

DIN EN 13791

DIN

ICS 91.080.40

Ersatz für
DIN EN 13791:2008-05 und
DIN EN 13791/A20:2017-02**Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in
Bauwerksteilen;
Deutsche Fassung EN 13791:2019**Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components;
German version EN 13791:2019Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments
préfabriqués en béton;
Version allemande EN 13791:2019

Gesamtumfang 48 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13791:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SN (Norwegen) gehalten wird.

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

Zur Erfassung von Regeln für die Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen, die nach diesem Dokument in nationalen Vorschriften zu regeln sind bzw. von Regeln für Anwendungen, die ausdrücklich nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments fallen, kann sich zur Veröffentlichung dieses Dokuments als Norm der Bedarf eines nationalen Anhangs ergeben.

EN 13791:2019 enthält in Anhang B einen Fehler, der durch eine nationale Fußnote gekennzeichnet und erläutert wird.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO/IEC 17025 siehe DIN EN ISO/IEC 17025

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13791:2008-05 und DIN EN 13791/A20:2017-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm wurde vollständig überarbeitet, um der Kontinuität willen aber wurden die methodischen Ansätze und der Anwendungsbereich und zu einem großen Teil auch der frühere Aufbau beibehalten;
- b) das Hauptaugenmerk liegt auf der Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton für die Anwendung in Verbindung mit EN 1990 und EN 1992-1-1;
- c) es wird eine umfassendere Anleitung zur Anwendung der Vorgehensweisen, besonders im Hinblick auf die Festlegung eines Prüfergebnisses, einer Messung, des Betonvolumens, der Messstelle, eines begrenzten Prüfbereichs und des Prüfbereichs, gegeben;
- d) es wurden Anforderungen zur Festlegung des Untersuchungszwecks, der anzuwendenden Vorgehensweisen und der Prüfverfahren sowie der Messstellen und Prüfbereiche aufgenommen, die vor Beginn der Prüfung festzulegen sind;
- e) Abschnitt 8, „Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung eines bestehenden Bauwerks“ deckt die früheren Anforderungen an die Bewertung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton durch Prüfung von Bohrkernen oder nach indirekten Verfahren ab;
- f) Abschnitt 9, „Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Zweifelsfall“ deckt die früheren Anforderungen an die Bewertung in Fällen ab, in denen die nach Normprüfungen bestimmte Übereinstimmung von Beton in Zweifel steht;
- g) die in EN 13791:2007 angegebenen Ansätze A und B sind nicht mehr gültig;
- h) EN 13791 wurde mit den Anforderungen von EN 206 abgeglichen.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13791: 2008-05
DIN EN 13791/A20: 2017-02

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM

EN 13791

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

August 2019

ICS 91.080.40

Ersetzt EN 13971:2007

Deutsche Fassung

Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen

Assessment of in-situ compressive strength in
structures and precast concrete components

Évaluation de la résistance à la compression sur site des
structures et des éléments préfabriqués en béton

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Juli 2019 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole und Abkürzungen.....	10
4 Untersuchungsziel und Prüfparameter.....	12
5 Prüfbereiche, Messstellen und Anzahl an Prüfungen	15
5.1 Prüfbereiche.....	15
5.2 Messstellen.....	16
6 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons.....	18
7 Erste Beurteilung des Datensatzes.....	19
7.1 Beurteilung des Prüfbereichs zur Feststellung, ob er nur eine Betonfestigkeitsklasse repräsentiert.....	19
7.2 Bewertung einzelner Prüfergebnisse innerhalb eines Prüfbereichs.....	20
8 Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung eines bestehenden Bauwerks.....	22
8.1 Ausschließlich basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	22
8.2 Basierend auf einer Kombination von Prüfdaten aus einer indirekten Prüfung und aus Bohrkernen.....	24
8.3 Anwendung einer indirekten Prüfung mit mindestens drei Prüfdaten aus Bohrkernen.....	26
9 Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Zweifelsfall.....	27
9.1 Allgemeines	27
9.2 Verwendung von Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	28
9.3 Indirekte Prüfung plus ausgewählte Bohrkernprüfdaten	29
9.4 Screening-Test unter Anwendung einer allgemeinen oder speziellen Beziehung mit einem indirekten Prüfverfahren	30
9.5 Verfahrensweise für den Fall der Erklärung einer Nichtkonformität der Druckfestigkeit durch den Hersteller	31
Anhang A (informativ) Anleitung für die Durchführung einer Untersuchung.....	32
Anhang B (informativ) Beispiel einer allgemeinen Beziehung zwischen Rückprallzahl und Druckfestigkeitsklasse	42
Literaturhinweise.....	44

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13791:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2020 zurückgezogen werden.

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 ersetzt EN 13791:2007.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zu EN 13791:2007 sind:

- a) die Norm wurde vollständig überarbeitet, um der Kontinuität willen aber wurden die methodischen Ansätze und der Anwendungsbereich und zu einem großen Teil auch der frühere Aufbau beibehalten;
- b) das Hauptaugenmerk liegt auf der Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton für die Anwendung in Verbindung mit EN 1990 und EN 1992-1-1;
- c) es wird eine umfassendere Anleitung zur Anwendung der Vorgehensweisen, besonders im Hinblick auf die Festlegung eines Prüfergebnisses, einer Messung, des Betonvolumens, der Messstelle, eines begrenzten Prüfbereichs und des Prüfbereichs, gegeben;
- d) es wurden Anforderungen zur Festlegung des Untersuchungszwecks, der anzuwendenden Vorgehensweisen und der Prüfverfahren sowie der Messstellen und Prüfbereiche aufgenommen, die vor Beginn der Prüfung festzulegen sind;
- e) Abschnitt 8, „Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung eines bestehenden Bauwerks“ deckt die früheren Anforderungen an die Bewertung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton durch Prüfung von Bohrkernen oder nach indirekten Verfahren ab;
- f) Abschnitt 9, „Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Zweifelsfall“ deckt die früheren Anforderungen an die Bewertung in Fällen ab, in denen die nach Normprüfungen bestimmte Übereinstimmung von Beton in Zweifel steht;
- g) die in EN 13791:2007 angegebenen Ansätze A und B sind nicht mehr gültig;
- h) EN 13791 wurde mit den Anforderungen von EN 206 abgeglichen.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

(1) Dieses Dokument deckt zwei Anwendungen der Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ab. Das sind:

- die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons eines bestimmten Prüfbereichs und/oder der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an bestimmten Stellen;
- die Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton, der in ein im Bau befindliches Tragwerks eingebracht wurde, falls die anhand der Ergebnisse von Normprüfungen ermittelte Druckfestigkeit oder die Ausführungsqualität in Zweifel steht.

(2) Beide Anwendungen haben, wie in Tabelle 1 dargestellt ist, eine Reihe von Schritten miteinander gemein, die Bewertungsverfahren unterscheiden sich jedoch. Der Grund für diesen Unterschied liegt darin, dass bei der Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton (Abschnitt 8) keine Annahme darüber getroffen wird, wie diese sein sollte, und dass die mit der Anzahl an Daten verbundene Unsicherheit bei der Abschätzung des Wertes berücksichtigt wird. Bei der nach Abschnitt 8 bestimmten Druckfestigkeit von Bauwerksbeton handelt es sich um einen Wert, der auf der Prüfung eines in EN 1992-1-1:2004, A.2.3, benannten Tragwerks oder Bauelements beruht.

ANMERKUNG Obgleich Informationen über die ursprüngliche Qualität des eingebrachten Betons vorliegen mögen, kann sich die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons mit der Zeit geändert haben.

(3) Die meisten der in Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen gelten für den Fall, dass die Übereinstimmung des eingebrachten Betons mit der Leistungserklärung des Herstellers im Hinblick auf die Druckfestigkeit nachgewiesen ist, Prüfergebnisse von auf der Baustelle entnommenen Proben jedoch eine Nichtkonformität anzeigen und sich dieser Gegensatz nicht mit anderen Mitteln klären lässt. Da die in CEN-Normen für die Überprüfung auf Übereinstimmung mit der Leistungserklärung angegebenen Verfahrensweisen als zuverlässig angesehen werden, wird davon ausgegangen, dass der Beton die festgelegte charakteristische Druckfestigkeit besitzt, und die angewendeten statistischen Prüfungen dienen zur Überprüfung der Gültigkeit dieser Hypothese.

Wenn eine nach Abschnitt 9 durchgeführte Bewertung eine Nichtkonformität im Hinblick auf die Druckfestigkeit anzeigt, sollten der Hersteller und die anderen beteiligten Parteien die in 9.5 angegebene Vorgehensweise anwenden.

(4) Die in Abschnitt 8 und Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen folgen unterschiedlichen Ansätzen, die zu signifikant verschiedenen Ergebnissen führen können.

(5) Sofern nichts anderes angegeben ist, gelten die im vorliegenden Dokument angegebenen Vorgaben für aus Normalbeton, Leichtbeton oder Schwerbeton errichtete Tragwerke.

(6) Im vorliegenden Dokument wird ausschließlich die Nutzung einer einzigen Beziehung zwischen einem indirekten Prüfverfahren (Ultraschallgeschwindigkeit [en: ultrasonic pulse velocity, UPV] oder Rückprallhammer) und der Druckfestigkeit behandelt. Die kombinierte Nutzung von sowohl UPV- als auch des Rückprallhammer-Verfahren zusammen mit der Festigkeit von Bohrkernen ist ein nützliches Verfahren, die dabei anzuwendenden Verfahrensweisen werden jedoch im vorliegenden Dokument nicht näher behandelt.

(7) Das vorliegende Dokument wurde in der Erwartung entwickelt, das seine Anwendung in Verbindung mit EN 1992-1-1 erfolgt. Im Falle seiner Anwendung in Verbindung mit anderen Bemessungsnormen kann es notwendig sein, einige Faktoren zu modifizieren. Außerdem nutzt das vorliegende Dokument den in EN 1992-1-1:2004, 3.1.6, empfohlenen Wert von 1,0 für den Faktor α_{cc} und den in EN 1992-1-1:2004, A.2.3, empfohlenen Wert von 0,85 für den Faktor η . Falls nationale Vorschriften andere Werte für diese Koeffizienten verwenden, können Anpassungen der entsprechenden Gleichung in der vorliegenden Norm notwendig sein.

(8) In den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften können Verfahren angegeben sein, die außerhalb des Bereichs der im vorliegenden Dokument festgelegten liegen. Dazu gehören z. B.:

- die Kombination von zwei indirekten Prüfverfahren mit der Prüfung von Bohrkernen;
- die Verwendung von Bohrkernen mit einem Durchmesser kleiner als 50 mm;
- die Anwendung von Ausziehprüfungen;
- ein Screening-Test nach den in 9.4 festgelegten Grundsätzen;
- im Falle der in Abschnitt 8 angegebenen Verfahrensweisen: Regelungen für weniger als 8 Bohrkern ohne indirekte Prüfung;
- Bewertung des Druckfestigkeitsgefälles über einen Bauteilbereich nach einem Brand;
- im Falle der in Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen: Vergleich eines Bauelements, dessen Betonqualität in Zweifel steht, mit einem ähnlichen Bauelement, dessen Beton die Konformitätsanforderungen erfüllt.

Darüber hinaus können die am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften Anforderungen an andere Aspekte enthalten, die im vorliegenden Dokument nicht festgelegt sind. Dazu gehören z. B.:

- die Beziehung zwischen 2 : 1- und 1 : 1-Bohrkerndruckfestigkeiten, falls die Verwendung eines anderen Wertes als 0,82 aufgrund von Prüfdaten für die örtlichen Baustoffe begründet ist;
- die Beziehung zwischen der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton und dem Verhältnis von Länge zu Durchmesser der Bohrkern für andere Werte als 2 : 1 oder 1 : 1;
- die Beziehung zwischen der Druckfestigkeit von Leichtbetonen und dem Verhältnis von Länge zu Durchmesser der Bohrkern;
- die Anpassung der Bohrkernfestigkeit im Falle von Bohrkernen, die eine Querbewehrung enthalten;
- die Beziehung zwischen der Festigkeit von Bohrkernen und der Festigkeit eines gegossenen Zylinders von gleichem Durchmesser und gleicher Länge;
- Faktoren für den Fall, dass die Bewertung nach anderen als den in EN 1992-1-1 oder EN 1990 angegebenen Verfahren erfolgt;
- der in EN 1992-1-1:2004, A.2.3, angegebene Faktor η für den Fall, dass die nationalen Vorgaben einen anderen als den empfohlenen Wert von 0,85 verwenden;
- für 8.3: abweichenden Kriterien für die baustatische Bewertung;
- für 9.2 und 9.3: abweichenden Kriterien für den Fall, dass für mehrere auf die Baustelle gelieferte Ladungen nicht die in EN 206:2013+A1:2016, B.3.1, angegebenen Kriterien für die Druckfestigkeit angewendet wurden;

— Hinweise zu angemessenen Maßnahmen im Falle der Erklärung einer Nichtkonformität durch den Betonhersteller oder des Nachweises einer Nichtkonformität des Betons.

(9) Eine Anleitung zur Durchführung einer Untersuchung wird in Anhang A gegeben.

(10) Weitere Anleitungen und Hintergrundinformationen zur vorliegenden Ausgabe von EN 13791 sowie Beispielrechnungen aus der Praxis sind in CEN/TR 17086 [1] enthalten.

Tabelle 1 — Orientierungshilfe zu den maßgeblichen Abschnitten

Tätigkeit	Abschnitt
Ziel der Untersuchung	Abschnitt 4, A.1
Auswahl der Prüfverfahren	A.3, A.4
Auswahl des Bewertungsverfahrens:	A.2
zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton anhand von:	
— Bohrkernprüfdaten;	8.1
— indirekte Prüfung nach Kalibrierung an Probekörpern;	8.2
— Bohrkern- und indirekte Prüfung.	8.3
oder für die Bewertung der Druckfestigkeit, falls Daten aus der Produktionskontrolle Übereinstimmung zeigen und Daten der Identitätsprüfung aufgrund von Folgendem auf eine Nicht-Übereinstimmung hinweisen:	
— Bohrkernprüfdaten;	9.2
— indirekte Prüfung und ausgewählte Bohrkernprüfungen;	9.3
— Screening-Test.	9.4
Verfahrensweise für den Fall der Erklärung einer Nichtkonformität der Druckfestigkeit durch den Hersteller	9.5
Auswahl von Prüfbereichen und Messstellen	5.1, 5.2, A.4
Bestimmung der Festigkeit von Bauwerksbeton anhand von Bohrkernprüfdaten	Abschnitt 6
Beurteilung des Datensatzes zur Feststellung, ob er einen einzelnen Beton erfasst	7.1
Beurteilung des Datensatzes zur Feststellung, ob Ausreißer enthalten sind	7.2
Bewertung und Nutzung der Daten	A.4, A.5, A.6

1 Anwendungsbereich

(1) Dieses Dokument:

- enthält Verfahren und Vorgehensweisen für die Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton und der charakteristischen Druckfestigkeit des Betons in Bauwerken und Bauwerksteilen nach direkten Verfahren (Bohrkernprüfung) und indirekten Verfahren, z. B. Ultraschallgeschwindigkeit, Rückprallzahl;

ANMERKUNG In Anpassung an die Bemessungsnorm EN 1992-1-1, in der die Druckfestigkeit auf Zylindern im Verhältnis von 2:1 basiert, basiert die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton auf 2:1-Bohrkernen mit einem Durchmesser ≥ 75 mm.

- enthält Grundsätze und Anleitungen zum Aufstellen der Beziehung zwischen den Prüfergebnissen indirekter Prüfverfahren und der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton;
- stellt Verfahrensweisen und Anleitungen für die Bewertung der Übereinstimmung mit der Druckfestigkeitsklasse von Beton bereit, der in im Bau befindliche Bauwerke eingebracht wurde, für den Fall, dass Standardprüfungen Zweifel hervorrufen oder die Ausführungsqualität in Zweifel steht.

(2) Das vorliegende Dokument legt Anforderungen an die Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an Messstellen und der charakteristischen Festigkeit von Prüfbereichen fest, wie diese Angaben jedoch anzuwenden sind, ist unter Berücksichtigung der konkreten Situation und nach ingenieurtechnischer Beurteilung zu betrachten.

(3) Das vorliegende Dokument umfasst nicht die Bewertung der Betonqualität in Bezug auf andere Eigenschaften als die Druckfestigkeit, wie z. B. auf dauerhaftigkeitsbezogene Eigenschaften.

(4) Dieses Dokument dient nicht der Bewertung der Übereinstimmung der Betondruckfestigkeit nach EN 206 oder EN 13369, es sei denn, dies ist nach EN 206:2013+A1:2016, 5.5.1.2 oder 8.4, angegeben.

(5) Das vorliegende Dokument deckt weder die Verfahrensweisen noch die Kriterien für die routinemäßige Konformitätskontrolle von Betonfertigteilen mit Hilfe entweder direkter oder indirekter Messungen der Festigkeit des Bauwerksbetons ab.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 206:2013+A1:2016, *Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

EN 1990:2002, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 12350-1, *Prüfung von Frischbeton — Teil 1: Probenahme*

EN 12390-2, *Prüfung von Festbeton — Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*

EN 12390-3, *Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern*

EN 12504-1, *Prüfung von Beton in Bauwerken — Teil 1: Bohrkernproben — Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit*

EN 12504-2, *Prüfung von Beton in Bauwerken — Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung — Bestimmung der Rückprallzahl*

EN 12504-4, *Prüfung von Beton in Bauwerken — Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit*

EN 13369:2018, *Allgemeine Regeln für Betonfertigteile*

EN 13670, *Ausführung von Tragwerken aus Beton*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Abkürzungen zu den für die Angabe der Druckfestigkeit verwendeten Ausdrücken und deren Bedeutung sind in 3.2 angegeben.

3.1.1

Bohrkernlängenfaktor

Faktor für die Umrechnung des Messwerts oder eines Bohrkern-Prüfergebnisses in den äquivalenten Wert eines Bohrkerns gleichen Durchmessers mit einer Länge vom Zweifachen seines Durchmessers

3.1.2

indirekte Prüfung

Zerstörungsfreie Prüfung entweder nach EN 12504-2 zur Bestimmung der Rückprallzahl oder nach EN 12504-4 zur Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit (UPV, en: ultrasonic pulse velocity)

3.1.3

Ladung

Menge an Beton, die in einem Fahrzeug transportiert wird und eine oder mehrere Chargen umfasst

3.1.4

Reife

Funktion von Alter und Temperatur, die aussagt, dass alle Chargen eines gegebenen Betons bei gleicher Erhärtung die gleiche Druckfestigkeit haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Reife wird häufig als äquivalentes Alter in Tagen bei 20 °C ausgedrückt. Nach EN 13670 müssen Berechnungen der Erhärtung bzw. der Festigkeitsentwicklung auf einem geeigneten Rechenansatz beruhen, der sich für die verwendete Zementart oder die Kombination aus Zement und Zusatzstoff bewährt hat.

3.1.5

Rückprallzahl

Medianwert von mindestens neun gültigen, an einer Messstelle abgelesenen Rückprallhammerwerten, erforderlichenfalls nach Anpassung in Bezug auf die Ausrichtung des Rückprallhammers

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Rückprallzahl wird als ganze Zahl angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Verfahrensweise bei der Bestimmung der Rückprallzahl ist in EN 12504-2 festgelegt.

3.1.6

Screening-Test

indirektes Prüfverfahren, das in einer allgemeinen oder speziellen Beziehung zur Druckfestigkeit steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Um die Übereinstimmung mit einer festgelegten Druckfestigkeitsklasse anzugeben, kann die aufgestellte Beziehung herangezogen werden.

3.1.7

begrenzter Prüfbereich

Bereich im Rahmen einer baustatischen Bewertung, dessen Größe ausreichend klein ist, sodass die Schwankungen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons hauptsächlich auf die gewählten Messstellen und auf die Variabilität der Prüfung und nicht auf Schwankungen der Qualität des eingebrachten Betons zurückgeführt werden können

3.1.8

Messstelle

begrenzte Fläche, die üblicherweise für Messungen ausgewählt wird, und die herangezogen wird, um ein Prüfergebn abzuschätzen, das bei der Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Ausnahme hiervon siehe Abschnitt 6 (9) und 8.1 (2).

3.1.9

Prüfbereich

ein oder mehrere ähnliche Bauwerksteile oder Betonfertigteile, von denen bekannt ist oder vermutet wird, dass sie aus Beton mit den gleichen Bestandteilen hergestellt wurden und dass sie die gleiche Druckfestigkeitsklasse oder ein Äquivalent hierzu aufweisen, wie das mit der Identitätsprüfung auf Druckfestigkeit verbundene Volumen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Prüfbereich enthält einzelne Messstellen.

3.1.10

Prüfergebnis

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Prüfergebnis darf genau einen Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm oder genau eine Messung der Ultraschallgeschwindigkeit erfassen.

3.1.11

Ultraschallgeschwindigkeit

UPV (en: ultrasonic pulse velocity)

Geschwindigkeit, mit der ein Ultraschallpuls den Beton durchläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der UPV ist in EN 12504-4 festgelegt.

3.2 Symbole und Abkürzungen

CLF	Bohrkernlängenfaktor (en: core length factor)
G_p	kritischer Wert entsprechend dem Grubbs-Test
k_n	Fraktilefaktor für charakteristische Werte [QUELLE: EN 1990:2002]
m	Anzahl gültiger Ergebnisse einer indirekten Prüfung im untersuchten Prüfbereich
n	Anzahl der Ergebnisse der Bohrkernprüfungen
p	Anzahl der Parameter der Korrelationskurve
s	Schätzwert der Gesamtstandardabweichung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ANMERKUNG 1 Zur Berechnung von s siehe Gleichung (6).
s_c	Reststandardabweichung, bei der es sich um ein Maß für die Streubreite der Prüfdaten für die Bohrkernfestigkeit um die angepasste Regressionskurve handelt ANMERKUNG 2 Zur Berechnung von s_c siehe Gleichung (8).
s_e	Standardabweichung aller abgeschätzter Festigkeitswerte, bei der es sich um ein Maß für die Streubreite der Schätzwerte für die Bohrkernfestigkeit um deren Mittelwert handelt ANMERKUNG 3 Zur Berechnung von s_e siehe Gleichung (7).
$x_{i,cor}$	Ergebnis einer indirekten Prüfung an der Messstelle „i“, welches für die Korrelation herangezogen wird
x_0	Ergebnis einer indirekten Prüfung an der Messstelle „0“ (wo die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für eine baustatische Bewertung erforderlich ist)
\bar{x}	Mittelwert von m -Ergebnissen aus einer indirekten Prüfung, welche zur Korrelation herangezogen werden

ANMERKUNG 4 Die im Zusammenhang mit der Druckfestigkeit verwendeten Abkürzungen sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 — Abkürzungen im Zusammenhang mit der Druckfestigkeit

Abkürzung	Beschreibung und Erklärung
f_c oder $f_{c,Würfel}$	Druckfestigkeit, die anhand von Betonproben bestimmt wurde, die in Übereinstimmung mit EN 12350-1 entnommen wurden, in Übereinstimmung mit EN 12390-2 in zylinder- oder würfelförmige Probekörper geformt und nachbehandelt wurden und in Übereinstimmung mit EN 12390-3 geprüft wurden.
$f_{c,Bohrkern}$	In Übereinstimmung mit EN 12504-1 bestimmte Druckfestigkeit eines Bohrkerns. ANMERKUNG Dies ist eine allgemeine Abkürzung, die verwendet wird, um alle Verhältnisse von Länge zu Durchmesser abzudecken.
$f_{c,1:1-Bohrkern}$ oder $f_{c,2:1-Bohrkern}$	In Übereinstimmung mit EN 12504-1 bestimmte Druckfestigkeit eines Bohrkerns. ANMERKUNG Wenn das Verhältnis der Länge zum Durchmesser des Bohrkerns 1:1 beträgt, wird die Abkürzung $f_{c,1:1-Bohrkern}$ verwendet und wenn das Verhältnis der Länge zum Durchmesser 2:1 beträgt, wird die Abkürzung $f_{c,2:1-Bohrkern}$ verwendet.
$f_{c,is}$	Die Druckfestigkeit eines an einer Messstelle innerhalb eines Bauwerks- oder Betonfertigteils entnommenen Bohrkerns, angegeben als Festigkeit eines 2:1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm. ANMERKUNG 1 Falls an einer Messstelle mehr als ein Bohrkern entnommen wird, ist das Prüfergebnis der Mittelwert der einzelnen Messwerte. ANMERKUNG 2 Dieser Wert basiert auf den <i>In-situ</i> -Feuchtebedingungen und wird nicht an eine Standard-Feuchtebedingung angepasst.
$f_{ck,is}$	Charakteristische Druckfestigkeit (ausgedrückt als die Festigkeit eines 2:1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm), d. h. die Druckfestigkeit, für die erwartet wird, dass 5 % der Prüfergebnisse darunter liegen, wenn das gesamte betrachtete Betonvolumen beprobt und geprüft wurde. ANMERKUNG 1 Diese Werte sind nicht auf eine Standard-Feuchtebedingung normiert. ANMERKUNG 2 Es ist unwahrscheinlich, dass das <i>In-situ</i> -Volumen des betrachteten Bauwerksbetons dem Volumen entspricht, das zur Bestimmung der Konformität des Frischbetons in Übereinstimmung mit EN 206 verwendet wird. In der Regel ist das Volumen kleiner.
$f_{c,is,est}$	Geschätzte Druckfestigkeit an einer bestimmten Messstelle.
$f_{c,is,Höchstwert}$	Höchstwert der Druckfestigkeit einer Reihe von „n“ Messstellen (angegeben als die Festigkeit eines 2:1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm). ANMERKUNG Falls an einer Messstelle mehr als ein Bohrkern entnommen wird, werden die Werte der Bohrkernprüfung für jede Messstelle gemittelt, und der „Höchstwert“ ergibt sich aus diesen gemittelten Messwerten.
$f_{c,is,Tiefstwert}$	Tiefstwert der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons einer Reihe von „n“ Messstellen (angegeben als die Festigkeit eines 2:1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm). ANMERKUNG Falls an einer Messstelle mehr als ein Bohrkern entnommen wird, werden die Werte der Bohrkernprüfung für jede Messstelle gemittelt, und der „Tiefstwert“ ergibt sich aus diesen gemittelten Messwerten.
$f_{c,is,reg}$	Messwert aus der indirekten Prüfung, der mit Hilfe einer Regressionsgleichung in seine äquivalente Druckfestigkeit des Bauwerksbetons umgerechnet wird.
$f_{ck,spec}$	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von zylindrischen Probekörpern mit einem Verhältnis der Länge zum Durchmesser von 2:1, die mit der festgelegten Druckfestigkeitsklasse verbunden ist. ANMERKUNG Zum Beispiel beträgt $f_{ck,spec} = 30$ MPa für die Druckfestigkeitsklasse C30/37. Siehe EN 206 für alle Festigkeitsklassen.
$f_{c,m(i)is}$	Mittelwert der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons einer Reihe von „i“ Messstellen (angegeben als die Festigkeit eines 2:1-Bohrkerns mit einem Durchmesser ≥ 75 mm)

4 Untersuchungsziel und Prüfparameter

(1) Vor Beginn der Prüfung auf der Baustelle ist Folgendes zu ermitteln und zu dokumentieren:

- a) Ziel der Untersuchung;
- b) anzuwendende Normen, Prüfverfahren und Bewertungsverfahren;

ANMERKUNG 1 Zu den mit den Prüfverfahren verbundenen Einschränkungen siehe A.3 und die Prüfnormen.

- c) Prüfbereich(e) und Messstellen;
- d) Anzahl von Messungen je Messstelle;
- e) falls Bohrkerne entnommen werden, der Durchmesser und die Länge der aus der Oberfläche zu entnehmenden Bohrkerne;

ANMERKUNG 2 Der festgelegte Bohrkerndurchmesser bezieht sich auf den Durchmesser des fertigen Bohrkerns und nicht auf das Lochmaß.

- f) wie die Bohrkerne zuzuschneiden sind, um die für die Prüfung zu verwendende(n) Zuschnittlänge(n) zu erhalten;
- g) das zur Vorbereitung der Bohrkernenden anzuwendende Verfahren;
- h) ob die Probenahme und Prüfung von einem Labor durchgeführt werden müssen, das nach ISO/IEC 17025 [3] akkreditierte Verfahrensweisen anwendet;
- i) das Verfahren zur Wiederherstellung nach der Entnahme der Bohrkerne;
- j) jede Abweichung von den im vorliegenden Dokument festgelegten Verfahrensweisen.

(2) Bild 1 und Bild 2 sind Flussdiagramme, die als Hilfe bei der Auswahl der angemessenen Verfahren und Abschnitte dienen.

(3) Anleitungen zur Durchführung einer Untersuchung werden in Anhang A gegeben.

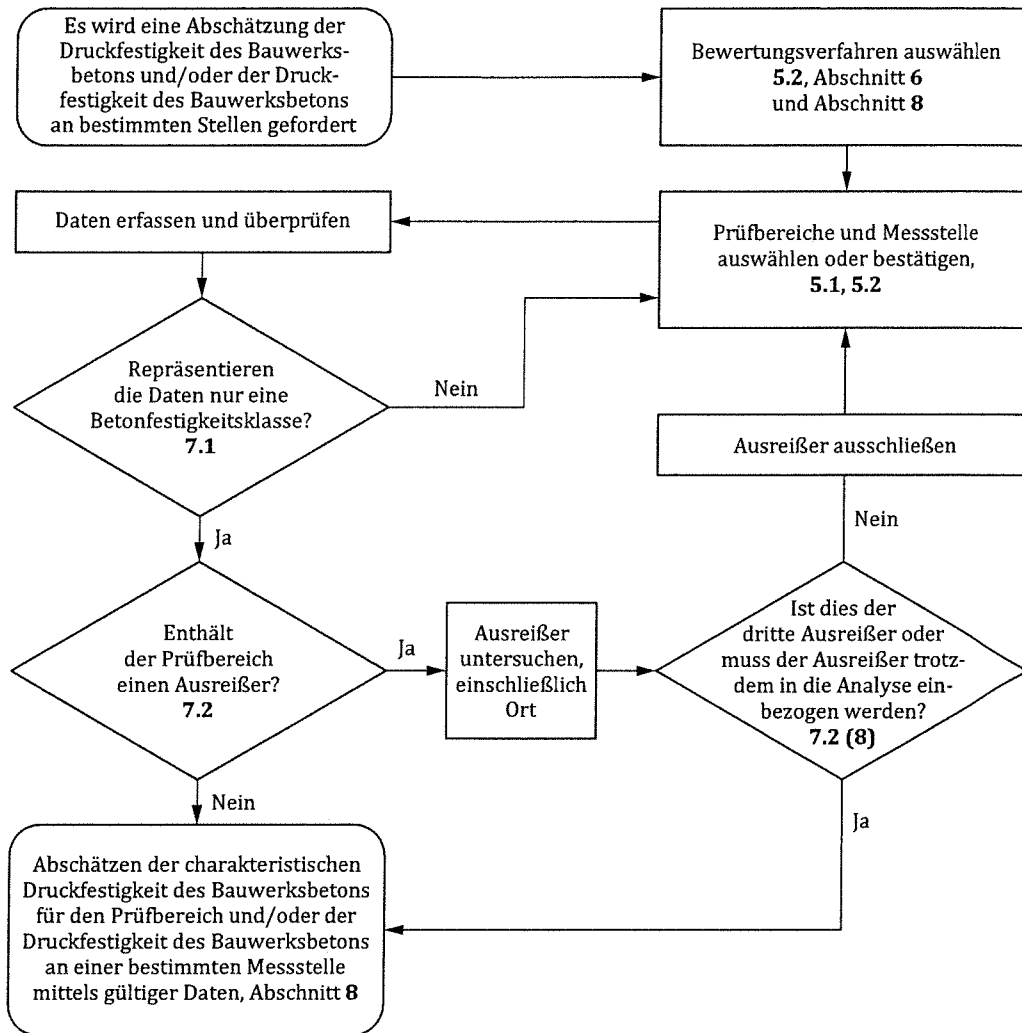


Bild 1 — Flussdiagramm für die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton für den Prüfbereich und der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an bestimmten Stellen

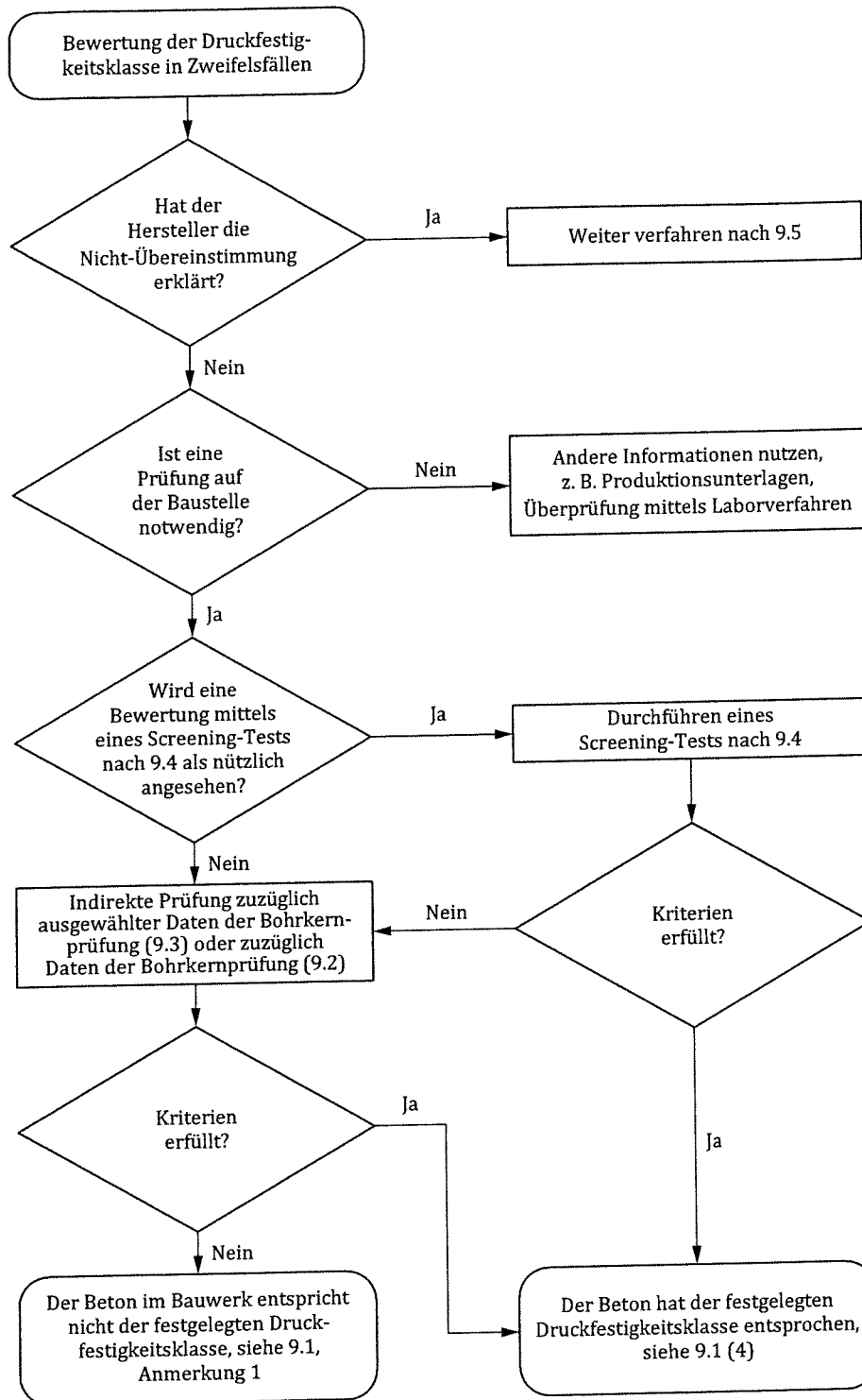


Bild 2 — Flussdiagramm für die Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von geliefertem Beton im Zweifelsfall

5 Prüfbereiche, Messstellen und Anzahl an Prüfungen

5.1 Prüfbereiche

(1) Die Prüfbereiche müssen festgelegt werden. Sie dürfen entweder eine Reihe von ähnlichen Bauwerksteilen, ein großes Bauwerksteil oder das mit der Identitätsprüfung der Druckfestigkeit (Baustellenprüfung) verbundene festgelegte Volumen umfassen. Für Betone, die sich in Bezug auf die Mischungsrezeptur unterscheiden, müssen getrennte Prüfbereiche festgelegt werden. Falls die Betonfestigkeiten nicht bekannt sind, muss eine ingenieurtechnische Beurteilung erfolgen, um Bauwerksteile zu Prüfbereichen zusammenzufassen, und die Prüfergebnisse müssen darauf überprüft werden, ob sie mehr als einen Beton umfassen.

ANMERKUNG 1 Im Falle bestehender Bauwerke ist möglicherweise nicht bekannt, ob der Beton:

- auf der Baustelle oder an einem anderen Ort hergestellt wurde;
- als ein Beton nach Eigenschaften oder als ein Beton nach Zusammensetzung geliefert wurde;
- aus unterschiedlichen Quellen stammt, zu unterschiedlichen Zeiten geliefert wurde,
- aufgrund unterschiedlicher Exposition Schwankungen in der Nachbehandlung ausgesetzt war.

Aus diesen Gründen kann der Bauwerksbeton einer Reihe von Druckfestigkeitsklassen angehören.

(2) Betone aus unterschiedlichen Mischanlagen dürfen in denselben Prüfbereich eingebracht werden, sofern die gleichen Bestandteile nach derselben Mischungsrezeptur verwendet werden, so z. B. auf Großbaustellen oder im Falle von Transportbeton-Mischanlagen, wenn zwei oder mehr Mischanlagen vorhanden sind.

(3) Wenn die zu untersuchenden Bauwerksteile Betonfertigteile und Bauwerksbeton enthalten, müssen die Betonfertigteile und der Bauwerksbeton verschiedene Prüfbereiche bilden.

(4) Im vorliegenden Dokument wird der Begriff eines begrenzten Prüfbereichs verwendet. Ein derartiger begrenzter Prüfbereich darf keine Ladungen enthalten, von denen bekannt ist oder vermutet wird, dass sie sich in signifikantem Maße von den anderen Ladungen unterscheiden, die den betreffenden Prüfbereich umfassen.

ANMERKUNG 2 Siehe die Definition zu 3.1.7.

(5) Sofern das betreffende Betonvolumen höchstens etwa 30 m^3 umfasst, an nur einem Tag eingebracht wurde und es keine Anzeichen dafür gibt, dass sich eine der Ladungen möglicherweise von den anderen unterscheidet, darf für die Anwendung von Abschnitt 9 davon ausgegangen werden, dass der eingebrachte Beton nicht in signifikantem Maße variiert und dass die Schwankung der Prüfergebnisse hauptsächlich auf die jeweilige Stelle innerhalb des Prüfbereichs und die Variabilität der Prüfung zurückzuführen ist.

5.2 Messstellen

(1) Die Anzahl an Messstellen je Prüfbereich hängt vom betreffenden Betonvolumen, vom Zweck der Prüfung, und von dem für die Schätzung erforderlichen Vertrauensniveau ab. Die Anzahl an Messstellen je Prüfbereich muss bestimmt und festgelegt werden.

(2) Die Auswahl der Messstellen muss es ermöglichen, das Ziel der Untersuchung (siehe Abschnitt 4) zu erreichen. Jede Messstelle muss bestimmt und festgelegt werden. Die Mindestanzahl an Messstellen ist in 8.1 und Abschnitt 9 festgelegt.

ANMERKUNG 1 Eine Anleitung zur Bewertung von bestehenden Bauwerken wird in EN 1998-3 [4] gegeben.

(3) Je nach Prüfverfahren sind unterschiedliche Anzahlen an einzelnen Messwerten erforderlich, um ein Prüfergebnis zu erhalten, siehe Tabelle 3.

(4) Wenn das Ziel der Untersuchung darin besteht, die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{ck, is}$) abzuschätzen, müssen die Messstellen innerhalb des Prüfbereichs so gewählt werden, dass die typischen Festigkeitsschwankungen innerhalb der Bauwerksteile berücksichtigt werden; für eine Anleitungen zur Auswahl der Messstellen siehe A.4.

(5) Zu den auf der Baustelle zu berücksichtigenden Bedingungen gehören:

- die allgemeine Lage der Baustelle und der Aufwand für den Transport der Prüfeinrichtung;
- die Zugänglichkeit des betroffenen Bereichs vor Ort;
- die Sicherheit des Personals vor Ort und die öffentliche Sicherheit.

(6) Bei der Auswahl der Messstellen müssen Spannstaahl und -kanäle vermieden werden, und es ist zu versuchen, Folgendes zu vermeiden:

- Bereiche mit Rissen;
- hochbeanspruchte oder kritische Bauteilbereiche;
- Bewehrung.

(7) Es wird empfohlen, ein Überdeckungsmessgerät oder Radarwellen zu verwenden, um sicherzustellen, dass die vorgeschlagenen Messstellen frei von Bewehrungs- oder Spannstaahl sind.

(8) Für den Fall, dass indirekte Prüfverfahren angewendet werden sollen, siehe die für die Durchführung der Prüfung maßgebliche Prüfnorm und zu einer Anleitung bezüglich der Mindestanzahl an Messstellen je Prüfbereich den betreffenden Abschnitt des vorliegenden Dokuments.

Tabelle 3 — Arten von Prüfungen und Zusammenhang zwischen Messstellen und Prüfbereichen

Prüfung	Messstelle	Prüfbereich
Druckfestigkeit anhand von Bohrkernen (EN 12504-1)	Ein Prüfergebnis kann die Festigkeit eines einzelnen Bohrkerns sein; falls mehrere Bohrkern an einer Messstelle entnommen werden, der Mittelwert der Druckfestigkeit der Bohrkern, z. B. wenn ein langer Bohrkern in zwei oder mehrere kürzere Bohrkern geteilt wird. Für Anforderungen an Bohrkern mit Durchmessern von weniger als 75 mm siehe auch Abschnitt 6.	Die Mindestanzahl gültiger Prüfergebnisse für die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons eines Prüfbereichs beträgt acht, vorausgesetzt der Bohrkerndurchmesser ist ≥ 75 mm, siehe 8.1 (2), wobei empfohlen wird, an mindestens zehn Messstellen Bohrkern zu entnehmen, um mögliche Ausreißer zu berücksichtigen. Für begrenzte Prüfbereiche ist eine geringere Anzahl an gültigen Prüfergebnissen zulässig, siehe 8.1 (6). Die Mindestanzahl an gültigen Prüfergebnissen für Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm für die Verwendung in Kombination mit indirekter Prüfung beträgt drei, siehe 8.3, wobei an mindestens vier Messstellen Bohrkern entnommen werden sollten, um mögliche Ausreißer zu berücksichtigen.
Rückprallzahl ^a (EN 12504-2)	Das in Übereinstimmung mit EN 12504-2 erhaltene Prüfergebnis ist die Rückprallzahl, und diese erfasst den Median von mindestens 9 gültigen Ablesewerten an einer Messstelle.	Rückprallhammeruntersuchungen in regelmäßigen Abständen zeigen Schwankungen der Betonoberflächenhärte auf und identifizieren Teile des Prüfbereichs, an denen Bohrkern entnommen oder weitergehende Untersuchungen vorgenommen werden sollten.
Ultraschallgeschwindigkeit (UPV) ^a (EN 12504-4)	Ein Prüfergebnis kann ein direkt oder indirekt gemessener Einzelwert der Ultraschallgeschwindigkeit durch einen Betonquerschnitt, oder im Falle der Durchführung mehrerer Messungen an einer Messstelle, die mittlere Ultraschallgeschwindigkeit sein.	UVP-Untersuchungen in regelmäßigen Abständen zeigen Schwankungen der Betondichte auf und identifizieren Teile des Prüfbereichs, an denen Bohrkern entnommen oder weitergehende Untersuchungen vorgenommen werden sollten.
<p>^a Weder die Rückprallzahl noch die Ultraschallgeschwindigkeit sind direkte Druckfestigkeitsmessungen, sie dürfen jedoch, sofern sie speziell auf den im betreffenden Bauteil verwendeten Beton kalibriert werden, zur Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons herangezogen werden, siehe Abschnitt 8.</p>		

ANMERKUNG 2 Wenn die grafische Darstellung der Häufigkeit gegen den Prüfwert eine symmetrische Glockenform um den Mittelwert herum ausbildet, kann die Verteilung der Prüfergebnisse als der Gaußschen Normalverteilung folgend angenommen werden. Falls die Verteilung niedrige Spitzen aufweist, deuten diese Messstellen an, für die möglicherweise weitere Untersuchungen erforderlich sein könnten.

6 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons

(1) Im Falle der in Abschnitt 9 festgelegten Verfahrensweisen dürfen keine Bohrkernprüfungen an Bohrkernen mit einer Erhärtung durchgeführt werden, die geringer ist als die der Konformitätsprüfung zugrunde liegende Erhärtung, z. B. 28 Tage bei 20 °C.

(2) Die Prüfung von Bohrkernen ist in Übereinstimmung mit EN 12504-1 durchzuführen, wobei die Probekörper in abgedichteten Behältern aufbewahrt werden, außer wenn sie auf eine bestimmte Länge zugeschnitten oder ihre Enden für die Prüfung abgeglichen werden.

(3) Die Dichten der Bohrkernkerne sollten nach EN 12390-7 bestimmt und im Prüfbericht angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Die Bohrkernkerne sind bei der Auswertung von Bohrkernmesswerten hilfreich.

(4) Es müssen Bohrkernkerne mit einem Verhältnis von Zuschnittlänge zu Durchmesser von 2:1 oder 1:1 und einem Durchmesser ≥ 75 mm festgelegt werden, es sei denn, dies ist praktisch nicht durchführbar. Wenn aufgrund der Bewehrungsanordnung in der Praxis keine Bohrkernkerne mit einem Durchmesser ≥ 75 mm entnommen werden können, müssen Bohrkernkerndurchmesser von mindestens 50 mm festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Für die Umrechnung von Bohrkernen mit einem anderen Verhältnis von Länge zu Durchmesser als 2:1 und 1:1 in eine Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c,IS}$) sind keine Anforderungen festgelegt.

ANMERKUNG 3 Weitere Anleitungen zur Auswahl von Bohrkernkerndurchmessern werden in A.4 gegeben.

(5) Bohrkernkerne sollten frei von Bewehrungen sein. Falls ein Bohrkern eine Bewehrung enthält, die senkrecht zur Richtung der Lasteinwirkung angeordnet ist, muss dies aufgezeichnet und gesondert beurteilt werden.

(6) Jeder Bohrkern, der eine Bewehrung in Kernbohrerichtung oder nahe der Kernbohrerichtung enthält, muss sofort zurückgewiesen werden, und es ist ein weiterer Bohrkern an derselben Messstelle zu entnehmen.

(7) Für die Bestimmung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons wird das Prüfergebnis des Bohrkerns unter Verwendung des Bohrkernlängenfaktors (CLF) auf den entsprechenden Wert eines 2:1-Bohrkerns umgerechnet. Bei Normalbeton und Schwerbeton beträgt der Faktor zur Umrechnung eines 1:1-Bohrkerns in einen 2:1-Bohrkern 0,82, sofern in den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften kein anderer Wert angegeben oder aufgrund von Prüfungen ein anderer Wert gerechtfertigt ist. Bei anderen Verhältnissen von Länge zu Durchmesser muss der CLF in den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften angegeben sein. Im Falle von Leichtbeton muss der CLF in den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften angegeben oder durch Prüfungen gerechtfertigt sein.

(8) Die Anforderungen an die Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer Messstelle sind in Tabelle 4 angegeben.

ANMERKUNG 4 Die Korngröße hat signifikanten Einfluss auf die gemessene Festigkeit, wenn der durch das Größtkorn geteilte Bohrkernkerndurchmesser kleiner als etwa 3 ist.

ANMERKUNG 5 Die Richtung der Kernbohrung wird üblicherweise entweder als vertikal oder horizontal zur Betonierichtung des Bauteils angegeben. Die vorliegende Norm und ihr Vorgänger EN 13791:2007 unterscheiden nicht zwischen diesen beiden Kernbohrerichtungen.

(9) Wenn zur Bestimmung des Mittelwerts der Festigkeit Bohrkernkerne mit einem Durchmesser größer oder gleich 50 mm und weniger als 75 mm entnommen werden, und kein Interesse daran besteht, einen Schätzwert für die Druckfestigkeit an jeder Messstelle zu erhalten, darf jeweils ein einziger Bohrkern an jeder Messstelle entnommen werden (bezüglich der Mindestanzahl an Messstellen siehe 8.1).

ANMERKUNG 6 Die Festigkeit von kleineren Bohrkernen weist eine höhere Schwankungsbreite auf, weswegen die Mindestanzahl an Bohrkernen erhöht wurde, um das gleiche Vertrauensniveau für das Prüfergebnis zu erzielen. Es gibt Hinweise darauf, dass 2:1-Bohrkerne mit einem Durchmesser von 100 mm bei einer oberen Korngröße von 20 mm eine um etwa 7 % höhere Festigkeit besitzen als Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm (siehe EN 12504-1), es liegen jedoch keine ausreichenden Belege für die Quantifizierung des Unterschieds in Bezug auf 1:1-Bohrkerne vor, weswegen dieser nicht berücksichtigt wird.

ANMERKUNG 7 Um für das Prüfergebnis an einer bestimmten Messstelle dasselbe Vertrauensniveau wie bei einem Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm zu erhalten, wird der Mittelwert einer Reihe von Bohrkernen mit kleinem Durchmesser (siehe Tabelle 4) benötigt; jedoch lässt sich dasselbe Vertrauensniveau in die mittlere Festigkeit eines Prüfbereichs auch durch Erhöhung der Anzahl an Messstellen und Entnahme eines einzigen Bohrkerns mit kleinem Durchmesser an jeder Messstelle erzielen (siehe 8.1).

Tabelle 4 — Anforderungen, um ein Prüfergebnis für eine Messstelle zu erhalten

Anforderung	Bohrkerndurchmesser	Bohrkerndurchmesser	
	50 mm ^a	≥ 75 mm	
Verhältnis Länge zu Durchmesser	Nennverhältnis: 1:1 ^b Zulässiger Bereich: 0,90:1 bis 1,10:1	Nennverhältnis: 2:1 Zulässiger Bereich: 1,95:1 bis 2,05:1	Nennwert: 1:1 Zulässiger Bereich: 0,90:1 bis 1,10:1
Mindestanzahl an Werten der Druckfestigkeit von Bohrkernen, um an einer Messstelle ein Prüfergebnis zu erhalten	3	1	1
Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer Messstelle ($f_{c, is}$)	CLF^c (Mittelwert der Werte $f_{c, 1:1}$ -Bohrkern)	Mittelwert der Werte $f_{c, 2:1}$ -Bohrkern ^d	CLF^c (Mittelwert der Werte $f_{c, 1:1}$ -Bohrkern) ^d

^a Bei Durchmessern über 50 mm und weniger als 75 mm sollte die Mindestanzahl an Werten der Bohrkerndruckfestigkeit interpoliert und festgelegt werden.
^b Für 2:1-Bohrkerne mit einem Durchmesser von 50 mm werden keine Festlegungen gemacht.
^c Bezüglich des Werts CLF siehe Abschnitt 6 (7).
^d Für den Fall, dass nur ein Bohrkern entnommen wurde, gilt: $f_{c, is} = f_{c, 2:1}$ -Bohrkern oder $CLF \times f_{c, 1:1}$ -Bohrkern

7 Erste Beurteilung des Datensatzes

7.1 Beurteilung des Prüfbereichs zur Feststellung, ob er nur eine Betonfestigkeitsklasse repräsentiert

(1) Wenn nicht bekannt ist, ob der vorgeschlagene Prüfbereich nur eine Druckfestigkeit aufweist (was wahrscheinlicher ist, wenn Verfahrensweisen nach Abschnitt 8 anzuwenden sind), sollten alle verfügbaren Informationen zur Produktionskontrolle sowie die Baustellendokumentationen verwendet werden, um die Prüfbereiche und Stellen zu ermitteln, die spezieller Untersuchung bedürfen. Obgleich es angemessen ist anzunehmen, dass der Beton innerhalb eines einzelnen Bauwerksteils nur einer Druckfestigkeitsklasse angehört, gibt es seltene Ausnahmen, für die diese Annahme nicht gilt, z. B. dann, wenn eine für ein anderes Bauwerksteil bestimmte Ladung in das zu untersuchende Bauelement eingebracht wurde; jedoch könnte eine solche Ladung auch als Ausreißer nach oben oder unten bezeichnet werden, siehe 7.2. Die Messstelle und die Daten der Festigkeitsprüfung sind einer visuellen Prüfung zu unterziehen, um festzustellen, ob ungewöhnliche Prüfergebnisse vorliegen, die möglicherweise darauf hinweisen könnten, dass der Prüfbereich zwei oder mehr Druckfestigkeiten enthält. Obgleich durch eine sorgfältige Auswahl der Prüfbereiche das Risiko minimiert werden kann, dass einer dieser Prüfbereiche zwei Druckfestigkeiten aufweist, wird diese Möglichkeit dadurch nicht ausgeschlossen.

ANMERKUNG 1 Zum Beispiel kann der Prüfbereich alle Stützen innerhalb eines Gebäudes umfassen. Falls die Daten aus zwei Grundgesamtheiten zu stammen scheinen, wären alle Stützen von ähnlicher Größe in einem oder mehreren Geschossen „ähnlich angeordnete Bauteile“ (die Festigkeit des für die Stützen verwendeten Betons kann in den oberen Geschossen geringer gewesen sein, oder einige Stützen können aufgrund von zeitweise kaltem Wetter mit einem Beton höherer Festigkeit ausgeführt worden sein).

ANMERKUNG 2 Die Lage des Bohrkerns (oberer, mittlerer oder unterer Teil eines Bauteils) wirkt sich auf die Festigkeit aus, wobei diese Schwankungen jedoch verringert werden, wenn die in A.4 enthaltenen Empfehlungen befolgt werden. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass der in einem einzelnen Bauteil enthaltene Beton nur einer Festigkeitsklasse angehört.

(2) Wenn aufgrund der Prüfergebnisse Hinweise dafür vorliegen, dass der Prüfbereich möglicherweise zwei Druckfestigkeiten enthält:

- wird entweder der Datensatz in zwei Prüfbereiche aufgeteilt, wobei jedoch die Mindestanforderungen an einen Prüfbereich zu beachten sind; oder
- werden die Daten in zwei Datensätze aufgeteilt, und es wird z. B. mit Hilfe einer *t*-Prüfung ermittelt, ob sich die Mittelwerte der Festigkeiten unterscheiden.

ANMERKUNG 3 Da Abschnitt 8 die Bestimmung einer charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons abdeckt und diese auf dem Mittelwert der Festigkeit und der Standardabweichung beruht, ist eine Prüfung, mit welcher ermittelt wird, ob sich die Mittelwerte der Festigkeiten in signifikantem Maße unterscheiden, die geeignete Herangehensweise.

ANMERKUNG 4 In Abhängigkeit von der Betonierhöhe und dem ausgeführten Verdichtungsverfahren kommt es zu üblichen Schwankungen der Festigkeit.

(3) Wenn eine *t*-Prüfung angewendet wird, um festzustellen, ob sich die Mittelwerte der Festigkeiten unterscheiden oder ob eine Gruppe einen höheren Wert aufweist als die andere Gruppe, müssen die Varianzen zusammengefasst werden.

(4) Wenn sich herausstellt, dass sich die Mittelwerte der Festigkeiten in signifikantem Maße unterscheiden, müssen die Daten in zwei Prüfbereiche aufgeteilt werden; unterscheiden sich die Mittelwerte der Festigkeiten nicht in signifikantem Maße, so muss der Datensatz als ein einzelner Prüfbereich betrachtet werden.

(5) Diese Überprüfung ist bei Untersuchungen nach den in Abschnitt 9 festgelegten Verfahrensweisen nicht erforderlich.

7.2 Bewertung einzelner Prüfergebnisse innerhalb eines Prüfbereichs

(1) Wenn es sich zeigt, dass ein Datensatz ein oder mehrere Prüfergebnisse enthält, welche ungewöhnlich niedrig oder hoch sind, sollten diese Prüfergebnisse überprüft werden, um festzustellen, ob es sich dabei um statistische Ausreißer handelt.

ANMERKUNG 1 Für eine Anleitung zum Umgang mit Ausreißern siehe A.6.

(2) Eine Reihe von Ergebnissen einer indirekter Prüfungen kann ebenfalls Ausreißer enthalten, die darauf hindeuten können, dass an dieser Messstelle weitere Untersuchungen, z. B. eine Bohrkernprüfung, notwendig sind.

(3) Durch Bewertung von z. B. der Differenz zwischen dem niedrigsten oder höchsten Prüfergebnis und dem Mittelwert aller Prüfergebnisse, ist es möglich festzustellen, ob es sich bei dem niedrigsten oder höchsten Ergebnis um einen statistischen Ausreißer handelt. Die Maßnahmen, die zu ergreifen sind, falls ein oder mehrere Ergebnisse statistische Ausreißer sind, obliegen einer ingenieurtechnischen Beurteilung.

(4) Alle etablierten Verfahren zur Bewertung von statistischen Ausreißern sind zulässig.

ANMERKUNG 2 Siehe z. B. ISO 5725 [5] und ASTM E178 [6].

(5) Sofern die Daten normalverteilt sind, darf zur Ermittlung von statistischen Ausreißern der Grubbs-Test angewendet werden. Der höchste Prüfwert von n aufeinander folgenden Prüfwerten sollte als Ausreißer angesehen werden, wenn

$$\frac{f_{c, \text{is, Höchstwert}} - f_{c, m(n) \text{is}}}{s} > G_p \quad (1)$$

(6) Tabelle 5 enthält kritische Werte (G_p) für die Prüfung auf Ausreißer, welche auf einem Signifikanzniveau von 1 % beruhen.

ANMERKUNG 3 Es dürfen auch andere Signifikanzniveaus zur Ermittlung der G_p -Werte angewendet werden.

Tabelle 5 — Kritische Werte (G_p) für die Prüfung auf Ausreißer

Anzahl an Prüfwerten	G_p
4	1,496
5	1,764
6	1,973
7	2,139
8	2,274
9	2,387
10	2,482
11	2,564
12	2,636
13	2,699
14	2,755
15	2,806
16	2,852
17	2,894
18	2,932
19	2,968
20	3,001
25	3,135
30	3,236
35	3,316
40	3,381
50	3,482
60	3,560

Anzahl an Prüfwerten	G_p
70	3,621
80	3,673
90	3,716
100	3,754
120	3,817
140	3,867
160	3,910
180	3,946
200	3,978
250	4,042

(7) Der niedrigste Prüfwert von n aufeinander folgenden Prüfwerten sollte als Ausreißer angesehen werden, wenn

$$\frac{f_{c,m(n)is} - f_{c,is,Tiefstwert}}{s} > G_p \quad (2)$$

(8) Im Falle möglicher Ausreißer an beiden Extremen sollte dieses Verfahren zunächst auf den Wert mit dem größten Abstand zum Mittelwert angewendet werden. Dieses Verfahren darf zweimal auf einen Datensatz eines Prüfbereichs angewendet werden. Bevor die Prüfung wiederholt wird, muss der erste Ausreißer aus der Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung ausgeschlossen werden. Alle Ausreißer sind zu dokumentieren und einzeln zu beurteilen. Wenn mehr als zwei Prüfergebnisse Ausreißer darstellen, kann dies möglicherweise ein Anzeichen dafür sein, dass der Prüfbereich mindestens zwei Betone enthält, und diese Möglichkeit sollte untersucht werden.

Bei einigen der anderen Verfahren können mehr als zwei Ausreißer zulässig sein, jedoch sollte die Möglichkeit, dass der Prüfbereich mehr als nur eine Druckfestigkeitsklasse erfasst, ebenfalls betrachtet werden.

8 Abschätzung der Druckfestigkeit für die baustatische Bewertung eines bestehenden Bauwerks

8.1 Ausschließlich basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen

(1) Die Werte für die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c,is}$) werden überprüft, um sicherzustellen, dass alle Werte gültig sind. Alle gültigen Prüfergebnisse werden für die Schätzung des Mittelwerts der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c,m(n)is}$) und der Standardabweichung der Probe, s , des Prüfbereiches im untersuchten Bauwerk herangezogen.

(2) Mit Ausnahme von begrenzten Prüfbereichen muss die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton mindestens auf Folgendem beruhen:

- acht gültigen Prüfergebnissen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons basierend auf Bohrkernen mit einem Durchmesser ≥ 75 mm in Übereinstimmung mit Tabelle 4; oder
- zwölf gültigen Werten der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons, die jeweils auf einem einzelnen Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm aus Beton mit einem Größtkorn ≤ 16 mm beruhen.

(3) Bei Anwendung von Gleichung (3) muss die Standardabweichung der Probe die errechnete Standardabweichung der Probe, s , oder der Wert sein, der einen Variationskoeffizienten von 8 % ergibt, wobei der jeweils größere Wert gilt.

ANMERKUNG 1 Die Anwendung eines Mindestwertes des Variationskoeffizienten schützt davor, einen unrealistisch niedrigen Wert zu verwenden, wenn die Prüfergebnisse aus Bohrkernen ungewöhnlich nahe beieinander liegen.

(4) Die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{ck, is}$) wird aus dem niedrigeren der folgenden Werte abgeschätzt:

$$f_{ck, is} = f_{c, m(n)is} - k_n s \quad (3)$$

Dabei ist

k_n der aus Tabelle 6 entnommene Wert, oder

$$f_{ck, is} = f_{c, is, Tiefstwert} + M \quad (4)$$

Dabei basiert

der Wert von M auf dem Wert von $f_{c, is, Tiefstwert}$ und wird aus Tabelle 7 entnommen.

Tabelle 6 — k_n -Werte für die Verwendung in Gleichung (3)

n	8	10	12	16	20	30	∞
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

ANMERKUNG 2 Gleichung (3) und Tabelle 6 sind mit EN 1990:2002+A1:2005, Anhang D, abgeglichen.

Tabelle 7 — Wert der in Gleichung (4) anzuwendenden Spanne M

Wert von $f_{c, is, Tiefstwert}$ MPa	Spanne MPa
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

(5) Es ist zulässig, die logarithmische Normalverteilung von Gleichung (3) zu verwenden. In diesem Fall müssen die in EN 1990:2002, D.7.2, angegebenen Gleichungen unter Verwendung eines unbekanntes Variationskoeffizienten angewendet werden. Die Standardabweichung der Probe der natürlichen Logarithmen der Festigkeitswerte muss der entsprechende Rechenwert oder der Wert sein, der einen Variationskoeffizienten von 8 % liefert, wobei jeweils der größere Wert gilt.

(6) Die Mindestanzahl an Bohrkernen und die Bewertungskriterien für einen begrenzten Prüfbereich dürfen in am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften festgelegt werden, oder es darf die in (7) angegebene Verfahrensweise angewendet werden.

(7) Im Falle eines begrenzten Prüfbereichs, der ein bis drei Bauelemente und ein Gesamtvolumen von höchstens etwa 10 m^3 umfasst, müssen mindestens drei Bohrkerne mit einem Durchmesser $\geq 75 \text{ mm}$ einschließlich mindestens eines Bohrkerns aus jedem Bauelement im Prüfbereich entnommen werden, und es ist die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c, is}$) zu berechnen. Wenn die Stellen, an denen Bohrkerne entnommen werden, Beton repräsentieren, der für den Verbleib im Bauwerk bestimmt ist, wird für die baustatische Bewertung der niedrigste Wert von drei oder mehr Bohrkerne (sofern die Streubreite der Prüfergebnisse höchstens 15 % des Mittelwerts beträgt) als Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{ck, is}$) verwendet.

Ist die Streubreite der Ergebnisse größer als 15 % des Mittelwerts, so ist dies ein Hinweis, dass zu dem betreffenden Prüfbereich weitere Informationen erhoben werden sollten.

8.2 Basierend auf einer Kombination von Prüfdaten aus einer indirekten Prüfung und aus Bohrkerne

8.2.1 Anwendung einer indirekten Prüfung, die speziell auf Daten von aus dem betrachteten Bauwerk entnommenen Bohrkerne kalibriert wurde

(1) Im Idealfall sollte die indirekte Prüfung vor dem Kernbohren durchgeführt werden. Die Daten aus dieser Untersuchung sollten zur Auswahl der Stellen für das Kernbohren verwendet werden. Bohrkerne müssen an Stellen entnommen werden, an denen Werte der indirekten Prüfung zur Verfügung stehen. Es sollten mindestens 10 Prüfergebnispaare ermittelt werden, und die Stellen, an denen die Bohrkerne entnommen werden, sollten den gesamten Bereich der in den indirekten Prüfungen ermittelten Werte, einschließlich der Extremwerte, repräsentieren, sofern Kernbohrungen an diesen Extremstellen statisch sicher sind. Die Ergebnisse der Prüfung von Bohrkerne müssen in Werte für die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c, is}$) umgerechnet werden, und die Ergebnisse der indirekten Prüfung sind als x-Achse gegen die Werte der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons (y-Achse) aufzutragen. Es ist eine lineare „Best-Fit“-Regression durch diese Punkte zu ermitteln, und es ist zu beurteilen, ob diese für den betreffenden Beton (Art, Alter, Beton) angemessen ist.

ANMERKUNG 1 Häufig lässt sich mit 8 Prüfergebnispaaren eine gute Korrelation erzielen. Die Empfehlung, 10 Prüfergebnispaare zu entnehmen dient dazu, mögliche Ausreißer einzuplanen und sicherzustellen, dass die Korrelation auf mindestens 8 Prüfergebnispaaren beruht.

(2) Grundsätzlich sollten, sofern in der Praxis durchführbar, ausreichend Bohrkerndaten gewonnen werden, um eine spezifische Korrelation zwischen der indirekten Prüfung und der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons zu erhalten. Wenn weniger als 8 Prüfergebnispaaren vorliegen, sollte die in 8.3 angegebene Verfahrensweise befolgt werden.

ANMERKUNG 2 Da der Bereich der Festigkeitswerte wahrscheinlich begrenzt ist, ist die Anpassung einer linearen Regression in der Regel angemessen. Die in diesem Abschnitt angegebenen Gleichungen sind auf lineare Gleichungen direkt anwendbar.

ANMERKUNG 3 Es wird keine Anleitung dazu gegeben, was eine angemessene Korrelation ist.

Der Datensatz muss im Hinblick auf atypische Werte bewertet werden.

ANMERKUNG 4 Eine für die Erkennung atypischer Werte geeignete Verfahrensweise ist die Analyse standardisierter Residuen. Ein standardisiertes oder studentsches Residuum ist der Quotient, der sich aus der Division eines Residuums durch einen Schätzwert seiner Standardabweichung ergibt.

(3) Durch Anwendung der aufgestellten linearen Regressionsgleichung werden alle gültigen Werte der indirekten Prüfung in ihre entsprechenden Werte der Regressionsgleichung ($f_{c, is, reg}$) umgerechnet, und zwar selbst an den Messstellen, für die Ergebnisse aus tatsächlichen Prüfungen von Bohrkerne vorliegen. Bei der Bestimmung der Werte der Regressionsgleichung darf die Regressionsgleichung an beiden Enden der nachgewiesenen Beziehung nur um höchstens 4 MPa extrapoliert werden.

ANMERKUNG 5 Wenn die Ergebnisse aus der tatsächlichen Prüfung von Bohrkernen in die Berechnungen nach 8.2.2 und 8.2.3 einbezogen werden, wird durch die Doppelzählung der Schwankungsbreite ein Fehler eingebracht.

(4) Diese Werte der Regressionsgleichung müssen zur Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons (siehe 8.2.2) herangezogen werden und dürfen zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an bestimmten Stellen (siehe 8.2.3) herangezogen werden.

8.2.2 Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für einen Prüfbereich

(1) Die mittlere Druckfestigkeit des Bauwerksbetons wird abgeschätzt mit:

$$f_{c,m(m)is} = \sum (f_{c,is,reg}) / m \quad (5)$$

(2) Die Gesamtstandardabweichung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons im Prüfbereich wird wie folgt bestimmt:

$$s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2} \quad (6)$$

Der Wert von s_e ist gegeben durch:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{c,is,reg} - f_{c,m(m)is})^2}{m - 1}} \quad (7)$$

Der Wert von s_c ist gegeben durch:

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n - 2}} \quad (8)$$

ANMERKUNG Die Gleichungen (8) und (9) sind nur dann gültig, wenn die Korrelation mit zwei Parametern erfolgt, beispielsweise in der Form $(y = a + b \cdot x)$ oder $(\ln y = a + b \cdot \ln x)$. Ist dies nicht der Fall, wird der Term $(n - 2)$ durch $(n - p)$ ersetzt, wobei p die Anzahl der Parameter in der Gleichung ist.

(3) Der Wert von s_c muss der berechnete Wert oder 2,0 MPa sein, je nachdem, welcher Wert größer ist.

(4) Die effektive Anzahl der mit der Gesamtstandardabweichung verbundenen Freiheitsgrade wird berechnet mit:

$$n_{\text{eff}} = \frac{[s_c^2 + s_e^2]^2}{\frac{s_c^4}{n - 2} + \frac{s_e^4}{m - 1}} \quad (9)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Prüfergebnispaare, die zur Ermittlung der Korrelationskurve verwendet wurden; und

m die Anzahl der abgeschätzten Festigkeitswerte.

(5) Die Gleichungen (3) und (4) werden dann angewendet, um die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons abzuschätzen, mit der Ausnahme, dass n in Tabelle 6 durch $(n_{\text{eff}} + 1)$, auf die nächste ganze Zahl gerundet, ersetzt wird. Bei Anwendung von Gleichung (4) ist $f_{c,is,\text{Tiefstwert}}$ der niedrigere Wert der niedrigsten abgeschätzten oder der niedrigsten gemessenen Bohrkernfestigkeit.

8.2.3 Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer bestimmten Stelle

(1) Die Anwendung der Mittelwertbeziehung zur Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer bestimmten Stelle ist kein sicheres Verfahren, weil eine 50 %ige Wahrscheinlichkeit besteht, dass die tatsächliche Festigkeit geringer ist als die abgeschätzte Festigkeit. Folglich muss die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer bestimmten Stelle als Wert des Ergebnisses der indirekten Prüfung bestimmt werden, der auf den Wert der unteren Grenzkurve des Vorhersageintervalls für ein Signifikanzniveau α von 5 % umgerechnet wird (einseitige Prüfung).

(2) Zum Zweck einer baustatischen Bewertung wird die abgeschätzte Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer bestimmten Messstelle ($f_{c,is,est}$) nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$f_{c,is,est} = f_{c,is,reg} - t_{(0,05, n-2)} S_c \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{i,cor} - \bar{x})^2}} \quad (10)$$

Dabei ist

0,05 in $t_{(0,05,n-2)}$ der Wert von Alpha für eine einseitige Prüfung mit $(n - 2)$ Freiheitsgraden.

ANMERKUNG 1 Gleichung (10): Bei dieser Festigkeit handelt es sich nicht um die charakteristische Druckfestigkeit des Prüfbereichs.

(3) Gleichung (10) ist nur für lineare Korrelationen gültig. Wenn Linearität nach Umwandlung von Variablen erreicht wird, müssen in den Berechnungen die umgewandelten Variablen verwendet werden.

(4) Wenn für diese bestimmte Messstelle ein Prüfergebnis für einen Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm vorliegt, ist dieser Wert und nicht der abgeschätzte Wert zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Ein einzelner Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm reicht nicht aus, um ein ausreichendes Vertrauensniveau für die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an einer Messstelle zu erhalten.

8.3 Anwendung einer indirekten Prüfung mit mindestens drei Prüfdaten aus Bohrkernen

(1) Dieses Verfahren darf bei einem Prüfbereich von höchstens 30 m³ Beton angewendet werden, um die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons anhand von indirekten Verfahren ohne Kalibrierung abzuschätzen, wenn keine Zweifel im Hinblick auf die Druckfestigkeit des eingebrachten Betons bestehen.

ANMERKUNG 1 Für den Fall, dass es Zweifel in Bezug auf die Druckfestigkeit des eingebrachten Betons gibt, siehe Abschnitt 9.

(2) Der Prüfbereich wird mittels Prüfung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit oder der Rückprallhammerprüfung untersucht, um die Schwankungsbreite zu bestimmen und die Stellen geringerer Druckfestigkeit zu ermitteln. Es werden mindestens drei Bohrkern mit einem Durchmesser ≥ 75 mm oder eine gleichwertige Anzahl an Bohrkernen kleinerer Durchmesser (siehe Tabelle 4) aus dem Bereich um die Stelle(n) mit dem niedrigsten Ergebnis der indirekten Prüfung entnommen, und die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c,is}$) wird berechnet. Wenn die Stellen, an denen Bohrkern entnommen werden, Beton repräsentieren, der für den Verbleib im Tragwerk bestimmt ist, wird für die baustatische Bewertung der Mittelwert von drei oder mehr Bohrkernen (sofern die Streubreite der Prüfergebnisse höchstens 15 % des Mittelwerts beträgt) als Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{ck,is}$) angenommen (siehe Anmerkung 3).

ANMERKUNG 2 Zu Einschränkungen hinsichtlich der Anwendung des Rückprallhammers siehe A.3.

ANMERKUNG 3 In nationalen Vorschriften können andere Kriterien für die baustatische Bewertung festgelegt oder vom beteiligten Ingenieur ausgewählt werden, siehe A.2 (5).

(3) Wenn die Streubreite der Prüfergebnisse 15 % des Mittelwertes überschreitet und sich bei einer Untersuchung ein berechtigter Grund für eine Zurückweisung eines der Ergebnisse der Bohrkernprüfung ergibt, muss die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{ck, is}$) als der Mittelwert der verbleibenden gültigen Werte genommen werden.

9 Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Zweifelsfall

9.1 Allgemeines

(1) Zweifel hinsichtlich der Erreichung der festgelegten Druckfestigkeitsklasse des Betons, der in das im Bau befindliche Bauwerk eingebracht wird, können ihre Ursache in verschiedenen Quellen haben. Zweifel an der Qualität des Bauwerksbetons können sich aus Zweifeln bezüglich der Qualität des auf die Baustelle gelieferten Betons, beim Auftreten von Problemen bei der Ausführung der Arbeiten oder nach einem außergewöhnlichen Ereignis auf der Baustelle ergeben. Der Begriff des „Zweifels“ umfasst u. a. Folgendes, ist jedoch nicht allein darauf beschränkt:

- unzureichende Druckfestigkeit von für die Produktionskontrolle entnommenen Proben, die zu einer Erklärung der Nichtkonformität führt;
- unzureichende Druckfestigkeit von für die Identitätsprüfung entnommenen Proben;
- Probleme bei der Ausführung der Arbeiten.

(2) Die in 9.2 und 9.3 angegebenen Kriterien basieren darauf und sind anwendbar, wenn die in EN 206:2013+A1:2016, Anhang B, B.3.1, angegebenen Kriterien für die Druckfestigkeit für die Bewertung einer Anzahl von Ladungen verwendet wurden, die auf eine Baustelle geliefert wurden.

(3) Der zu untersuchende Beton muss in Prüfbereiche unterteilt werden, die sich z. B. nach den für die Identitätsprüfung verwendeten Losen richten könnten. Der Prüfbereich sollte nicht mehr als etwa 180 m³ überschreiten.

(4) Wenn die in diesem Abschnitt angegebenen Verfahrensweisen eingehalten werden, muss für den festgelegten Prüfbereich akzeptiert werden, dass er mit der festgelegten Druckfestigkeitsklasse übereinstimmt. Daraus darf geschlossen werden, dass etwaige Anpassungen, die an dem auf die Baustelle gelieferten Beton vorgenommen wurden, und etwaige Abweichungen hinsichtlich der Ausführung der Arbeiten in Bezug auf das Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln entsprechend der Anforderungen von EN 13670 oder EN 13369 bezüglich der Druckfestigkeit unerheblich waren.

Alle Beteiligten sollten in die Entscheidung bezüglich der zur Bewertung der Druckfestigkeitsklasse des eingebrachten Betons erforderlichen Verfahrensweisen einbezogen werden, und um die Kosten auf ein Mindestmaß zu verringern, kann es vorzuziehen sein, Möglichkeiten der Prüfung mit geringstmöglichem Ressourcenaufwand in Erwägung zu ziehen, d. h.:

- Screening-Test (siehe 9.4);
- indirekte Prüfung zuzüglich ausgewählter Daten aus der Prüfung von Bohrkernen (siehe 9.3);
- Verwendung von Daten aus der Prüfung von Bohrkernen (siehe 9.2).

Die Screening-Tests nach 9.4 stellen ein schnelles Bewertungsverfahren zur Verfügung, bei dem das Bauwerk nicht beschädigt wird, und das bestätigen kann, dass der Beton im Bauwerk aus einer konformen Grundgesamtheit stammt; werden diese konservativen Anforderungen jedoch nicht erfüllt, so ist dies kein Beweis für eine Nichtkonformität, sondern bedeutet, dass eine direkte Prüfung durch Entnahme von Bohrkernen erforderlich ist, um die Zweifel zu beseitigen.

Wenn Bohrkerne Dichten aufweisen, die eindeutig geringer sind als die von Standardprobekörpern, sollte(n) der Grund bzw. die Gründe dafür geklärt werden, siehe A.5.

ANMERKUNG 1 Eine Nichterfüllung der Kriterien deutet entweder an, dass der Beton seine festgelegte Druckfestigkeitsklasse möglicherweise nicht erreicht hat, dass während des Transports des Betons zur Baustelle Probleme aufgetreten sind, dass der Anwender möglicherweise signifikante Anpassungen am Beton vorgenommen hat, dass das Einbringen, die Verdichtung und/oder die Nachbehandlung des Betons nicht in Übereinstimmung mit EN 13670 oder EN 13369, wie jeweils anwendbar, durchgeführt wurde, dass die Auswirkungen von Temperaturwechseln auf den jungen Beton nicht ausreichend berücksichtigt wurden oder dass eine beliebige Kombination dieser Faktoren vorgelegen hat. Es kann sich für den Hersteller und den Anwender die Notwendigkeit ergeben, festzustellen, welche Faktoren wesentlich sind, wobei dies die Berücksichtigung aller an dem vom Hersteller gelieferten Beton vorgenommenen Änderungen, das Porenvolumen und die Bewehrung in den Bohrkerne sowie Festigkeitsentwicklung bzw. die Reife der Bohrkerne zum Prüfzeitpunkt, erfordert. Diese Europäische Norm enthält keine Anleitung zur Quantifizierung dieser Faktoren.

(5) Wenn die Ergebnisse der Prüfung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons die Kriterien dieses Abschnitts nicht bestätigen, sollten die baustatische Eignung der Arbeiten und, sofern maßgeblich, die Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit überprüft werden.

(6) Wenn Bohrkerne zu prüfen sind, müssen der Anwender und der Hersteller den Bohrerndurchmesser und das Verhältnis von Länge zu Durchmesser sowie das Labor, in dem die Prüfungen durchzuführen sind, vereinbaren.

(7) Wenn die Übereinstimmung des eingebrachten Betons mit der festgelegten Druckfestigkeitsklasse auf der Prüfung von Würfeln beruht hat, darf die Bewertung der Druckfestigkeitsklasse des Bauwerksbetons auf der charakteristischen Mindest-Würfeldruckfestigkeit, die mit der festgelegten Druckfestigkeitsklasse verbunden ist, basieren.

(8) Die Null-Hypothese der Verfahrensweisen in 9.2 bis 9.4 ist, dass der Beton der festgelegten Druckfestigkeitsklasse entsprochen hat, und die Verfahrensweisen bewerten, ob es sich dabei um eine gültige Hypothese handelt oder nicht.

(9) Für den Fall, dass vom Hersteller die Nichtkonformität erklärt wurde, gelten die in 9.5 angegebenen Verfahrensweisen.

ANMERKUNG 2 In einem solchen Fall ist es technisch nicht korrekt, davon auszugehen, dass der Beton mit seiner Festigkeitsspezifikation übereinstimmt und eine statistische Prüfung durchzuführen, um zu überprüfen, ob diese Annahme richtig ist.

9.2 Verwendung von Daten aus der Prüfung von Bohrkerne

(1) Jeder Prüfbereich muss in Volumina von etwa 30 m³ aufgeteilt werden. Wenn das Volumen weniger als 30 m³ beträgt, darf es als ein einziges Volumen angesehen werden, sofern der Beton an nur einem Tag geliefert wurde und es keine Informationen gab, die darauf hindeuten, dass sich eine der Ladungen von den anderen unterscheiden könnte. Die Mindestanzahl an Messstellen für jedes Volumen ist in Tabelle 8 festgelegt. Unter Anwendung der in Abschnitt 6 festgelegten Verfahrensweisen werden an jeder Messstelle Bohrkerne entnommen, um für jede Messstelle ein Prüfergebnis zu erhalten. Wenn beide der in Tabelle 8 angegebenen Kriterien erfüllt werden, darf die Übereinstimmung der Druckfestigkeit für den untersuchten Prüfbereich angenommen werden.

ANMERKUNG 1 Dreißeig Kubikmeter entsprechen drei Lastwagenladungen von 10 m³ oder vier Lastwagenladungen von 7,5 m³.

ANMERKUNG 2 Tabelle 8 und Tabelle 10: Der Wert von 0,85 ist der für den Umrechnungsfaktor η in EN 1992-1-1:2004, A.2.3, empfohlene Wert.

Tabelle 8 — Kriterien für die auf Prüfdaten aus Bohrkernen basierende Bewertung

Anzahl an Volumina von je etwa 30 m ³ im Prüfbereich	Mindestanzahl an Messstellen für jedes Volumen ^a	Mittelwert der Ergebnisse der Bohrkernprüfung für den Prüfbereich ^b	Niedrigstes Prüfergebnis ^{b,c}
1 ^d	3	—	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$
2 bis 4	2	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 1)$	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$
5 bis 6	2	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$

^a Für die Mindestanzahl an Bohrkernen, um ein Prüfergebnis für jede Messstelle zu erhalten, siehe Abschnitt 6.
^b In Abhängigkeit von dem für $f_{ck,spec}$ gewählten Wert kann die Festigkeit des Bohrkerns als $f_{c,1:1}$ -Bohrkern oder $f_{c,2:1}$ -Bohrkern angegeben werden.
^c Dabei ist $M = 4$ MPa bei einer Druckfestigkeitsklasse von C20/25 oder höher. Bei C16/20, C12/15 und C8/10 muss die Spanne M auf 3, 2 bzw. 1 verringert werden.
^d Vorausgesetzt, es wird als ein einzelnes Volumen behandelt, siehe 9.2 (1).

9.3 Indirekte Prüfung plus ausgewählte Bohrkernprüfdaten

(1) Der zu untersuchende Beton muss in Prüfbereiche mit einem Volumen von höchstens etwa 180 m³ aufgeteilt werden.

(2) Mindestens die in Tabelle 9 angegebene Anzahl an Messstellen ist mit dem ausgewählten indirekten Prüfverfahren zu prüfen. Sofern praktisch durchführbar, wird für jede Lieferung mindestens eine Messung der indirekten Prüfung an Stellen innerhalb der Prüfbereiche durchgeführt.

ANMERKUNG Bei den in Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen ist es angemessen, davon auszugehen, dass die Carbonatisierungstiefe 5 mm nicht überschritten hat und dass die Anwendung eines Rückprallhammers daher ein annehmbares Verfahren darstellt.

(3) An jeder Messstelle ist eine Bestimmung der Rückprallzahl in Übereinstimmung mit EN 12504-2 oder eine Ultraschallgeschwindigkeitsmessung in Übereinstimmung mit EN 12504-4 durchzuführen. Die Prüfeinrichtung, das Prüfverfahren und die Darstellung der Prüfergebnisse müssen EN 12504-2 oder EN 12504-4 entsprechen, wie jeweils anwendbar.

(4) An den in Tabelle 10 festgelegten Messstellen muss ein Ergebnis der Prüfung von Bohrkernen in Übereinstimmung mit Abschnitt 6 erhalten werden.

Tabelle 9 — Mindestanzahl an Messstellen für Messungen der indirekten Prüfung im Prüfbereich

Anzahl an Volumina von je etwa 30 m ³ im Prüfbereich ^a	Mindestanzahl an Messstellen bei der indirekten Prüfung
1 ^b	9
2 bis 4	12
5 bis 6	20

^a Wenn das Volumen eine große Fläche einnimmt, sollte die indirekte Prüfung so ausgeweitet werden, dass sie für die Schwankungen innerhalb des Prüfbereichs repräsentativ ist.
^b Vorausgesetzt, es wird als ein einzelnes Volumen behandelt, siehe 9.2 (1).

(5) Wenn beide der in Tabelle 10 angegebenen Kriterien erfüllt werden, darf die Übereinstimmung der Druckfestigkeit für den untersuchten Prüfbereich angenommen werden.

Tabelle 10 — Stellen für ausgewählte Kernbohrungen und Bewertungskriterien

Anzahl an Volumina von je etwa 30 m ³ im Prüfbereich	Mindestanzahl an Messstellen für Kernbohrungen ^a	Mittelwert der Ergebnisse der Prüfung von Bohrkernen an den Stellen, die dem Medianwert der Rückprallzahl oder der mittleren Ultraschallgeschwindigkeit (UPV) des Prüfbereiches am nächsten liegen ^b	Niedrigstes Prüfergebnis ^{b,c}
1 ^d	Ein Bohrkern bei jedem der beiden niedrigsten Werte der indirekten Prüfung für den Prüfbereich	—	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$
2 bis 4	Ein Bohrkern beim niedrigsten Wert der indirekten Prüfung im Prüfbereich und ein Bohrkern an jeder der 2 Messstellen, die dem Medianwert der Rückprallzahl oder der mittleren Ultraschallgeschwindigkeit (UPV) für den Prüfbereich am nächsten liegen	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 1)$	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$
5 bis 6		$\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$

^a Für die Mindestanzahl an Bohrkernen, um ein Prüfergebnis für jede Messstelle zu erhalten, siehe Abschnitt 6.
^b In Abhängigkeit von dem für $f_{ck,spec}$ gewählten Wert darf die Bohrkernfestigkeit als $f_{c,1:1}$ -Bohrkern oder $f_{c,2:1}$ -Bohrkern angegeben werden.
^c Dabei ist $M = 4$ MPa bei einer Druckfestigkeitsklasse von C20/25 oder höher. Bei C16/20, C12/15 und C8/10 muss die Spanne M auf 3, 2 bzw. 1 verringert werden.
^d Vorausgesetzt, es wird als ein einzelnes Volumen behandelt, siehe 9.2 (1).

9.4 Screening-Test unter Anwendung einer allgemeinen oder speziellen Beziehung mit einem indirekten Prüfverfahren

(1) Der Screening-Test darf zur Abschätzung der Gleichmäßigkeit der Betonzusammensetzung im Prüfbereich angewendet werden, z. B. um die Schwankungsbreite zu bestimmen, diejenigen Stellen von geringerer Druckfestigkeit zu identifizieren und abzuschätzen, ob die festgelegte Druckfestigkeitsklasse erreicht wurde.

(2) Mit Hilfe der in den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften angegebenen Verfahrensweisen muss eine allgemeine oder spezielle Beziehung zwischen der Betonfestigkeit und einer Rückprallzahl oder Impulsgeschwindigkeit aufgestellt oder es darf eine allgemeine Beziehung in den nationalen Vorgaben angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Ein Beispiel für eine aufgestellte allgemeine Beziehung ist in Anhang B enthalten.

(3) Diese Verfahrensweise muss auf Fälle beschränkt werden, für die das indirekte Prüfverfahren angemessen ist.

ANMERKUNG 2 Bezüglich einer Anleitung zu Beschränkungen von indirekten Prüfverfahren siehe A.3 und die einschlägigen Prüfnormen.

(4) Die gleiche Art und das gleiche Modell der Ausrüstung für die Rückprallhammer/Ultraschallgeschwindigkeitsprüfung (UVP), die für die Aufstellung der Beziehung verwendet wurden, sind auch für die Prüfung des Bauwerks anzuwenden.

(5) Obgleich die Ergebnisse dieser Verfahrensweise als Hinweis darauf angenommen werden dürfen, dass der Beton der dafür festgelegten Druckfestigkeitsklasse entspricht, stellt die Nichterfüllung der Kriterien keinen Beweis dafür dar, dass der Beton die festgelegte Druckfestigkeitsklasse nicht erreicht hat. Wenn der Beton diese Kriterien nicht erfüllt, muss eine der in 9.2 oder 9.3 angegebenen Verfahrensweisen angewendet werden.

(6) Die Rückprallhammerprüfung wird hauptsächlich zur Abschätzung der Gleichmäßigkeit der Betonzusammensetzung verwendet. Als Nachweis der Tragfähigkeit darf dem Bauwerksbeton eine Druckfestigkeitsklasse nach EN 206 zugeordnet werden, wobei entweder die entsprechenden in den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften angegebenen Beziehungen anzuwenden sind oder in den nationalen Vorschriften darauf hingewiesen wird, dass die in Anhang B angegebene Beziehung angewendet werden darf.

9.5 Verfahrensweise für den Fall der Erklärung einer Nichtkonformität der Druckfestigkeit durch den Hersteller

(1) Im Falle von Betonfertigteilen muss der Hersteller die in EN 13369:2018, B.5, festgelegte Verfahrensweise befolgen. Darüber hinaus muss der Hersteller die Ursache(n) für die Nichtkonformität identifizieren und Maßnahmen ergreifen, um das Risiko weiterer Nichtkonformitäten zu verringern.

(2) Im Falle von Transport- oder Baustellenbeton muss der Hersteller, der die Nichtkonformität erklärt hat, den Beteiligten die folgenden Informationen zur Verfügung stellen oder, falls diese Informationen nicht zur Verfügung stehen oder unbekannt sind, identifizieren, dass dies der Fall ist:

- Identifizierung des nichtkonformen Betons;
- abgeschätzte charakteristische Druckfestigkeit des gelieferten Betons unmittelbar vor dem Einbringen in das Bauwerk;
- Daten, auf denen dieser Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit basiert hat;
- Argumentation, die zu diesem Schätzwert der Festigkeit geführt hat;
- die Ursachen für diese Nichtkonformität;
- vorgeschlagene Maßnahmen zur Verringerung des Risikos weiterer Nichtkonformitäten.

ANMERKUNG Die am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften dürfen weitere Anleitungen zu den angemessenen, in dieser Situation zu ergreifenden Maßnahmen bereitstellen.

(3) Sofern maßgeblich, sollten auch die Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit berücksichtigt werden, wobei dieses Thema jedoch nicht Gegenstand des Anwendungsbereichs von EN 13791 ist.

Anhang A (informativ)

Anleitung für die Durchführung einer Untersuchung

A.1 Erforderliche Informationen aus den Prüfungen

(1) Die Kenntnis der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons in einem Bauteil könnte als Teil der Bewertung eines Tragwerks aus einem oder mehreren der folgenden Gründe erforderlich sein:

- a) Baustatische Bewertung:
- vor einer Sanierung oder Neunutzung;
 - verlängerte Nutzungsdauer;
 - nach einer Qualitätsminderung des Betons aufgrund von:
 - Überlastung,
 - Ermüdung,
 - chemischer Reaktion,
 - Brand,
 - Explosion,
 - Bewitterung einschließlich Frost-Tau-Wechselbeanspruchung;
 - um festzustellen, ob die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons annehmbar ist für:
 - das dem Entwurf nach vorgesehene statische System,
 - das tatsächlich vorhandene statische System,
 - ein geplantes statisches System für eine Neunutzung;
- b) Bewertung eines Prüfbereichs, wenn ein Nachweis dafür vorliegt, dass der eingebrachte Beton der erklärten Druckfestigkeit entspricht, obgleich Prüfergebnisse von auf der Baustelle entnommenen Proben eine Nichtkonformität z. B. aufgrund von Folgendem anzeigen:
- Nichtkonformität oder vermutlich zweifelhafte Druckfestigkeit des eingebrachten Betons;
 - Luftgehalt, der den zulässigen Höchstwert überschreitet;
 - Zugabe von Wasser auf der Baustelle nach den Anweisungen des Anwenders ohne Durchführung einer Kontrollprüfung;
- c) Bewertung, falls der Hersteller die Nichtkonformität erklärt hat;
- d) Probleme während der Ausführung des Einbringens, Verdichtens oder Nachbehandelns des Betons.

(2) Bei der Planung einer Untersuchung ist es wichtig, zwischen einer strukturellen Beurteilung eines bestehenden Bauwerks unter Verwendung der Verfahren nach Abschnitt 8 und einer Beurteilung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Zweifelsfall unter Verwendung der Verfahren nach Abschnitt 9 zu unterscheiden

(3) Bei der baustatischen Bewertung kann es sein, dass die Festigkeit des Betons entweder für den gesamten Bereich oder mindestens stellenweise bekannt ist und dass der Zweck der Untersuchung darin besteht, die Festigkeit der Bereiche zu ermitteln, für die sie unbekannt ist oder aufgrund einer Beschädigung, Sanierung oder Nutzungsänderung von Interesse ist.

(4) Falls die Festigkeit des in das Bauwerk eingebrachten Betons nicht bekannt ist, z. B. weil keine Bestandsdokumentation vorliegt, muss die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons konservativ abgeschätzt werden. Je weniger Daten zur Verfügung stehen, desto konservativer sollte die abgeschätzte charakteristische Festigkeit sein, um die Unsicherheit auszugleichen. Es gibt keine endgültigen Regeln für die Anwendung der Prüfergebnisse. So darf der Ingenieur z. B. entscheiden, Beton im Tragwerk, für den festgestellt wurde, dass er niedrige Prüfergebnisse liefert, zu ersetzen, womit er auch berechtigt ist, diese Prüfergebnisse von der Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons auszunehmen.

(5) Falls zu einem bestehenden Bauwerk Informationen verfügbar sind, sollten diese als Hilfe genutzt werden, um die Prüfbereiche festzulegen und anzugeben, welche Festigkeitsklassen bei Berücksichtigung der zeitlichen Festigkeitsentwicklung zu erwarten sein sollten. Bei bestehenden Tragwerken, für die keine zuverlässigen Bauunterlagen vorliegen, kann es angemessen sein, jeden Schätzwert der Druckfestigkeit anhand eines Schätzwertes der Druckfestigkeit aus der früheren Nutzung zu überprüfen.

(6) Selbst wenn die Festigkeit des eingebrachten Betons bekannt ist, kann es von Nutzen sein, die tatsächliche, im Laufe der Zeit entwickelte Festigkeit zu bewerten.

(7) Falls ein Nachweis dafür vorliegt, dass der eingebrachte Beton der erklärten Druckfestigkeit entspricht, obgleich Prüfergebnisse von auf der Baustelle entnommenen Proben eine Nichtkonformität anzeigen, wird geprüft, ob der Beton im Bauwerk aus einer Grundgesamtheit stammt, die die festgelegte Druckfestigkeitsklasse erfüllt. Wie bei der Identitätsprüfung nach EN 206 wird davon ausgegangen, dass der Beton aus einer konformen Grundgesamtheit stammt, und die Bewertung auf der Grundlage einer *in situ* Prüfung auf der Baustelle durchgeführt wird, ob diese Annahme wahr oder falsch ist.

(8) Jede baustatische Untersuchung sollte sorgfältig geplant und ausgeführt werden, um sicherzustellen, dass die gewonnenen Informationen für eine angemessen zuverlässige Bewertung der Festigkeit des Betons im Bauwerk ausreichen. Im Einzelnen hängt das Prüfprogramm vom Grund der Untersuchung und davon ab, ob:

- a) eine Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton in einem Bauteil erforderlich ist;
- b) eine Abschätzung der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons an bestimmten Stellen innerhalb eines Bauelements erforderlich ist;
- c) die Untersuchung erforderlich ist, um die Festigkeit des Betons unmittelbar an der Oberfläche, nahe der Oberfläche oder in einer größeren Tiefe zu bestimmen (siehe A.3);
- d) zusätzliche Informationen, z. B. über die Gleichmäßigkeit und Dichte des Betons, erforderlich sind.

A.2 Verfahren zur Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton

(1) Aus statistischen Gründen kann eine Mindestanzahl an Prüfergebnissen erforderlich sein, um das erforderliche Vertrauensniveau zu erreichen, bei der Anzahl an Prüfungen müssen jedoch auch praktische Probleme, wie z. B. der Zugang, die Auswirkungen auf das Bauwerk, die Kosten und die Leistungsfähigkeit der Instandsetzung an den Messstellen, berücksichtigt werden.

(2) Für den Fall, dass der Untersuchungszweck darin besteht, die charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und nicht die Druckfestigkeitsklasse des Betons im Falle eines Zweifels zu bestimmen, stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Prüfung von Bohrkernen (siehe 8.1);
- indirekte Verfahren mit Kalibrierung anhand von Bohrkerndaten (siehe 8.2);
- indirekte Verfahren mit ausgewählten Kernbohrungen (siehe 8.3).

(3) Ist eine indirekte Prüfung geplant, so sind die für das indirekte Prüfverfahren geltenden Beschränkungen zu überprüfen, um sicherzustellen, dass sich eine zuverlässige Beziehung zwischen dem indirekten Prüfverfahren und der Kernbohrung ergeben würde, zu einer Anleitung siehe A.3.

(4) Bei all diesen Möglichkeiten ist es notwendig:

- den (die) Prüfbereich(e) auszuwählen und festzulegen (siehe 5.1);
- die Messstellen (siehe 5.2) und die Anzahl an Prüfungen je Messstelle (siehe 5.2) auszuwählen und festzulegen;
- den Bohrkerndurchmesser und das Verhältnis von Länge zu Durchmesser (entweder 2 : 1 oder 1 : 1) auszuwählen und festzulegen;
- das Verfahren zur Vorbereitung der Enden der Bohrkern festzulegen (siehe EN 12504-1);
- das Wiederherstellungsverfahren an denen Stellen, an denen Bohrkern zu entnehmen sind, festzulegen.

(5) Es ist notwendig, die in dem vorliegenden Dokument enthaltenen Anleitungen im Hinblick auf die spezielle Situation zu betrachten und den speziellen Fall ingenieurtechnisch zu beurteilen. Ob der auf diese Weise erhaltene Schätzwert der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für eine baustatische Bewertung herangezogen werden sollte, hängt von den jeweiligen Umständen ab. Falls der errechnete Wert auf einer großen Anzahl an Daten aus Bohrkernprüfungen oder indirekten Prüfungen basiert, ist er für Tragwerksberechnungen geeignet. Mit abnehmender Anzahl an Prüfdaten jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein unbekanntes Bauwerk (unbekannte) schwächere Bauteilbereiche enthält.

(6) Obgleich das Kernbohren das zuverlässigste Maß für die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer Messstelle ergibt, handelt es sich doch um ein teures Verfahren, und an den Bohrlöchern, aus denen die Bohrkern entnommen wurden, müssen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden. Das Kernbohren allein liefert nur begrenzte Informationen über ein Tragwerk. Entsprechend geht die Entwicklung in der Praxis bei älteren Tragwerken in die Richtung, eine indirekte Prüfung anzuwenden, um eine detaillierte Bewertung der Gleichmäßigkeit des Betons im Tragwerk zu erhalten, und anschließend Kernbohrungen vorzunehmen, um eine spezielle Beziehung zwischen den Messungen der indirekten Prüfung und der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons herzustellen.

A.3 Auswahl des Prüfverfahrens

(1) Das Vertrauensniveau, bei dem es möglich ist, die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton zu bewerten, erhöht sich mit der Anzahl der durchgeführten Bewertungen. Bei manchen Prüfungen (z. B. Ultraschallgeschwindigkeit, Rückprallzahl) sind mit der Ermittlung einer großen Anzahl an Prüfdaten nur geringfügige zusätzliche Kosten verbunden. In anderen Fällen (z. B. Bohrkerndaten) fallen für jede einzelne Prüfung erhebliche Kosten an. Die Entscheidungen zur Anzahl und Art der durchzuführenden Prüfungen werden daher anhand einer Bewertung der Kosten getroffen, die mit dem Erhalt eines Schätzwerts für die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons von angemessener Zuverlässigkeit verbunden sind. Die Bohrkernprüfung liefert das direkteste Maß für die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons.

(2) Die Prüfungen der Ultraschallgeschwindigkeit und der Rückprallzahl messen nicht die Festigkeit des Betons, sondern andere Eigenschaften (im Falle der Ultraschallgeschwindigkeitsprüfung die Impulslaufzeit und im Falle der Anwendung des Rückprallhammers die Oberflächenhärte), die in einer speziell für den betreffenden Beton geltenden Beziehung zur Druckfestigkeit stehen. Wenn die Beziehung zwischen Ultraschallgeschwindigkeit oder Rückprallzahl und Druckfestigkeit für einen bestimmten Beton wie in dem vorliegenden Dokument beschrieben aufgestellt wurde, kann eine sichere und zuverlässige Beziehung bestimmt werden. Falls der Beton carbonatisiert ist, ergibt sich eine andere Beziehung zwischen Rückprallzahl und Festigkeit. Die Rückprallzahl sollte nicht zur Bewertung der Festigkeit von carbonatisiertem Beton herangezogen werden, sie ist aber dennoch von Nutzen, um die Stellen für die Bohrkernentnahme zu ermitteln.

(3) Die relativen Vorzüge und Einschränkungen der Prüfungen bei unterschiedlichen Tiefen von der Oberfläche sind in Tabelle A.1 zusammengefasst. Es gibt weitere Prüfungen, die nicht in Tabelle A.1 aufgeführt sind, wie z. B. die Gammadiographie und Radar, der Hauptzweck der Anwendung dieser Prüfungen ist jedoch nicht die Bestimmung der Druckfestigkeit.

(4) Wegen der mit der Verwendung einer begrenzten Anzahl an Prüfdaten verbundenen Unsicherheit wird empfohlen, alle Untersuchungen (mit Ausnahme der eines begrenzten Prüfbereichs), bei denen die Anzahl der Bohrkernproben kleiner als 10 ist, durch zusätzliche Daten aus indirekten Prüfungen, z. B. aus der Prüfung der Rückprallzahl, zu stützen.

(5) Es ist notwendig, die Auswirkungen von durch die Prüfungen hervorgerufenen Schäden am Tragwerk zu berücksichtigen und bei Schäden das Instandsetzungsverfahren festzulegen.

(6) Bei der Wahl der Prüfverfahren sollten die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- allgemeine Lage der Stelle und Aufwand für den Transport der Prüfeinrichtung;
- durch Geometrie, Tragwerk, Bewehrung und relative Luftfeuchte bedingte Wahrscheinlichkeit, dass maßgebliche Prüfergebnisse erhalten werden;
- Zugänglichkeit des Prüfbereichs;
- Zugang zur Stromversorgung, zu Wasser und Druckluft;
- Sicherheit des Personals auf der Baustelle und der Allgemeinheit;
- Klimabedingungen;
- Verfügbarkeit von angemessen ausgebildetem und qualifiziertem Personal;
- Verzögerungen bei der Bauausführung oder im Betrieb, während die Prüfungen durchgeführt und Entscheidungen getroffen werden;

- durch die Prüfungen hervorgerufene Schäden am Tragwerk;
- Verzögerungen der Fertigstellung und Übergabe;
- Kosten.

Tabelle A.1 — Relative Vorzüge und Einschränkungen verschiedener Prüfungen zur Messung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton

Geprüfter Bereich	Prüfung	Norm	Grenzabweichung des Festigkeitsschätzwertes	Prüfgeschwindigkeit	Einfache Umsetzung der Prüfung	Wirtschaftlichkeit der Prüfung	Ausbleiben von Schäden am Tragwerk
In der Tiefe	Bohrkernprüfung	EN 12504-1	****	**	**	*	*
	Prüfung der Ultraschallgeschwindigkeit	EN 12504-4	**a	***	***	***	****
Nahе der Oberfläche	Ausziehprüfung	EN 12504-3	**b	**	**	**	*
Unmittelbar an der Oberfläche	Prüfung der Rückprallzahl	EN 12504-2	**a	****	****	****	***
ANMERKUNG Je höher die Anzahl an Sternchen, desto besser das Leistungsverhalten.							
<p>^a Nur, wenn am betreffenden zu untersuchenden Beton kalibriert.</p> <p>^b Ausziehprüfungen werden häufiger zur Bestimmung der Festigkeit von jungem Beton angewendet, und bei dieser Anwendung ist die Grenzabweichung des Festigkeitsschätzwertes höher als in dieser Tabelle angegeben. Für die in Abschnitt 8 behandelten Anwendungen ist eine geringere Grenzabweichung angegeben, weil die Carbonatisierung und beginnende Delamination die Präzision beeinträchtigen können.</p>							

(7) Die Prüfung mittels Rückprallhammer ergibt ein Maß für die Festigkeit der Oberfläche und keine Bewertung der Betonqualität über den gesamten Querschnitt. Unter bestimmten Bedingungen ist die Anwendung des Rückprallhammers ungeeignet, dazu gehören die folgenden:

- Carbonatisierungstiefen größer als 5 mm;
- wenn Schalungen mit kontrollierter Durchlässigkeit oder Oberflächenverfestiger verwendet wurden;
- bei durch Brand beschädigtem Beton;
- bei Betonflächen, deren Oberfläche aufgrund von chemischen Reaktionen oder Frost-Tau-Wechselbeanspruchung verloren gegangen ist.

(8) Die Messungen der Impulsgeschwindigkeit ergeben eine Bewertung über die gesamte Tiefe des Bauteils, das Prüfergebnis wird jedoch durch den Feuchtegehalt des Betons und andere Faktoren beeinflusst, siehe EN 12504-4:2004, Anhang B. Das direkte Übertragungsverfahren ist genauer als das indirekte Übertragungsverfahren.

(9) Die Grenzabweichung von Schätzwerten der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton, die anhand von indirekten zerstörungsfreien Prüfungen ermittelt wurden, hängt von der Zuverlässigkeit der Korrelation zwischen Prüfverfahren und Bohrkernfestigkeit ab. Das vorliegende Dokument enthält Verfahren, mit deren Hilfe sich zuverlässige sichere Beziehungen aufstellen lassen. Im Folgenden sind zwei Verfahrensweisen für die Anwendung von kombinierten Verfahren beschrieben.

- Anwendung einer umfassenden Untersuchung mit indirekter Prüfung, z. B. mittels Rückprallhammer, in Verbindung mit Bohrkernprüfungen, die ausreichen, um die Beziehung zwischen dem indirekten Verfahren und der Druckfestigkeit des untersuchten Bauwerksbetons aufstellen zu können. Danach werden alle Prüfdaten in die jeweiligen Druckfestigkeiten des Bauwerksbetons umgerechnet. Diese Daten werden dann zur Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons und zur Ermittlung von Bereichen, die genauerer Betrachtung bedürfen, herangezogen.
- Anwendung eines indirekten Verfahrens zur Ortung der niedrigeren Druckfestigkeit in einem Prüfbereich von höchstens 30 m³, aus dem einige Bohrkern zu entnehmen sind (siehe 8.3). Bei dieser Verfahrensweise reichen die Bohrkerndaten nicht aus, um die Beziehung zwischen dem indirekten Verfahren und der Bohrkernfestigkeit aufstellen zu können.

(10) Das Bezugsverfahren ist die Bohrkernprüfung oder die direkte Prüfung von bestimmten Fertigteilen.

A.4 Zusätzliche Anleitungen für auf Bohrkernprüfdaten basierende Bewertungen

(1) Die Bohrkernprüfungen werden nach EN 12504-1 durchgeführt.

(2) Wenn der Ingenieur plant, die Angemessenheit des Tragwerks nach Europäischen Normen, wie z. B. EN 1992-1-1 zu bewerten, sollten die Bohrkernprüfungen idealerweise an Bohrkernen mit einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von 2:1 durchgeführt werden. In der Praxis ist es nicht immer möglich, Bohrkern mit einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von 2:1 zu entnehmen, weswegen auch die Möglichkeit der Verwendung von Bohrkernen mit einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser von 1 : 1 vorgesehen ist, wobei diese Prüfergebnisse jedoch unter Anwendung der in Abschnitt 6 angegebenen Beziehung auf einen äquivalenten Bohrkern mit einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser von 300 mm zu 150 mm umgerechnet werden. In Abschnitt 6 wird angemerkt, dass die Korngröße signifikanten Einfluss auf die gemessene Festigkeit hat, wenn der durch die obere Korngröße geteilte Bohrkerndurchmesser kleiner als etwa 3 ist. Im Idealfall sollte der Durchmesser der Bohrkern im Bereich von 75 mm bis 100 mm liegen. Es wird nachdrücklich empfohlen, die Stellen für die Kernbohrung so zu wählen, dass die Bohrkern keine Bewehrung enthalten. Dies hat dazu geführt, dass Bohrkern mit kleineren Durchmessern (im Bereich von 50 mm bis 70 mm) verwendet werden, derartige Messungen unterliegen jedoch einer größeren Schwankungsbreite [7]. Um dieser Schwankungsbreite entgegenzuwirken, wird in dem vorliegenden Dokument gefordert, entweder an jeder Messstelle mehr Bohrkern mit kleinerem Durchmesser zu entnehmen, wobei das „Prüfergebnis“ der Mittelwert dieser Bohrkern ist, oder an mehr Messstellen jeweils einen einzelnen Bohrkern zu entnehmen (siehe Abschnitt 6 und 8.1).

(3) Das Vertrauensniveau der berechneten Druckfestigkeit von Bauwerksbeton bei der Prüfung von identischem Beton wird aus der Wiederholpräzision/ \sqrt{n} abgeschätzt. Bei Bohrkernen mit einem Durchmesser von 100 mm und durch Schleifen vorbereiteten Enden besteht eine Wahrscheinlichkeit von 95 %, dass der wahre Mittelwert innerhalb von $\pm 14 \%/ \sqrt{n}$ des Rechenwertes liegt [8]. Als Minimum wird daher empfohlen, eine Gruppe von vier Bohrkernen zu entnehmen, die einen begrenzten Prüfbereich repräsentieren. Wenn mehr als vier Bohrkern aus einem begrenzten Prüfbereich entnommen werden, erhöht sich entsprechend das Vertrauensniveau der mittleren Druckfestigkeit des Bauwerksbetons. Im Falle größerer Prüfbereiche werden mehr Bohrkern benötigt, weil sowohl der eingebrachte Beton als auch die Prüfung und die örtliche Lage einer gewissen Variabilität unterliegen können.

(4) Die Vorbereitung der Enden durch Schleifen ist das präziseste Verfahren, andere Verfahren weisen jedoch bei normalfestem Beton eine ähnliche Präzision auf, sofern sie von Laboratorien durchgeführt werden, die über Erfahrungen im Umgang mit dem Abgleichverfahren verfügen [8]. Für abgeschätzte Druckfestigkeiten von mehr als 50 MPa wird die Vorbereitung der Enden durch Schleifen empfohlen.

(5) Wenn der aus dem Tragwerk entnommene Bohrkern abgesägt werden muss, um den (die) Probekörper zu erhalten, sollten der Durchmesser und das Verhältnis von Länge zu Durchmesser der Bohrkern (von 2 : 1 oder 1 : 1) sowie das Verfahren zur Vorbereitung der Enden für das Unternehmen, das die Kernbohrung/Prüfung durchführt, festgelegt werden. Der Durchmesser ist der Durchmesser des Bohrkerns, nicht der Bohrlochdurchmesser. Eine geringe Abweichung der fertigen Länge innerhalb einer Toleranz ist zulässig (siehe Abschnitt 6), z. B. hätte ein 2:1-Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm eine fertige Länge im Bereich von 190 mm bis 210 mm. Ein Bohrkern mit einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser innerhalb der in Abschnitt 6 angegebenen Toleranzen wird ohne Anpassung der Länge angenommen. Werden diese Empfehlungen nicht befolgt, so bedürfen die einzelnen Bohrkernprüfergebnisse möglicherweise einer Korrektur bezüglich:

- des Länge/Durchmesser-Verhältnisses zur Umrechnung der Bohrkerndruckfestigkeit ($f_{c, \text{Bohrkern}}$) in Druckfestigkeiten von Bauwerksbeton ($f_{c, \text{is}}$);
- quer zur Belastungsrichtung verlaufende Bewehrung.

(6) In Abschnitt 6 wird gefordert, Bohrkern mit bei der Sichtprüfung festgestellter längslaufender oder annähernd längslaufender Bewehrung zurückzuweisen und einen Ersatzbohrkern zu entnehmen.

(7) Sowohl die Bohrkerndruckfestigkeit ($f_{c, \text{Bohrkern}}$) als auch die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c, \text{is}}$) sollten im Prüfbericht angegeben werden. Um das Tragwerk richtig bewerten zu können, sollte der Ingenieur festlegen, dass die folgenden zusätzlichen Informationen aus den Bohrkernprüfungen, sofern angemessen (zusätzlich zu den Ergebnissen der Bohrkernprüfung), im Prüfbericht anzugeben sind:

- Bohrkerndichte;
- übermäßiges Porenvolumen;
- alle sonstigen Beobachtungen, die maßgeblich sein könnten, z. B. Risse oder kalt verarbeitete Fugen im Bohrkern.

(8) Die Messstellen für Bohrkern sollten so gewählt werden, dass der Bohrkern nach dem Ablängen Folgendes nicht enthält:

- Beton innerhalb von 30 mm zu einer beliebigen Oberfläche;
- Beton, der innerhalb von 50 mm oder 20 % zur Oberseite des Betonierabschnittes liegt, je nachdem, welches der höhere Wert ist, in Bauteilen, in denen die Betoniertiefe höchstens 1,5 m beträgt;
- Beton aus den oberen 300 mm des Betonierabschnittes, wenn die Betonierhöhe größer oder gleich 1,5 m ist.

(9) Diese Empfehlungen dienen dazu, sicherzustellen, dass die Prüfergebnisse für den Großteil des Betons im Tragwerk repräsentativ sind.

A.5 Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von Beton im Falle eines Zweifels

(1) Welche Verfahrensweise anzuwenden ist, hängt vom Grund des Zweifels ab. Falls der Hersteller eine Nichtkonformität erklärt hat, ist eine statistische Prüfung, die auf der Annahme basiert, dass der Beton der dafür festgelegten Druckfestigkeitsklasse entsprochen hat, nicht gültig, und es sollten die in 9.5 angegebenen Verfahrensweisen befolgt werden.

(2) Falls es ein Problem mit der Ausführung der Arbeiten bezüglich des Einbringens des Betons (einschließlich einer verspäteten Einbringung), der Verdichtung oder Nachbehandlung gab oder es auf der Baustelle zu einem außergewöhnlichen Ereignis gekommen ist und der Beton als der dafür geltenden Spezifikation entsprechend angenommen wurde, kann es immer noch angemessen sein, für die Ermittlung, ob die Festigkeit des Betons angemessen ist, die in 9.2, 9.3 oder 9.4 angegebenen Verfahrensweisen anzuwenden.

(3) Falls eine potenzielle Nichtkonformität des Betons vorliegt, sollte am Ort der Verwendung geltende Leitfäden, z. B. CIRIA C519: *Action in the case of nonconformity of concrete structures* [9], befolgt werden. Die Erstuntersuchung sollte eine Untersuchung der Produktionsunterlagen und Prüfverfahren einschließen. In einem ersten Schritt wird überprüft, ob die zur Feststellung der Konformität angewendeten Betonprüfverfahren und diejenigen Prüfverfahren, die zu Zweifeln an der Konformität Anlass gaben, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Normen durchgeführt wurden. Für den Fall, dass bei der Erstuntersuchung festgestellt wird, dass Prüfungen am Bauwerksbeton notwendig sind, um einen Konflikt bezüglich der Druckfestigkeit des an der Baustelle angelieferten Betons zu lösen, stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Vorversuch (siehe 9.4);
- indirekte Prüfung gefolgt von ausgewählten Kernbohrungen aus dem schwächsten Beton (siehe 9.3);
- Bohrkernprüfung (siehe 9.2).

(4) Bei diesen Bewertungen besteht die Nullhypothese darin, dass der Beton aus einer normgerechten Grundgesamtheit stammte, und dass es, je weniger Daten verfügbar sind, umso weniger Anhaltspunkte für eine Zurückweisung der Hypothese und des Betons gibt.

(5) Mit den in Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen wird die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons bewertet, und wenn das Ergebnis positiv ausfällt, wird der in das Tragwerk eingebrachte Beton als der festgelegten Druckfestigkeitsklasse entsprechend angenommen; daraufhin wird davon ausgegangen, dass alle Anpassungen des an der Baustelle angelieferten Betons unerheblich waren und dass der Grad der Sorgfalt beim Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln des Betons in Übereinstimmung mit EN 13670 oder EN 13369 entsprochen haben.

(6) Falls die zusätzlichen Prüfmöglichkeiten nach 9.4, 9.3 und 9.2 oder Kombinationen davon anzeigen, dass die Übereinstimmung des Betons mit der festgelegten Festigkeitsklasse nicht nachgewiesen ist, kann eine Verifizierung der baustatischen Angemessenheit unter Berücksichtigung der abgeschätzten Festigkeit in Übereinstimmung mit den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften notwendig werden.

(7) Falls der Beton die in Abschnitt 9 angegebenen Kriterien nicht erfüllt hat, kann es notwendig sein, die Ursache für die geringe Festigkeit z. B. unter Anwendung einer Verfahrensweise festzustellen, mit deren Hilfe bestimmt wird, welche Festigkeit dieser Beton erreicht hätte, wenn daraus Probekörper hergestellt worden wären. Handelt es sich jedoch um ein nur geringfügiges Versagen und berücksichtigt man die mit der Abschätzung dieser Festigkeit verbundenen Unsicherheiten, so ist es schwer nachzuweisen, dass der Beton der dafür geltenden Spezifikation nicht entsprochen hat.

(8) Bei der Abschätzung der Festigkeit, die der Beton erreicht hätte, wenn daraus Probekörper hergestellt worden wären, anstatt ihn einzubringen und dann durch Kernbohren zu beproben, handelt es sich um einen komplizierten Prozess mit einer hohen Unsicherheit. Der Grund hierfür ist, dass die Bohrkernfestigkeiten mindestens in Bezug auf das Volumen der Lufteinschlüsse angepasst werden müssen, das über dem bei Probekörpern bei der Nachbehandlung und während der Erhärtung ermittelten Volumen liegt, um die Festigkeit abzuschätzen, die dieser Beton erreicht hätte, wenn daraus Probekörper hergestellt worden wären. Die Erhärtung von Beton hängt von dessen Temperatur- und Nachbehandlungshistorie ab, die in der Regel nicht bekannt ist, darüber hinaus hängt die Erhärtung vom Typ und Gehalt des verwendeten Zements, vom Typ und Gehalt der Zusatzstoffe, vom Typ der Zusatzmittel, von der Bauteildicke, dem Schalungstyp, der Temperatur beim Einbringen und der Umgebungstemperatur ab. Die Beziehung zwischen Festigkeit und Erhärtung hängt vom Typ und von der Quelle des Zements ab. Die Quelle des Zements ist von größerer Bedeutung, wenn Bohrkern aus jungem Beton entnommen werden (bevor ein Erhärtungsäquivalent von 28 Tagen bei 20 °C erreicht ist). Aus baustatischer Sicht geht es jedoch darum, eine unzureichende Festigkeit im Tragwerk zu verhindern, unabhängig davon, ob diese auf eine fehlerhafte Auswahl der Bestandteile, auf schlechten Beton, auf eine mangelhafte Ausführung auf der Baustelle oder eine Kombination dieser Faktoren zurückzuführen ist.

(9) Weitere Komplikationen ergeben sich, wenn das Bauteil groß ist und der Beton dem üblichen Temperaturanstieg und -abfall ausgesetzt war, weil die Festigkeit eines solchen Betons bis zu 20 % geringer sein kann als bei normgerecht nachbehandelten Probekörpern [10].

(10) Obgleich eine vollständige Analyse der potenziellen Festigkeit schwierig und das Ergebnis unsicher ist, gibt es bei dieser Analyse Gesichtspunkte, die zuverlässig sind und bei der Bewertung der Ursache(n) der geringen Festigkeit berücksichtigt werden könnten.

(11) Falls dem Beton nach den Anweisungen des Auftraggebers Wasser zugegeben wurde, sollte das Volumen des beigegebenen Wassers nach EN 206 auf dem Lieferschein vermerkt worden sein, und der Hersteller sollte in der Lage sein, Belege für die Auswirkungen dieses Zugabewassers auf die Druckfestigkeit vorzulegen.

ANMERKUNG Zugabewasser kann sich auch auf die Dauerhaftigkeit auswirken, dieser Leistungsaspekt ist jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Dokumentes.

(12) Bei Nutzung derselben Quellen für die Bestandteile und Anwendung der gleichen Mischungsanteile könnte es angemessen sein, zur Aufstellung der folgenden Beziehungen ein Prüfprogramm durchzuführen:

- a) Schwankungen des Wassergehalts und der Druckfestigkeit;
- b) Schwankungen des Luftgehalts und der Druckfestigkeit;
- c) Schwankungen des Verdichtungsgrades und der Druckfestigkeit.

Diese Informationen können in Verbindung mit den Bohrkernprüfdaten und den anderen Informationen helfen, die Ursache(n) für die geringe Festigkeit zu ermitteln.

A.6 Annahme von Prüfdaten

(1) Bevor mit der Durchführung irgendeines Programms begonnen wird, ist es wünschenswert, dass zwischen den Beteiligten vollständige Einigkeit über die Gültigkeit des vorgeschlagenen Prüfverfahrens, die Kriterien für die Annahme und die Ernennung einer Person und/oder eines Laboratoriums besteht, um:

- die Verantwortung für die Prüfung zu übernehmen;
- die Prüfergebnisse auszuwerten.

(2) Es wird nachdrücklich empfohlen, die Prüfungen von einem Laboratorium durchführen zu lassen, das die Zulassung für das gesamte Prüfverfahren und nicht nur die Prüfungen besitzt. Auf diese Weise wird das Risiko eines Streits über die Qualität der Prüfdaten auf ein Mindestmaß verringert.

(3) Wenn sich ein Bohrkernprüfergebnis als statistischer Ausreißer herausstellt (der entweder verdächtig ist oder zurückgewiesen wurde), sollte der Grund dafür ermittelt werden. Wenn bei einer erneuten Untersuchung geschlussfolgert wird, dass der Ausreißer kein gültiges Prüfergebnis war, sollte das betreffende Bohrkernprüfergebnis zurückgewiesen und nicht zur Bewertung der Festigkeit in einem Tragwerk oder einem Betonfertigteile herangezogen werden. Wenn das Bohrkernprüfergebnis gültig ist und eine örtliche Fehlstelle darstellt, z. B. einen Bereich, der nicht ordnungsgemäß verdichtet wurde, muss die zu ergreifende Maßnahme ermittelt werden. Es kann z. B. notwendig sein, den örtlichen Bereich zu entfernen und zu ersetzen. Wenn der Ausreißer eine örtliche Fehlstelle darstellt, die beseitigt wird, sollte das Bohrkernprüfergebnis in keine der Berechnungen der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons einbezogen werden. Es gibt Situationen, in denen es notwendig ist, einen Ausreißer bei der Bewertung der baustatischen Angemessenheit zu berücksichtigen, z. B. wenn der schwache Bereich nicht entfernt und ersetzt wird.

Anhang B (informativ)

Beispiel einer allgemeinen Beziehung zwischen Rückprallzahl und Druckfestigkeitsklasse

(1) Das nachstehende Beispiel wurde der im deutschen Nationalen Anhang zu EN 13791:2006^{N1)} angegebenen Verfahrensweise entnommen.

(2) Die Prüfeinrichtung, das Prüfverfahren und die Darstellung der Prüfergebnisse müssen EN 12504-2 entsprechen. Es sind mindestens 9 im Prüfbereich befindliche Messstellen auszuwählen, und an jeder Messstelle ist eine Rückprallhammerprüfung in Übereinstimmung mit EN 12504-2 durchzuführen.

(3) Die Prüfung muss von einer Person durchgeführt werden, die in der Verwendung von Rückprallhämmern ausreichend geschult ist.

(4) Die Rückprallzahlen aller Messstellen im Prüfbereich werden zur Bestimmung des Medians der Rückprallzahl für diesen Prüfbereich herangezogen (zweite Spalte in Tabelle B.1 oder Tabelle B.2).

(5) Vorausgesetzt wird, dass alle der nachstehenden Bedingungen erfüllt sind:

- Der Beton ist ein Normalbeton;
- es wurden keine Schalungen mit kontrollierter Durchlässigkeit oder Oberflächenverfestiger verwendet;
- es wurde ein Rückprallhammer vom Typ N mit einer Schlagenergie von 2,207 Nm verwendet, um die Rückprallzahl anhand der Rückprallstrecke (R) oder durch Energie- oder Geschwindigkeitsmessungen (Q) zu bestimmen;
- die Carbonatisierungstiefe beträgt höchstens 5 mm;
- die Rückprallzahlen erfüllen die beiden in Spalte 1 und Spalte 2 von Tabelle B.1 (Rückprallstrecke) angegebenen Kriterien oder die beiden in Spalte 1 und Spalte 2 von Tabelle B.2 (Energie- oder Geschwindigkeitsdifferenz) angegebenen Kriterien;
- die zugehörige Druckfestigkeitsklasse (Spalte 3) darf angenommen werden.

ANMERKUNG Bei den in Abschnitt 9 angegebenen Verfahrensweisen ist es angemessen, davon auszugehen, dass die Carbonatisierungstiefe höchstens 5 mm beträgt.

N1) Nationale Fußnote: Fehler in der Referenzfassung, das Veröffentlichungsjahr ist 2007.

Tabelle B.1 — Rückprallzahl basierend auf der Rückprallstrecke (Typ R) und zugehörige Druckfestigkeitsklassen für Normalbeton nach EN 206

Niedrigste Rückprallzahl aller Messstellen im Prüfbereich	Median der Rückprallzahlen für den Prüfbereich	Druckfestigkeitsklasse nach EN 206 ^a
≥ 26	≥ 30	C8/10
≥ 30	≥ 33	C12/15
≥ 32	≥ 35	C16/20
≥ 35	≥ 38	C20/25
≥ 37	≥ 40	C25/30
≥ 40	≥ 43	C30/37
≥ 44	≥ 47	C35/45
≥ 46	≥ 49	C40/50
≥ 48	≥ 51	C45/55
≥ 50	≥ 53	C50/60
≥ 53	≥ 57	C55/67
≥ 57	≥ 60	C60/75
≥ 62	≥ 65	C70/85
≥ 66	≥ 69	C80/95

^a Mit einem Vertrauensniveau des 10. Perzentils.

Tabelle B.2 — Rückprallzahl basierend auf der Energie- oder Geschwindigkeitsdifferenz (Typ Q) und zugehörige Druckfestigkeitsklassen für Normalbeton nach EN 206

Niedrigste Rückprallzahl aller Messstellen im Prüfbereich	Median der Rückprallzahlen für den Prüfbereich	Druckfestigkeitsklasse nach EN 206 ^a
≥ 25	≥ 34	C8/10
≥ 29	≥ 40	C12/15
≥ 36	≥ 45	C16/20
≥ 42	≥ 49	C20/25
≥ 46	≥ 52	C25/30
≥ 51	≥ 56	C30/37
≥ 56	≥ 60	C35/45
≥ 58	≥ 62	C40/50
≥ 60	≥ 64	C45/55
≥ 62	≥ 66	C50/60
≥ 64	≥ 68	C55/67
≥ 66	≥ 71	C60/75
≥ 69	≥ 73	C70/85
≥ 71	≥ 75	C80/95

^a Mit einem Vertrauensniveau des 10. Perzentils.

Literaturhinweise

- [1] CEN/TR 17086¹, *Weiterführende Anleitung zur Anwendung der EN 13791:2017 und Hintergrund zu den Regelungen*
- [2] EN 12390-7, *Prüfung von Festbeton — Teil 7: Dichte von Festbeton*
- [3] ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [4] EN 1998-3, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden*
- [5] INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results, ISO 5725*
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, *Standard practice for dealing with outlying observations, ASTM E178*
- [7] EUROPEAN STANDARDIZATION COMMITTEE, *Inter-laboratory comparisons in support of CEN/ISO standards called up in EN 206, Concrete. Final report on experiment C, Juni 1997*
- [8] *THE CONCRETE SOCIETY, In situ concrete strength. An investigation into the relationship between core strength and standard cube strength.* The Concrete Society, Camberley, UK, 2004
- [9] AINSWORTH, P.R.; HOPKINS, C.J., *Action in the case of nonconformity of concrete structures.* C519. CIRIA, 2000. ISBN 978-0-86017-519-3
- [10] HARRISON, T. A., *Concrete properties: Setting and hardening, Advanced Concrete Technology — Concrete Properties*, 2003, p4/11

1 In Bearbeitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: FprCEN/TR 17086:2017.