

Bauen +

Energie, Brandschutz, Bauakustik, Gebäudetechnik



Jonny Henkel und Claudia Neuwald-Burg

+ Das Fugenbohrkernverfahren nach Helmerich/Heidel

Eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk?

Jonny Henkel

+ Prüfanleitung mit neuem Vorschlag zur Auswertung

Experimentell bestimmte Druckfestigkeit von Mauerwerk an Fugenbohrkernen nach Helmerich/Heidel

April 2021

Fraunhofer IRB ■ Verlag

Jonny Henkel und Claudia Neuwald-Burg

Das Fugenbohrkernverfahren nach Helmerich/Heidel

Eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk?

Bereits in den 1980er-Jahren entwickelten HELMERICH und HEIDEL in der ehemaligen DDR eine Methode zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk an Verbundprüfkörpern, die als Bohrkerne senkrecht zur Wandebene aus dem Mauerwerk entnommen werden. Obwohl das Verfahren sehr schnell Eingang in eine internationale Richtlinie gefunden hat [5] und baupraktisch erprobt ist, blieb sein Bekanntheitsgrad bisher gering. Dabei hat es entscheidende Vorteile. Bei der Prüfung von Fugenbohrkernen werden die Mörtelfestigkeit, der Stein-Mörtel-Verbund und die Lagerfugengeometrie unmittelbar erfasst, was nicht möglich ist, wenn Steine und Mörtel getrennt geprüft werden. Das Verfahren müsste also zu sehr genauen Ergebnissen führen. Aber stimmt das? Eine Auswertung von in- und ausländischen Untersuchungen sollte Gewissheit bringen.

Historische Entwicklung des Verfahrens

Mit der Zunahme der Sanierung und Instandsetzung historischer Mauerwerkskonstruktionen zu Anfang und Mitte des 20. Jahrhunderts ergaben sich Fragestellungen zur Druckfestigkeit des Mauerwerks. Während ursprünglich die Festigkeitsabschätzung meist anhand von Erfahrungen der Maurermeister eher subjektiv erfolgte, setzte sich nach dem Zweiten Weltkrieg immer mehr eine ingenieurtechnische Betrachtung durch, die sich an den Erkenntnissen für neu zu errichtendes Mauerwerk orientierte.

Mit dem Trend zur höheren Auslastung von Tragreserven etablierte sich seit Beginn der 1980er-Jahre die Prüfung der Mauerwerksdruckfestigkeit an genormten Verbundprüfkörpern. Diese sogenannte RILEM-Prüfung ist gegenwärtig in DIN EN 1052-1 [1] geregelt. Die für die Prüfung notwendigen Versuchskörper (Abb. 1) besitzen relativ große Abmessungen und Massen, sodass sie nicht ohne erheblichen Aufwand aus Bestandsmauerwerk entnommen werden können. Ihre Entnahme führt zudem zu großem Substanzverlust, sodass diese Prüfung nur für neu zu errich-

tendes Mauerwerk sinnvoll ist. Im Bestand werden meistens die Stein- und Mörteldruckfestigkeiten an separaten Prüfkörpern geprüft und die Mauerwerksdruckfestigkeit daraus abgeschätzt.

Aus diesem Grund wurde schon frühzeitig nach Verfahren gesucht, mit denen es möglich ist, kleinere Mauerwerksverbundkörper zu entnehmen und zu testen. Für die Entnahme solcher Probekörper eignet sich das Kernbohrverfahren. Bohrkerne sind mit baustellenüblichen Kernbohrmaschinen leicht zu gewinnen und abhängig vom Durchmesser der Bohrung gut zu handhaben. Der Substanzverlust ist meistens vertretbar (Abb. 2).

Mitte der 1980er-Jahre schlug BERGER [2] ein Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit an kleinen Bohrkerne mit mittig liegender Lagerfuge vor. Er hatte in Versuchen beobachtet, dass sich die Spaltzugfestigkeit eines Ziegelbohrkerns ohne Fuge im Verhältnis zur Spaltzugfestigkeit eines Bohrkerne mit Fuge in demselben Maß abschwächt, wie die Druckfestigkeit des Mauerwerks im Vergleich zur Druckfestigkeit eines ganzen Ziegels. Mithilfe von Geometriefaktoren kann aus diesem Zusammenhang auf die Mauerwerksdruckfestigkeit geschlossen werden.

Ebenfalls Mitte der 1980er-Jahre entstanden an der Bauakademie der DDR Überlegungen, die Mauerwerksfestigkeit unmittelbar an Fugenbohrkernen zu prüfen und in RILEM-Festigkeits umzurechnen. Ein Problem dabei war die Prüfung der runden Bohrkerne in Einbaulage. HELMERICH schlug 1984 vor, spezielle, an den Bohrkern angepasste Lasteinleitungskalotten zu verwenden (Abb. 3). Dieses Verfahren wurde nach wenigen Vorversuchen 1985 durch HELMERICH, NIER, REISSENWEBER und WEISHEIT als Patent angemeldet [3].

KERNAUSSAGEN

- Fugenbohrkernverfahren sind vergleichsweise substanzschonend und einfach anwendbar.
- Die Prüfergebnisse nach Helmerich/Heidel können unmittelbar in Mauerwerksdruckfestigkeiten umgerechnet werden.
- Prüfanleitung zu Anwendung des Fugenbohrkernverfahrens nach Helmerich/Heidel



Abb. 1: RILEM-Versuchskörper (Verbandsmauerwerk)



Abb. 2: Gezielte Bohrkernentnahme nach Entfernen des Putzes

Ab 1987 bis 1989 führte HEIDEL an der TH Leipzig im Rahmen einer Dissertation umfangreiche Untersuchungen zu Randbedingungen und Anwendbarkeit des Verfahrens durch [4]. Aufgrund der Mangelwirtschaft in der ehemaligen DDR standen ihm nur Bohrkronen mit einem Innendurchmesser $d = 150 \text{ mm}$ zur Verfügung, sodass sich alle Untersuchungsergebnisse auf diesen Durchmesser beziehen (Abb. 4). Die Arbeit von HEIDEL wurde als Forschungsbericht SBI/130/3/54 der Bauakademie der DDR [4] publiziert.

Ein Forschungspartner dieser Untersuchungen war die Deutsche Reichsbahn (Staatsbahn der DDR), Wissenschaftlich-technisches Zentrum für Eisenbahnanlagen und Baustofftechnologie Magdeburg (später Zentralstelle Bahnanlagen Magdeburg), die sich von den Forschungsergebnissen Hilfsmittel für die Untersuchung und Bewertung gemauerter Bogenbrücken erhoffte und somit ebenfalls den Forschungsbericht erhielt. Durch Mitarbeiter dieser Einrichtung fand das Verfahren in einer speziellen Form Eingang in den UIC-Kodex 778-3 des Internationalen Eisenbahnverbandes von 1995 [5] (Abb. 5).

In der darauffolgenden Zeit wurde in Deutschland zunächst nur noch eine weiterführende Untersuchung zu diesem Prüfverfahren im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Dresden durchgeführt (KRÄMER, 1998) [7]. Auf-

grund der Veröffentlichung des internationalen Eisenbahnverbandes wurde das Verfahren jedoch in mehreren Forschungsvorhaben außerhalb Deutschlands weiter untersucht, so z. B. von BILELLO, BRENCICH, DI PAOLA und STERPI in Italien (2006) [8] [9] [10], MATYSEK in Polen (2014) [11] sowie PELA, ROCA und BENEDETTI in Spanien (2016) [12].

Insbesondere die Ergebnisse der italienischen Forschergruppe führten in den späteren Ausgaben des UIC-Kodex 778-3 [6] [7] [21] [22] zu einer Veränderung bei der vorgeschriebenen Lasteinleitung sowie zu einer deutlichen Erhöhung des Faktors zur Umrechnung in die RILEM-Festigkeit.

Erst in jüngster Zeit wird das Verfahren auch wieder bei deutschen Forschungen mit bedacht und in verschiedenen Masterarbeiten aufgegriffen, namentlich von DÜRKOP (2019) [14], WEYDERT (2020) [15] und WELKER (2020) [16]. Im Vergleich zu den umfangreichen systematischen Untersuchungen von HEIDEL stellen Untersuchungen nach dem Fugenbohrkernverfahren nach HELMERICH/HEIDEL in diesen Arbeiten nur Teilaspekte dar. Die Ergebnisse geben aber wertvolle Hinweise darauf, welche Schwierigkeiten bei der Anwendung des Verfahrens auftreten können und was bei der Auswertung berücksichtigt werden muss.

Da sich die Prüfbedingungen der meisten bereits genannten Forschungsarbeiten deutlich unterscheiden, werden im Folgenden zunächst die wesentlichen Randbedingungen wie Fugenbild, Lasteinleitung und Beschaffenheit der Vergleichsversuchskörper aufgeführt. Es wird dann diskutiert, ob bzw. wie die Versuchsergebnisse verwendet werden können, um eine gemeinsame Auswertung aller vorliegenden Forschungsergebnisse zu ermöglichen.

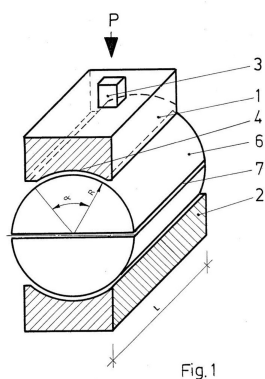


Abb. 3: Eine der beiden Vorrichtungsvarianten der Patentschrift mit einer Lagerfuge in der Mitte des Prüfkörpers ([3], S. 3)

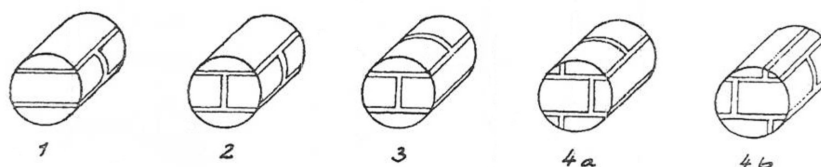


Abb. 4: Von HEIDEL untersuchte Fugenbilder ([4], S. 171)

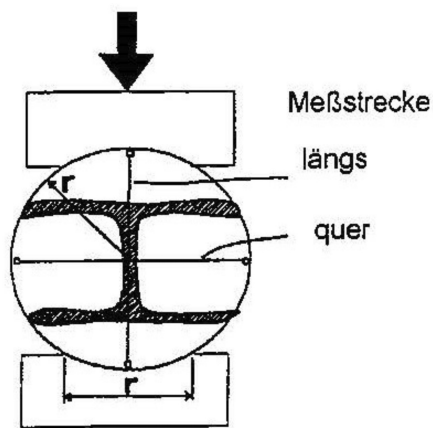


Abb. 5: Prüfanordnung nach UIC-Kodex von 1995 ([5], S. 39; Anhang 2)

Nationale und internationale Forschungsergebnisse

HEIDEL (1989, DDR)

HEIDEL untersuchte die grundsätzliche Anwendbarkeit des Verfahrens und führte dazu zahlreiche Vorüberlegungen und spannungsoptische Untersuchungen durch. Als deren Ergebnis entstand die konvexe Form der angepassten Lastverteilungskalotten. Des Weiteren ergab sich eine Spannungsverteilungskonstante $k_s = 1,3$.

Zudem stellte er bei ersten Versuchen fest, dass die in der Patentbeschreibung genannten Zwischenlagen Leder, Teflon oder Gewebe zu Spannungsspitzen und verfrühtem Bruch führten. Der Grund dafür sind unvermeidbare Unebenheiten der Bohrkernoberfläche beim Bohrvorgang, insbesondere infolge geringfügig abweichender Durchmesser von Bohrkern und Kalotten. Aus diesem Grund wurde Zementmörtel oder, wegen der geringeren Erhärnungszeiten, Gips zum Abgleich zwischen Bohrkern und Kalotte empfohlen und verwendet (Abb. 6).

Mit den genannten Prüfbedingungen führte HEIDEL 109 Versuche durch, bei denen verschiedene Fugenbilder (siehe Abb. 2), verschiedene Steine (Mauerziegel unterschiedlicher Festigkeiten, Klinker und Kalksandsteine) und verschiedene Mörtel (Kalk-, Kalkzement- und Zementmörtel) kombiniert wurden.

In Auswertung seiner Ergebnisse wurde die Fugenbildform 1 aus Abb. 4 (keine Stoßfuge im Querschnitt) aufgrund ihrer geringeren Ergebnisstreuungen als aussagekräftigste Prüfvariante hervorgehoben. Für das Fugenbild 2 (mittlere Stoßfuge) ergaben sich deutlich höhere Streuungen und durchschnittlich etwa um den Faktor 0,8 geringere Prüfwerte. Warum dieses Fugenbild 2 später als Standardvariante des UIC-Kodex verwendet wurde, kann jedoch nur spekuliert werden. Es ist zu vermuten, dass bei den nach UIC zu prüfenden Gewölbebrücken häufig keine Läufer auf der Mauerwerksoberfläche vorhanden sind, was die Einhaltung des Fugenbilds 1 unmöglich macht.

Zur Kalibrierung der Versuchsergebnisse wurden für die 13 Stein-Mörtel-Kombinationen je drei bis sechs RILEM-Mauerwerksprüfkörper hergestellt und geprüft. Die Mauerwerksprüfkörper waren als Verbandsmauerwerk mit Ab-



Abb. 6: Abdruck von Unebenheiten des Bohrkerns auf einem Stück des Abgleichgipses (eigene Versuche J. Henkel)

messungen von ca. 24 cm Breite und 49 cm Länge sowie Höhen von 42 oder 58 cm ausgeführt.

In Auswertung der Untersuchungsergebnisse ergab sich ein linearer Umrechnungsfaktor (Bohrkernfestigkeit in RILEM-Festigkeit) von $k_{RILEM} = 0,8$ für Mauerziegel und $k_{RILEM} = 0,7$ für höherfeste Klinker.

Nach HEIDEL berechnet sich somit die Mauerwerksfestigkeit an einer Untersuchungsstelle nach Gleichung (1):

$$f_{ma,i} = k_{RILEM} \cdot k_s \cdot F_{max} / A_{mid} \quad (1)$$

mit

$f_{ma,i}$ = experimentell bestimmte Mauerwerksdruckfestigkeit,
 $k_{RILEM} = 0,8$ (0,7) Faktor für Umrechnung Fugenbohrkern auf RILEM-Prüfkörper,
 $k_s = 1,3$ Spannungsverteilungskonstante,
 F_{max} = Bruchlast,
 A_{mid} = Mittelfläche des Bohrkerns (Länge × Durchmesser).

Somit ergibt sich ein Gesamtumrechnungsfaktor (Bohrkernfestigkeit in Mauerwerksfestigkeit) von $k_{RILEM} \cdot k_s = 1,04$.

KRÄMER (1998, DE)

KRÄMER [7] führte analog zu den Prüfbedingungen von HEIDEL zwölf Versuche durch, wobei sechs Versuche an einem »schlechten Mauerwerk« (MG I, SFK 12) und sechs Versuche an einem »guten Mauerwerk« (MGIII, SFK 20) gemacht wurden. Als RILEM-Referenzkörper wurde Verbandsmauerwerk mit Abmessungen von ca. 24 cm Breite und 77 cm Länge sowie einer Höhe von 103 cm verwendet, wobei für jede Mauerwerksart zwei RILEM-Prüfkörper geprüft wurden. Als Fugenbild wurde die Variante 1 nach HEIDEL gewählt.

KRÄMER stellte bei der Auswertung seiner Untersuchungen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von HEIDEL für das geringfeste Mauerwerk fest, das höherfeste Mauerwerk wurde mit dem Ansatz jedoch deutlich unterschätzt.

BILELLO, BRENCICH, CORRADI, DI PAOLA, STERPI (2006 bis 2007, IT)

Die Wissenschaftler der Universitäten Genua und Palermo veröffentlichten 2006 und 2007 mehrere Aufsätze (u. a.



Abb. 7: Prüfkörper nach dem Bruch (als Zwischenlage Bleiplatten) ([10], S. 951)



Abb. 8: Prüfkörper nach dem Bruch ohne Zwischenlage ([11], S. 95)

[8] [9] [10]), die sich im Wesentlichen alle auf ein Untersuchungsprogramm beziehen. An drei Stein-Mörtel-Kombinationen (zwei Steinarten und drei unterschiedliche Mörtel) wurden je drei Bohrkerne und drei Referenzprüfkörper (24 cm × 24 cm × 40 cm) geprüft. Die Referenzprüfkörper waren im Verband gemauert und entsprachen aufgrund ihrer geringen Länge nicht den Anforderungen an RILEM-Prüfkörper.

Die Prüfung erfolgte an Bohrkernen mit dem Fugenbild 2 aus Abb. 4 (UIC-Kodex). Anhand der Fotodokumentation ist ersichtlich, dass eine Zwischenlage teilweise nicht verwendet wurde und teilweise Bleiplatten als Zwischenlage zur Anwendung kamen (Abb. 7).

Die Ergebnisse der Prüfungen, die durch FEM-Berechnungen ergänzt wurden, ergaben einen Gesamtumrechnungsfaktor (Bohrkernfestigkeit in Mauerwerksfestigkeit) von $k_{RILEM} \cdot k_s = 1,8$. Dieser Wert wurde vermutlich bei der Überarbeitung des UIC-Kodex 778-3 2011 als neuer Umrechnungsfaktor verwandt. Gleichzeitig wurde im UIC-Kodex von 2011 auch das in der Version von 1995 geforderte Abgleichen mit Zementmörtel durch das Einlegen von Bleiplatten ersetzt.

MATYSEK (2014, PL)

An der Universität Krakau wurden von MATYSEK Untersuchungen an einem relativ geringfesten Bestandsmauerwerk eines historischen Gebäudes durchgeführt [11]. Es wurden 15 Bohrkerne aus zwei verschiedenen Bestandsmauerwerken mit dem Fugenbild 2 aus Abb. 4 entnommen. Zur Kalibrierung wurden Mauerwerksprismen mit den Abmaßen von ca. 40 cm × 60 cm × 70 cm aus dem Bestandsmauerwerk herausgesägt.

Die Prüfung der Bohrkern erfolgte nach Angaben des Autors zum Teil ohne Zwischenlage (siehe Abb. 8) und bei deutlichen Unebenheiten mit einer sehr dünnen Gipsabgleichsschicht.

Die Auswertung bestätigte in etwa die Ergebnisse von BRENCICH (siehe Abschnitt 2.3). Als Gesamtumrechnungsfaktor (Bohrkernfestigkeit in Mauerwerksfestigkeit) ergab sich ein Wert von $k_{RILEM} \cdot k_s = 1,75$.

PELA, ROCA, BENEDETTI (2016, ES/IT)

Das spanisch-italienische Forscherteam veröffentlichte 2016 die Ergebnisse von zwölf Versuchen an einem Mauerwerk mit geringen Stein- und Mörtelfestigkeiten [12]. Dafür wurden sechs Fugenbohrkerne nach dem Fugenbild 2 (UIC) und sechs Fugenbohrkerne nach dem Fugenbild 1 nach Abb. 4 (Empfehlung HEIDEL) entnommen. Während bei den bisher aufgeführten Untersuchungen vorwiegend normalformatige und reichsformatige Steine zur Anwendung kamen, wurden hier deutlich größere, flache Ziegel mit Abmaßen verwendet, die im Mittelmeerraum in historischem Mauerwerk häufig vorkommen (27,6 cm × 13,3 cm × 43,0 cm).

Um das Problem der Ankopplung der Bohrkern an die Prüfkalotten zu umgehen, erfolgte ein Anbetonieren von Blöcken aus hochfestem Beton an die Bohrkern (Abb. 9). Grundlagen für diese Vorgehensweise wurden 2014 von SASSONI, MAZZOTTI und PAGLIAI an der Universität Bologna erarbeitet, die mittels dieser Mörtel- bzw. Betonkappen bereits Versuche an Mauerwerksbohrkernen mit einem Durchmesser von ca. 100 mm in Anlehnung an die UIC-Prüfung vornahmen [13].

Kalibriert wurden die Ergebnisse an drei 5-Stein-Prüfkörpern mit den Abmaßen 28 cm × 13 cm × 34 cm.

In Auswertung der Ergebnisse war festzustellen, dass die Bohrkerne mit dem Fugenbild 2 gegenüber dem Fugenbild 1 analog zu den Ergebnissen von HEIDEL ca. 80 % niedrigere Werte lieferten und die Ergebnisse stärker streuten. Im Verhältnis zum Prisma ergab sich beim Fugenbild 1 ein Gesamtumrechnungsfaktor (Bohrkernfestigkeit in Mauerwerksfestigkeit) von $k_{RILEM} \cdot k_s = 1,04$, was den von HEIDEL ermittelten Umrechnungen entspricht.

DÜRKOP (2019, DE)

2019 wurden im Rahmen einer Masterarbeit an der TH Lübeck durch DÜRKOP [14] Vergleichsversuche zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Ziegelmauerwerk ausgeführt, u. a. auch zwölf Versuche an Fugenbohrkernen mit dem Fugenbild 2. Als Zwischenlage wurde bei neun Proben ein Kunststoffflies verwendet und bei drei Proben ein Ze-

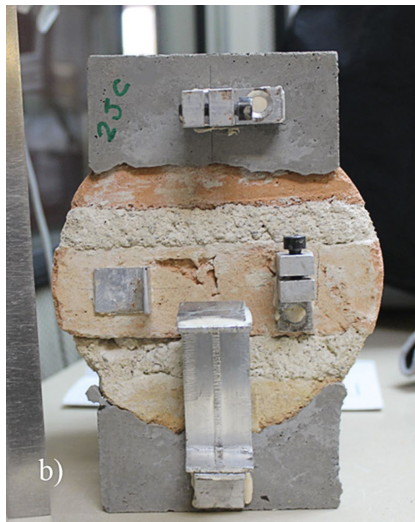
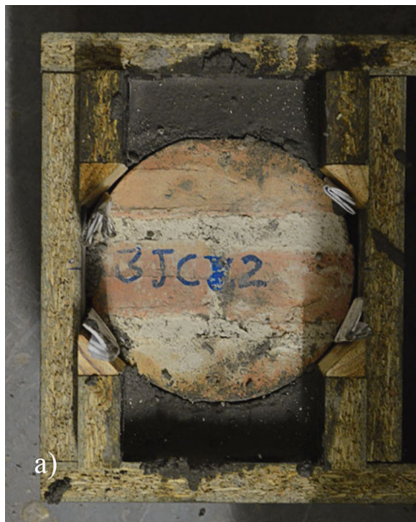


Abb. 9 a + b: Eingeschalter und fertiger Prüfkörper mit Betonkappen ([12], S. 364)

mentmörtel. Als Referenzkörper wurden Einstein-RILEM-Prüfkörper im einfachen Läuferverband mit den Abmaßen 51 cm × 12 cm × 40 cm verwendet.

Der Gesamtumrechnungsfaktor lag bei den Untersuchungen deutlich unterhalb der Empfehlungen von HEIDEL. Zudem streuten die Ergebnisse sehr stark.

WEYDERT (2020, DE)

Ebenfalls im Rahmen einer Masterarbeit führte WEYDERT [15] 2020 in Karlsruhe Versuche zur Prüfung von Mauerwerkbauteilen im massiven Verkehrswasserbau durch. Da traditionell im Wasserbau Mauerwerk hoher Festigkeit ausgeführt wird, wurden hier auch Steine und Mörtel extrem hoher Festigkeit für die Versuche gewählt (Abb. 10). Prüfungen an Fugenbohrkernen erfolgten am Fugenbild 1 (sechs Prüfkörper) und am Fugenbild 2 (sechs Prüfkörper). Als Zwischenlage kamen Bleiplatten zur Anwendung.

Als Vergleichskörper wurden RILEM-Prüfkörper aus Verbandsmauerwerk mit den Abmessungen 49 cm × 24 cm × 40 cm verwendet. Die mittlere Festigkeit lag bei 54 N/mm² und war damit im Vergleich zu Bestandsmauerwerk extrem hoch.



Abb. 10: Versuchskörper von WEYDERT [15] mit den Fugenbildern 1 (links) und 2 (rechts)

WEYDERT stellte anhand ihrer Untersuchungsergebnisse fest, dass die Auswertung nach HEIDEL das hochfeste Mauerwerk bei Weitem unterschätzte.

WELKER (2020, DE)

Ebenfalls an der TH Lübeck erfolgten 2020 durch WELKER [16] vergleichende Versuche an Kalksandstein-Mauerwerk im Rahmen einer Masterarbeit. Hierbei wurden wiederum zwölf Prüfungen an Fugenbohrkernen durchgeführt (neun Versuche mit dem Fugenbild 2, drei Versuche mit dem Fugenbild 1). Als Zwischenlage wurde analog zu dem Vorgehen von HEIDEL Gips verwendet. Als Referenzgröße wurden Einstein-RILEM-Prüfkörper mit den Abmaßen

49 cm × 12 cm × 40 cm hergestellt.

Die Untersuchungen sind mit den Ergebnissen von HEIDEL nur bedingt vergleichbar, weil HEIDEL Verbands-RILEM-Prüfkörper und WELKER Einstein-RILEM-Prüfkörper als Referenzgröße verwendete. Vermindert man die RILEM-Festigkeitswerte von WELKER aber mit dem Faktor 0,8, der nach DIN EN 1996-1-1 [17] für die Umrechnung von Einstein- zu Verbandsmauerwerk gilt, zeigt sich eine gute Entsprechung zu den Ergebnissen von HEIDEL.

GIGLA (2020, DE)

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Fugenbohrkernverfahren nach BERGER teste GIGLA drei Mauerwerksproben in Anlehnung an das Verfahren nach UIC 778-3 [18]. Die Lasteinleitung erfolgte auf der oberen Seite analog den Vorgaben von HEIDEL mit einer konkaven Lasteinleitungsplatte und einem dünnen Gipsabgleich, unten wurde die Lasteinleitungsplatte mit einer rechteckigen, mit Zementmörtel verfüllten Aussparung versehen, in die der Prüfkörper eingelegt wurde. Die Prüfung erfolgte an Mauerwerk mit sehr hoher Steinfestigkeit.

Die in [18] lediglich qualitativ bewerteten Ergebnisse verweisen auf eine deutliche Unterschätzung der Mauerwerksfestigkeit durch die Bohrkernprüfung, was mit den Erkenntnissen von KRÄMER und WEYDERT bei höherfestem Mauerwerk übereinstimmt.

Vergleich der Forschungsergebnisse

Vergleichbarkeit der Untersuchungen

Bei der Betrachtung der in- und ausländischen Forschungsergebnisse fällt auf, dass sich sowohl die Prüfungsdurchführung des Fugenbohrkernverfahrens als auch das Aussehen der Referenzprüfkörper z. T. deutlich unterscheiden und die Ergebnisse nicht unmittelbar oder gar nicht verglichen werden können. Insbesondere scheinen die Ergebnisse von der Art der Zwischenlage sowie der Form des Referenzprüfkörpers beeinflusst zu sein. Zudem unterscheiden sich

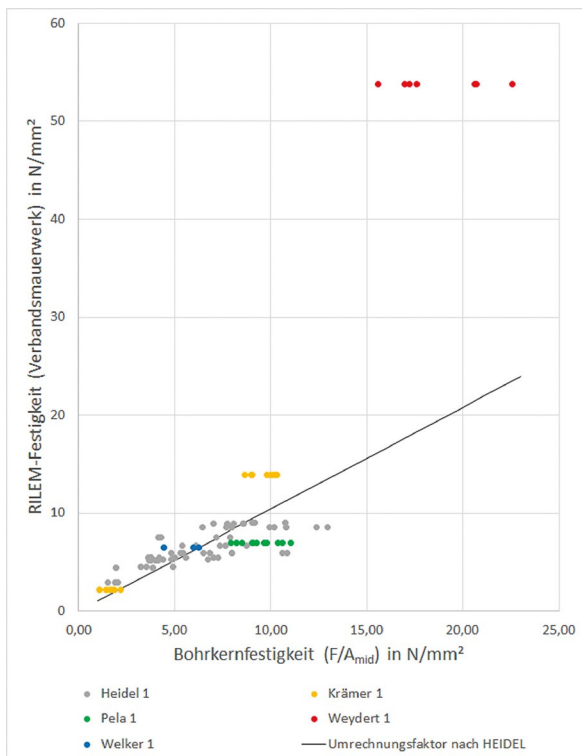


Abb. 11: Alle vorliegenden Ergebnisse zum Fugenbild 1

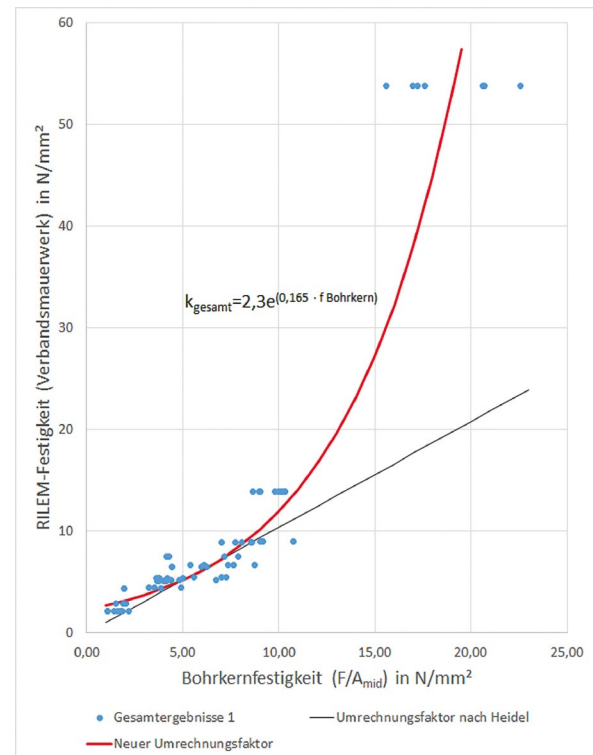


Abb. 13: Verbleibende Werte und näherungsweise Umrechnungsfunktionen zum Fugenbild 1

auch die verwendeten Fugenbilder der Bohrkerne (Fugenbild 1 und/oder Fugenbild 2).

Diese deutlichen Unterschiede in der Prüfungsausführung sind sicherlich den unterschiedlichen Vorgaben von HEIDEL bzw. des UIC-Kodex in seinen verschiedenen Ausgaben von 1995, 2011 und 2018 geschuldet. Alle diese Dokumente enthielten keine eindeutige Prüfanleitung. Sie fehlt auch in der aktuellen Ausgabe des UIC 778 [22]. Eine solche Prüfanleitung wurde nun in Abstimmung mit HEIDEL erarbeitet und im Dezember 2020 als Anhang an den WTA Merkblattentwurf WTA E-7-4 »Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen« [20] veröffentlicht.



Abb. 12: Bleizwischenlage nach dem Druckversuch

Fugenbild 1

Grundsätzlich müssen bei einem Vergleich der Forschungsergebnisse die untersuchten Fugenbilder getrennt voneinander betrachtet werden. Zum Fugenbild 1 liegen Ergebnisse von HEIDEL, KRÄMER, PELA, WEYDERT und WELKER vor, die in Abb. 11 grafisch dargestellt sind. Zudem wurde der Gesamtumrechnungsfaktor von HEIDEL ($k_{\text{RILEM}} \cdot k_s = 1,04$) mit in das Diagramm integriert.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass im unteren Bereich der Mauerwerksfestigkeit eine nahezu lineare Tendenz vorhanden ist, die mit dem Faktor von HEIDEL gut übereinstimmt. Erst beim Mauerwerk höherer Festigkeit sind Werte vorhanden, die deutlich oberhalb der Umwertung von HEIDEL liegen, was von KRÄMER und WEYDERT auch angemerkt wurde. Zugleich sind aber bei HEIDEL und PELA auch Werte vorhanden, die unterhalb der Geraden liegen.

HEIDEL, KRÄMER und WELKER prüften die Fugenbohrkerne unter den gleichen Bedingungen (Eingipsen in Prüfkalotten). Lediglich bei den RILEM-Vergleichskörpern sind Unterschiede vorhanden. Da mit Ausnahme von WELKER alle Forschungen zum Fugenbild 1 an RILEM-Vergleichskörpern aus Verbandsmauerwerk gemacht wurden, werden die Ergebnisse von WELKER vereinfachend mit dem o. g. Faktor 0,8 von Einsteinmauerwerk in Verbandsmauerwerk umgerechnet. Somit sind die Werte dieser drei Arbeiten vergleichbar.

PELA verwendete ein deutlich abgewandeltes Prüfverfahren mit angegossenen Betonblöcken, deren Abmaße zudem nicht den von HEIDEL entworfenen Prüfkalotten entsprechen. Somit werden die Ergebnisse von PELA in der weiteren Betrachtung nicht mehr mitberücksichtigt.

WEYDERT verwendete im Unterschied zu HEIDEL als Zwischenlage Bleiplatten (Abb. 12). Blei besitzt nach [19]

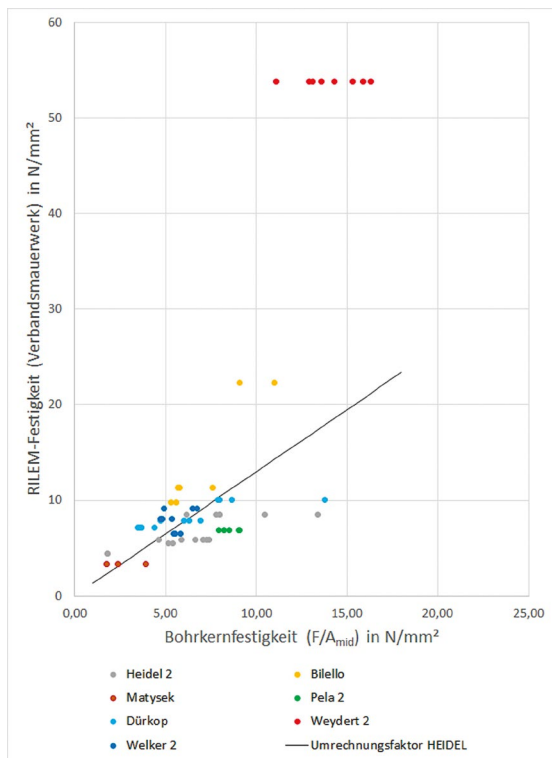


Abb. 14: Alle vorliegenden Ergebnisse zum Fugenbild 2

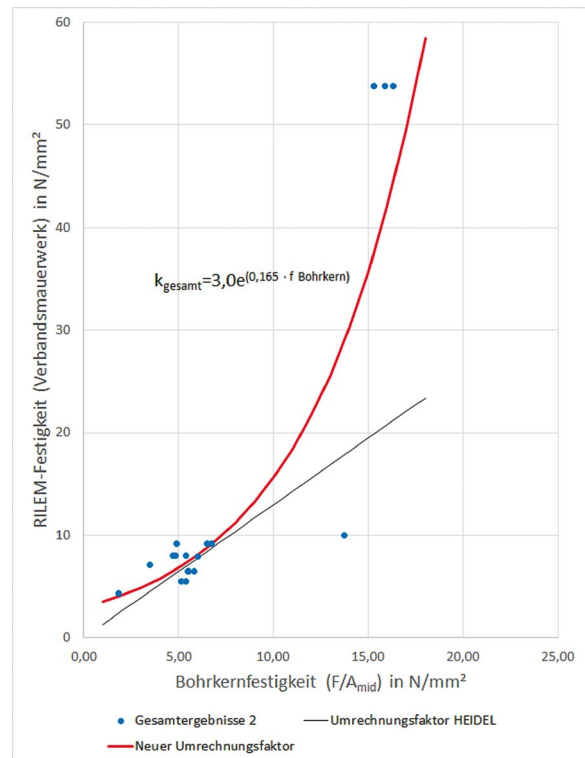


Abb. 15: Verbleibende Werte und näherungsweise Umrechnungsfunktionen zum Fugenbild 2

eine Druckfestigkeit von 12,5 bis 30 N/mm². Geht man davon aus, dass zu einem guten Ausgleich der Bohrkernunebenheiten die Bleiplatten in einem nahezu plastischen Zustand vorliegen müssen, sollte die Druckfestigkeit des Bleis vor dem Versagen der Bohrkern annähernd erreicht sein. Bei einer Kontaktfläche zum Bohrkern von ca. 240 mm × 75 mm ist dafür eine Kraft zwischen 225 und 540 kN notwendig, was bezogen auf die Mittelfläche des Bohrkerns zu Bohrkernfestigkeiten von 6,25 bis 15 N/mm² führt. Auf der sicheren Seite liegend ist deshalb erst ab Bohrkernfestigkeiten von ca. 15 N/mm² von einem guten Ausgleich der Bohrkernunebenheiten durch die Bleiplatten auszugehen. Da die Bohrkernfestigkeiten von WEYDERT aufgrund der extrem festen Komponenten jedoch oberhalb dieses Grenzwerts liegen (15,6 bis 20,7 N/mm²), kann davon ausgegangen werden, dass die Bleiplatten hier einen guten Ausgleich bewirkt haben. Die Ergebnisse wurden deshalb zur Auswertung mit herangezogen.

Zuletzt wurden im Rahmen der Vergleichbarkeit noch die verwendeten Ausgangstoffe, insbesondere die verwendeten Mauersteine, betrachtet. Die meisten Mauersteine besitzen nur relativ geringe Druckfestigkeitsschwankungen mit Variationskoeffizienten von bis zu 25 %. Bei HEIDEL wurden jedoch auch Klinker geprüft, deren stark streuende Qualität bereits damals bei der Auswertung der Ergebnisse auffiel. Die Klinkerdruckfestigkeiten besitzen Variationskoeffizienten von 38 %, was sich auch bei den daraus hergestellten RILEM-Prüfkörper widerspiegelte (Festigkeitsstreuungen ebenfalls 38 %). Aufgrund dieser großen Streuungen wurden die Ergebnisse dieses Klinkermauerwerks ebenfalls für die weitere Auswertung nicht mitberücksichtigt.

Unter Verwendung der verbleibenden Werte ergibt sich ein eher exponentieller Verlauf der Beziehung zwischen der

Bohrkernfestigkeit und der RILEM-Festigkeit (Abb. 13). Im Bereich kleinerer Mauerwerksfestigkeiten liegt die Funktion im Bereich des linearen HEIDELschen Umrechnungsfaktors.

Für die Umrechnung von der Bohrkernfestigkeit in die RILEM-Festigkeit ergibt sich unter Verwendung der Regressionsfunktion näherungsweise:

$$f_{ma,i} = 2,3 \cdot e^{(0,165 \cdot F_{max} / A_{mid})} \quad (2)$$

Vereinfachend kann auch bis zu einer Bohrkernfestigkeit von etwa 10 N/mm² der lineare Faktor von HEIDEL (1,04) weiterverwendet werden und nur bei höheren Festigkeiten eine genauere Bewertung nach Gleichung (2) erfolgen.

Fugenbild 2

Schwieriger gestaltet sich der Ergebnisvergleich beim Fugenbild 2, da die Randbedingungen der vorliegenden Untersuchungsergebnisse noch stärker variieren und die Ergebnisse deutlich stärker streuen.

In Abb. 14 sind alle vorliegenden Ergebnisse zum Fugenbild 2 grafisch aufbereitet. Zudem ist der für das Fugenbild 1 bekannte HEIDELsche Umrechnungsfaktor 1,04 durch 0,8 dividiert worden, da sich bei den Untersuchungen von HEIDEL und auch PELA gezeigt hatte, dass Bohrkern mit dem Fugenbild 2 etwa 80 % niedrigere Werte liefern, als Bohrkern mit dem Fugenbild 1.

Bei der Überlegung, welche Ergebnisse vergleichbar sind, entfallen die Untersuchungen von BILLELO, MATYSEK und ein Teil der Ergebnisse von DÜRKOP, weil eine abweichende Zwischenlage verwendet wurde. Die Ergebnisse von PELA können aufgrund der bereits bei Fugenbild 1 genannten Problematik nicht verwendet werden, ebenso wie die Ergebnisse von

HEIDEL mit den stark streuenden Steineigenschaften und die Ergebnisse von WEYDERT mit Bohrkernfestigkeiten $< 15 \text{ N/mm}^2$.

Trotz der verbliebenen wenigen Werte ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Fugenbild 1 (Abb. 15). Erstellt man die Regressionsfunktion auf exponentieller Basis, ergibt sich eine Funktion, die sich von der Funktion beim Fugenbild 1 um den Faktor $1/0,77$ unterscheidet. Damit bestätigen sich die Aussagen von HEIDEL und PELA, dass die Ergebnisse des Fugenbildes 2 ca. 80 % niedriger liegen als beim Fugenbild 1.

Die Umrechnung von der Bohrkernfestigkeit in die RILEM-Festigkeit ergibt sich unter Verwendung der Regressionsfunktion beim Fugenbild 2 näherungsweise zu:

$$f_{\text{ma},i} = 3 \cdot e^{(0,165 \cdot F_{\text{max}} / A_{\text{mid}})} \quad (3)$$

Für kleine Mauerwerksfestigkeiten mit Bohrkernfestigkeiten bis ca. 8 N/mm^2 gilt weiterhin der lineare Ansatz nach HEIDEL ($1,04/0,8$).

Anmerkungen zu Ergebnisstreuungen

Bei der Betrachtung der Versuchsergebnisse fiel auf, dass die Streuungen (Variationskoeffizienten) der Bohrkernfestigkeiten bei Untersuchungen mit dem Fugenbild 1 in der Regel relativ gering und häufig kleiner als die Streuungen der Steinfestigkeiten sind. Um diese Beobachtung zu quantifizieren, wurden an den vorhandenen Datensätzen zum Fugenbild 1 die Streuungen der Festigkeit der verwendeten Steine und die Streuungen der Festigkeit der untersuchten Fugenbohrkerne gegenübergestellt (Abb. 16).

Die Datensätzen 1 bis 10 sind die Ergebnisse von HEIDEL. Die relativ hohen Variationskoeffizienten der Steine sind vermutlich auf Qualitätsschwankungen der in der ehemaligen DDR hergestellten Materialien zurückzuführen. Bei den Reihen 1 bis 3 handelt es sich um Kalksandsteine, die Reihen 4 bis 10 gehören zu Ziegeln. Die Datensätze 11 und 12 stammen von KRÄMER (Ziegel), der Datensatz 13 von WEYDERT (Klinker) und der Datensatz 14 von WELKER (Kalksandsteine). Bei diesen letzten vier Serien, deren Materialien nach 1990 hergestellt wurden, sind die Variationskoeffizienten der Steindruckfestigkeit durchschnittlich deutlich niedriger. Lediglich die Festigkeiten der Kalksandsteine der Serie 14 streuen etwas stärker.

Vergleicht man den Variationskoeffizienten der jeweiligen Steindruckfestigkeit mit dem Variationskoeffizienten der Bohrkerndruckfestigkeit, so ist festzustellen, dass bei 10 der 14 Serien tatsächlich die Streuung der Bohrkernfestigkeit geringer ist als bei den Ziegeln, die für die Herstellung des jeweiligen Mauerwerks verwendet wurden. Bei einem weiteren Datensatz (13) ist der Variationskoeffizient der Bohrkernfestigkeit mit $V_k = 12 \%$ sehr gering. Lediglich an drei Datensätzen (5, 7 und 11) ist die Streuung der Bohrkernfestigkeit deutlich größer als die Streuung der Steinfestigkeit und nur bei lediglich einer Prüfserie liegt der Variationskoeffizient oberhalb 25 %.

Diese Feststellung deckt sich mit Beobachtungen aus der Praxis. Bei der Prüfung von historischem und homogenem Mauerwerk aus einer Entstehungsphase steigen die Variationskoeffizienten der Bohrkernfestigkeit nur selten über 25 % und liegen meist im Bereich von 10 bis 20%. Ursa-

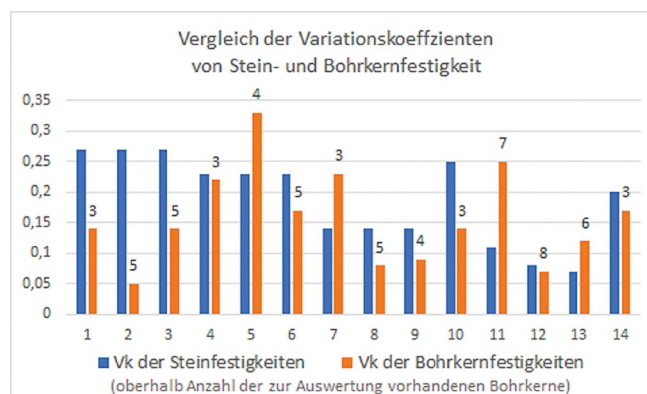


Abb. 16: Vergleich der Variationskoeffizienten von Stein- und Bohrkernfestigkeiten beim Fugenbild 1

che für dieses Verhalten ist möglicherweise, dass sich in den Fugenbohrkernen größere und kleinere Ziegelfestigkeiten etwas gegeneinander ausgleichen, was zur Homogenisierung der Festigkeiten beiträgt.

Gesamtauswertung

Zusammenfassend lässt sich zu den vorliegenden Untersuchungen sagen, dass sowohl bei der Wahl des verwendeten Fugenbildes, bei der Durchführung der Prüfung (insbesondere bei der verwendeten Zwischenlage) als auch bei der Beschaffenheit der verwendeten Referenzprüfkörper zum Teil deutliche Unterschiede bestehen und die einzelnen Forschungsergebnisse nur bedingt vergleichbar sind.

Nach der Überprüfung der Randbedingungen (verwendete Zwischenlage, Streuung der Steindruckfestigkeit, verwendete Referenzprüfkörper) ergaben sich jedoch für das Fugenbild 1 (ohne Vertikalfuge in der Mitte) eine ganze Anzahl und für das Fugenbild 2 (mit Vertikalfuge in der Mitte) zumindest einige vergleichbare Ergebnisse, an denen eine Auswertung durchgeführt werden konnte.

Dabei zeigte sich, dass bei geringeren Bohrkernfestigkeiten bis ca. 8 bis 10 N/mm^2 der von HEIDEL entwickelte lineare Umrechnungsansatz Gültigkeit besitzt, dass er jedoch bei höheren Mauerwerksfestigkeiten zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Mauerwerksfestigkeit führt. Aus diesem Grund wurde sowohl für das Fugenbild 1 als auch für das Fugenbild 2 eine näherungsweise Umrechnungsfunktion auf exponentieller Basis für die Umwertung aller im Versuch bestimmten Bohrkernfestigkeiten in die jeweilige korrespondierende Mauerwerksdruckfestigkeit angegeben. Es ist jedoch anzumerken, dass besonders im Bereich größerer Mauerwerksfestigkeiten nur wenige Prüfwerte zur Auswertung zu Verfügung standen, sodass dieser Bereich bei weiteren Forschungsarbeiten zu diesem Thema besonders mitberücksichtigt werden sollte. Zudem wäre es wünschenswert, zu diesem Prüfverfahren koordinierte Ringversuche an verschiedenen Einrichtungen durchzuführen, um die bisherigen Erkenntnisse weiter zu vertiefen.

Beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse wurde festgestellt, dass die ab der 2. Ausgabe des UIC-Kodex 778-3 als Zwischenlage geforderten Bleiplatten erst bei sehr hohen Bohrkernfestigkeiten ($> 15 \text{ N/mm}^2$) zu einem guten Eindrücken der stets vorhandenen Unebenheiten des Bohrkerns führen. Auch der in den neueren Ausgaben des UIC-

Kodex 778-3 genannte Umrechnungsfaktor von 1,8 bzw. 2,2 ist bei einer Prüfung nach den Vorgaben von HEIDEL (siehe Anhang) als kritisch und auf der unsicheren Seite liegend anzusehen.

Das nach HEIDEL als günstigste Variante zu prüfende Fugenbild 1 führt hingegen bei sachgerechter Ausführung und einer Abgleichschicht aus Gips, wie sie in Abb. 6 gezeigt wird, zu sehr homogenen Prüfergebnissen der Bohrkernfestigkeit. Ihre Festigkeitsstreuungen liegen meist unter denen der Ziegelfestigkeit des untersuchten Mauerwerks.

Um verlässliche und mit den bekannten Daten vergleichbare Druckfestigkeiten messen zu können, müssen bei den Versuchen immer die gleichen Prüfbedingungen eingehalten werden. Das neue WTA-Merkblatt WTA E 7-4 enthält hierzu eine ausführliche Prüfanweisung [20].

Literatur

- [1] DIN EN 1052-1:1998-12 Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 1052-1:1998
- [2] Berger, F.: Zur nachträglichen Bestimmung der Druckfestigkeit von zentrisch gedrücktem Mauerwerk. In: Wenzel, F. (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Jahrbuch 1986. Sonderforschungsbereich 315, Universität (TH) Karlsruhe. Berlin: Ernst und Sohn, 1987, S. 231–248
- [3] Patentschrift DD 243987 A1, Amt für Patentwesen der Deutschen Demokratischen Republik, 1985 (heutiges Aktenzeichen: DE DD 2837574)
- [4] Heidel, R.: Ermittlung der Materialkennwerte von Mauerwerk als Grundlage zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Mauerwerkskonstruktionen. Dissertation, TH Leipzig, 1989
- [5] Empfehlungen für die Bewertung des Tragvermögens bestehender Gewölbebrücken aus Mauerwerk und Beton: UIC-Kodex; 778-3. 1. Ausgabe. Paris: Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 1995
- [6] Empfehlungen für die Inspektion, Bewertung und Instandhaltung von Gewölbebrücken aus Mauerwerk: UIC-Kodex 778-3. 2. Ausgabe. Paris: Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2011
- [7] Krämer, A.: Beurteilung der Tragfähigkeit von bestehendem Mauerwerk. Diplomarbeit, TU Dresden, 1998 (unveröffentlicht)
- [8] Brenich, A.; Corradi, C.; Sterpi, E.: Experimental approaches to the compressive response of solid clay brick masonry. 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam, 2004
- [9] Bilello, C.; Brenich, A.; Di Paola, M.; Sterpi, E.: Compressive Strength of Solid Clay Brickwork: Calibration of Experimental Tests, 2006
- [10] Bilello, C.; Brenich, A.; Corradi, C.; Di Paola, M.; Sterpi, E.: Experimental Tests and Theoretical Issues for the Identification of Existing Brickwork. 10. North American Masonry Conference, St. Luis, USA, 2007
- [11] Matyssek, P.: Identification of compressive strength and deformability of brick masonry. In: Brick and Block Masonry: Trends, Innovations and Challenges – Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, IBMAC 2016, pp. 533–540
- [12] Pelà, L.; Roca, P.; Benedetti, A.: Mechanical Characterization of historical Masonry by Core Drilling and Testing of cylindrical samples. International Journal of Architectural Heritage 10 (2016), Nr. 2–3, S. 360–374
- [13] Sassoni E; Mazzotti C.; Pagliai G.: Comparison between experimental methods for evaluating the compressive strength of existing masonry buildings. Construction and Building Materials 68 (2014), S. 206–219
- [14] Dürkop, P.: Vergleichsversuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit von vorhandenem Ziegelmauerwerk. Masterarbeit, TH Lübeck, 2019 (unveröffentlicht)
- [15] Weydert, C.: Nachrechnung von bestehenden Mauerwerksbauwerken im massiven Verkehrswasserbau. Masterarbeit, KIT Karlsruhe, 2020 (unveröffentlicht)
- [16] Welker, R.: Untersuchungen zur nachträglichen Ermittlung der Tragfähigkeit von Mauerwerk. Masterarbeit, TH Lübeck, 2020 (unveröffentlicht)
- [17] DIN EN 1996-1-1:2013-02 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005+A1:2012
- [18] Gigla, B.: Bestimmung der Druckfestigkeit von vorhandenem Mauerwerk. Mauerwerk 24 (2020), Nr. 4, S. 215–226
- [19] Bleich, F.; Melan, J. (Hrsg.): Taschenbuch für Ingenieure und Architekten. Wien: Springer, 1926
- [20] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): WTA-Merkblatt E 7-4-20/D Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen. Stand 12.2020
- [21] UIC 70778-3:2018-02 Empfehlungen für die Bewertung des Tragvermögens bestehender Gewölbebrücken aus Mauerwerk und Beton. Paris: Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2018
- [22] IRS 70778-3:2020-05 Empfehlungen für die Inspektion, Bewertung und Instandhaltung von Gewölbebrücken aus Mauerwerk. 2. Ausgabe. Paris: Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2020

Hinweis

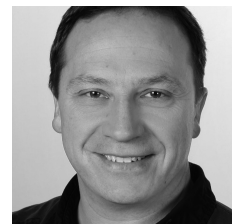
Dieser Beitrag basiert auf einem Vortrag, der auf dem 7. TAE-Kolloquium »Erhaltung von Bauwerken« in Ostfildern/Stuttgart gehalten wird und ist bereits unter der Überschrift »Das Fugenbohrkernverfahren nach Helmerich/Heidel – eine zuverlässige Methode zur Druckfestigkeitsbestimmung von Mauerwerk?« in Ausgabe 1/2021 der Fachzeitschrift Bausubstanz, Fraunhofer IRB Verlag, erschienen.

DIE AUTOREN

Dipl.-Ing. Jonny Henkel

Jonny Henkel absolvierte von 1986 bis 1989 eine Baufacharbeiterlehre mit Abitur in Suhl. Von 1991 bis 1997 studierte er Bauingenieurwesen an der Bauhaus-Universität Weimar. Nach dem Studium arbeitete er von 1997 bis 1999 am Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau in Weimar und von 1999 bis 2009 als Projektingenieur beim BRB Prüflabor Bernau. Seit 2009 ist er freiberuflich in der Bauwerksdiagnose tätig und engagiert sich in der WTA im Referat »Tragverhalten und Schadensdiagnostik«.

AK Bauwerksdiagnostik
Birkholzer Straße 5
16356 Ahrensfelde OT Blumberg
info@ak-bauwerksdiagnostik.de
www.ak-bauwerksdiagnostik.de



Dipl.-Ing. Claudia Neuwald-Burg

Claudia Neuwald-Burg studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen und war anschließend wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Forschungsgruppe Mauerwerk des SFB 315 »Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke« an der Universität Karlsruhe. 2000 bis 2016 war sie freiberuflich als Bauingenieurin tätig sowie bis 2020 als Lehrbeauftragte im Masterstudiengang Altbauinstandsetzung am Karlsruher Institut für Technologie. Seit 2016 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB. Sie engagiert sich in verschiedenen beruflichen Fachgruppen sowie in der WTA.

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
claudia.neuwald-burg@irb.fraunhofer.de
www.irb.fraunhofer.de



Jonny Henkel

Prüfanleitung mit neuem Vorschlag zur Auswertung

Experimentell bestimmte Druckfestigkeit von Mauerwerk an Fugenbohrkernen nach Helmerich/Heidel

Anwendungsbereich

Diese Prüfanleitung legt ein Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerksverbundprüfkörpern aus Mauerwerk aus kleinformatigen Vollsteinen (Ziegel, Kalksandstein) fest.

Verweise auf andere Normen und Merkblätter

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich.

- WTA Merkblatt E 7-4/20/D: Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen, IRB-Verlag 2021
- IRS 70778-3:2020-05: Empfehlungen für die Bewertung des Tragvermögens bestehender Gewölbebrücken aus Mauerwerk und Beton, 2. Ausgabe. Paris: Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2020
- DIN EN 772-1:2016-05 Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit
- DIN EN ISO 6873:2013-07 Zahnheilkunde – Gipse

Kurzbeschreibung

Aus dem Bauwerk entnommen Fugenbohrkerne mit besonderem Fugenbild werden in spezielle Lasteinleitungskalotten eingegipst. Die Probekörper werden nach der Vorbereitung einzeln auf die Druckplatte einer Druckprüfmaschine aufgelegt und zentriert. Es wird eine gleichmäßig verteilte Last aufgebracht, die stetig bis zum Bruch erhöht wird.

Symbole

$f_{ma,i}$ = experimentell bestimmte Mauerwerksdruckfestigkeit
 F_{max} = Bruchlast
 A_{mid} = Mittelfläche des Bohrkerns (Länge x Durchmesser)

Hilfsmittel und Materialien

Spezielle Lasteinleitungskalotten:
 Zwei Stücke Formkörper aus Stahl mit dem in Abb. A1 dargestellten Querschnitt und einer Mindestlänge von 240 mm
 Abgleichmörtel (Gips):
 Superhartgips Typ IV oder V nach DIN EN ISO 6873:2013-07

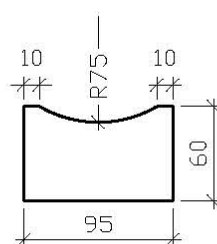


Abb. 1: Abmessungen einer Lasteinleitungskalotte

Prüfeinrichtung

Für die Druckfestigkeitsprüfung ist eine Druckprüfmaschine nach DIN EN 772-1:2016-05 zu verwenden. Zur Konditionierung der Probekörper ist eine Wägevorrichtung, die geeignet ist, die Masse der Probekörper auf 0,1 Prozent zu bestimmen, einzusetzen.

Vorbereitung der Probekörper

Probenahme

Die Probenahme erfolgt aus dem Bestandsmauerwerk mittels eines an einem Ständer befestigtem Kernbohrgeräts im Nassbohrverfahren mit Diamantbohrkrone. Der Innendurchmesser der Bohrkrone muss $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ betragen.

Bei dem Ansetzen der Bohrkrone auf dem Mauerwerk muss auf ein spezielles Fugenbild geachtet werden, sodass

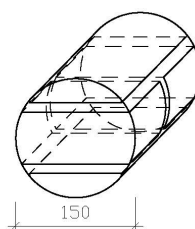


Abb. 2: Fugenbild 1

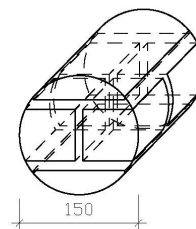


Abb. 3: Fugenbild 2



Abb. 4: Bohrkern zum Fugenbild 1

Bohrkerne nach Abb. 2 (von HEIDEL empfohlenes Fugenbild 1) und falls dies der Mauerwerksverband nicht zulässt, nach Abb. 3 (Fugenbild 2 nach UIC-Kodex 778-3) entnommen werden.

Die Bohrtiefe ist so zu wählen, dass ein Probekörper mit einer Länge von mindestens einer Steinlänge (ca. 25 cm) ohne Beschädigungen gewonnen werden kann. Die Bohrkern sind vorsichtig zu entnehmen und für den Transport zum Labor zu sichern.

Zuschneiden

Die Bohrkern sind an beiden Enden (auch an der Mauerwerksoberfläche mindestens 0,5 cm) mittels einer Diamanttrennsäge im Nassverfahren gerade abzuschneiden, sodass eine ebene Seitenoberfläche entsteht. Die Prüfkörperlänge sollte etwa einer Steinlänge entsprechen. Wird bei einer Entnahme nach Abb. A2 festgestellt, dass der Verband nach dem oberflächensichtigen Läufer wechselt und doch Vertikalfugen in Bohrkernlängsrichtung vorhanden sind, sind die Bohrkern auf eine Steinbreite zu kürzen.

Konditionierung der Probekörper vor der Prüfung

Die Probekörper sind auf den lufttrockenen Zustand nach den Vorgaben des WTA-Merkblatts E 7-4, Abschnitt 5.1.1. zu konditionieren.



Abb. 6: Aufbringen der Gipsauflage auf die untere und die obere Prüfkalotte



Abb. 5: Mauerwerksoberfläche vor und nach dem Zuschneiden

Bestimmung der Prüfkörpergeometrie

Die Länge und der Durchmesser des Prüfkörpers sind vor dem Einbau in die Prüfmaschine zu bestimmen (auf mm genau). Die lufttrockene Masse des Prüfkörpers sollte ebenfalls bestimmt werden, um eine Fehlerbetrachtung anhand der errechneten Dichten zu ermöglichen.

Einbau der Probekörper in die Prüfmaschine

Die untere Lasteintragungskalotte ist in der Prüfmaschine zu zentrieren. Anschließend wird der weichplastisch angerührte Gips in die Rundung der Kalotte eingestrichen und der Bohrkern analog seiner Einbaulage im Mauerwerk so eingedrückt, dass eine dünne Abgleichschicht aus Gips zwischen Kalotte und Bohrkern vorhanden ist (ca. 1-3 mm). Im Anschluss wird bei der zweiten Kalotte in die Rundung ebenfalls Gipsmörtel eingestrichen und die Kalotte um 180° verdreht von oben auf den Bohrkern aufgedrückt, sodass eine Abgleichschicht analog zur unteren Kalotte entsteht. Beide Kalotten müssen in vertikaler Richtung direkt übereinanderstehen und die Flächen, die Kontakt zu den Druckplatten der Prüfmaschine haben, müssen annähernd planparallel sein. Nach der Kontrolle der Zentrierung des Prüfkörpers in der Prüfmaschine (beide Achsen) sind die Druckplatten der Prüfmaschine so an den Probekörper heranzufahren, dass ein leichtes Andrücken der Prüfkalotten gewährleistet ist, ohne den Bohrkern wesentlich zu belasten (max. 1 kN Druckkraft).

Anschließend ist eine Zeitspanne bis zu einer ausreichenden Erhärtung des Gipses abzuwarten. Die Zeitdauer hängt von dem verwendeten Gips und von der zu erwartenden Festigkeit des Mauerwerks ab (Richtwert 0,5 h).

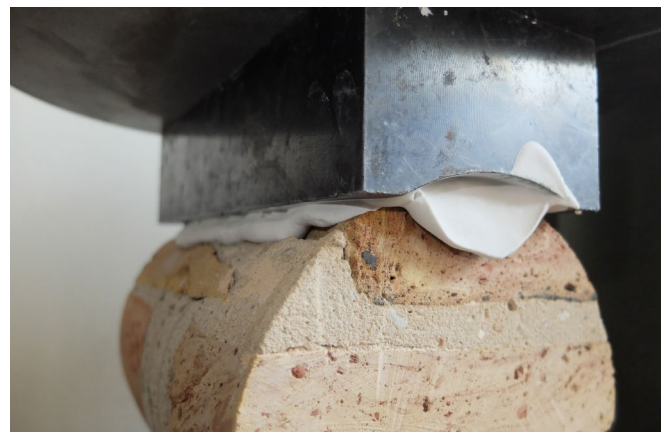


Abb. 7: Eingelegte obere Prüfkalotte

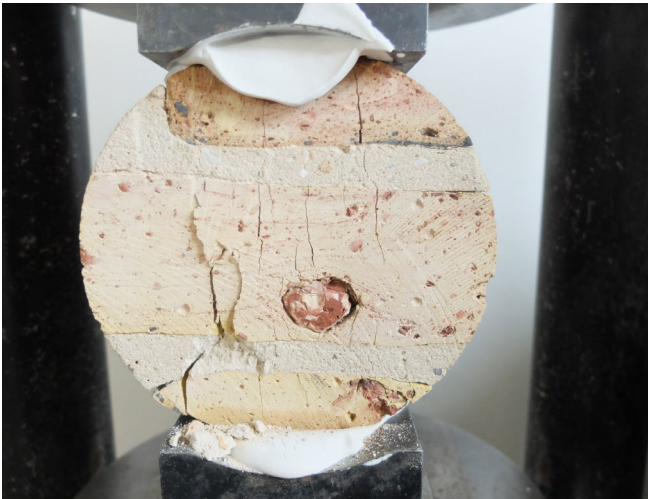


Abb. 8: Prüfkörper nach der Prüfung mit typischem Rissbild

Durchführung der Prüfung

Zu Beginn der Prüfung ist eine angemessene Belastungsgeschwindigkeit zu wählen. Die Belastung sollte so aufgebracht werden, dass der Bruch der Probe nach frühestens 60s eintritt. Die Bruchlast ist aufzuzeichnen. Bruchbilder sollten ebenfalls dokumentiert werden.

Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

Die Festigkeit jedes Probekörpers wird durch Einsetzen in Gleichung 1 oder Gleichung 2 berechnet.

$$f_{ma,i} = 2,3 \cdot e^{(0,165 \cdot F_{max} / A_{mid})} \quad (1)$$

für Prüfungen nach HEIDEL mit dem Fugenbild 1

$$f_{ma,i} = 3,0 \cdot e^{(0,165 \cdot F_{max} / A_{mid})} \quad (2)$$

für Prüfungen nach UIC-Kodex mit dem Fugenbild 2.

Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt nach den Vorgaben des WTA Merkblattes 7-4: Ermittlung der Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk aus künstlichen kleinformatigen Steinen.

Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- Hinweis auf diese Prüfanleitung,
- Name der durchführenden Stelle,
- Datum der Prüfung,
- Herkunft der Bohrkerne (Objekt, Bauteil, konkrete Bohrkernentnahmestelle),
- Datum der Anlieferung der Bohrkerne bei der Prüfstelle,
- Foto der Probekörper,
- Bruchlast, in kN, sowie die Maße jedes Probekörpers, in mm,
- Druckfestigkeit der Probekörper in N/mm², auf 0,1 N/mm² gerundet,
- gegebenenfalls Bemerkungen.

ANZEIGE

Bauen +

interdisziplinär
kompetent
praxisnah

3 Ausgaben
zum Preis
von 2!



Architekten und Fachplaner erfahren mit der **Bauen+ 6 x im Jahr** alles rund um die Themen **Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik**.

+ Intelligente Lösungen für die komplexen Anforderungen beim Bauen

+ Planungshilfen, Berechnungsverfahren, Best-Practice-Beispiele

+ E-Journal & App mit umfangreichem Zusatzmaterial



Jetzt kennenlernen
und Geschenk sichern!