

Bewertung der Druckfestigkeit im Bauwerk – die neue SN EN 13791

1 Einleitung

Die Bestimmung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und Bauteilen ist eine relativ häufige Aufgabe. 2007 wurde hierzu die SN EN 13791 publiziert. Ab dem 1.3.2021 ist die aktualisierte SN EN 13791:2019 mit Nationalen Anhang gültig. Die alte und neue Fassung decken sich darin, dass jeweils das Vorgehen für baustatische Bewertungen sowie bei Zweifeln an der eingebauten Betonqualität aufgeführt sind. Im Detail gibt es aber relevante Änderungen. Diese betreffen vor allem:

- Die Beurteilungskonzepte wurden an die der EN 206 sowie EN 1990 und EN 1992-1-1 angeglichen.
- Der Prüfungsumfang wurde bezüglich der benötigten Anzahl an Bohrkernen und Ergebnisse indirekter Prüfungen modifiziert.
- Bohrkern mit 75 mm statt 100 mm Durchmesser können für den Nachweis herangezogen werden.

2 Allgemeine Hinweise

Es ist vom Auftraggeber zuerst festzulegen, ob die Bestimmung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und Bauteilen durchgeführt wird, weil Zweifel an der eingebauten Betonqualität bestehen oder die eingebaute Betonqualität einer baustatischen Bewertung bedarf.

Die Druckfestigkeitsprüfung am Bohrkern erfolgt weiterhin nach SN EN 12504-1 (neue Ausgabe 2021). Vom Auftraggeber ist festzulegen, ob die Bohrkern nass oder trocken zu prüfen sind, da dies die Druckfestigkeit beeinflusst. Zumeist wird die „Würfeldruckfestigkeit“ an Bohrkernen bestimmt, d.h. die Länge des Bohrkernabschnitts entspricht dessen Durchmesser. Die Druckfestigkeit der Bohrkern ist mit dem Einfluss des Verhältnisses Höhe h / Durchmesser \varnothing zu korrigieren, indem die Festigkeit jedes Bohrkerns mit dem Beiwert CLF multipliziert wird:

$CLF = (h / 2 \cdot \varnothing)^{0,29}$ für h / \varnothing zwischen 0,90 und 2,05

Somit ist $CLF = 0,82$ für $h / \varnothing = 1,0$ und $CLF = 1,00$ für $h / \varnothing = 2,0$.

Bohrkerne mit $h / \varnothing < 0,90$ oder $h / \varnothing > 2,05$ dürfen nicht berücksichtigt werden.

Bei der Festlegung der Bohrstellen ist darauf zu achten, dass beispielsweise keine Risse, Bewehrung oder sonstige Einlagen im Bohrkern sind. Bei der Auswahl der Bohrstellen ist auch zu beachten, dass die Betonqualität über die Bauteilhöhe variieren kann. In Abb. 2 sind die Differenzen von Bohrkerndruckfestigkeiten aus der oberen gegenüber der unteren Hälfte einer Stahlbetondecke dargestellt: Im Mittel weisen die Bohrkern aus der oberen Deckenhälfte eine um 9% niedrigere Druckfestigkeit als die aus der unteren Hälfte auf. Dies kann vor allem auf die unterschiedliche Verdichtung und Entmischungen zurückgeführt werden. Bei vertikalen Bauteilen können deutlich grössere Unterschiede zwischen oben und unten bestehen.

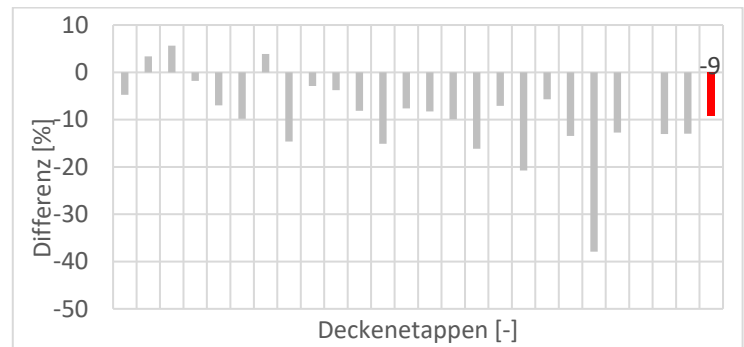


Abb. 2: Druckfestigkeitsunterschiede in einer Decke

3 Erste Beurteilung der Bohrkernergebnisse

Es kann eine statistische Ausreisserprüfung bei den ermittelten Bohrkerndruckfestigkeiten gemäss Abschnitt 7 der SN EN 13791 vorgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass Prüfergebnisse nicht fälschlicherweise als Ausreisser ausgedeutet werden. Wichtig ist, dass die zu prüfenden Bohrkernabschnitte auf z.B. Risse, Rohdichteunterschiede, Entmischungen, Kiesnester kontrolliert werden. Abschliessend ist zu beurteilen, ob z.B. einzelne Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung z.B. wegen des Bruchbildes, zu verwerfen sind oder nicht alle Bohrkern der gleichen Betonqualität angehören. In letzterem Falle müssten dann separate Beurteilungen vorgenommen werden.

4 Anzahl Bohrkern pro Messstelle

Unter einer Messstelle wird eine begrenzte Fläche verstanden, an der die Betonqualität geprüft wird. Ist an einer Messstelle die Druckfestigkeit zu bestimmen, ergibt sich die benötigte Anzahl an Bohrkernen aus dem Bohrkerndurchmesser \varnothing und dem Grösstkorn des Betons D_{max} (Tab. NA.1).

Tab. NA.1 der SN EN 13791: Anforderungen an Mindestanzahl an Druckfestigkeitswerten für ein Prüfergebnis pro Messstelle

\varnothing [mm]	\varnothing/D_{max} [-]	Mindestanzahl Druckfestigkeitswerte [-]	Beispiele
≥ 75	≤ 3	2	$\varnothing = 80$ mm und $D_{max}32$
	> 3	1	$\varnothing = 80$ mm und $D_{max}16$ $\varnothing = 100$ mm und $D_{max}32$
$50 \leq \varnothing < 75$	≤ 3	5	$\varnothing = 50$ mm und $D_{max}32$
	> 3	3	$\varnothing = 50$ mm und $D_{max}16$

Ist jedoch nicht die Druckfestigkeit an einer Messstelle, sondern nur in einem ganzen Prüfbereich relevant (siehe Abschnitt baustatische Bewertung), braucht an jeder Messstelle des Prüfbereichs auch nur ein Bohrkern geprüft werden, sofern dessen Durchmesser mindestens 50 mm beträgt.

5 Baustatische Bewertung

Das Bauwerk muss vorgängig in Prüfbereiche unterteilt werden, von denen bekannt ist oder vermutet wird, dass sie aus Beton mit den gleichen Bestandteilen hergestellt wurden und dass die gleiche Druckfestigkeitsklasse zu erwarten ist. Falls die Betondruckfestigkeiten nicht bekannt sind, muss eine ingenieurtechnische Beurteilung oder eine vorgängige Untersuchung mit indirekten Prüfmethode n erfolgen, um Bauwerksteile zu Prüfbereichen zusammenzufassen. Basiert die baustatische Bewertung nur auf Bohrkerndruckfestigkeiten, gilt gemäss Abschnitt 8 der SN EN 13791 mit einer Ausnahme (s.u.) Tab. NA.2 zur benötigten Mindestanzahl an gültigen Druckfestigkeitsergebnissen.

Tab. NA.2 der SN EN 13791: Mindestanzahl an gültigen Prüfwerten

\varnothing [mm]	\varnothing/D_{\max} [-]	Mindestanzahl Prüfwerte [-]	Beispiele
≥ 75	≤ 3	8	$\varnothing = 80 \text{ mm} \ \& \ D_{\max} 32$
	> 3		$\varnothing = 100 \text{ mm} \ \& \ D_{\max} 32$
$50 \leq \varnothing < 75$	≤ 3	16	$\varnothing = 50 \text{ mm} \ \& \ D_{\max} 32$
	> 3	12	$\varnothing = 50 \text{ mm} \ \& \ D_{\max} 16$

Die charakteristische Druckfestigkeit $f_{ck, is}$ wird aus dem niedrigeren der folgenden Werte abgeschätzt:

$$f_{ck, is} = f_{c, m(n)is} - k_n s$$

$$f_{ck, is} = f_{c, is, \text{Tiefstwert}} + M$$

$f_{c, m(n)is}$: Mittelwert der gültigen Bohrkerndruckfestigkeiten

$f_{c, is, \text{Tiefstwert}}$: niedrigster Wert der gültigen Bohrkerndruckfestigkeiten

k_n : Wert von 2 bis 1.64 (Tab. 6 der SN EN 13791), je nach Anzahl gültiger Bohrkerndruckfestigkeiten von 8 bis ∞ .

s : Standardabweichung der gültigen Bohrkerndruckfestigkeiten, diese muss mindestens einem Variationskoeffizient von 8 % entsprechen.

$M = 4 \text{ MPa}$ bei $f_{c, is, \text{Tiefstwert}} \geq 20 \text{ MPa}$ bis $M = 1$ bei $f_{c, is, \text{Tiefstwert}} < 12 \text{ MPa}$ (Tab. 7 der SN EN 13791).

Eine Ausnahme ist bei begrenzten Prüfbereichen möglich. Diese umfassen 1 – 3 Bauelemente mit zusammen höchstens 10 m^3 Beton. Hier können auch nur 3 Bohrkerne mit $\varnothing \geq 75 \text{ mm}$ geprüft werden. Für die baustatische Bewertung gilt die niedrigste der Bohrkerndruckfestigkeiten. Zudem darf die Streubreite der Bohrkerndruckfestigkeiten maximal 15 % vom Mittelwert betragen.

Die charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} für die Nachweise nach Norm SIA 262 wird wie folgt berechnet:

$$f_{ck} = f_{ck, is} / 0,85.$$

Der Faktor 0,85 beschreibt das Verhältnis zwischen Druckfestigkeit von Bohrkerne n aus Bauwerken bzw. Bauteilen und der Druckfestigkeit von separat hergestellten Prüfkörpern.

6 Druckfestigkeitsbewertung im Zweifelsfall

Bei Zweifeln an der eingebauten Betonqualität ($f_{ck, spec}$) dürfen keine Bohrkerndruckprüfungen an Beton durchgeführt werden, der jünger als bei der Konformitätsprüfung (üblicherweise 28 Tage) ist. Gemäss Abschnitt 9 der SN EN 13791 sind die Bauteile in Prüfbereiche zu unterteilen, die nicht mehr als jeweils

Tab. 8 der SN EN 13791: Kriterien für Bewertung

Anzahl an Volumen mit 30 m^3 pro Prüfbereich [-]	Mindestanzahl an Messstellen pro Volumen [-]	Mittelwert der Ergebnisse im Prüfbereich [MPa]	Niedrigstes Prüfergebnis [MPa]
1	3	-	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
2 – 4	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 1)$	
5 – 6	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2)$	

$M = 4 \text{ MPa}$ bei C20/25 oder höher, bei C16/20, C12/15, C8/10 gilt $M = 3, 2, 1 \text{ MPa}$.

ca. 180 m^3 Beton umfassen. Jeder Prüfbereich ist dann in Volumina von maximal etwa 30 m^3 Beton aufzuteilen. Die Mindestanzahl an Messstellen für jedes Volumen ist in Tab. 8 der SN EN 13791 enthalten. Die Mindestanzahl an Bohrkerne n, um ein Prüfergebnis für jede Messstelle zu erhalten, ist in Tab. NA.1 der SN EN 13791 geregelt.

7 Indirekte Prüfverfahren

Indirekte Prüfverfahren sind die Bestimmung der Rückprallzahl nach SN EN 12504-2 und die der Ultraschallgeschwindigkeit nach SN EN 12504-4. Die indirekte Prüfung soll im Bereich der Bohrstellen vor dem Bohren erfolgen. Es sollten mindestens 10 Prüfergebnispaare ermittelt werden, die einen klaren Zusammenhang zeigen. Zudem sollen diese Stellen den gesamten Bereich (Minimum – Maximum) der Messwerte der indirekten Prüfungen umfassen.

Mit mindestens 8 bis 10 Prüfergebnispaaren wird eine lineare Regression vorgenommen. Basierend auf dieser Gleichung und weiteren Berechnungen kann die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons abgeschätzt werden.

Bei der Bestimmung der Werte der Regressionsgleichung darf die Regressionsgleichung an beiden Enden der nachgewiesenen Beziehung nur um höchstens 4 MPa extrapoliert werden. Bei einem Prüfbereich von höchstens 30 m^3 Beton und wenn keine Zweifel an der Druckfestigkeit des eingebrachten Betons bestehen, brauchen nur 3 Bohrkerne geprüft und zusammen mit der indirekten Prüfung ausgewertet werden.

In den Abschnitten 9.3 und 9.4 der SN EN 13791 ist beschrieben, wie nur mit indirekten Prüfverfahren bzw. kombinierten indirekten und direkten Prüfverfahren die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons im Zweifelsfall bewertet werden kann. Im Nationalen Anhang heisst es dazu: Die Abschätzung der Betondruckfestigkeit nur mit Ergebnissen von Rückprallmessungen kann zu falschen (zu hohen, zu tiefen) Betondruckfestigkeiten führen.

8 Folgerungen

Die neue Ausgabe der SN EN 13791 enthält die gleichen Ziele wie die alte Ausgabe. Im Detail gibt es jedoch wesentliche Unterschiede. Die Anwendung der neuen SN EN 13791

- kann zu einer von der alten SN EN 13791 abweichenden Druckfestigkeitsbewertung führen.
- lässt eine sinnvolle Beurteilung von Betonen mit geringer Druckfestigkeit ($\leq C16/20$) zu.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit an Bohrkerne n mit $\varnothing \geq 75 \text{ mm}$ wird empfohlen, da

- bei solchen Durchmesser n weniger Schäden am Bohrkern im Vergleich zu kleineren Bohrkerne n zu erwarten sind
- weniger Bohrkerne als bei $\varnothing = 50 \text{ mm}$ benötigt werden
- weniger «Schäden» am Bauwerk, insbesondere an der Bewehrung, verursacht werden.

Somit ist zu erwarten, dass Bohrkerne mit $\varnothing = 75 - 80 \text{ mm}$ zukünftig Standard werden.

Dr. Frank Jacobs