

DIN CEN/TR 17086

ICS 91.080.40

**Weiterführende Anleitung zur Anwendung von EN 13791:2019 und
Hintergründe zu den Regelungen;
Deutsche Fassung CEN/TR 17086:2020**

Further guidance on the application of EN 13791:2019 and background to the provisions;
German version CEN/TR 17086:2020

Guide pour l'application de la norme EN 13791:2019 et contexte des spécifications;
Version allemande CEN/TR 17086:2020

Gesamtumfang 76 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TR 17086:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SN (Norwegen) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-07-05 AA „Prüfverfahren für Beton“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Dieses Dokument enthält Hintergründe zu den Anforderungen und Verfahrensweisen von DIN EN 13791:2020-02, zu der mit DIN EN 13791/A20:2022-04 ein Nationaler Anhang veröffentlicht wurde, der Ergänzungen und Präzisierungen zu DIN EN 13791:2020-02 enthält. Das vorliegende Dokument bezieht sich nur auf DIN EN 13791:2020-02.

Technische Reporte sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Zum vorliegenden Technischen Report wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit diesem Technischen Report sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nabau@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10787 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Deutsche Fassung

Weiterführende Anleitung zur Anwendung von EN 13791:2019 und Hintergründe zu den Regelungen

Further guidance on the application of EN 13791:2019
and background to the provisions

Guide pour l'application de la norme EN 13791:2019 et
contexte des spécifications

Dieser Technische Bericht wurde vom CEN am 4. Oktober 2020 angenommen. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Symbole und Abkürzungen	6
3 Allgemeine Prinzipien, die bei der Überarbeitung angewendet wurden	8
4 Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und weitere Betoneigenschaften, die im Bemessungsprozess nach EN 1992-1-1 angenommen werden	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Anhand von Probekörpern bestimmte Betondruckfestigkeit	10
4.3 Betondruckfestigkeit, bestimmt anhand der Festigkeit von aus dem Tragwerk entnommenen Bohrkernen	12
5 Unterschiede zwischen Probekörpern und dem Beton im Tragwerk	12
5.1 Einleitung	12
5.2 Referenzprobekörper	13
5.3 Auswirkungen des Feuchtezustandes von Bauwerksbeton-Probekörpern	14
5.4 Auswirkungen der Reife auf die Betonfestigkeit	15
5.5 Auswirkungen der Nachbehandlung	16
5.6 Auswirkungen der Verdichtung	16
5.7 Auswirkungen von übermäßigen Lufteinschlüssen	17
6 Prüfvariablen, die die Bohrkernfestigkeit beeinflussen	17
6.1 Einleitung	17
6.2 Richtung in Relation zur Betonierrichtung	17
6.3 Imperfektionen	17
6.4 Bohrkerndurchmesser	18
6.5 Länge/Durchmesser-Verhältnis	18
6.6 Ebenheit der Stirnflächen	18
6.7 Abgleich der Stirnflächen	18
6.8 Auswirkungen des Bohrens	18
6.9 Bewehrung	19
7 Anwendungsbereich in EN 13791:2019, Abschnitt 1	19
8 Begriffe, Symbole und Abkürzungen in EN 13791:2019, Abschnitt 3	19
9 Untersuchungsziel und Prüfparameter in EN 13791:2019, Abschnitt 4	20
10 Prüfbereiche und Messstellen in EN 13791:2019, Abschnitt 5	20
11 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons in EN 13791:2019, Abschnitt 6	21
12 Erste Beurteilung des Datensatzes in EN 13791:2019, Abschnitt 7	22
13 Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung eines bestehenden Bauwerks in EN 13791:2019, Abschnitt 8	23
13.1 Ausschließlich basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen (siehe EN 13791:2019, 8.1)	23

13.2	Basierend auf einer Kombination von Prüfdaten aus einer indirekten Prüfung und aus Bohrkernen (siehe EN 13791:2019, 8.2)	29
13.3	Anwendung von indirekten Prüfungen mit ausgewählten Bohrkernprüfungen (siehe EN 13791:2019, 8.3)	33
14	Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von eingebrachtem Beton im Zweifelsfall in EN 13791:2019, Abschnitt 9	34
14.1	Allgemeines in EN 13791:2019, 9.1	34
14.2	Verwendung von Bohrkernprüfdaten (siehe EN 13791:2019, 9.2)	35
14.3	Indirekte Prüfung plus ausgewählte Bohrkernprüfungen (siehe EN 13791:2019, 9.3)	36
14.4	Screening-Test unter Anwendung einer allgemeinen oder speziellen Beziehung mit einem indirekten Prüfverfahren (siehe EN 13791:2019, 9.4)	36
14.4.1	Eine Verfahrensweise zur Aufstellung einer Korrelation zwischen Rückprallzahl oder UPV und Druckfestigkeit anhand von Probekörpern	39
14.5	Verfahrensweise für den Fall der Erklärung einer Nichtkonformität der Druckfestigkeit durch den Hersteller in EN 13791:2019, 9.5	41
14.6	Anwendung von Vergleichsprüfungen	41
	Anhang A (informativ) Beispiele für die Berechnungen	43
A.1	Beispiel A1: Berechnung der Rückprallzahl	43
A.2	Beispiel A2: Berechnung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons anhand von Bohrkernprüfdaten	45
A.2.1	Beispiel A2.1	45
A.2.2	Beispiel A2.2	46
A.3	Beispiel A3: Bewertung der Daten eines Prüfbereichs, um zu überprüfen, ob dieser zwei oder mehr Druckfestigkeitsklassen enthält	46
A.4	Beispiel A4: Überprüfung auf statistische Ausreißer	50
A.5	Beispiel A.5: Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons anhand von Bohrkernprüfdaten	52
A.6	Beispiel A6: Aufstellung einer Korrelation zwischen den Ergebnissen der indirekten Prüfung und der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons	53
A.7	Beispiel A7: Anwendung der indirekten Prüfung in Kombination mit der Bohrkernprüfung zur Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und der Druckfestigkeit an Stellen, an denen nur ein Ergebnis der indirekten Prüfung verfügbar ist	57
A.8	Beispiel A8: Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons mit Hilfe indirekter Prüfung und drei aus dem schwächeren Bereich entnommenen Bohrkernen	61
A.8.1	Beispiel A8.1	61
A.8.2	Beispiel A8.2	61
A.9	Beispiel A9: Screening-Test anhand einer generischen Beziehung	63
A.10	Beispiel A10: Screening-Test mit Hilfe eines Rückprallhammers, der anhand von aus demselben Beton hergestellten Probekörpern kalibriert wurde	65
A.11	Beispiel A11: Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von eingebrachtem Beton anhand von Daten aus der indirekten Prüfung und ausgewählten Bohrkernprüfdaten	70
A.12	Beispiel A12: Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von kürzlich gelieferttem Beton ausschließlich anhand von Bohrkernprüfdaten	72
	Literaturhinweise	73

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TR 17086:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von Standards Norway gehalten wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument sollte in Verbindung mit EN 13791:2019 gelesen werden.

Einleitung

(1) Mit dem Ziel, zu einer ausgewogenen Norm zu gelangen, haben sich in der CEN/TC 104/SC 1/TG 11 Experten unterschiedlicher Herkunft und Zugehörigkeiten zusammengefunden. Die Mitglieder der TG 11 sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Die für die Überarbeitung von EN 13791 verantwortlichen Mitglieder des Technischen Komitees CEN/TC 104/SC 1/TG 11

Mitglied	Zugehörigkeit
Prof. Tom Harrison	Obmann
Dr. Chris Clear	Schriftführer
Vesa Anttila	Rudus, Finnland
Prof. Wolfgang Breit (zur Kenntnis)	Technische Universität Kaiserslautern, Deutschland
Dr. Neil Crook	The Concrete Society, Vereinigtes Königreich
Ir. F.B.J. (Jan) Gijsbers	CEN/TC 250/SC 2
Bruno Godart	IFSTTAR, Frankreich
Dr. Arlindo Gonçalves	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal
Christian Herbst	JAUSLIN + STEBLER INGENIEURE AG, Schweiz
Rosario Martínez Lebrusant	Jefe del Área de Certificación y Hormigones, Spanien
Dorthe Mathiesen (zur Kenntnis)	Danish Technological Institute, Dänemark
David Revuelta	Instituto Eduardo Torroja, Spanien
Dr.-Ing. Björn Siebert, abgelöst von Dr. Enrico Schwabach	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V.
Prof. Johan Silfwerbrand	Swedish Cement and Concrete Research Institute, Schweden
Ceyda Sülün, abgelöst von Francesco Biasioli	ERMCO
José Barros Viegas (zur Kenntnis)	BIBM
Dr.-Ing. Ulrich Wöhl	Deutscher Experte und Mitglied der früheren TG 11
Christos A. Zeris (zur Kenntnis)	National Technical University of Athens, Griechenland

(2) David Corbett von der Schweizer Firma Proceq gab außerdem Beratung zur Rückprallhammer- und Impulsgeschwindigkeitsprüfung, und André Monteiro vom portugiesischen Laboratório Nacional de Engenharia Civil half bei der statistischen Auswertung der kombinierten Prüfergebnisse von Bohrkern- und indirekten Prüfungen.

(3) Die Arbeiten erfolgten in gegenseitiger Abstimmung und unter Austausch von Informationen mit dem Technischen Komitee TC 104/SC 1 der RILEM, das an zerstörungsfreien Bewertungen der Betonfestigkeit auf der Baustelle arbeitet.

(4) Wird in diesem Dokument auf einen bestimmten Absatz verwiesen, ohne dass dieser Verweisung eine Verweisung auf eine bestimmte Norm vorausgeht, z. B. EN 13791:2019, Abschnitt 6, so bezieht sich die Verweisung auf einen Absatz im vorliegenden Dokument. So verweist z. B. „13.3 (2)“ auf den 2. Absatz von Abschnitt 13.3 dieses Dokuments.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden die Gründe für die in EN 13791 [1] enthaltenen Anforderungen und Verfahrensweisen dargelegt, und es wird erläutert, warum einige der in EN 13791:2007 [2] enthaltenen Konzepte und Verfahrensweisen nicht in die überarbeitete Fassung von 2019 übernommen wurden. Der Anhang enthält ausgearbeitete Beispiele für die in EN 13791:2019 enthaltenen Verfahrensweisen.

2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

CLF	Bohrkernlängenfaktor (en: core length factor)
CoV	Variationskoeffizient (en: coefficient of variation)
f_c oder $f_{c,Würfel}$	Druckfestigkeit von Standardprobekörpern in Form von 2 : 1-Zylindern oder -Würfeln
$f_{c,1 : 1\text{Bohrkern}}$ oder $f_{c,2 : 1\text{Bohrkern}}$	Bohrkerndruckfestigkeit, die mit einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von entweder 1 : 1 oder 2 : 1 verbunden ist
f_{cd}	Bemessungswert der Druckfestigkeit im Tragwerk
f_{ck}	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Probekörpern, basierend auf 2 : 1-Zylindern
$f_{ck,Würfel}$	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Probekörpern, basierend auf Würfeln
$f_{c,is}$	Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
$f_{ck,is}$	Charakteristische Druckfestigkeit (ausgedrückt als die Festigkeit eines 2 : 1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm)
$f_{ck,is,28}$	Angenommene charakteristische Druckfestigkeit im Tragwerk
$f_{ck,is, > 28}$	Angenommene charakteristische Druckfestigkeit im Tragwerk nach 28 Tagen
$f_{ck,spec}$	festgelegte charakteristische Mindestdruckfestigkeit
$f_{ck,spec,Würfel}$	festgelegte charakteristische Mindest-Würfeldruckfestigkeit (einige CEN-Mitglieder legen die Würfeldruckfestigkeit fest)
$f_{c,is,Höchstwert}$	Höchstwert von $f_{c,is}$ in einer Reihe von „n“ Ergebnissen
$f_{c,is,Tiefstwert}$	Tiefstwert von $f_{c,is}$ in einer Reihe von „n“ Ergebnissen
$f_{c,is,est}$	Geschätzte Druckfestigkeit an einer bestimmten Messstelle
$f_{c,is,reg}$	Messwert aus der indirekten Prüfung, der mit Hilfe einer Regressionsgleichung in seine äquivalente Druckfestigkeit des Bauwerksbetons umgerechnet wird
$f_{c,m}$	Mittelwert (Durchschnitt) der Betondruckfestigkeit von 2 : 1-Prüfzylindern

$f_{c,m(n)is}$	Mittelwert (Durchschnitt) einer Reihe von „n“ Werten von $f_{c,is}$
k_n	Faktor, der auf die Standardabweichung der Probe angewendet wird
k_t	Abminderungswert für α_{cc}
m	Anzahl gültiger Ergebnisse einer indirekten Prüfung im untersuchten Prüfbereich
n	Anzahl der Ergebnisse der Bohrkernprüfungen
p	Anzahl der Parameter der Korrelationskurve
R^2	Bestimmtheitsmaß
s	Schätzwert der Gesamtstandardabweichung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
s_c	Reststandardabweichung, bei der es sich um ein Maß für die Streubreite der Prüfdaten für die Bohrkernfestigkeit um die angepasste Regressionskurve handelt
s_e	Standardabweichung aller abgeschätzten Festigkeitswerte, bei der es sich um ein Maß für die Streubreite der Schätzwerte für die Bohrkernfestigkeit um deren Mittelwert handelt
s_r	Standardabweichung der Probe des Bezugsbauwerksteils (der Bezugsbauwerksteile)
s_s	Standardabweichung der Probe des (der) zu untersuchenden Bauwerksteils (Bauwerksteile)
UPV	Ultraschallimpulsgeschwindigkeit (en: ultrasonic pulse velocity)
$\bar{X}_r$	mittlere UPV/Rückprallzahl des Bezugsbauwerksteils
$\bar{X}_s$	mittlere UPV/Rückprallzahl des zu untersuchenden Bauwerksteils
x_0	Ergebnis einer indirekten Prüfung an der Messstelle „0“ (wo die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für eine baustatische Bewertung erforderlich ist)
$x_{i,cor}$	Ergebnis einer indirekten Prüfung an der Messstelle i , welches für die Korrelation herangezogen wird
$\bar{x}$	Mittelwert (Durchschnitt) der m Ergebnisse einer indirekten Prüfung, welche zur Korrelation herangezogen werden
α_{cc}	Koeffizient, mit dem langfristigen Auswirkungen auf die Betondruckfestigkeit Rechnung getragen wird
γ_c	Teilsicherheitsbeiwert für Beton für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen

3 Allgemeine Prinzipien, die bei der Überarbeitung angewendet wurden

(1) Bei der Überarbeitung wurden sowohl die Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung bestehender Tragwerke (EN 13791:2019, Abschnitt 8) als auch die Bewertung der Druckfestigkeitsklasse des eingebrachten Betons im Zweifelsfall (EN 13791:2019, Abschnitt 9) beibehalten. Es wurde erwogen, EN 13791 in zwei Teile aufzuteilen, da auf diese Weise die Unterschiede zwischen der Abschätzung der Druckfestigkeit für eine baustatische Bewertung und der Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von eingebrachtem Beton im Zweifelsfall hervorgehoben würden. Es wurde jedoch entschieden, EN 13791:2019 weiterhin in einem Teil zu belassen, um Anforderungsdopplungen zu vermeiden.

(2) EN 13791 ist nicht darauf angelegt, Ausnahmesituationen abzudecken. EN 13791 zielt vielmehr darauf ab, die häufigsten Situationen abzudecken.

(3) Da das Ziel nicht darin bestand, nationale Vorgaben abzugleichen, sondern eine technisch saubere Europäische Norm zu erstellen, wurden Anträge zur Aufnahme von Verweisungen auf am Ort der Verwendung gelten Regeln abgelehnt. Ungeachtet dessen dürfen Verfahren und Themen, die in EN 13791:2019 nicht behandelt werden, in nationalen Vorgaben^{N1} ausgeführt oder dem beteiligten Prüfer überlassen werden.

(4) Anforderungen wurden im normativen Text von EN 13791:2019 angegeben, während Hinweise in deren Anhang A sowie im vorliegenden Dokument angegeben werden.

(5) Es werden statistische Grundsätze angewendet, was bei der Verwendung kleiner Datensätze Folgen hat. Sind alle anderen Aspekte gleich, so führt ein kleiner Datensatz bei Anwendung der in EN 13791:2019, Abschnitt 8 angegebenen Verfahrensweisen zu einem geringeren Schätzwert der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons. Bei Anwendung der in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen dagegen ist das Risiko der Zurückweisung des Betons umso geringer, je kleiner der Datensatz ist.

(6) Die Messunsicherheit bleibt unberücksichtigt, es werden aber Empfehlungen zur Mindestanzahl an Prüfergebnissen gegeben, die hilft, die Zuverlässigkeit der Schätzwerte sicherzustellen. Das bedeutet, dass die Risiken im Hinblick auf die Messunsicherheit für den Hersteller und den Anwender gleich sind.

(7) EN 13791 [1] ist so angelegt, dass sie mit EN 1990 [3], EN 1992-1-1 [4] und EN 206 [5] kompatibel ist. Es wurde der in EN 1992-1-1:2004 [4], A.2.3 (1) für den Faktor η empfohlene Wert von 0,85 angewendet, und falls nationale Vorgaben von einem anderen Faktor ausgehen, müsste der entsprechende Wert im Nationalen Anhang von EN 13791 angegeben werden. Wird EN 13791 in Verbindung mit anderen Bemessungsnormen als EN 1992-1-1 angewendet, so müssen gegebenenfalls einige Faktoren überprüft oder angepasst werden, dies ist aber nicht Gegenstand dieser Überarbeitung.

(8) Da EN 1992-1-1 auf der Druckfestigkeit von 2 : 1-Zylindern basiert, wird die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons in EN 13791 als Druckfestigkeit eines 2 : 1-Bohrkerns ausgedrückt.

(9) Für baustatische Bewertungen war das Ergebnis von EN 13791:2007 [2] die abgeschätzte Druckfestigkeitsklasse des Betons vor dem Einbringen in das Tragwerk. Auf Bitten der Ingenieure aus dem konstruktivem Ingenieurbau wurde der Ansatz geändert, so dass nun entweder die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons des Prüfbereichs oder die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons einer bestimmten Messstelle abgeschätzt wird.

^{N1} Nationale Fußnote: Die nationalen Vorgaben für Deutschland wurden als DIN EN 13791/A20:2022-04 veröffentlicht.

(10) Bei der Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für die baustatische Bewertung eines bestehenden Tragwerks (nach den in EN 13791:2019, Abschnitt 8 angegebenen Verfahrensweisen) wird die Druckfestigkeit ausschließlich anhand der Datenanalyse geschätzt, ohne irgendwelche Annahmen zur Betonfestigkeit zu treffen.

(11) Bei der Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von eingebrachtem Beton im Zweifelsfall (nach den in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen) wird davon ausgegangen, dass der Beton im Hinblick auf die Druckfestigkeit seiner Spezifikation entspricht, und diese Annahme wird auf ihre Richtigkeit geprüft. Im Rahmen der statistischen Analyse wird diese Annahme als Nullhypothese bezeichnet. Dabei handelt es sich um dieselbe Herangehensweise, die der Konformitäts- und Identitätsprüfung nach EN 206 [5] und nach EN 13791:2007 [2] zugrunde liegt.

(12) Die in EN 13791:2019, 9.2 und 9.3 verwendeten Kriterien basieren auf den in EN 206:2013+A1:2016, Anhang B, B.3.1 angegebenen Identitätsprüfkriterien für die Druckfestigkeit.

(13) Unter Umständen kann eine nach EN 13791:2019, Abschnitt 8 anhand von Bohrkernergebnissen vorgenommene Berechnung anzeigen, dass die abgeschätzte Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nicht ausreicht, obgleich die nach EN 13791:2019, Abschnitt 9 vorgenommene Analyse anzeigt, dass der eingebrachte Beton der festgelegten Druckfestigkeitsklasse entspricht.

ANMERKUNG So wäre z. B. nach EN 13791:2019, 9.2 ein kleines Bauwerksteil mit einem für drei Bohrkern errechneten Mittelwert, der eine Druckfestigkeit des Bauwerksbetons unterhalb des Werts von $0,85 f_{ck,spec}$ ergibt, annehmbar, sofern jeder einzelne Bohrkern mindestens $0,85 (f_{ck,spec} - 4)$ ergibt, und in diesem Fall ist ein statischer Nachweis nicht notwendig. Falls jedoch dieselben drei Bohrkern-Prüfergebnisse für das in EN 13791:2019, 8.1 (7) festgelegte Verfahren herangezogen werden, würde das niedrigste Bohrkern-Prüfergebnis als charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons angesehen und dieser Wert bei einer auf EN 1990 basierenden statischer Nachweis verwendet werden.

(14) Für die Auswertung der Daten ist technisches Urteilsvermögen erforderlich. So enthält EN 13791:2019 nun z. B. Verfahrensweisen zur Ermittlung von statistischen Ausreißern, ob und welche Ausreißer jedoch in die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons einbezogen werden, liegt im Ermessen der Person(en) mit dem technischen Urteilsvermögen.

4 Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und weitere Betoneigenschaften, die im Bemessungsprozess nach EN 1992-1-1 angenommen werden

4.1 Allgemeines

(1) In diesem Abschnitt werden zunächst die in der Normenreihe EN 1992¹ für den Prozess der Tragwerksplanung getroffenen Annahmen in Bezug auf die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und andere Betoneigenschaften dargelegt und anschließend die Hintergründe der in EN 13791:2019 enthaltenen Vorgaben beschrieben. Die Normenreihe EN 1992 ist allgemein bekannt als der Eurocode 2.

(2) Für die Bemessung sind in EN 1992-1-1 verschiedene Betonfestigkeits- und -verformungseigenschaften (mechanische Eigenschaften) festgelegt, nämlich:

— die Druckfestigkeit;

1 Die Normenreihe EN 1992 umfasst die folgenden Normen:

EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1992-1-2, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

- die Zugfestigkeit;
- die Spaltzugfestigkeit;
- die Biegezugfestigkeit;
- der Elastizitätsmodul;
- die *Poissonsche* Zahl;
- die Wärmedehnzahl;
- die Kriechzahl;
- die Trocknungsschwinddehnung und die autogene Schwinddehnung;
- die Spannungs-Dehnungs-Linie.

(3) Mit Ausnahme der *Poissonschen* Zahl und der Wärmedehnzahl gelten die in 4.1(2) aufgeführten Eigenschaften als mit der Druckfestigkeit des Betons verbunden. Die entsprechenden Beziehungen sind in EN 1992-1-1 [4] für Normalbeton und für Leichtbeton angegeben. Weitere Betoneigenschaften, die für die Bemessung im Brandfall von Bedeutung sind, sind in EN 1992-1-2 angegeben.

(4) In Übereinstimmung mit EN 13791:2019 werden auch in diesem Abschnitt zwei grundsätzliche Fälle voneinander unterschieden, nämlich einerseits der, dass die Betondruckfestigkeit im Tragwerk anhand von Probekörpern bestimmt wird (siehe 4.2), und andererseits der, dass die Betondruckfestigkeit im Tragwerk anhand von aus dem Tragwerk entnommenen Bohrkernen bestimmt wird (siehe 4.3). Der erste Fall ist üblicherweise bei neuen Tragwerken gegeben, während der zweite Fall für bestehende Tragwerke gilt, bei denen eine baustatische Bewertung erforderlich ist.

(5) Die Normen der Normenreihe EN 1992 sind für die Anwendung bei der Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten aus Beton vorgesehen (EN 1992-1-1:2004, 1.1.1), d. h. für neue Tragwerke. Für die baustatische Bewertung von bestehenden Hochbauten und Ingenieurbauten aus Beton werden vom European Concrete Design Committee² derzeit weitere Regeln ausgearbeitet. Diese zusätzlichen Regeln werden als Bestandteil der Eurocodes der zweiten Generation zur Verfügung gestellt, mit deren Veröffentlichung um das Jahr 2023 gerechnet wird. Die in 4.3 enthaltenen Informationen beruhen auf aktuellen Entwürfen und können daher vor der Veröffentlichung noch geändert werden.

4.2 Anhand von Probekörpern bestimmte Betondruckfestigkeit

(1) Die Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk bezieht sich auf die Druckfestigkeit von Probekörpern, namentlich auf die charakteristische (5 %) Druckfestigkeit von 2 : 1-Zylindern (f_{ck}) oder die charakteristische (5 %) Druckfestigkeit von Würfeln ($f_{ck,Würfel}$) (EN 1992-1-1:2004, 3.1.2(1)P).

2 CEN/TC 250/SC 2, *Eurocode 2 - Entwurf, Berechnung und Bemessung von Tragwerken aus Stahlbeton und Spannbeton*
EN 1992-2, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 2: Betonbrücken — Bemessungs- und Konstruktionsregeln*

EN 1992-3, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton*

(2) Es wird davon ausgegangen, dass die 2 : 1-Zylinderdruckfestigkeit das 0,82-Fache der Würfeldruckfestigkeit beträgt. Der Faktor 0,82 ist der Durchschnittswert des Quotienten aus der 2 : 1-Zylinderdruckfestigkeit und der Würfeldruckfestigkeit für den von EN 1992-1-1:2004, Tabelle 3.1 (siehe 5.2) abgedeckten Bereich der Betonfestigkeitsklassen C12/15 bis C90/105.

(3) Nach EN 1992-1-1 wird die Änderung der Betondruckfestigkeit im Tragwerk als Lognormalverteilung angegeben. Die durchschnittliche Betondruckfestigkeit f_{cm} von normalfestem und hochfestem Beton im Alter von 28 Tagen wird nach (EN 1992-1-1:2004, Tabelle 3.1) angesetzt, wie in Gleichung (1) angegeben.

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (Werte in MPa)} \quad (1)$$

(4) Die charakteristische (5 %) Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk im Alter von 28 Tagen ($f_{ck, is, 28}$) wird mit 85 % der entsprechenden charakteristischen (5 %) Druckfestigkeit (f_{ck}) von 2 : 1-Zylinderprobekörpern im Alter von 28 Tagen angenommen, siehe Gleichung (2):

$$f_{ck, is, 28} = 0,85 \times f_{ck} \quad (2)$$

ANMERKUNG Der Faktor 0,85 ist der in EN 1992-1-1:2004, A.2.3(1) empfohlene Wert des Umrechnungsfaktors η .

(5) Es wird davon ausgegangen, dass die Druckfestigkeit nach den ersten 28 Tagen um 18 % ($1/0,85$) zugenommen hat. Gleichung (3) trägt dieser Druckfestigkeitszunahme Rechnung:

$$f_{ck, is, > 28} = (1/0,85) \times 0,85 \times f_{ck} = f_{ck} \quad (3)$$

(6) Der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk, f_{cd} , ist in EN 1992-1-1:2004, 3.1.2(4) und 3.1.6(1)P festgelegt und hier als Gleichung (4) wiedergegeben:

$$f_{cd} = k_t \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (4)$$

Dabei ist

k_t ein Abminderungswert für α_{cc} mit:

$k_t = 1,0$ für den Fall, dass die Festigkeit im Alter von 28 Tagen bestimmt wird;

$k_t = 0,85$ für den Fall, dass die Festigkeit später als nach den ersten 28 Tagen bestimmt wird (EN 1992-1-1:2004, 3.1.2(4)).

α_{cc} der Koeffizient, mit dem langfristigen Auswirkungen auf die Betondruckfestigkeit Rechnung getragen wird. Dieser Koeffizient ist auch als der Rüschi-Faktor für die Abminderung der Druckfestigkeit unter Langzeitbelastung bekannt. Der für α_{cc} empfohlene Wert beträgt 1,0 (EN 1992-1-1:2004, 3.1.6(1)P);

γ_c der Teilsicherheitsbeiwert für Beton, mit einem empfohlenen Wert von 1,5 für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen (EN 1992-1-1:2004, 2.4.2.4(1)).

ANMERKUNG 1 Es wird davon ausgegangen, dass die nach den ersten 28 Tagen erfolgende Zunahme der Druckfestigkeit durch die Minderung der Druckfestigkeit aufgrund von Langzeitwirkungen (Rüschi-Faktor) ausgeglichen wird. Dies impliziert tatsächlich einen angenommenen Wert von 0,85 für α_{cc} .

ANMERKUNG 2 Der Wert von 0,85 (Gleichung (2)) ist im Teilsicherheitsbeiwert für Beton enthalten.

ANMERKUNG 3 Es wird davon ausgegangen, dass alle mit der Ausführung (Einbringung, Verdichtung und Nachbehandlung von Beton) verbundenen Schwankungen durch den Teilsicherheitsbeiwert für Beton abgedeckt sind, sofern die in EN 13670 [6] festgelegten Anforderungen bei der Ausführung erfüllt werden.

(7) Wird die Druckfestigkeit anhand der charakteristischen (5 %) Druckfestigkeit von 2 : 1-Prüfzylindern im Alter von 28 Tagen, f_{ck} , bestimmt, so wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk nach Gleichung (5) berechnet:

$$f_{cd} = k_t \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 1,0 \times 1,0 \times f_{ck} / \gamma_c = f_{ck} / \gamma_c \quad (5)$$

(8) Wird die Druckfestigkeit anhand der charakteristischen (5 %) Druckfestigkeit von 2 : 1-Prüfzylindern später als nach den ersten 28 Tagen, $f_{ck, > 28}$, bestimmt, so wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit im Tragwerk nach Gleichung (6) berechnet:

$$f_{cd} = k_t \alpha_{cc} f_{ck, > 28} / \gamma_c = 0,85 \times 1,0 \times f_{ck, > 28} / \gamma_c = 0,85 \times f_{ck, > 28} / \gamma_c \quad (6)$$

4.3 Betondruckfestigkeit, bestimmt anhand der Festigkeit von aus dem Tragwerk entnommenen Bohrkernen

(1) Die baustatische Bewertung von bestehenden Betontragwerken darf anhand der Festigkeit von aus dem Tragwerk entnommenen Bohrkernen vorgenommen werden.

(2) Der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit im Tragwerk wird aus dem Wert der charakteristischen (5 %) Betondruckfestigkeit, d. h. aus dem Wert abgeleitet, der eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 95 % hat.

(3) Es wird davon ausgegangen, dass die charakteristische (5 %) Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk gleich der charakteristischen (5 %) Druckfestigkeit ($f_{ck, is}$) von aus dem Tragwerk entnommenen 2 : 1-Bohrkernen ist.

(4) Wird die Druckfestigkeit anhand der Druckfestigkeit von 2 : 1-Bohrkernen ($f_{ck, is}$) abgeschätzt, so wird der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Betons im Tragwerk nach Gleichung (7) berechnet:

$$f_{cd} = k_t \alpha_{cc} f_{ck, is} / \gamma_c = 0,85 \times 1,0 \times f_{ck, is} / \gamma_c = 0,85 \times f_{ck, is} / \gamma_c \quad (7)$$

(5) Bei Anwendung von Gleichung (7) lässt sich der Teilsicherheitsbeiwert γ_c für Beton auf einen empfohlenen Wert von 1,3 verringern (EN 1992-1-1:2004, A.2.3). Dies dient dazu, der mit der direkten Ableitung der Druckfestigkeit aus dem Tragwerk verbundenen Verringerung der Unsicherheiten Rechnung zu tragen.

5 Unterschiede zwischen Probekörpern und dem Beton im Tragwerk

5.1 Einleitung

(1) Die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons unterscheidet sich in mehrerlei Hinsicht von der anhand von Probekörpern ermittelten Druckfestigkeit. Je nachdem, welcher Zweck mit der Untersuchung verfolgt wird, kann es notwendig sein, diese Unterschiede an einem bestimmten Punkt der Bewertung zu berücksichtigen.

(2) Der Teilsicherheitsbeiwert für die verschiedenen Materialien ist vorgesehen, alle in Übereinstimmung mit den Anforderungen von EN 13670 [6] erfolgenden Ausführungen abzudecken. Für Beton beträgt dieser Faktor 1,5, und er deckt die statistische Variation in hergestelltem Beton, die Umrechnung in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und die statistische Variation der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons innerhalb der Grenzwerte ab, die durch die nach EN 13670 erfolgende Ausführung gesetzt werden. Der der Umrechnung in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons zuzurechnende Anteil dieses Faktors beträgt 1,2 (d. h. den Kehrwert von 0,85). Es deutet viel darauf hin, dass sich dieser Anteil im Bereich zwischen 0,75 und

0,95 bewegt. Prüfungen an dicken, offshore, in Betongleitschalung hergestellten Wänden, die starker Nachverdichtung unterlagen, ergaben Werte über 1,0, während die Werte für Bauwerksteile, die weniger intensiver Nachverdichtung unterlagen, wie z. B. Kuppeln, zwar hoch, aber doch unterhalb von 1,0 lagen. Über die statistische Verteilung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und darüber, welches Fraktil $< 0,85 f_{ck}$ ist, ist wenig bekannt, es ist jedoch wahrscheinlich in vielen Fällen größer als 5 %; Erfahrungswerte weisen jedoch darauf hin, dass für Beton ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 noch immer angemessen ist.

(3) Im Falle der Messung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons anhand von Bohrkernen setzt sich der Teilsicherheitsbeiwert aus folgenden Anteilen zusammen:

- die Umrechnung in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons;
- den größten Teil der statistischen Variation im hergestellten Beton;
- ein gewisser Teil der statistischen Variation der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons.

Dennoch tragen die in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen nur dem Anteil des Teilsicherheitsbeiwerts Rechnung, der der Umrechnung in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons zuzurechnen ist. In Anbetracht der mit der Zuordnung der Anteile verbundenen Unsicherheiten bestanden die Statiker darauf, dass bei der Anwendung der in EN 13791:2019, Abschnitt 9 festgelegten Verfahrensweisen keine weiteren Anteile mehr berücksichtigt werden sollten.

(4) Viele der folgenden Einflüsse auf die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons sind nur dann von Bedeutung, wenn die Verantwortung für eine Nichtkonformität unter den in EN 13791:2019, Abschnitt 9 festgelegten Verfahrensweisen bewertet wird, d. h. Reife, Nachbehandlung, Verdichtung.

(5) Abschnitt 5 und Abschnitt 6 enthalten das, was in EN 13791:2007 ursprünglich Anhang A war, sowie weitere Informationen.

5.2 Referenzprobekörper

(1) EN 13791:2019 basiert auf der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons, die als Festigkeit von 2 : 1-Bohrkernen ausgedrückt wird. Würfeldruckfestigkeit sind aufgrund der seitlichen Ausdehnungsbehinderung durch die Platten der Prüfmaschine näherungsweise 20 % höher als die Druckfestigkeit von 2 : 1-Zylindern. Dieser Differenz wird in EN 206 durch die Aufnahme von abweichenden Anforderungen an die charakteristische Mindestdruckfestigkeit für Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm und für Zylinder mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Länge von 300 mm Rechnung getragen. Der in EN 13791:2019, Abschnitt 6 für Normalbeton und Schwerbeton vorgegebene Bohrkernlängenfaktor (CLF) von 0,82 ist das durchschnittliche Verhältnis zwischen diesen unterschiedlichen Druckfestigkeitsmaßen. Es ist zulässig, einen anderen CLF zu verwenden, sofern sich dies anhand von Prüfungen rechtfertigen lässt. Der CLF wird dazu verwendet, 1 : 1-Bohrkerne in die äquivalente Druckfestigkeit von 2 : 1-Bohrkernen umzurechnen.

(2) Das in EN 206 für die einzelnen Druckfestigkeitsklassen festgelegte Verhältnis zwischen 2 : 1-Zylinder- und Würfeldruckfestigkeit ist in Tabelle 2 angegeben. Einige der Differenzen beruhen auf Rundungsfehlern, der höhere Faktor für die höheren Druckfestigkeitsklassen spiegelt jedoch wider, dass die Druckfestigkeitsklasse mit ansteigendem Faktor ebenfalls steigt.

(3) Für Leichtbetone ist in EN 13791 kein CLF angegeben. Basierend auf EN 206:2013+A1:2016 [5], Tabelle 13 betrüge der Faktor bei Anwendung desselben Ansatzes auf Normalbeton 0,91, EN 206 lässt jedoch andere Beziehungen ebenfalls zu, sofern sie eingeführt und dokumentiert sind.

(4) Die ASTM [7] verwendet für die Umrechnung von 1 : 1-Bohrkernen in 2 : 1-Bohrkerne im Falle von Normalbeton ein Verhältnis von 0,87, und einige Quellen [8] weisen darauf hin, dass der Faktor 0,82 besonders im Falle von hochfestem Beton konservativ ist. Die Aussagen unterscheiden sich und sollten Motivation für weitere Forschungen sein, um zu endgültigen Leitlinien zu gelangen. Die standardmäßig anzuwendende Beziehung sollte bei der nächsten Überarbeitung von EN 13791 überprüft werden.

(5) Obgleich die Differenz zwischen einem *CLF* von 0,82 und z. B. einem *CLF* von 0,87 klein ist (siehe Beispiel A2), kann sie gerade den Unterschied zwischen Annehmbarkeit und Zurückweisung ausmachen. Aus diesem Grund lässt EN 13791:2019 die Verwendung anderer *CLFs* zu, sofern diese durch Prüfungen nachgewiesen werden können.

Tabelle 2 — Verhältnis der 2 : 1-Zylinderdruckfestigkeit zur Würfeldruckfestigkeit für die in EN 206 für Normalbeton und Schwerbeton angegebenen Druckfestigkeitsklassen

Druckfestigkeitsklasse nach EN 206	2 : 1-Zylinderdruck- festigkeit MPa	Würfeldruckfestigkeit MPa	Verhältnis
C8/10	8	10	0,80
C12/15	12	15	0,80
C16/20	16	20	0,80
C20/25	20	25	0,80
C25/30	25	30	0,83
C30/37	30	37	0,81
C35/45	35	45	0,78
C40/50	40	50	0,80
C45/55	45	55	0,82
C50/60	50	60	0,83
C55/67	55	67	0,82
C60/75	60	75	0,80
C70/85	70	85	0,82
C80/95	80	95	0,84
C90/105	90	105	0,86
C100/115	100	115	0,87
Durchschnittliches Verhältnis	-	-	0,82

(6) In den folgenden Unterabschnitten und in Abschnitt 6 wird einige wesentliche Gründe für die Abweichungen zwischen Probekörpern und aus dem Tragwerk entnommenen 2 : 1-Bohrkernen dargelegt.

5.3 Auswirkungen des Feuchtezustandes von Bauwerksbeton-Probekörpern

(1) Der Feuchtezustand des Bohrkerns hat Einfluss auf die gemessene Festigkeit. Unter ansonsten gleichen Bedingungen haben trockene Probekörper eine höhere Bohrkernfestigkeit als nasse Bohrkernkerne.

ANMERKUNG Nach EN 13791:2007, A.2.1 [2] ergibt sich bei Prüfung von Bohrkernen im nassen Zustand eine um 8 % bis 12 % geringere Festigkeit als bei der Prüfung im trockenen Zustand. Ein Ergebnis dessen ist, dass die bei Prüfung eines Bohrkerns im nassen Zustand gemessene Festigkeit für die Berechnung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons um mindestens 8 % höher angesetzt werden könnte. „Nass“ ist dabei definiert als vor der Prüfung für eine Dauer von mindestens 48 h in Wasser mit einer Temperatur von (20 ± 2) °C unter Wasser gelagert.

(2) Nach EN 13791 muss der Bohrkern in einem Feuchtezustand geprüft werden, der dem Feuchtezustand *in situ* ähnlich ist. Dies ist ein angemessener Feuchtezustand, wenn es um die Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nach EN 13791:2019, Abschnitt 8 geht.

(3) Im Falle von Bauwerksteilen, die ihre Funktion in einem trockenen oder halbtrockenen Zustand erfüllen, wird die Druckfestigkeit im Tragwerk somit über die von Normprobekörpern hinaus erhöht, während die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons unter anderen Umständen für Bauwerksteile, die ihre Funktion unter Nassbedingungen erfüllen, wie z. B. Gründungen, nicht in gleicher Weise erhöht wird.

(4) Da Probekörper im nassen Zustand nachbehandelt werden, wurde die Option der Prüfung von Bohrkernen für die in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen geprüft. Der Bemessungsprozess nach EN 1992-1-1 [4] erfolgt unter Anwendung eines Faktors von 0,85, um den Unterschieden zwischen 2 : 1-Zylindern und dem Beton im Tragwerk Rechnung zu tragen, d. h., dass der Wert des Betons im Tragwerk um bis zum Faktor 0,85 kleiner ausfallen kann als der Wert des Probekörpers. Der Wert von 0,85 umfasst verschiedene Bauwerksteile, es ist jedoch nicht jedem Bauwerksteil ein bestimmter Anteil des Faktors zugeordnet. Die Differenz zwischen Probekörpern und Tragwerk ist größtenteils negativ, d. h., dass die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons geringer als die von Probekörpern ist; da jedoch der Feuchtegehalt von Bauwerksbeton kleiner als ist als im gesättigten Zustand und das zu einer erhöhten Festigkeit führt, handelt es sich bei der Differenz im Feuchtegehalt um einen positiven Faktor. Durch Änderung der Nachbehandlung in eine Nassnachbehandlung werden die negativen Anteile beibehalten und wird der positive Anteil eliminiert. Diese Vorgehensweise wurde als ein technisch unsauberer Ansatz angesehen. Wie in 5.1(3) dargelegt, berücksichtigt die Bohrkernprüfung mehr als das, was sich dem Faktor von 0,85 zuordnen lässt, woraus sich eine zusätzliche Spanne ergibt.

(5) Indem sich die in EN 13791:2019, Abschnitt 8 und Abschnitt 9 angegebenen Nachbehandlungsbedingungen für Bohrkern untersuchen, ergeben sich Probleme, wenn ein und derselbe Satz von Bohrkernen sowohl für eine Bewertung nach EN 13791:2019, Abschnitt 9 als auch zur Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nach EN 13791:2019, Abschnitt 8 verwendet werden soll. Das könnte z. B. dann der Fall sein, wenn eine Nichtkonformität des Betons bereits nachgewiesen und es daher notwendig wurde, zu überprüfen, ob das Tragwerk auch bei einer geringeren Betonfestigkeit noch ausreichend sicher ist. Für diese Tragwerksprüfung müsste bezüglich der unbekannten Feuchte eine Berichtigung vorgenommen werden, die vom Sättigungsgrad des Bauwerksbetons abhängig ist. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten ist die Nachbehandlung von Bohrkernen, die für die in EN 13791:2019, Abschnitt 8 und Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen gefordert ist, gleich.

5.4 Auswirkungen der Reife auf die Betonfestigkeit

(1) Die Geschwindigkeit, mit der die Druckfestigkeit vor Ablauf der ersten 28 Tage und danach zunimmt, hängt vom Zementart, vom Art des Zusatzstoffs, vom Betonzusatzmittel und von der Temperatur des Betons ab.

(2) Solange ausreichend Wasser für die Hydratation zur Verfügung steht, wird der Beton mit der Zeit immer fester.

(3) Die Bemessung basiert üblicherweise auf der charakteristischen Festigkeit von Laborproben des unter Feuchtebedingungen bei einer Temperatur von 20 °C über eine Dauer von 28 Tagen nachbehandelten Betons. Wird die Festigkeit von Probekörpern mit der *In-situ*-Festigkeit verglichen, so sollte dies bei gleicher Reife, nicht bei gleichem Alter erfolgen. Die Reife ist sowohl von der Zeit als auch der Betontemperatur abhängig, und es gibt diverse Reifefunktionen, die weithin in Gebrauch sind [9].

(4) Der für die Baustoffe geltende Teilsicherheitsbeiwert lässt die Unterschiede in der Reife außer Acht, in die Bemessung darf jedoch ein Alterungsfaktor einbezogen werden, um der zeitlichen Entwicklung der Festigkeit Rechnung zu tragen. Eine nachgewiesene zeitbezogene Zunahme der Festigkeit kann ausschlaggebend sein, wenn es darum geht, zu entscheiden, ob das betreffende Tragwerk noch von annehmbarer Festigkeit ist.

(5) Bei der Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nach EN 13791:2019, Abschnitt 8 ist die Reife üblicherweise kein kritisches Problem, weil das betreffende Tragwerk wahrscheinlich bereits einige Jahre alt ist. Bei der Auswertung einer Bewertung, die nach den in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen durchgeführt wurde, gehört die Reife des Betons zu den Aspekten, die berücksichtigt werden sollten.

(6) EN 13791:2019, Abschnitt 6 fordert für die in Abschnitt 9 festgelegten Verfahrensweisen, keine Bohrkernprüfungen an Bohrkernen mit einer Erhärtung durchzuführen, die geringer ist als die der Konformitätsprüfung zugrunde liegende Erhärtung, z. B. 28 Tage bei 20 °C.

5.5 Auswirkungen der Nachbehandlung

(1) Die Festigkeit eines Bohrkerns wird durch die Nachbehandlungshistorie des betreffenden Tragwerks und das Alter des Betons bei der Entnahme des Bohrkerns beeinflusst.

(2) Die Nachbehandlung hat komplexe Auswirkungen, und dazu gehören die folgenden:

- Falls die Temperatur des Betons in den ersten paar Stunden niedrig ist, erhöht sich die Endfestigkeit im Vergleich mit der bei der üblichen Nachbehandlung erzielten Festigkeit;
- ist die Temperatur des Betons in den ersten paar Stunden hoch, so nimmt die Endfestigkeit im Vergleich mit der bei der üblichen Nachbehandlung erzielten Festigkeit ab;
- während die Spitzentemperatur des Betons aufgrund der Freisetzung von Hydratationswärme oder aufgrund der beschleunigten Nachbehandlung ansteigt, erhöht sich die Frühfestigkeit, die Dauerfestigkeit dagegen nimmt ab [9];
- Reifegleichungen gelten für Normalbedingungen und bilden unter Umständen die oben aufgeführten Wirkungen nicht ab.

(3) Die obenstehenden Aussagen gehen sämtlich von der Annahme aus, dass der Beton ausreichend Wasser enthält, um die Hydratation nicht zu behindern. Diese Annahme trifft jedoch bei Platten, die nicht angemessen nachbehandelt wurden, oder bei Beton mit einem sehr geringen Wassergehalt möglicherweise nicht zu. Es gibt keinen einfachen Faktor, mit dessen Hilfe sich den Auswirkungen der Nachbehandlung Rechnung tragen ließe. Es ist jedoch offen sichtlich, dass die Auswirkungen der Nachbehandlung auf die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons signifikant sein können, wenn der Beton an einem heißen Tag und/oder in einem großen Abschnitt eingebracht oder nach beschleunigten Verfahren nachbehandelt wird. Die Auswirkungen des Temperaturverlaufs in der frühen Phase auf die spätere Betonfestigkeit hängen vom Zementtyp, der Größe des Abschnitts, dem Schalungstyp und der Betoniertemperatur ab. Es ist daher nicht leicht, die kombinierten Auswirkungen abzuschätzen, bekannt ist aber, dass Beton, der bei der Hydratation eine Temperatur über 70 °C erreicht, eine geringere Endfestigkeit hat als Beton, der bei niedrigeren Temperaturen nachbehandelt wurde, und dass ein solcher Beton schädliche Reaktionen durchlaufen kann, wie z. B. verzögerte Ettringitbildung.

(4) Der im Bemessungsprozess verwendete Teilsicherheitsbeiwert trägt einigen der Auswirkungen der Nachbehandlungshistorie Rechnung.

5.6 Auswirkungen der Verdichtung

(1) Interne Wasser- und Luftbewegungen, die durch das Verdichten verursacht werden, haben Schwankungen der Festigkeit zur Folge. Die Verringerung der Festigkeit an der Oberseite eines vertikalen Bauwerksteils ist ein wohlbekanntes Phänomen.

(2) Es wurde geltend gemacht, dass selbstverdichtender Beton diese Schwankungen eliminiert, das gilt aber nur, wenn der Beton nicht zu statischer Entmischung neigt.

(3) Der im Bemessungsprozess verwendete Teilsicherheitsbeiwert trägt den Auswirkungen des Rüttelns Rechnung.

5.7 Auswirkungen von übermäßigen Lufteinschlüssen

(1) Mit einem Anstieg des Porenvolumens nimmt die Festigkeit ab. Ein Porenvolumen von etwa 1 % führt zu einer Abnahme der Festigkeit um 5 % bis 8 %.

(2) Bei Bauwerksbeton ist das Porenvolumen wahrscheinlich höher als bei Probekörpern, und infolgedessen sind die Druckfestigkeiten von Bauwerksbeton wahrscheinlich geringer. Bei bestimmten Betonfertigteilen, die unter intensivem Rütteln hergestellt wurden, kann das Porenvolumen geringer sein als bei Probekörpern.

(3) Dem Teilsicherheitsbeiwert für Beton liegen keinerlei Annahmen zu einem oberen Grenzwert für eine nicht zufrieden stellende Verdichtung, Entmischung oder Separation zugrunde. Ein großes Porenvolumen kann Verzögerungen bei der Abgabe oder Fehler in Bezug auf die angemessene Verdichtung des Betons anzeigen.

6 Prüfvariablen, die die Bohrkernfestigkeit beeinflussen

6.1 Einleitung

(1) Zusätzlich zu den Faktoren, die die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons beeinflussen (siehe Abschnitt 5), gibt es Prüffaktoren mit Einfluss auf die Bohrkernfestigkeit, und diese Faktoren werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

(2) Es wird davon ausgegangen, dass die Prüfung von Bohrkernen unter strikter Einhaltung von EN 12390-3 [10] erfolgt, die Kennwerte der Prüfmaschine mit Einfluss auf die üblichen Druckfestigkeitsprüfungen haben auch Einfluss auf die Prüfung von Bohrkernen und das wahrscheinlich in noch höherem Maße auf die Prüfung von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 50 mm.

(3) Bei der Auswertung der Prüfergebnisse müssen einige der Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Unter Umständen ist es notwendig, noch einige weitere Faktoren zu berücksichtigen, während andere üblicherweise außer Acht gelassen werden.

6.2 Richtung in Relation zur Betonierrichtung

(1) Die an einem senkrecht und damit in Betonierrichtung entnommenen Bohrkern gemessene Druckfestigkeit könnte unter Umständen und in Abhängigkeit von der Stabilität des Frischbetons höher als die Druckfestigkeit eines aus demselben Beton in horizontaler Richtung entnommenen Bohrkerns sein. Die Differenz zwischen beiden bewegt sich üblicherweise in der Größenordnung von 0 % bis 8 %. Die Bohrrichtung bleibt jedoch in EN 13791:2019 unberücksichtigt.

6.3 Imperfektionen

(1) Bohrkern können aus diversen Gründen Fehlstellen aufweisen. Dazu gehören Risse und Mikrorisse, Wasseransammlungen unter schuppigen Partikeln oder horizontaler Bewehrung und Hohlräume aufgrund von örtlicher Entmischung. Die Gültigkeit der Druckfestigkeitsbewertung derartiger Bohrkern und deren Repräsentativität für die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons im Allgemeinen sollten gesondert beurteilt werden.

(2) Derartige Imperfektionen könnten der Grund dafür sein, dass sich ein Bohrkern als statistischer Ausreißer herausstellt.

6.4 Bohrkerndurchmesser

(1) Der Bohrkerndurchmesser beeinflusst die gemessene Festigkeit und die Schwankung der Festigkeit. Die Festigkeit eines horizontal entnommenen Bohrkerns mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe ($l/d = 1$) entspricht der Festigkeit von würfelförmigen Probekörpern mit einer Kantenlänge von 150 mm.

(2) Ist der Bohrkerndurchmesser bei $l/d = 1$ kleiner als 100 mm, so zeigt die Festigkeit größere Schwankungen als im Falle von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 100 mm.

(3) Die Schwankungen der gemessenen Festigkeit nehmen mit abnehmendem Verhältnis von Durchmesser zu oberer Korngröße zu.

ANMERKUNG Für weitere Informationen siehe Abschnitt 11.

(4) Obwohl im Durchschnitt die Festigkeit von Bohrkernen mit geringerem Durchmesser geringer ist als die von Bohrkernen mit größerem Durchmesser, findet sich in der Fachliteratur doch eine große Streuung. Für den von EN 13791:2019 abgedeckten Bereich von Bohrkerndurchmessern bleiben die Auswirkungen des Bohrkerndurchmessers auf die Festigkeit unberücksichtigt.

(5) Im Falle von Bohrkernen mit einem Durchmesser kleiner als 50 mm (Mikrobohrkerne) sind Verfahrensweisen erforderlich, die von EN 13791:2019 nicht abgedeckt werden.

6.5 Länge/Durchmesser-Verhältnis

(1) Das Länge/Durchmesser-Verhältnis hat Einfluss auf die gemessene Festigkeit. Die Festigkeit nimmt bei Verhältnissen $l/d > 1$ ab und bei Verhältnissen $l/d < 1$ zu. Der Hauptgrund hierfür ist die durch die Platten der Prüfmaschine bedingte Beschränkung.

(2) Es wird davon abgeraten, bei Bohrkerndurchmessern im Bereich von 50 mm bis 70 mm Länge/Durchmesser-Verhältnisse größer als 1 zu verwenden, weil dies zu noch größeren Schwankungen führt als bei 1 : 1-Bohrkernen.

6.6 Ebenheit der Stirnflächen

(1) Abweichungen von der Ebenheit verringern die gemessene Festigkeit. Die Grenzabweichung der Ebenheits sollte die gleiche sein wie bei Normprobekörpern, d. h. wie in EN 12390-1 [11] festgelegt.

6.7 Abgleich der Stirnflächen

(1) Ein Abgleich von geringer Festigkeit führt zu einer Verringerung der Gesamtfestigkeit. Dünne Abgleiche aus hochfestem Mörtel oder hochfester Schwefelmischung haben keinen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit. Es wird empfohlen, die Stirnflächen zu schleifen; das gilt besonders bei hochfestem Beton. Die in EN 12504-1 [12] angegebenen Empfehlungen sollten befolgt werden.

6.8 Auswirkungen des Bohrens

(1) Bohrvorgänge zu können bei noch unreifem oder an sich schon schwachem Beton zu Schäden führen, und es ist in der Regel nicht möglich, irgendwelche Auswirkungen davon an der Schnittfläche zu sehen.

(2) Ein Bohrkern kann an sich schon schwächer sein als ein Zylinder, weil die Oberfläche eines Bohrkerns geschnittene Stücke von Zuschlägen enthält, die gegebenenfalls nur durch Adhäsion der Matrix in der Oberfläche gehalten werden. Derartige Partikel tragen wahrscheinlich nur wenig zur Festigkeit des Bohrkerns bei. Die wirkt sich bei Bohrkernen mit geringem Durchmesser stärker aus. Für weitere Informationen hierzu siehe Abschnitt 11.

6.9 Bewehrung

(1) Bohrkerne, die zur Messung der Festigkeit von Beton verwendet werden, sollte keine Bewehrung enthalten. Für den Fall, dass sich dies nicht vermeiden lässt, ist zu erwarten, dass es bei Bohrkernen, die (an anderer Stelle als ihrer Achse) Stahl enthalten, zu einer Verringerung der gemessenen Festigkeit kommt. Bohrkerne, die Bewehrungsstäbe in oder nahe der Längsachse aufweisen, sind für die Festigkeitsprüfung ungeeignet.

(2) Aufgrund der Tatsache, dass die Verwendung von Bohrkernen mit Durchmessern von nur 50 mm und einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von 1 : 1 zulässig ist, lässt sich üblicherweise entweder die Bewehrung vollständig vermeiden oder der Bohrkern auf eine Länge zuschneiden, die die Einbeziehung der Bewehrung vermeidet.

(3) EN 13791 enthält keine Anpassungen zur Berücksichtigung von Querbewehrung.

7 Anwendungsbereich in EN 13791:2019, Abschnitt 1

(1) EN 13791 enthält Regeln für die Anwendung von kombinierten Verfahren und Regeln für die Erstbewertung eines Datensatzes.

(2) Vergleichsprüfungen sind von EN 13791 nicht abgedeckt, weil über das mit der Zurückweisung von Konformitätsbedingungen erfüllendem Beton verbundene Risikoniveau kein Einvernehmen erzielt werden konnte. Um eine Vergleichsprüfung handelt es sich, wenn ein Bezugsbauwerksteil anhand einer Begutachtung mittels indirekter Prüfung mit dem zu untersuchenden Bauwerksteil verglichen wird (siehe 14.6).

(3) Die European Precast Concrete Industry (Verband der europäischen Betonfertigteileindustrie) und die European Ready Mixed Concrete Organization (ERMCO, dt.: Europäischer Transportbetonverband) bestätigten, dass routinemäßige Konformitätskontrollen von Beton oder Betonfertigteilen anhand von Prüfungen des Bauwerksbetons nicht Gegenstand von EN 13791 sind. Bei routinemäßigen Konformitätskontrollen stehen ausreichend Daten zur Verfügung, um den Variationskoeffizienten zuverlässig bestimmen zu können. Entsprechend ist die Anwendung von anderen als den in EN 13791 angegebenen k_n -Werten angemessen.

(4) In den meisten europäischen Länder beträgt der Durchmesser von Standardbohrkernen entweder 75 mm oder 100 mm. Während in einigen europäischen Länder auch die Verwendung von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 50 mm üblich ist, die Verwendung von Bohrkernen mit einem Durchmesser kleiner als 50 mm ist jedoch bei den von EN 13791 abgedeckten Anwendungen unüblich, weswegen keine Vorgaben oder Leitlinien für Bohrkerne mit Durchmessern kleiner als 50 mm enthalten sind.

(5) EN 13791 enthält keine spezifischen Anforderungen an Leichtbetone, und besonders die Beziehung zwischen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und der von 1 : 1-Bohrkernen (siehe 5.2) sowie das in EN 13791:2019, Anhang B angegebene Beispiel eines Screening-Tests sind auf Leichtbetone nicht anwendbar. Ungeachtet dessen sind die meisten der in EN 13791 beschriebenen Verfahren auf Leichtbetone anwendbar.

8 Begriffe, Symbole und Abkürzungen in EN 13791:2019, Abschnitt 3

(1) Die Abkürzungen wurden mit den in EN 1992-1-1 [4] verwendeten abgeglichen.

(2) Es wurde erwogen, die Definition der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und die der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons auf der äquivalenten Festigkeit eines Zylinders mit einer Länge 300 mm und einem Durchmesser von 150 mm oder auf der Festigkeit eines 2 : 1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm basieren zu lassen. Da Bohrkerne wegen der geschnittenen Zuschlagkörner, die nur wenig zur Festigkeit beitragen, tendenziell eine geringere Festigkeit haben als gegossene Zylinder gleichen Durchmessers, gibt es gute Gründe dafür, die Bohrkernfestigkeit zur Berücksichtigung dieser Differenz um 6 % zu erhöhen, wenn die Angabe der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons auf der Zylinderfestigkeit basiert.

Die Differenz hängt vom Probekörperdurchmesser ab, und sie ist umso größer, je kleiner der Durchmesser der Probekörper ist.

(3) Die Ansichten darüber, ob diese Differenz in dem Faktor von 0,85 enthalten ist oder nicht, gehen auseinander, die sichere Annahme ist jedoch, davon auszugehen, dass sie enthalten ist. Um Probleme bezüglich der Frage, ob ein Faktor angewendet werden sollte, zu verkleinern, wurde vereinbart, dass die Definitionen der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons die Festigkeit eines 2 : 1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm sei.

(4) Dies behebt die Probleme nicht vollständig, weil nach EN 13791:2019, 9.4 die Anwendung eines Screening-Tests zulässig ist. Das wiederum verlangt eine Verfahrensweise für die Kalibrierung einer Korrelation anhand von Probekörpern. Ein Beispiel für eine derartige Verfahrensweise unter Verwendung von Laborprobekörpern ist in 14.4 beschrieben. Theoretisch sollten diese Werte geringfügig verringert werden, um sie an Bohrkernfestigkeiten anzugleichen, da die Probekörper jedoch verhältnismäßig groß sind und die Differenz daher verhältnismäßig klein ist, wurden keine Anpassungen vorgenommen.

(5) Da üblicherweise 1 : 1-Bohrkerne verwendet werden, sollte im Falle von Normalbeton und Schwerbeton ein Vorgabewert des *CLF* von 0,82 angewendet werden, um dieses Bohrkern-Prüfergebnis in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons, d. h. in die Druckfestigkeit eines 2 : 1-Bohrkerns umzurechnen, es sei denn, ein davon abweichender *CLF* wurde durch Prüfung als geeignet nachgewiesen. Der Wert 0,82 ist das in EN 206 [5] angegebene durchschnittliche Verhältnis der Würfeldruckfestigkeit zur Zylinderdruckfestigkeit. Für weitere Informationen hierzu siehe 5.2 und 6.4 (1).

9 Untersuchungsziel und Prüfparameter in EN 13791:2019, Abschnitt 4

(1) Hierbei handelt es sich um einen neuen Abschnitt, und der Ansatz ist, Anforderungen im normativen Text von EN 13791:2019 und Hinweise in ihrem Anhang A anzugeben.

(2) Wenn die Untersuchungsziele klar festgelegt sind, mindert das sowohl das Risiko, dass die Untersuchung nicht das erreicht, was damit bezweckt war, als auch die Risiken von Diskussionen über die Auslegung der Ergebnisse.

10 Prüfbereiche und Messstellen in EN 13791:2019, Abschnitt 5

(1) Das Konzept der Prüfbereiche und Messstellen wurde beibehalten.

(2) Die in EN 13791:2019, Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen gelten für einen Prüfbereich, der ein „festgelegtes“ Volumen an Beton umfasst, womit häufig das Volumen an Beton gemeint ist, für das die Identitätsprüfung anzeigt, dass der Beton nicht der dafür festgelegten Druckfestigkeitsklasse entspricht. Für die Erklärung, warum für die Bewertung nach EN 13791:2019, Abschnitt 9 ein Volumengrenzwert für den Prüfbereich festgelegt wurde, siehe 14.2 des vorliegenden Dokuments.

(3) In EN 13791:2007 [2] wurde das Konzept eines kleinen Prüfbereiches verwendet, ohne jedoch festzulegen, was in diesem Falle als „klein“ gilt. Das brachte Probleme mit sich. Es wurde vereinbart, dass ein an einem einzigen Tag gegossenes Volumen von 30 m^3 als „klein“ definiert sei, das sind vier Betonladungen von jeweils $7,5 \text{ m}^3$ oder drei Betonladungen von jeweils 10 m^3 . Das Wort „etwa“ wurde hinzugefügt, weil es nicht sinnvoll zu sein schien, ein Volumen von z. B. 31 m^3 für die Bewertung in zwei Volumina aufzuteilen. Obgleich dieses zusätzlich eingefügte Wort ein Problem löst, ergibt sich damit ein neues, nämlich das Problem, was das Wort „etwa“ bedeutet. Es wäre falsch, davon auszugehen, dass „etwa“ eine ganze weitere Betonladung umfassen kann, weswegen die Grenze irgendwo zwischen 30 m^3 und einem Teil einer ganzen Betonladung liegen muss.

(4) Um die Unklarheiten auf ein Mindestmaß zu reduzieren, wurde der Begriff „Prüfergebnis“ in EN 13791:2019, 3.1.5 definiert als:

„arithmetisches Mittel der Messwerte oder im Falle der Rückprallzahl der Medianwert der an einer Messstelle erhaltenen Messwerte“.

Wird nur ein einziger Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm entnommen, so handelt es sich bei dem Prüfergebnis für die Messstelle um nur eine einzige Messung. Der Ansatz von EN 13791 ist ähnlich dem in EN 206 angewendeten im Hinblick auf ein Druckfestigkeitsprüfergebnis, bei dem es sich um den Durchschnitt der einzelnen Messungen an Zylindern bzw. Würfeln handelt.

(5) In den meisten Fällen ist das Prüfergebnis ausreichend, um darauf vertrauen zu können, dass das Prüfergebnis die an der Messstelle gemessene Eigenschaft widerspiegelt; die Ausnahme hiervon ist der Fall, dass die in EN 13791:2019, Tabelle 4 angegebene Mindestanzahl an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 50 mm unterschritten wird.

(6) EN 13791 enthält im Gegensatz zu EN 206:2013+A1:2016 [5], nach der die Variationsbreite der Prüfwerte von in Formen hergestellten Probekörpern höchstens 15 % des Mittelwertes betragen darf, keine Anforderungen an den Bereich der Einzelmessungen für ein Prüfergebnis; dies ist jedoch ein Aspekt, der bei einer späteren Überarbeitung von EN 13791 zu erwägen ist.

(7) Es wurde anerkannt, dass in bestimmten Situationen nur die durchschnittliche Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons des (der) zu untersuchenden Bauwerksteils (Bauwerksteile), nicht aber die Festigkeiten an einzelnen Messstellen von Interesse sind. Für diese Fälle wird eine Verfahrensweise zur Nutzung einer größeren Anzahl an Messstellen mit den Werten einzelner Bohrkern geringer Durchmesser festgelegt. Bei Anwendung dieser Verfahrensweise ergeben sich für die durchschnittliche und die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons zuverlässige Schätzwerte; ein einzelner Bohrkern mit geringem Durchmesser kann jedoch für die Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer bestimmten Messstelle nicht als zuverlässig angesehen werden.

11 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons in EN 13791:2019, Abschnitt 6

(1) Gegenwärtig ist es in Europa übliche Praxis, Bohrkern mit einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von entweder 2 : 1 oder 1 : 1 zu verwenden.

(2) Da die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons in Bezug auf das Prüfergebnis für einen 2 : 1-Bohrkern festgelegt ist, wird das Prüfergebnis für einen 1 : 1-Bohrkern durch Multiplikation mit einem *CLF* in die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons umgerechnet, wobei EN 13791:2019 mit Ausnahme der Situation, in der ein aufgrund von Prüfungen ein anderer Wert gerechtfertigt ist, einen Vorgabewert von 0,82 für Normalbeton oder Schwerbeton festlegt. Wie nachzuweisen ist, dass ein abweichender *CLF* „gerechtfertigt“ ist, wurde nicht festgelegt. Für weitere Informationen zu diesem Faktor siehe 5.2.

(3) Indem eine praktische Grenzabweichung der Länge angegeben wurde, wird die Notwendigkeit, ein anderes Länge/Durchmesser-Verhältnis anzuwenden, zum Ausnahmefall. Entsprechend ist in EN 13791 kein Umrechnungsfaktor für andere Länge/Durchmesser-Verhältnisse angegeben.

(4) Bohrkern mit einem kleinen Durchmesser haben eine größere Variationsbreite als Bohrkern mit größeren Durchmessern, und um bei Verwendung von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 50 mm dasselbe Vertrauen in das für eine Messstelle ermittelte Prüfergebnis zu erhalten, wurde die Mindestanzahl an einzelnen Bohrkernfestigkeiten, die für den Erhalt eines Prüfergebnisses notwendig ist, erhöht.

(5) EN 13791:2007, A.3.1 [2] empfiehlt, für 1 : 1-Bohrkerne drei Mal so viele Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm zu verwenden, legt aber keine dazugehöriges Größtkorn fest. Dieses Dokument verlangt für die Prüfung von Bohrkernen Konformität mit EN 12504-1 [12]. EN 12504-1:2019 legt kein Größtkorn im Verhältnis zum Bohrkerndurchmesser fest, enthält aber die Aussage, dass die Korngröße signifikanten Einfluss auf die Bohrkernfestigkeit hat, wenn das Verhältnis von Größtkorn zu Bohrkerndurchmesser größer als 1:3 ist. Für einen Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm deckt sich