique du Bâtiment, Paris, 1959
- [7] Beton Kalender 2005 Teil 2 Seite 325 und 350,
Ernst & Sohn, Berlin, 2005

Autor dieses Beitrages

Dipl.-Ing. Dirk Hölter
Ingenieurbüro für Tragwerksplanung & Software
Zeisigweg 6
52134 Herzogenrath
hoelter@statik-tragwerk.de