

DIN EN 13791

ICS 91.080.40

Entwurf

Einsprüche bis 2017-04-24
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13791:2008-05 und
DIN EN 13791/A20:2017-02

**Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in
Bauwerksteilen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 13791:2017**

Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components;
German and English version prEN 13791:2017

Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments
préfabriqués en béton;
Version allemande et anglaise prEN 13791:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-02-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 85 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13791:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-07-05 AA „Prüfverfahren für Beton (SpA CEN/TC 104/SC 1/TG 8 und CEN/TC 104/SC 1/TG 11 sowie CEN/TC 51/WG 12)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 13791 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13791:2008-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige redaktionelle und inhaltliche Überarbeitung.

Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen

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

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

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Abkürzungen	10
3.2.1 Symbole und Abkürzungen	10
3.2.2 Abkürzungen, die im Rahmen verschiedener Ausdrücke von Druckfestigkeiten verwendet werden	11
4 Ziel der Untersuchung und Prüfungsparameter	12
5 Prüfbereiche, Messstellen und Anzahl der Prüfungen	14
5.1 Prüfbereiche	14
5.2 Messstellen	15
6 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton	17
7 Erstbewertung des Datensatzes	18
7.1 Bewertung des Prüfbereiches, um zu bestimmen, ob dieser eine einzige Betonfestigkeitsklasse widerspiegelt	18
7.2 Bewertung der einzelnen Prüfergebnisse innerhalb eines Prüfbereiches	19
8 Abschätzung der Druckfestigkeit zur Bewertung eines bestehenden Bauwerks	21
8.1 Basierend ausschließlich auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	21
8.2 Basierend auf der Kombination aus Daten indirekter Prüfung und Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	22
8.2.1 Einsatz indirekter Prüfungen, die spezifisch mit Bohrkerndaten aus dem untersuchten Bauwerk kalibriert wurden	22
8.2.2 Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons	23
8.2.3 Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Stelle	24
8.3 Einsatz indirekter Prüfungen mit Daten aus mindestens drei Prüfungen von Bohrkernen	24
9 Bewertung der Druckfestigkeitsklasse von kürzlich zugeführtem Beton mittels Prüfung des Bauwerksbetons	25
9.1 Allgemeines	25
9.2 Einsatz von Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	26
9.3 Indirekte Prüfung und Daten aus der Prüfung ausgewählter Bohrkern	27
9.4 Vorversuch im allgemeinen Zusammenhang mit der Rückprallzahl	28
9.5 Vorversuch mittels indirekter Prüfung bei bestimmtem Beton und Zylinder-/Würfel- Verhältnis	30
Anhang A (normativ) Verfahren zur Herstellung einer Korrelation zwischen Rückprallzahl oder Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit und Druckfestigkeit mittels Probekörpern	32
Anhang B (informativ) Leitlinien zur Durchführung einer Untersuchung	34
B.1 Aus Prüfungen erforderliche Informationen	34
B.2 Verfahren zur Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton	35
B.3 Auswahl des Prüfverfahrens	36

B.4	Zusätzliche Leitlinien zur Bewertung, basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen.....	39
B.5	Bewertung im Falle von Zweifeln in Bezug auf die Druckfestigkeit von kürzlich zugeführtem Beton	40
B.6	Annahme der Prüfungsdaten	42
	Literaturhinweise.....	43

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13791:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13791:2007 ersetzen.

Einleitung

(1) Diese überarbeitete Europäische Norm deckt zwei Anwendungen der Bewertung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ab. Hierbei handelt es sich um:

- die Bewertung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton und/oder der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an bestimmten Punkten;
- die Bewertung, ob der zugeführte Beton der festgelegten Druckfestigkeitsklasse entspricht.

(2) Beide Anwendungen weisen eine Reihe gemeinsamer Schritte auf, die in Tabelle 1 gezeigt werden. Die Verfahren zur Bewertung weichen hingegen ab. Der Grund für diesen Unterschied ist, dass bei der Schätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton (Abschnitt 8) keine Annahme bezüglich des Sollwertes gemacht wird und die in Bezug auf diese Daten bestehende Unsicherheit bei der Schätzung des Wertes berücksichtigt wird. Wenn das Ziel der Untersuchung die Bewertung ist, ob der kürzlich zugeführte Beton von Gussstrukturen oder Betonfertigteilen der festgelegten Druckfestigkeitsklasse (Abschnitt 9) entspricht, handelt es sich bei der Bewertung um eine Abschätzung, ob dieser Beton die Klasse erfüllt hat oder nicht. Ein positiver Ausgang bestätigt, dass die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons innerhalb der Nenngrenzen der EN 1992-1-1 liegt. Ob dies darauf zurückzuführen ist, dass:

- der Beton aus einer der Klasse entsprechenden Grundgesamtheit stammt;
- Anpassungen am Beton vor Ort, z. B. die Hinzugabe von Wasser oder Zusatzmitteln, nicht bedeutsam waren;
- die Sorgfalt in Bezug auf die Platzierung, Verdichtung und Aushärtung des Betons der EN 13670 bzw. EN 13369 entsprach;
- eine ausgeprägtere Bauausführung als angenommen eine niedrigere Druckfestigkeit des Betons ausgeglichen hat oder umgekehrt;

kann nicht mittels der in dieser Norm dargelegten Verfahren geklärt werden. Wenn die Verfahren im Abschnitt 9 ein positives Ergebnis zeigen, dann entspricht der Beton im Bauwerk den Auslegungsannahmen. In dieser Situation ist es bewährte Praxis anzuerkennen, dass der Beton den Spezifikationen für die Druckfestigkeit entspricht, alle Anpassungen des Betons vor Ort nicht bedeutsam waren und das Niveau der Bauausführung der EN 13670 bzw. EN 13369 entsprach.

(3) Da diese beiden Anwendungen unterschiedlichen Herangehensweisen unterliegen, können diese zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

(4) Diese Norm wurde mit der Erwartung entwickelt, dass diese in Zusammenhang mit der EN 1992-1-1 verwendet wird. Wenn die Norm in Zusammenhang mit anderen Auslegungsnormen verwendet wird, kann es sein, dass manche der Faktoren abgeändert werden müssen. Zusätzlich verwendet diese Norm einen empfohlenen Wert von 0,85 für den Umrechnungsfaktor η aus A.2.3 der EN 1992-1-1:2004 und hier ist eine Anpassung notwendig, wenn nationale Regelungen einen anderen Wert vorschreiben.

(5) Verfahren außerhalb des Anwendungsbereiches der in dieser Norm beschriebenen Verfahren können durch am Ort der Verwendung geltende Regeln bestimmt sein. Diese umfassen beispielsweise:

- Einsatz von Bohrkernen mit einem Durchmesser von weniger als 50 mm, Mikrokerne;
- Einsatz von Ausziehprüfungen;

- in den Verfahren von Abschnitt 8, Regelungen für weniger als 8 Bohrkerne ohne indirekte Prüfung;
- Bewertung des Festigkeitsgradienten an einer Rohrschale nach einem Feuer;
- in den Verfahren von Abschnitt 9, Vergleich eines Bauelementes mit zweifelhafter Betonqualität mit einem ähnlichen Bauelement mit den Anforderungen entsprechendem Beton.

Zusätzlich können am Ort der Verwendung geltende Regeln Anforderungen zu Aspekten umfassen, die nicht in dieser Norm festgelegt sind. Diese umfassen beispielsweise:

- Leichtbeton;
- Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton und dem Verhältnis von Bohrkernlänge zu Bohrkerndurchmesser für andere Werte als 2:1 oder 1:1;
- Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton für Leichtbeton und dem Verhältnis von Bohrkernlänge zu Bohrkerndurchmesser;
- Anpassung der Bohrkernfestigkeit bei Bohrkernen, die eine Querbewehrung umfassen;
- Faktoren bei einer anderen Bewertung als nach EN 1992-1-1 oder EN 1990;
- Faktor η aus A.2.3 der EN 1992-1-1:2004, wenn nationale Regelungen einen anderen Wert als den Bezugswert von 0,85 verwenden;
- in den Abschnitten 9.2 und 9.3, Prüfkriterien für Bohrkerne bei Beton, der keiner Zertifizierung durch werkseigene Produktionskontrolle unterliegt.

(6) Leitlinien zur Durchführung einer Untersuchung sind im Anhang B angeführt.

(7) Weitere Leitlinien und Hintergrundinformationen zu dieser Überarbeitung der EN 13791 und bearbeitete Rechenbeispiele sind in FprCEN/TR 17086, *Weiterführende Anleitung zur Anwendung der EN 13791 und Hintergrund zu den Regelungen* [1] enthalten.

Tabelle 1 — Leitlinien zu relevanten Abschnitten

Maßnahme	Abschnitt
Ziel der Untersuchung	Abschnitt 4, B.1, B.6
Auswahl der Prüfverfahren	B.2, B.3, B.4
Auswahl der Bewertungsverfahren:	B.2
zur Bestimmung der Druckfestigkeit:	
— basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen;	8.1
— basierend auf der Prüfung von Bohrkernen sowie indirekter Prüfung; — basierend auf indirekter Prüfung, kalibriert mittels Probekörpern.	8.2, 8.3 8.2, Anhang A
oder zur Bewertung der Druckfestigkeit von kürzlich zugeführtem Beton:	
— basierend auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen;	9.2
— basierend auf indirekter Prüfung und selektiver Prüfung von Bohrkernen;	9.3
— Vorversuch mittels Rückprallhammer;	9.4
— basierend auf indirekter Prüfung, kalibriert mittels Probekörpern.	9.5, Anhang A
Auswahl der Prüfbereiche und Messstellen	5.1, 5.2, B.4
Bestimmung der Druckfestigkeit aus Daten aus der Prüfung von Bohrkernen	Abschnitt 6
Bewertung von Datensätzen, um zu bestimmen, ob es sich um einen einzelnen Beton handelt	7.1
Bewertung von Datensätzen, um zu bestimmen, ob Ausreißer vorhanden sind	7.2
Bewertung und Nutzung der Daten	B.1, B.4, B.5, B.6

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Europäische Norm:

- liefert Verfahren und Herangehensweisen zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton und der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton in Bauwerken und Betonfertigteilen mittels direkter Verfahren (Prüfung von Bohrkernen) und indirekter Verfahren, z. B. über die Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit, Rückprallzahl;
- enthält die Grundlagen und Anleitungen zur Aufstellung der Beziehungen zwischen Prüfergebnissen bei Anwendung indirekter Prüfverfahren und Druckfestigkeit von Bauwerksbeton;
- enthält Verfahren und Anleitungen zur Bewertung der Druckfestigkeitsklasse des Betons vor Ort, wenn Zweifel hinsichtlich der Festigkeit des kürzlich einem Bauwerk oder einem Betonfertigteile zugeführten Betons bestehen.

Diese Europäische Norm gilt nicht für folgende Fälle:

- Bewertungen auf der Grundlage von Bohrkernen mit einem Durchmesser von weniger als 50 mm, Mikrokerne;
- Bewertung der Qualität des Betons auf andere Eigenschaften als die Druckfestigkeit, z. B. Eigenschaften in Bezug auf die Dauerhaftigkeit;
- spezifische Regelungen für Leichtbeton;
- Einsatz von Ausziehprüfungen;
- in den Verfahren von Abschnitt 8, Regelungen für weniger als 8 Bohrkern ohne indirekte Prüfung;
- Einsatz von Vergleichsprüfungen (siehe FprCEN/TR 17086, *Weiterführende Anleitung zur Anwendung der EN 13791 und Hintergrund zu den Regelungen* [1] zur Erläuterung).

(2) Diese Europäische Norm ist nicht für die Bewertung der Konformität der Druckfestigkeit des Betons mit EN 206 oder EN 13369 vorgesehen, es sei denn, dies ist nach EN 206:2013+A1:2016, 5.5.1.2 oder 8.4 gefordert.

(3) Diese Europäische Norm deckt die Verfahren oder Kriterien der routinemäßigen Konformitätskontrolle von Betonfertigteilen mittels direkter oder indirekter Messungen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nicht ab.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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, *Beton — Eigenschaften, Leistung, Herstellung und Konformität*

EN 1990:2002, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*¹⁾

1) Dieses Dokument ist durch die Änderung EN 1990:2002/A1:2005 betroffen.

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 — Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit*

EN 13369, *Allgemeine Vorschriften für Betonfertigteile*

EN 13670, *Ausführung von Tragwerken aus Beton*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe. Begriffe in Bezug auf die Ausdrücke der Druckfestigkeit sind in 3.2.2 angeführt.

3.1.1

Erhärtung

Funktion aus Alterung und Temperatur, sodass jedes Los mit der gleichen Erhärtung dieselbe Druckfestigkeit aufweist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Erhärtung wird oft als äquivalentes Alter in Tagen bei 20 °C ausgedrückt. In Übereinstimmung mit EN 13670 sollten die Berechnungen der Erhärtung auf einer geeigneten Erhärtungsfunktion basieren, deren Eignung für den verwendeten Zementtyp oder die verwendete Kombination aus Zement und Zusatzstoff erwiesen ist.

3.1.2

Rückprallzahl

Ergebnis der Prüfung in Übereinstimmung mit EN 12504-2

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Angaben in dieser Europäischen Norm basieren auf der Nutzung eines federbasierten Stahlhammers der Bauart N.

3.1.3

Messstelle

begrenzte Fläche, die für Messungen gewählt wurde, anhand von deren Ergebnissen die Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton erfolgen soll

3.1.4

Prüfbereich

Ein oder mehrere Bauwerksteil(e) oder Betonfertigteil(e), von denen bekannt ist oder vermutet wird, dass sie aus Beton derselben Grundgesamtheit und derselben Druckfestigkeitsklasse stammen oder dasselbe definierte Volumen der Identitätsprüfung über die Druckfestigkeit aufweisen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Prüfbereich enthält einzelne Messstellen.

3.1.5

Prüfergebnis

Durchschnitt der Messungen oder im Falle einer Rückprallzahl der Mittelwert der an der Messstelle durchgeführten Messungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Prüfergebnis kann einen einzelnen Bohrkern mit einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm oder eine einzelne Messung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit umfassen.

3.1.6

Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit (en: ultrasonic pulse velocity)

UPV

Ergebnis einer Prüfung in Übereinstimmung mit EN 12504-4

3.2 Symbole und Abkürzungen

3.2.1 Symbole und Abkürzungen

R^2 Bestimmungskoeffizient

k_n auf die Standardabweichung angewendeter Faktor, siehe Tabelle 5

m Anzahl der gültigen Ergebnisse der indirekten Prüfung im untersuchten Prüfbereich

n Anzahl der Prüfergebnisse der Prüfung von Bohrkernen

p Anzahl der Parameter der Korrelationskurve

s Standardabweichung

s_c Standardfehler der Korrelation

s_e Standardabweichung aller geschätzten Werte der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton

$x_{i,\text{Bohrkern}}$ Wert der indirekten Prüfung an der Messstelle i , der für die Korrelation verwendet wird

x_0 Wert der indirekten Prüfung an der Messstelle „0“ (wo die Druckfestigkeit des Bauwerksbetons für die Bauwerksbewertung erforderlich ist)

$\bar{x}$ Mittel der Werte m der indirekten Prüfung für die Korrelation

Siehe auch 3.2.2.

3.2.2 Abkürzungen, die im Rahmen verschiedener Ausdrücke von Druckfestigkeiten verwendet werden

Abkürzung	Beschreibung und Erklärung
f_c oder $f_{c,Würfel}$	Druckfestigkeit, bestimmt aus Betonproben, die in Übereinstimmung mit EN 12350-1 entnommen und in zylinderförmige oder würfelförmige Probekörper geformt sowie in Übereinstimmung mit EN 12390-2 ausgehärtet und nach EN 12390-3 geprüft werden
$f_{c,Bohrkern}$	In Übereinstimmung mit EN 12504-1 bestimmte Druckfestigkeit eines Bohrkerns ANMERKUNG Dies ist ein allgemeiner Begriff, der alle Verhältnisse von Länge zu Durchmesser (Länge-Durchmesser-Verhältnis) abdeckt.
$f_{c,1:1Bohrkern}$ oder $f_{c,2:1Bohrkern}$	In Übereinstimmung mit EN 12504-1 bestimmte Druckfestigkeit eines Bohrkerns ANMERKUNG Wenn das Länge-Durchmesser-Verhältnis des Bohrkerns 1:1 ist, wird die Abkürzung $f_{c,1:1Bohrkern}$ verwendet. Entspricht das Länge-Durchmesser-Verhältnis einem Wert von 2:1, wird die Abkürzung $f_{c,2:1Bohrkern}$ verwendet.
$f_{c,is}$	Durchschnittliche Druckfestigkeit aller Bohrkerne, die an einer Messstelle innerhalb eines Bauwerksteiles oder Betonfertigteiles entnommen wurden, ausgedrückt als Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in einem Durchmesserbereich von 80 mm bis 160 mm ANMERKUNG Dieser Wert basiert auf dem Feuchtigkeitszustand des Bauwerksbetons vor Ort und ist nicht auf einen Normfeuchtigkeitszustand angepasst.
$f_{c,is,ck}$	Wert der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton (ausgedrückt als Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in einem Durchmesserbereich von 80 mm bis 160 mm), unter welchem 5 % der Prüfergebnisse erwartet werden, wenn aus dem gesamten Volumen des betrachteten Bauwerksbetons Bohrkerne entnommen und geprüft wurden ANMERKUNG 1 Diese Werte sind nicht auf einen Normfeuchtigkeitszustand normalisiert. ANMERKUNG 2 Es ist unwahrscheinlich, dass das Volumen des betrachteten Bauwerksbetons dem Volumen zur Bestimmung der Konformität des Frischbetons in Übereinstimmung mit EN 206 entspricht. Im Allgemeinen handelt es sich um ein kleineres Volumen.
$f_{c,is,Schätzung}$	Geschätzte Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Messstelle
$f_{c,is,Höchstwert}$	Höchster Wert der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton bei Messung einer Reihe von n Messstellen (ausgedrückt als Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in einem Durchmesserbereich von 80 mm bis 160 mm) ANMERKUNG Wenn mehr als ein Bohrkern an einer Messstelle entnommen wird, wird der Durchschnitt der Ergebnisse der Bohrkerne jeder Messstelle gebildet und der „Höchstwert“ wird als höchster Wert dieser Ergebnisse definiert.
$f_{c,is,Tiefstwert}$	Niedrigster Wert der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton bei Messung einer Reihe von n Messstellen (ausgedrückt als Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in einem Durchmesserbereich von 80 mm bis 160 mm) ANMERKUNG Wenn mehr als ein Bohrkern an einer Messstelle entnommen wird, wird der Durchschnitt der Ergebnisse der Bohrkerne jeder Messstelle gebildet und der „Tiefstwert“ wird als niedrigster Wert dieser Ergebnisse definiert.
$f_{c,is,reg}$	Wert der indirekten Prüfung, umgerechnet in die äquivalente Druckfestigkeit von Bauwerksbeton mittels einer Regressionsgleichung
$f_{ck,Probekörper}$	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit eines Probekörpers mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in Bezug auf die festgelegte Druckfestigkeitsklasse ANMERKUNG Beispielsweise beträgt $f_{ck,Probekörper}$ 30 N/mm ² bei der Druckfestigkeitsklasse C30/37. Siehe EN 206 für alle Druckfestigkeitsklassen.
$f_{c,m(n)is}$	Mittlerer Wert der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton bei Messung einer Reihe von n Messstellen (ausgedrückt als Druckfestigkeit eines Bohrkerns mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 in einem Durchmesserbereich von 80 mm bis 160 mm)

4 Ziel der Untersuchung und Prüfungsparameter

(1) Vor Beginn einer Untersuchung vor Ort muss Folgendes bestimmt und dokumentiert werden:

- a) Ziel der Untersuchung;
- b) anzuwendende Normen, Prüfverfahren und Untersuchungstechniken;
- c) Prüfbereich(e) und Messstellen;
- d) Anzahl der Prüfungen pro Messstelle;
- e) falls Bohrkerne entnommen werden, Durchmesser und Länge der von der Oberfläche zu entnehmenden Bohrkerne;

ANMERKUNG Der angegebene Durchmesser des Bohrkerns bezieht sich auf den Durchmesser des fertigen Bohrkerns und nicht auf die Lochweite.

- f) wo die Bohrkerne anzuschneiden sind, um die zugeschnittenen Längen für die Prüfung zu erhalten;
- g) das zur Vorbereitung der Enden der Bohrkerne anzuwendende Verfahren;
- h) ob die Probenahme und Prüfung von einem Labor ausgeführt werden müssen, welches anerkannte Verfahren nach ISO/IEC 17025 anwendet.

(2) Bild 1 und Bild 2 zeigen Ablaufdiagramme, um bei der Auswahl geeigneter Verfahren und der entsprechenden Abschnitte zu helfen.

(3) Leitlinien zur Durchführung einer Untersuchung sind im Anhang B angeführt.

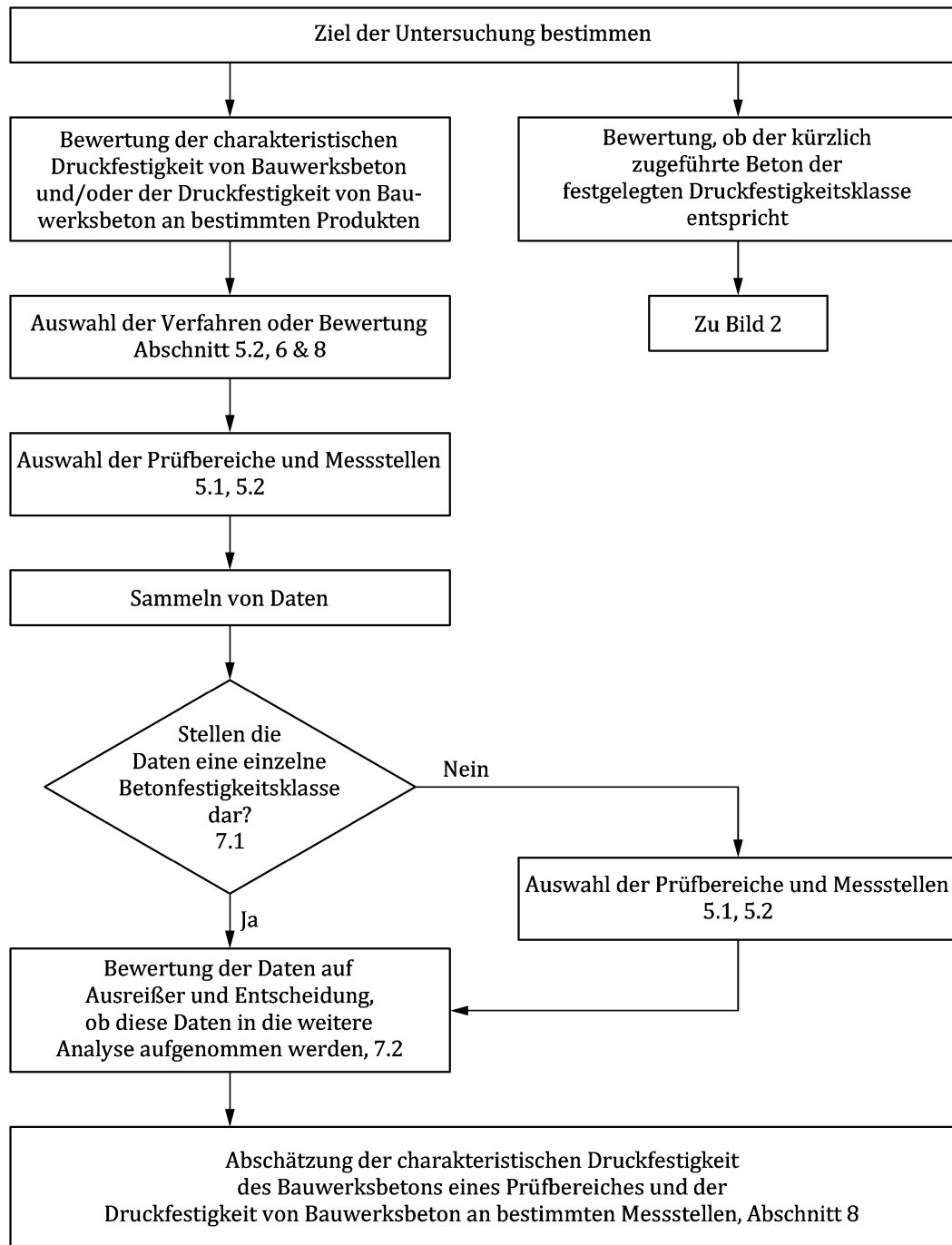


Bild 1 — Ablaufdiagramm zur Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons eines Prüfbereiches und der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an bestimmten Orten

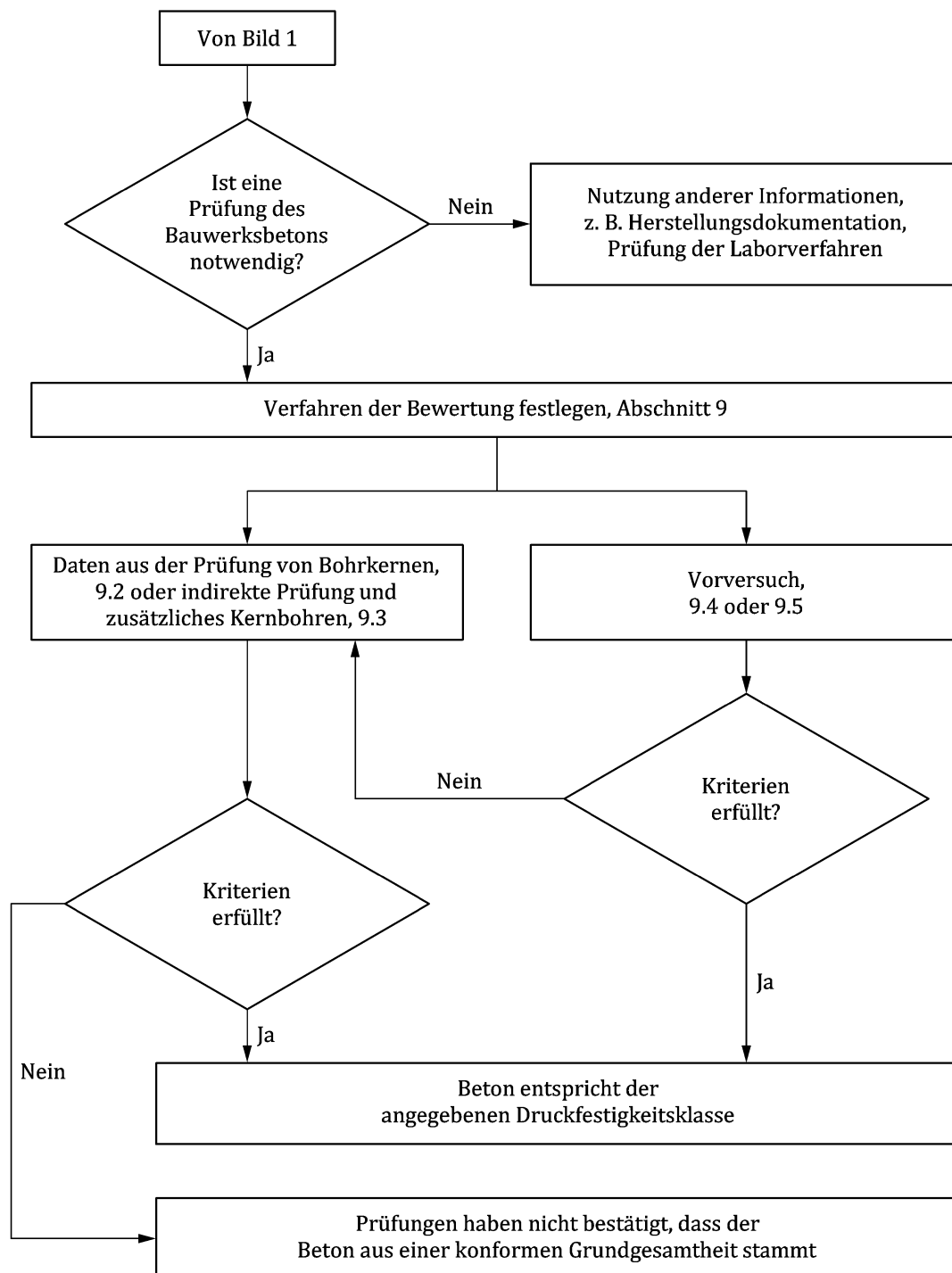


Bild 2 — Ablaufdiagramm zur Bewertung, ob ein kürzlich zugeführter Beton der festgelegten Druckfestigkeitsklasse entspricht

5 Prüfbereiche, Messstellen und Anzahl der Prüfungen

5.1 Prüfbereiche

- (1) Die Prüfbereiche müssen definiert werden. Sie können aus einer Reihe ähnlicher Elemente, einem großen Element oder dem definierten Volumen der Identitätsprüfung (Vor-Ort-Kontrolle) über die Druckfestigkeit bestehen. Unterschiedliche Betone in Bezug auf das Mörtelrezept müssen unterschiedliche Prüfbereiche aufweisen. Wenn die Druckfestigkeit des Betons nicht bekannt ist, muss

nach bestem technischem Ermessen entschieden werden, wie die Bauelemente in Prüfbereiche zusammengefasst werden sollen, und es müssen die Prüfergebnisse untersucht werden, um festzustellen, ob diese Bauelemente mehr als eine Betonart ausmachen.

- (2) Betone aus unterschiedlichen Betonmischanlagen dürfen im selben Prüfbereich verwendet werden, unter der Voraussetzung, dass dasselbe Mörtelrezept und dieselben Bestandteile verwendet werden, z. B. auf einer großen Baustelle oder bei Einsatz von Transportbeton, wenn zwei oder mehr Betonmischanlagen vorliegen.
- (3) Wenn die untersuchten Bauelemente Betonfertigteile und Bauwerksbeton umfassen, müssen die Betonfertigteile und der Bauwerksbeton unterschiedliche Prüfbereiche ausmachen.
- (4) In dieser Norm wird das Konzept eines kleinen Prüfbereiches angewendet. Dabei handelt es sich um ein Volumen, das in einem einzigen Tag gegossen wird und ein Volumen von ungefähr 30 m³ nicht übersteigt. Hierbei wird angenommen, dass bei solchen kleinen Prüfbereichen die Druckfestigkeit des zugeführten Betons nicht abweicht und Schwankungen der Prüfergebnisse ausschließlich auf die Verortung innerhalb des Prüfbereiches und die Schwankungsbreite der Prüfung selbst zurückzuführen sind.

5.2 Messstellen

- (1) Die Anzahl der Messstellen pro Prüfbereich hängt vom eingesetzten Betonvolumen, dem Zweck der Prüfung und dem für die Schätzung erforderlichen Vertrauensniveau ab. Die Anzahl der Messstellen pro Prüfbereich muss bestimmt und angegeben werden.
- (2) Die Auswahl der Messstellen muss das Erreichen der Zielsetzung der Untersuchung (siehe Abschnitt 4) ermöglichen. Jede Messstelle muss bestimmt und angegeben werden.
- (3) Die Anzahl der einzelnen Messungen im Rahmen der Prüfung zur Bildung eines Prüfergebnisses weicht in Abhängigkeit von dem Prüfverfahren, siehe Tabelle 2, ab.
- (4) Wenn das Ziel der Untersuchung die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons ($f_{c,ls,ck}$) ist, sollten die Messstellen innerhalb des Prüfbereiches so gewählt werden, dass die typischen Schwankungen der Festigkeit innerhalb der Bauelemente berücksichtigt werden.
- (5) Die an der Baustelle zu berücksichtigenden Zustände umfassen die folgenden:
 - allgemeiner Standort der Baustelle und Leichtigkeit des Transports von Prüfeinrichtungen;
 - Zugänglichkeit zum fraglichen Bereich an der Baustelle;
 - Sicherheit des Personals auf der Baustelle sowie der Öffentlichkeit.
- (6) Messstellen sollten folgende Punkte vermeiden:
 - gerissene Bereiche;
 - stark beanspruchte oder kritische Schalen;
 - Armierungs- und Spannstähle sowie Hüllrohre.
- (7) Es wird der Einsatz eines Betondeckungsmessgeräts oder eines Radars empfohlen, um sicherzustellen, dass die in Erwägung gezogenen Messstellen frei von Armierungs- oder Spannstählen sind.
- (8) Leitlinien zur Auswahl von Messstellen sind im Anhang B angeführt.

- (9) Wenn indirekte Prüfverfahren angewendet werden sollen, wird auf die relevante Norm für Prüfverfahren zur Ausführung der Prüfung und den relevanten Abschnitt dieser Norm, welcher Angaben zur Mindestanzahl der Messstellen pro Prüfbereich enthält, verwiesen.

Tabelle 2 — Arten von Prüfungen und Zusammenhang zwischen Messstellen und Prüfbereichen

Prüfung	Messstelle	Prüfbereich
Druckfestigkeit aus Bohrkernen (EN 12504-1)	Ein Prüfergebnis kann die Druckfestigkeit eines einzelnen Bohrkerns oder die durchschnittliche Druckfestigkeit von Bohrkernen sein, falls mehr als ein Bohrkern an der Messstelle entnommen wird, z. B. wenn ein langer Bohrkern in zwei oder mehr kürzere Bohrkern aufgeteilt wird. Siehe auch Abschnitt 6 für Anforderungen zu Bohrkernen mit Durchmessern unter 80 mm.	Die Mindestanzahl von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm ist für das Verfahren aus 8.3 gleich drei, idealerweise sollten aber mindestens an vier Messstellen Kerne entnommen werden. Die Mindestanzahl der Messstellen zur Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons nach 8.1 ist acht, unter der Voraussetzung, dass der Bohrkerndurchmesser zwischen 80 mm und 160 mm liegt.
Rückprallzahl ^a (EN 12504-2)	Das Prüfergebnis in Übereinstimmung mit EN 12504-2 ist die Rückprallzahl und besteht aus dem Medianwert aus mindestens 9 gültigen Messungen an einer Messstelle.	Für den Vorversuch der Rückprallzahl besteht eine Mindestanforderung von 9 Messstellen pro Prüfbereich, siehe 9.4. Die Prüfung der Rückprallzahl darf bei einer beliebigen Anzahl gleichmäßig verteilter Messstellen erfolgen, um sicherzustellen, dass die Verteilung der Ergebnisse einer Gauß-Verteilung folgt. Wenn die Prüfung der Rückprallzahl bei einer beliebigen Anzahl gleichmäßig verteilter Messstellen bestätigt, dass die Ergebnisse keiner Gauß-Verteilung folgen, dann kann es möglich sein, die relevanten Teile des Prüfbereiches zu identifizieren.
Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit ^a (EN 12504-4)	Ein Prüfergebnis kann eine einzelne Messung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit, welche direkt oder indirekt an einer Schale erfolgt, oder die durchschnittliche Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit sein, wenn mehr als eine Messung an der Messstelle vorgenommen wird.	Die Prüfung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit darf bei einer beliebigen Anzahl gleichmäßig verteilter Messstellen erfolgen, um sicherzustellen, dass die Verteilung der Ergebnisse einer Gauß-Verteilung folgt. Wenn die Prüfung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit bei einer beliebigen Anzahl gleichmäßig verteilter Messstellen bestätigt, dass die Ergebnisse keiner Gauß-Verteilung folgen, dann kann es möglich sein, die relevanten Teile des Prüfbereiches zu identifizieren.
^a Die Rückprallzahl und die Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit stellen keine direkten Messungen der Druckfestigkeit dar, sie dürfen aber bei spezifischer Kalibrierung in Bezug auf den Beton im Bauwerk zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton eingesetzt werden, siehe Abschnitt 8.		

ANMERKUNG Wenn die graphische Darstellung der Prüfwerte eine symmetrische Glockenform um den Mittelwert herum annimmt, dann darf eine Gauß-Verteilung der Ergebnisse angenommen werden. Wenn niedrige Spitzen in der Verteilung auftreten, dann kann dies auf Messstellen hinweisen, die näher untersucht werden müssen.

6 Prüfung von Bohrkernen und Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton

- (1) Die Prüfung von Bohrkernen muss in Übereinstimmung mit EN 12504-1 erfolgen, mit dem Unterschied, dass nach Untersuchung und Kennzeichnung des Bohrkerns die Oberfläche des Kerns mit einem trockenen Handtuch oder Papiertuch getrocknet wird und der Kern dann in ein abgedichtetes bzw. versiegeltes Behältnis mit enger Passform platziert wird, z. B. einen versiegelten Polyethylenbeutel. Vor der Ablängung oder Bearbeitung der Enden muss der Bohrkern aus dem versiegelten Behältnis entnommen werden. Nach der Ablängung muss der Bohrkern an der Oberfläche mit einem trockenen Handtuch oder Papiertuch abgetrocknet und dann wieder in das Behältnis überführt werden. Die Bohrkernkerne werden über eine Zeitdauer von 16 bis 24 Stunden vor der Bearbeitung mit Schwefel und/oder Prüfung einer Laborluft ausgesetzt.

ANMERKUNG 1 Das Ziel dieses Verfahrens ist es, einen Feuchtigkeitszustand zu erreichen, welcher dem Zustand des Betons im Bauwerk ähnelt.

- (2) Bohrkernkerne mit zugeschnittenem bzw. abgelängtem Länge-Durchmesser-Verhältnis von 2:1 oder 1:1 und einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm müssen festgelegt werden, außer in Fällen, in denen die Verwendung von 80-mm-Bohrkernen nicht praktisch umsetzbar ist, z. B. aufgrund der Bewehrungsanordnung. In diesem Falle müssen Durchmesser von Bohrkernen von nicht weniger als 50 mm festgelegt werden und das Länge-Durchmesser-Verhältnis sollte 1:1 betragen.

- (3) Die Anforderungen zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer Messstelle werden in Tabelle 3 angegeben.

ANMERKUNG 2 EN 12504-1:2009 führt an, dass „das Verhältnis der maximalen Korngröße im Beton zum Durchmesser des Bohrkerns einen maßgeblichen Einfluss auf die gemessene Festigkeit hat, wenn die entsprechenden Werte eine Größenordnung annehmen, die ein Verhältnis von mehr als etwa 1:3 übersteigt“.

ANMERKUNG 3 Kleinere Bohrkernkerne weisen eine höhere Schwankung auf und daher muss die Anzahl der Bohrkernkerne erhöht werden, um dasselbe Vertrauensniveau in das Prüfergebnis zu erreichen. Es gibt Anhaltspunkte dafür, dass bei einer maximalen Korngröße von 20 mm, Bohrkernkerne mit einem Durchmesser von 100 mm und einem Länge-Durchmesser-Verhältnis von 2:1 ungefähr 7 % fester sind als Bohrkernkerne mit einem Durchmesser von 50 mm (siehe EN 12504-1). Allerdings liegen keine ausreichenden Anhaltspunkte oder Nachweise zur Quantifizierung des Unterschieds bei Bohrkernen im Verhältnis 1:1 vor, sodass dieser Umstand nicht berücksichtigt wird.

- (4) Wenn Bohrkernkerne, die einem Durchmesser von mindestens 50 mm aber nicht mehr als 80 mm entsprechen, zum Zwecke der Bestimmung der durchschnittlichen Festigkeit entnommen werden und die Abschätzung der Druckfestigkeit an jeder Messstelle nicht von Interesse ist, dann darf ein einzelner Bohrkern an jeder Messstelle entnommen werden (siehe 8.1 zur Mindestanzahl der Messstellen).

ANMERKUNG 4 Um dasselbe Vertrauensniveau in Bezug auf das Prüfergebnis an einer bestimmten Messstelle zu erreichen, wie bei einem Bohrkern zwischen 80 mm und 160 mm, wird der Durchschnitt aus einer Reihe von Bohrkernen mit kleinerem Durchmesser (siehe Tabelle 3) benötigt; jedoch kann dasselbe Vertrauensniveau in Bezug auf die durchschnittliche Festigkeit durch Erhöhung der Anzahl der Messstellen und Entnahme eines einzelnen Bohrkerns mit kleinem Durchmesser an jeder Messstelle (siehe 8.1) erreicht werden.

- (5) Bohrkernkerne sollten frei von jeglicher Bewehrung sein. Wenn ein Bohrkern Bewehrungen enthält, die senkrecht zur Belastungsrichtung angeordnet sind, muss dies dokumentiert und separat bewertet werden.

ANMERKUNG 5 Weitere Leitlinien zur Auswahl von Bohrkerngrößen werden im Anhang B angeführt.

ANMERKUNG 6 Es werden keine Anforderungen zur Umwandlung von anderen Bohrkernen als jenen mit einem Länge-Durchmesser-Verhältnis von 2:1 und 1:1 in eine Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c, is}$) angeführt.

(6) Jeder Bohrkern, der Bewehrungen in Richtung der Kernbohrung oder nahe der Richtung der Kernbohrung enthält, muss sofort verworfen und ein weiterer Bohrkern von derselben Messstelle entnommen werden.

Tabelle 3 — Anforderungen zur Erreichung eines Prüfergebnisses für eine bestimmte Messstelle

Anforderung	Durchmesser des Bohrkerns von 50 mm ^a		Durchmesser des Bohrkerns zwischen 80 mm und 160 mm	
	Nennverhältnis: 1:1 ^b Erlaubter Schwankungsbereich: 0,90:1 bis 1,10:1		Nennverhältnis: 2:1 Erlaubter Schwankungsbereich: 1,95:1 bis 2,05:1	Nennverhältnis: 1:1 Erlaubter Schwankungsbereich: h: 0,90:1 bis 1,10:1
Maximale Korngröße	≤ 20 mm	> 20 mm ≤ 32 mm	Verhältnis zwischen maximaler Korngröße und Durchmesser des Bohrkerns ≤ 1:3	
Mindestanzahl der Werte der Bohrkerndruckfestigkeit zur Erreichung eines Prüfergebnisses an einer Messstelle	3	5	1	1
Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer Messstelle ($f_{c, is}$)	0,82 ^c (Mittelwert der Werte für $f_{c, 1:1}$ Bohrkern)	0,82 ^c (Mittelwert der Werte für $f_{c, 1:1}$ Bohrkern)	Mittelwert der Werte für $f_{c, 2:1}$ Bohrkern ^d	0,82 ^c (Mittelwert der Werte für $f_{c, 1:1}$ Bohrkern) ^d
^a Bei Durchmessern über 50 mm und weniger als 80 mm sollte die Mindestanzahl an Werten der Bohrkerndruckfestigkeit interpoliert und festgelegt werden. ^b Es werden keine Regelungen für Bohrkern mit einem Länge-Durchmesser-Verhältnis von 2:1 und einem Durchmesser von 50 mm angeführt. ^c Dieser Faktor gilt nur für Normal- und Schwerbeton. Der Wert 0,82 aus EN 1992-1-1 und EN 206 entspricht dem mittleren Verhältnis der Festigkeit zwischen Würfel und Zylinder mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1, wobei das Verhältnis lediglich auf der Differenz zwischen den Länge-Durchmesser-Verhältnissen der Probekörper beruht. Daher wird angenommen, dass ein Wert von 0,82 x Festigkeit des Bohrkerns bei einem Länge-Durchmesser-Verhältnis von 1:1 einer Festigkeit des Bohrkerns im Länge-Durchmesser-Verhältnis 2:1 entspricht. ^d Wenn ein einzelner Bohrkern entnommen wurde, gilt $f_{c, is} = f_{c, 2:1}$ Bohrkern oder 0,82 $f_{c, 1:1}$ Bohrkern.				

7 Erstbewertung des Datensatzes

7.1 Bewertung des Prüfbereiches, um zu bestimmen, ob dieser eine einzige Betonfestigkeitsklasse widerspiegelt

(1) In Fällen, in denen nicht bekannt ist, dass der vorgeschlagene Prüfbereich eine einzige Druckfestigkeitsklasse umfasst (oftmals der Fall, wenn die Verfahren aus Abschnitt 8 angewendet werden), müssen alle verfügbaren Informationen zur werkseigenen Produktionskontrolle sowie die Baustellendokumentation herangezogen werden, um die Prüfbereiche und Messstellen zu bestimmen, welche spezifisch untersucht werden müssen. Es kann vernünftigerweise angenommen werden, dass

der Beton innerhalb eines einzelnen Bauelementes eine einzige Druckfestigkeitsklasse umfasst. Es gibt allerdings in seltenen Fällen Ausnahmen, beispielsweise wenn eine für ein anderes Bauelement bestimmte Last in das untersuchte Bauelement eingeleitet wurde; jedoch kann eine solche Last auch als hoher oder niedriger Ausreißer identifiziert werden, siehe 7.2. Die Messstelle wird einer Sichtprüfung unterzogen und die Festigkeitsdaten werden untersucht, um zu prüfen, ob ungewöhnliche Ergebnisse vorliegen, welche darauf hinweisen können, dass ein Prüfbereich zwei oder mehr Druckfestigkeitsklassen enthält. Wenngleich eine sorgfältige Auswahl der Prüfbereiche das Risiko von zwei Druckfestigkeitsklassen in einem einzelnen Prüfbereich auf ein Minimum reduziert, kann diese Möglichkeit nicht vollständig ausgeschlossen werden.

ANMERKUNG 1 Beispielsweise kann der Prüfbereich als Tragschicht für alle Stützen des Gebäudes gedient haben. Wenn die Daten vermuten lassen, dass diese aus zwei Grundgesamtheiten entstammen, würden alle Stützen von ähnlicher Größe auf einem oder mehreren Geschossen als „ähnlich angeordnete Bauelemente“ definiert werden (die Festigkeit des Betons der Säulen kann auf den oberen Geschossen niedriger gewesen sein oder manche Stützen können aufgrund zeitweilig kalter Witterungsverhältnisse mit einem Beton höherer Festigkeit gegossen worden sein).

(2) Wenn die Prüfergebnisse darauf hinweisen, dass der Prüfbereich zwei Druckfestigkeitsklassen umfasst, dann:

- wird entweder der Datensatz in zwei Prüfbereiche aufgeteilt, wobei die Mindestanforderungen an einen Prüfbereich zu beachten sind, oder
- es werden die Daten in zwei Datensätze aufgeteilt und es wird bestimmt, ob die mittlere Festigkeit abweicht, beispielsweise mittels einer t-Prüfung.

ANMERKUNG 2 Da der Abschnitt 8 die Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons abdeckt und diese auf der mittleren Festigkeit und Standardabweichung beruht, ist eine Prüfung, welche bestimmt, ob die mittleren Festigkeiten maßgeblich abweichen, die richtige Herangehensweise.

ANMERKUNG 3 In Abhängigkeit der Gießhöhe liegt eine natürliche Festigkeitsschwankung aufgrund des Verdichtungsverfahrens und des Wirkungsgrades vor.

(3) Wenn eine t-Prüfung dazu herangezogen wird, um zu bestimmen, ob die mittlere Festigkeit abweicht oder eine Gruppe einen höheren Wert aufweist als die andere Gruppe, müssen die Varianzen zusammengefasst werden.

(4) Wenn gezeigt wird, dass die mittlere Festigkeit maßgeblich abweicht, dann müssen die Daten in zwei Prüfbereiche aufgeteilt werden; wenn die mittleren Festigkeiten nicht maßgeblich abweichen, dann muss der Datensatz als einzelner Prüfbereich berücksichtigt werden.

(5) Diese Prüfung ist bei Untersuchungen im Rahmen der Verfahren aus Abschnitt 9 nicht erforderlich.

7.2 Bewertung der einzelnen Prüfergebnisse innerhalb eines Prüfbereiches

(1) Wenn ein Datensatz scheinbar ein oder mehrere Prüfergebnisse umfasst, die ungewöhnlich niedrig oder hoch sind, sollten diese Prüfergebnisse geprüft werden, um zu bestimmen, ob es sich bei diesen Werten um statistische Ausreißer handelt.

ANMERKUNG 1 Siehe B.6 für Leitlinien zur Behandlung von Ausreißern.

(2) Die Ergebnisse einzelner Bohrkerne sind aus verschiedenen Gründen unter Umständen nicht repräsentativ für die durchschnittliche Druckfestigkeit des Betons innerhalb des Bauwerks. Diese Kerne können Schäden erlitten haben, die nicht sichtbar sind, können übermäßige Volumina von Lufteinschlüssen enthalten usw., was zu Ergebnissen führen kann, die maßgeblich höher oder niedriger ausfallen als andere Ergebnisse innerhalb einer Ergebnisgruppe. Ein hoher Ausreißer in einem Beton mit Lufteinschlüssen kann darauf hinweisen, dass der Beton an dieser Messstelle nicht über den notwendigen Mindestluftinhalt verfügt.

- (3) Eine Reihe von Ergebnissen einer indirekten Prüfung kann ebenfalls Ausreißer umfassen, was auf eine Notwendigkeit der weiteren Untersuchung an dieser Messstelle hinweisen kann, beispielsweise im Rahmen einer Prüfung von Bohrkernen.
- (4) Beispielsweise durch Bewertung der Differenz zwischen dem höchsten oder niedrigsten Ergebnis und dem Mittel aller Prüfergebnisse, ist es möglich zu bestimmen, ob es sich bei dem niedrigsten oder höchsten Ergebnis um einen statistischen Ausreißer handelt. Wenn sich ein oder mehrere Ergebnisse als statistische Ausreißer herausstellen, obliegt das weitere Vorgehen dem technischen Ermessen.
- (5) Die Grubb-Prüfung darf zur Bestimmung statistischer Ausreißer herangezogen werden. Der größte Wert von n aufeinanderfolgenden Prüfwerten sollte als Ausreißer betrachtet werden, wenn

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

- (6) Andere Verfahren zur Bewertung statistischer Ausreißer sind gestattet.

ANMERKUNG 2 Siehe beispielsweise ASTM E178 [2].

Tabelle 4 — Kritische Werte (G_p) zur Prüfung auf Ausreißer

Anzahl der Prüfwerte	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
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 kleinste Wert von n aufeinanderfolgenden Prüfwerten sollte als Ausreißer betrachtet werden, wenn

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

Dabei ist

G_p der kritische Wert nach der Grubb-Prüfung für ein Signifikanzniveau von 1 % (siehe Tabelle 4).

(8) Im Falle möglicher Ausreißer an beiden Extremen, sollte dieses Verfahren zuerst auf den Wert angewendet werden, welcher am stärksten vom Mittel abweicht. Dieses Verfahren darf zweimal auf einen Datensatz eines bestimmten Prüfbereiches angewendet werden. Bevor die Prüfung wiederholt wird, muss der erste Ausreißer von der Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung ausgeschlossen werden. Jeder Ausreißer muss dokumentiert und einzeln bewertet werden. Wenn mehr als zwei Prüfergebnisse Ausreißer darstellen, dann kann dies ein Anzeichen darauf sein, dass der Prüfbereich mindestens zwei Betone enthält und diese Möglichkeit sollte folglich untersucht werden.

8 Abschätzung der Druckfestigkeit zur Bewertung eines bestehenden Bauwerks

8.1 Basierend ausschließlich auf Daten aus der Prüfung von Bohrkernen

- (1) Die Werte der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c, is}$) werden geprüft, um sicherzustellen, dass alle Werte gültig sind. Alle gültigen Ergebnisse werden dazu verwendet, die mittlere Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c,m(n)is}$) und die Standardabweichung s_s des Prüfbereiches im untersuchten Bauwerk abzuschätzen.
- (2) Die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton muss mindestens auf den folgenden Grundlagen basieren:
 - acht gültigen Ergebnissen aus der Prüfung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton, basierend auf Bohrkernen mit einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm in Übereinstimmung mit Tabelle 3 oder
 - zwölf gültigen Ergebnissen aus der Prüfung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton, wobei jedes Ergebnis auf der Prüfung eines einzelnen Bohrkerns mit einem Durchmesser von 50 mm mit einer maximalen Korngröße ≤ 20 mm basiert oder
 - sechzehn gültigen Ergebnissen aus der Prüfung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton, wobei jedes Ergebnis auf der Prüfung eines einzelnen Bohrkerns mit einem Durchmesser von 50 mm mit einer maximalen Korngröße > 20 mm ≤ 32 mm basiert.
- (3) Bei Anwendung der Gleichung (3) muss für die Standardabweichung entweder der Wert der Standardabweichung oder $3,0 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden, je nachdem, welcher Wert größer ist.

ANMERKUNG 1 Ein Mindestwert der Standardabweichung dient als Schutz gegenüber unrealistisch niedrigen Werten, wenn die Ergebnisse aus der Prüfung von Bohrkernen ungewöhnlich nah aneinander liegen.

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

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

Dabei wird k_n der Tabelle 5 entnommen oder

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

Dabei basiert der Wert von M auf dem Wert von $f_{c, is, Tiefstwert}$ und wird der Tabelle 6 entnommen.

Tabelle 5 — k_n -Werte zur 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 5 entsprechen EN 1990:2002, Anhang D.

ANMERKUNG 3 Siehe Anhang B.2 (4) für Leitlinien zur Auswahl geeigneter Werte für die charakteristische Festigkeit zur Verwendung bei der Bewertung von Bauwerken.

Tabelle 6 — Wert der Spanne M zur Anwendung in der Gleichung (4)

Wert von $f_{c, is, Tiefstwert}$ in N/mm^2	Spanne in N/mm^2
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

(5) Der Einsatz der Lognormalform der Gleichung (3) ist gestattet. In diesem Falle müssen die Gleichungen aus EN 1990:2002, Anhang D.7.2 mittels des optionalen unbekannten Variationskoeffizienten angewendet werden.

8.2 Basierend auf der Kombination aus Daten indirekter Prüfung und Daten aus der Prüfung von Bohrkernen

8.2.1 Einsatz indirekter Prüfungen, die spezifisch mit Bohrkerndaten aus dem untersuchten Bauwerk kalibriert wurden

- (1) Idealerweise sollte die Untersuchung durch indirekte Prüfung vor dem Kernbohren erfolgen. Die Daten aus dieser Untersuchung sollten dann zur Auswahl der Stellen für das Kernbohren verwendet werden. Bohrkernne müssen an den Stellen entnommen werden, wo Werte aus der indirekten Prüfung verfügbar sind. Mindestens 10 Ergebnispaaere sollten ermittelt werden und diese sollten Bohrkernne an den Extrema der Werte aus der indirekten Prüfung umfassen, falls eine Kernbohrung an diesen Punkten die Tragsicherheit nicht negativ beeinflusst. Manchmal ist es möglich, eine ausreichende Korrelation mit weniger als 10 Ergebnispaaeren herzustellen. Die Ergebnisse aus der Prüfung von Bohrkernen müssen in Werte der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c, is}$) umgewandelt und die Ergebnisse der indirekten Prüfung als X-Achse gegen die Werte der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton (y-Achse) aufgetragen werden. Es muss eine lineare Regressionsgerade durch diese Punkte bestimmt werden.
- (2) Immer, wenn praxisbezogene Daten aus Bohrkernen zur Herstellung einer bestimmten Korrelation zwischen indirekter Prüfung und Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ermittelt werden sollten. Wenn weniger als 8 Ergebnispaaere vorliegen, dann sollte das Verfahren aus 8.3 befolgt werden.

ANMERKUNG 1 Da der Wertebereich der Festigkeitswerte wahrscheinlich begrenzt ist, reicht eine lineare Regressionsgerade in der Regel aus. Die Gleichungen in diesem Abschnitt sind direkt auf lineare Gleichungen anwendbar.

ANMERKUNG 2 Es werden keine Leitlinien zur Definition einer ausreichenden Korrelation angeführt.

Der Datensatz muss auf atypische Werte untersucht werden.

ANMERKUNG 3 Die Analyse gewöhnlicher Restklaffungen stellt ein gutes Verfahren zur Bestimmung atypischer Werte dar.

- (3) Mithilfe der linearen Regressionsgleichung werden alle gültigen Werte der indirekten Prüfung in ihre entsprechenden Werte der Regressionsgleichung ($f_{c, is, reg}$) selbst an jenen Messstellen umgewandelt, an welchen es sich um Ergebnisse aus der tatsächlichen Prüfung von Bohrkernen handelt. Bei der Bestimmung der Werte der Regressionsgleichung darf die Regressionsgleichung nicht um mehr als 4 N/mm^2 an beiden Enden des nachgewiesenen Zusammenhanges extrapoliert werden.

ANMERKUNG 4 Wenn die Ergebnisse aus der tatsächlichen Prüfung von Bohrkernen in die Berechnungen aus 8.2.2 und 8.2.3 aufgenommen werden, werden Fehler aufgrund der Doppelzählung der Schwankung eingeführt.

- (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) verwendet werden.

8.2.2 Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons

- (1) Die mittlere Druckfestigkeit von Bauwerksbeton wird geschätzt durch:

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

- (2) Die abgeschätzte Standardabweichung des untersuchten Prüfbereiches wird bestimmt durch:

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

Dabei ist s_c der Standardfehler der Regression und s_e die Standardabweichung aller geschätzten Festigkeitswerte. Der Standardfehler der Regression wird bestimmt durch:

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

ANMERKUNG Die Gleichungen (7) und (8) sind nur dann gültig, wenn die Korrelation über zwei Parameter verfügt. Beispielsweise bei der Form ($y = a + b \cdot x$) oder ($\ln y = a + b \cdot \ln x$). Wenn dies nicht der Fall ist, wird der Term ($n - 2$) durch ($n - p$) ersetzt, wobei p die Anzahl der Parameter in der Gleichung darstellt.

- (3) Der Wert der Standardfehler der Regression in dieser Gleichung darf nicht weniger als $2,0 \text{ N/mm}^2$ betragen.
- (4) Die effektive Anzahl der Freiheitsgrade in Bezug auf die geschätzte Standardabweichung s_s wird berechnet durch:

$$n_{\text{eff}} = \frac{[s_c^2 + s_e^2]^2}{\frac{s_c^4}{n - 2} + \frac{s_e^4}{m - 1}} \quad (3)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Ergebnispaare, die zur Herstellung der Korrelationskurve verwendet werden und

m die Anzahl der geschätzten Festigkeitswerte.

- (5) Die Gleichungen (3) und (4) werden dann zur Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit des Bauwerksbetons verwendet, mit dem Unterschied, dass in der Tabelle 5 n durch $(n_{\text{eff}} + 1)$ ersetzt und auf die nächste Ganzzahl gerundet wird.

8.2.3 Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Stelle

- (1) Die Verwendung des Zusammenhanges der Mittelwerte zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Stelle gilt nicht als sicher, weil eine Wahrscheinlichkeit von 50 % besteht, dass die tatsächliche Festigkeit an diesem Punkt geringer ist als die geschätzte Festigkeit. Folglich muss die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Stelle als Wert des Ergebnisses einer indirekten Prüfung bestimmt werden, welcher auf den entsprechenden Wert der unteren Grenzkurve des Konfidenzintervalls mit einem Signifikanzniveau α von 5 % umgewandelt wird (einseitige Prüfung).
- (2) Zum Zwecke der Bauwerksbewertung wird die geschätzte Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer bestimmten Messstelle ($f_{c, \text{is, est}}$) mittels der folgenden Gleichung berechnet:

$$f_{c, \text{is, est}} = f_{c, \text{is, reg}} - t_{(0,05, n-2)} s_c \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{i, \text{cor}} - \bar{x})^2}} \quad (4)$$

Dabei ist 0,05 in $t_{(0,05, n-2)}$ der Wert von α für die einseitige Prüfung mit $(n - 2)$ Freiheitsgraden.

- (3) Gleichung (9) ist nur für lineare Korrelationen gültig. Wenn eine Linearität nach der Umwandlung der Variablen erreicht wird, müssen die umgewandelten Variablen in den Berechnungen verwendet werden.
- (4) Wenn Prüfergebnisse zur Prüfung von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm an einer bestimmten Messstelle vorliegen, dann muss dieser Wert und nicht der geschätzte Wert verwendet werden.

ANMERKUNG Ein einzelner Bohrkern mit einem Durchmesser von 50 mm reicht nicht aus, um ein ausreichendes Vertrauensniveau in den Wert der Druckfestigkeit von Bauwerksbeton an einer Messstelle herzustellen.

8.3 Einsatz indirekter Prüfungen mit Daten aus mindestens drei Prüfungen von Bohrkernen

- (1) Dieses Verfahren darf auf einen Prüfbereich angewendet werden, der nicht mehr als 30 m³ Beton umfasst, um die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton mittels indirekter Verfahren ohne Kalibrierung abzuschätzen, wenn keine Zweifel hinsichtlich der Druckfestigkeit des zugeführten Betons bestehen.

ANMERKUNG 1 Siehe Abschnitt 9 für eine Situation, in welcher Zweifel in Bezug auf die Druckfestigkeit des zugeführten Betons bestehen.

- (2) Mittels Prüfung der Ultraschall-Impulsgeschwindigkeit oder mittels Prüfung durch Rückprallhammer wird der Prüfbereich zur Bestimmung möglicher Schwankungen und Identifizierung jener Stellen, die eine niedrigere Druckfestigkeit aufweisen, untersucht. Wenn diese indirekte Prüfung diese Bereiche nicht eindeutig identifiziert, werden Kenntnisse zur Verteilung der Druckfestigkeit in den Bauelementen dazu herangezogen, mögliche Stellen für ein Kernbohren auszuwählen. Es werden mindestens drei Bohrkern mit einem Durchmesser von 80 mm bis 160 mm oder eine äquivalente Anzahl von Bohrkernen mit kleinerem Durchmesser (siehe Tabelle 3) aus dem Bereich um die Stelle mit dem niedrigsten Ergebnis bei der indirekten Prüfung entnommen und die Druckfestigkeit von Bauwerksbeton ($f_{c, \text{is}}$) wird berechnet. Wenn die Stellen der Kernbohrung Punkte im Beton sind, die im