ibac
Institut für Baustoffforschung
Bauwerkserhaltung
und Polymerkomposite

RWTH AACHEN UNIVERSITY

1. Ausfertigung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. O. Weichold

Postadresse:
Institut für Baustoffforschung Aachen
Bauwerkserhaltung · Polymerkomposite
RWTH Aachen
52056 Aachen

Hausadresse:
Institut für Baustoffforschung Aachen
Schinkelstraße 3
52062 Aachen

Sekretariat +49 241 80-95126
Telefax +49 241 80-92139

E-Mail info@ibac.rwth-aachen.de

www.ibac-aachen.de

F-7107-WiB.docx

THEMA

Hintergründe zu nationalen Regelungen bestimmter Mauermörteleigenschaften

Bericht Nr.

F 7107
vom 23.05.2024

Projektbearbeitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach

Dipl.-Ing. B. Winkels

Auftraggeber/ Förderer

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
Kolonnenstraße 30B
10829 Berlin

Auftragsdatum

04.04.2019

Geschäftszeichen

P 52-5- 15.103-1993/16 -

Konten der Hochschulkasse

RWTH Aachen
Verwendungszweck: Für 311 310

SPARKASSE AACHEN
IBAN: DE53 390 500 00 0000 0000 18
SWIFT-BIC: AACSDE33

USt-IdNr. DE121689807

Dieser Bericht umfasst 167 Seiten, davon 117 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS I

1 VERANLASSUNG 1

2 ZIELSETZUNG 2

3 ARBEITSPLAN 2

4 NORMUNG VON MAUERMÖRTEL 4

4.1 Allgemeines 4

4.2 Regelungen zu Mauermörtel in DIN 1053 bzw. DIN 1053-1 und -2 4

4.3 Harmonisierung der nationalen Normen zu Mauermörtel 9

5 DRUCKFESTIGKEIT NACH WASSERLAGERUNG 16

5.1 Allgemeines 16

5.2 Voraussetzungen für die Verwendung von Dünnbettmörteln 17

5.3 Dünnbettmörtel und Dünnbettmauerwerk nach bauaufsichtlicher Zulassung und Norm 17

5.4 Wasserlagerung bei Dünnbettmörtel 19

5.4.1 Allgemeines 19

5.4.2 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse 20

5.5 Durchfeuchtung von Dünnbettmauerwerk 22

5.5.1 Allgemeines 22

5.5.2 Experimentelle Untersuchungen 23

5.6 Zusammenfassung und Bewertung 25

6 LÄNGS- UND QUERDEHNUNGSMODUL 26

6.1 Allgemeines 26

6.2 Leichtzuschläge für Leichtmauermörtel 27

6.3 Normative Regelungen von Leichtmauermörteln 29

6.4 Forschungsarbeiten und Monografien 32

6.4.1 Allgemeines 32

6.4.2 Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin 33

6.4.3 Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin 33
6.4.4 Institut für Ziegelforschung (IZF), Essen 34
6.4.5 Institut für Baustoffkunde (IfB), Hannover 40
6.4.6 FMPA und Otto-Graf-Institut, Stuttgart 47
6.4.7 Institut für Bauforschung (ibac), Aachen 48
6.4.8 Längs- und Querdehnungsmodulwerte 48
6.4.9 Schlussfolgerungen 49

6.5 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse 50
6.5.1 Allgemeines 50
6.5.2 Auswertung nach DIN 1053-1, Ausgabe 1974 51
6.5.3 Auswertung nach DIN 1053-1, Ausgabe 1990 54
6.5.4 Auswertung nach DIN EN 1996-1-1/NA, Ausgabe 2019 55

6.6 Datenbasis zur Festlegung der f_k-Werte 62

6.7 Leichtmörtel-Mauerwerk nach bauaufsichtlicher Zulassung 64

6.8 Zusammenfassung und Bewertung 65

7 DRUCKFESTIGKEIT IN DER LAGERFUGE 67

7.1 Allgemeines 67

7.2 Prüfverfahren 68
7.2.1 Allgemeines 68
7.2.2 Normdruckfestigkeit nach DIN 18555-3 bzw. DIN EN 1015-11 68
7.2.3 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – Würfeldruckverfahren 69
7.2.4 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – Plattendruckverfahren 70
7.2.5 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – ibac-Verfahren 71

7.3 Anforderungswerte 73

7.4 Forschungsarbeiten und Monografien 75
7.4.1 Riechers 75
7.4.2 Schubert et al. 77
7.4.3 Graubohm 82
7.4.4 Cordes et al 84
7.4.5 Eden et al. 85

7.5 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse 88
7.5.1 Allgemeines 88
7.5.2 Ergebnisse 88

7.5.3 Schlussfolgerungen 91
7.6 Zusammenfassung und Bewertung 92
8 VERBUNDFESTIGKEIT 93
8.1 Allgemeines 93
8.2 Prüfverfahren 93
8.2.1 Allgemeines 93
8.2.2 Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5 94
8.3 Forschungsarbeiten und Monografien 95
8.4 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse 96
8.5 Zusammenfassung und Bewertung 96
9 VORSTELLUNG DER ERGEBNISSE 97
9.1 Allgemeines 97
9.2 Wesentliche (Zwischen-)Ergebnisse 97
10 ZUSAMMENFASSUNG 98
10.1 Allgemeines 98
10.2 Druckfestigkeit nach Wasserlagerung 98
10.3 Längs- und Querdehnungsmodul 99
10.4 Druckfestigkeit in der Lagerfuge 100
10.5 Verbundfestigkeit 100
11 FAZIT 100
NORMEN UND RICHTLINIEN 102
LITERATUR DÜNNBETTMÖRTEL 106
LITERATUR LEICHTMÖRTEL 109
LITERATUR FUGENDRUCKFESTIGKEIT UND VERBUNDFESTIGKEIT 113
WEITERE LITERATUR (INFORMATIV) 114

1 VERANLASSUNG

Die für Baustoffe und Bauprodukte national geltenden Regelungen und technischen Vorschriften wurden in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten durch das Europäische Komitee für Normung (CEN) im Auftrag der Europäischen Kommission harmonisiert. Ziel der Harmonisierung war u. a. einen freien Handel von Waren innerhalb der europäischen Gemeinschaft zu ermöglichen. Die Harmonisierung beschränkte sich auf Grundanforderungen. Produkte, die den Grundanforderungen entsprechen, werden mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet und dürfen in Europa in Verkehr gebracht werden.

Die Grundanforderungen für Mauermörtel werden in der Produktnorm DIN EN 998-2 /X3/, Ausgabe 2017, geregelt. Durch die bauaufsichtliche Einführung über die Bauregelliste ist DIN EN 998-2 /X3/ in Deutschland bauordnungsrechtlich bindend. Mit Ausnahme von Baustellenmörtel nach DIN 18580 /X8/ und Mauermörtel nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung dürfen in Deutschland ausschließlich CE-gekennzeichnete Mauermörtel in Verbindung mit nationalen Anwendungsregeln verwendet werden. Die für Mauermörtel in Deutschland geltenden Anwendungsregeln sind in DIN 20000-412 /X5/ (Anwendungsnorm) festgelegt.

Vor Einführung der DIN EN 998-2 wurden in Deutschland Anforderungen an Mauermörtel in der Bemessungsnorm DIN 1053 bzw. DIN 1053-1 /X16–X28/ geregelt. Bestimmte Mauermörteleigenschaften, welche in Deutschland insbesondere seit den 1970er Jahren in die Bemessungsnorm DIN 1053 bzw. DIN 1053-1 eingearbeitet wurden, werden jedoch in DIN EN 998-2 /X3/ nicht geregelt. Dazu zählen:

- Druckfestigkeit in der Lagerfuge bei Normal- und Leichtmauermörtel,
- Druckfestigkeit nach Wasserlagerung bei Dünnbettmörtel,
- Verformbarkeit bei Leichtmauermörtel und
- Verbundfestigkeit bei Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel.

Die oben genannten Mörteleigenschaften wurden deshalb zunächst von DIN 1053-1 /X28/ in DIN V 18580 /X6/ „Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften“ überführt. Zudem wurden in der ersten Generation der Anwendungsnorm DIN V 20000-412 /X4/ die Anforderungswerte für die Mörteldruckfestigkeit jeweils verdoppelt, um das Sicherheitsniveau gegenüber Mauermörtel nach DIN EN 998-2 /X1/ anzuheben.

Neben den Anforderungen in DIN V 18580 /X6/ waren auch alle Anforderungen der DIN EN 998-2 /X1/ zu erfüllen. Mauermörtel, welche den Anforderungen nach DIN EN 998-2 /X1/ in Verbindung mit DIN V 18580 /X6/ entsprachen, durften in Deutschland neben dem CE-

Zeichen zusätzlich auch mit dem sogenannten Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) gekennzeichnet werden. Damit wurde ermöglicht, den Mauermörtel so wie vor Einführung von DIN EN 998-2 /X1/ zu verwenden bzw. diesen gegenüber DIN V 20000-412 /X4/ höher auszunutzen und somit wirtschaftlich einzusetzen.

Der europäische Gerichtshof (EuGH) sah in dieser Regelung jedoch grundsätzlich eine Vertragsverletzung gegen den freien Warenverkehr in Europa. Mit dem Urteil vom 16.10.2014 verpflichtete der EuGH die Bundesrepublik Deutschland dazu, den benannten Verstoß zu beenden und Maßnahmen zu ergreifen, die sich aus dem Urteil ergaben.

In einer ersten Einschätzung wurde das Urteil des EuGH dahingehend interpretiert, dass bei harmonisierten Produkten eine länderbezogene Zusatzregel nicht erlaubt sei. Für harmonisierte Bauprodukte mit CE-Zeichen nach Bauproduktenverordnung sind deshalb seit dem 16.10.2016 u. a. Ü-Zeichen für (besondere) Produktleistungen nicht mehr möglich.

Die Festlegung der vier oben benannten Regelungen der Mörteleigenschaften liegt mehrere Jahrzehnte zurück. Aus heutiger Sicht sind die Regelungen zwar qualitativ nachvollziehbar, für eine sachgerechte und vor allem fundierte Diskussion und Bewertung zur Aufrechterhaltung oder Aufgabe dieser Regelungen ist jedoch die Kenntnis derer Hintergründe unzureichend bzw. nicht mehr in vollem Umfang erhalten. Es ist daher naheliegend, die Hintergründe für die vier „Resteigenschaften“ anhand einer Literatursichtung aufzuarbeiten und daraus ggf. das Erfordernis der Aufnahme in die DIN EN 998-2 abzuleiten und bei Bedarf in Europa einzubringen.

2 ZIELSETZUNG

Mit der vorliegenden Arbeit soll die wissenschaftliche Grundlage für eine sachliche Argumentation geschaffen werden, um die vier Mauermörteleigenschaften Fugendruckfestigkeit, Haftscherfestigkeit, Längs- und Querdehnungsmodul sowie Druckfestigkeit nach Wasserlagerung bei Bedarf in die harmonisierte Produktnorm EN 998-2 /X3/ aufzunehmen.

3 ARBEITSPLAN

Der Arbeitsplan gliederte sich in die Arbeitspakete Literatursichtung, nach Möglichkeit Erstellen von kleinen Datenbanken, Ableiten von Zusammenhängen sowie Bewerten des Erfordernisses weiterer Handlung in den Normungsgremien.

Zunächst wurde die Historie der Mauermörtelnormung in Deutschland und Europa aufbereitet, siehe Abschnitt 4, sodass relevante Meilensteine zeitlich eingeordnet und Zeiträume jeweils eingegrenzt werden konnten.

Die Regelungen der vier in Abschnitt 1 benannten Mörteleigenschaften sowie deren Hintergründe wurden jeweils in den Abschnitten 5 bis 7.6 beleuchtet. In einer Studie der relevanten Veröffentlichungen und Forschungsberichte hinsichtlich der Mörteleigenschaften wurden, sofern möglich, die Hintergründe beleuchtet und wesentliche Schlussfolgerungen aus den Forschungsarbeiten dargelegt. Nach Möglichkeit wurden die Versuchsergebnisse der wesentlichen Forschungsarbeiten in kleinen Datenbanken zusammengestellt und aufbereitet. Aus der Literatursichtung sowie den aufbereiteten Daten wurden, sofern vorhanden, Zusammenhänge erfasst und formuliert.

In Abschnitt 9 wurden die auf Sitzungen vorgestellten (Zwischen-)Ergebnisse dokumentiert. In Abschnitt 10 wurden die zusammengetragenen und erzielten Erkenntnisse nochmals kurz zusammengefasst. Abschnitt 11 enthält ein Fazit mit einer abschließender Bewertung hinsichtlich des Erfordernisses, die Prüfungen und Anforderungswerte der jeweiligen Mörteleigenschaften in die europäische Norm EN 998-2 zu überführen.

Der oben beschriebene Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in Bild 1 veranschaulicht.

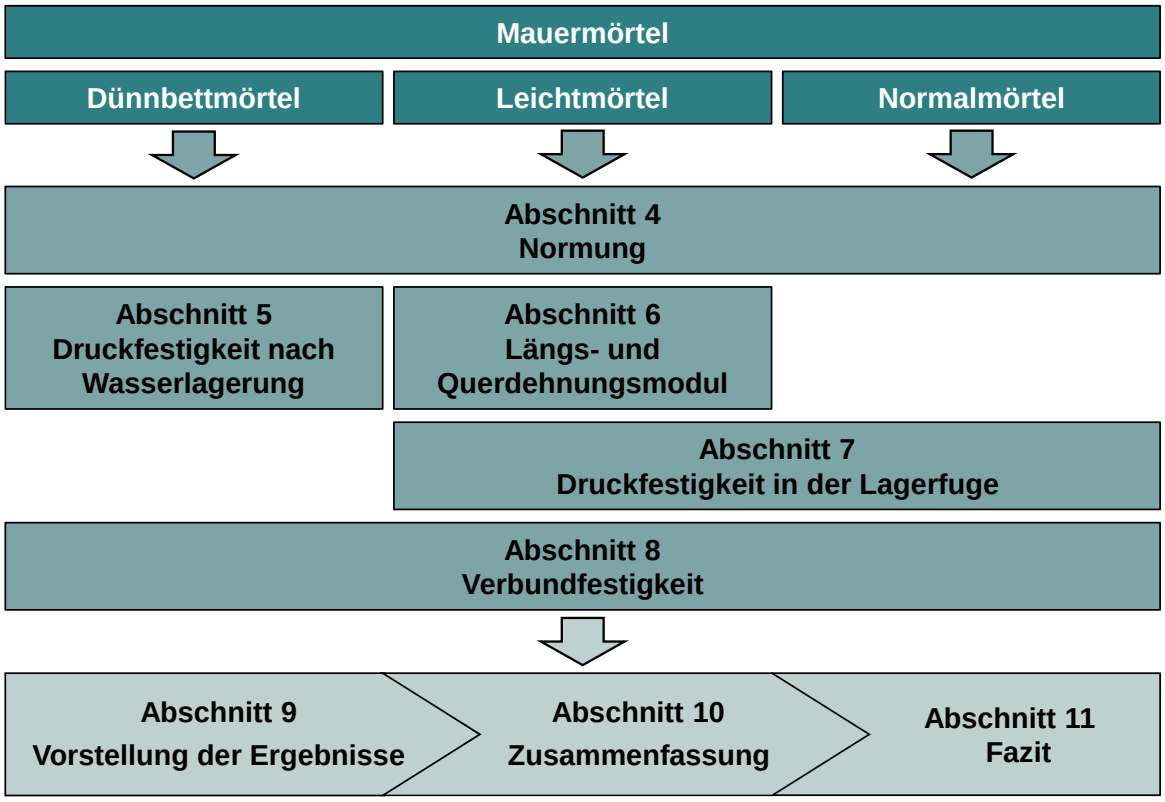


Bild 1: Aufbau des vorliegenden Berichts

4 NORMUNG VON MAUERMÖRTEL

4.1 Allgemeines

Während in Deutschland Anforderungen an Mauersteine, z. B. Mauerziegel oder Kalksandsteine, bereits ab 1922 bzw. 1926 normativ geregelt wurden, vgl. DIN 105 /X11/ bzw. DIN 106 /X12/, wurden Regelungen zu Mauermörtel in die Bemessungsnorm für Bauteile aus künstlichen und natürlichen Steinen, DIN 1053, Ausgabe 1937 und folgende /X16–X19/ bzw. DIN 1053-1 /X20–X28/, aufgenommen. Die Historie der für Mauermörtel relevanten nationalen und europäischen Normen ist vereinfacht in Bild 2 dargestellt. Eine vergrößerte Darstellung zeigt Bild B1, Seite B1. In den folgenden Abschnitten sollen normative Regelungen zu Mauermörteln und Mörteleigenschaften erläutert werden.

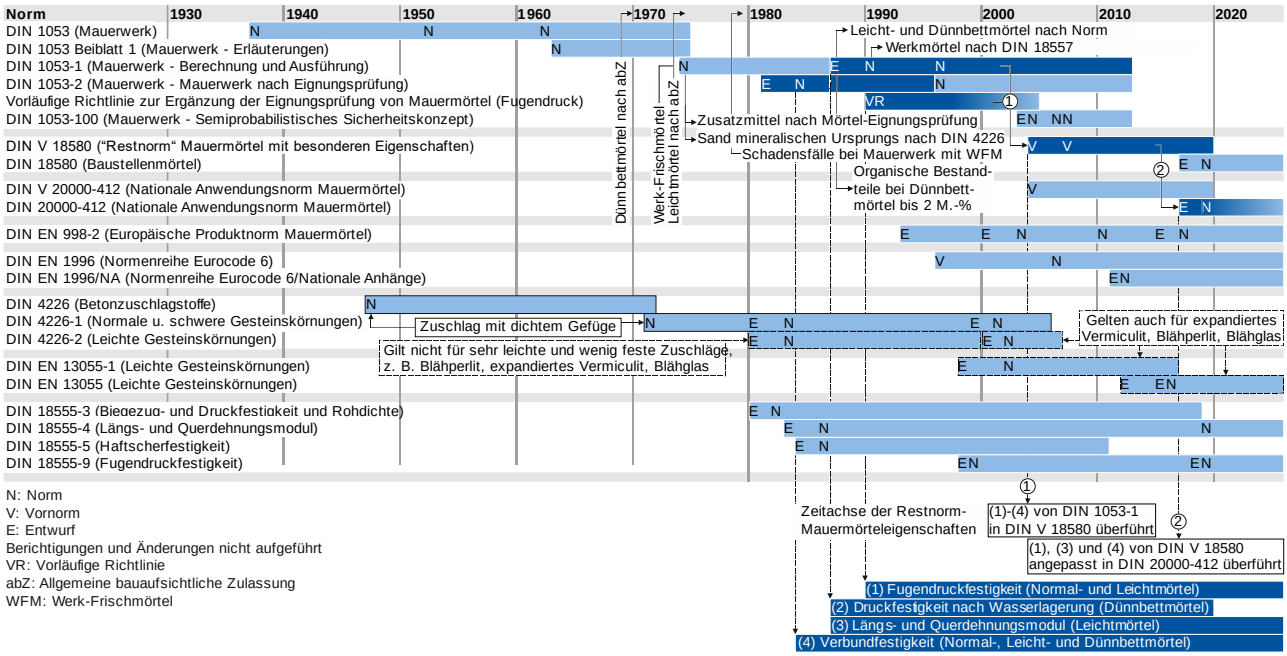


Bild 2: Historie der für Mauermörtel relevanten nationalen und europäischen Normen, vereinfachte Darstellung mit wichtigen Meilensteinen

4.2 Regelungen zu Mauermörtel in DIN 1053 bzw. DIN 1053-1 und -2

Die erste Ausgabe der deutschen Mauerwerk-Bemessungsnorm DIN 1053 aus dem Jahr 1937 /X16/ trifft u. a. Regelungen zu Bestandteilen von Mauermörtel (Zuschläge, Bindemittel) sowie deren Zusammensetzung. Mauersand darf beispielsweise keine schädlichen Stoffe enthalten, die das Erhärten oder die Festigkeit des Mörtels ungünstig beeinflussen können. Als schädliche Stoffe werden in /X16/ Lehm, Ton und ähnliche Beimischungen, wie sie in natürlichen Vorkommen enthalten sein können, außerdem organische, humusartige

Stoffe sowie Anteile von Kohlen, insbesondere von Braunkohlen, benannt. Der Gehalt solcher Beimischungen darf 3 M.-% nicht überschreiten. Gemischtkörniger Sand ist nach /X16/ gegenüber feinem und gleichkörnigem Sand zu bevorzugen. Kalke und Zemente müssen während der Lagerung vor Feuchtigkeit geschützt werden. Zudem wird empfohlen, Bindemittel, deren Brauchbarkeit durch zu lange Lagerung, auch in einem geschützten Raum, zweifelhaft ist, durch Druckfestigkeitsversuche zu prüfen. Der Frischmörtel sollte gleichmäßig durchgemischt werden und darf nur in solchen Mengen zubereitet werden, dass er vor Beginn des Abbindens verarbeitet werden kann.

DIN 1053 /X16/ gibt folgende Mischungsverhältnisse für „geeignete Mörtel“ an:

a) Kalkmörtel aus mindestens 1 Raumteil Kalkteig auf 4 Raumteile Sand oder aus 1 Raumteil Kalkpulver auf 3,5 Raumteile Sand.
b) Kalkzementmörtel aus mindestens 1 Raumteil Zement und 1,5 Raumteilen Kalkteig auf 8 Raumteile Sand oder aus mindestens 1 Raumteil Zement und 2 Raumteilen Kalkpulver auf 8 Raumteile Sand. Wird an Stelle von Weißkalk Kalk mit hydraulischen Eigenschaften verwendet, so kann der Gehalt an Kalkpulver auf 1,5 Raumteile herabgemindert werden.
c) Zementmörtel 1 + 4 aus etwa 300 kg Zement und 1000 l lose eingefülltem Sand; der Mörtel darf einen geringen Kalkzusatz erhalten.

Für besonders hoch beanspruchte Bauteile gelten folgende Mörtelzusammensetzungen:

d) Zementmörtel 1 + 3 aus etwa 400 kg Zement und 1000 l lose eingefülltem Sand; der Mörtel darf einen geringen Kalkzusatz erhalten.
e) Wird große Anfangsfestigkeit verlangt, so ist der Mörtel aus hochwertigem Zement gleicher Zusammensetzung wie unter c) und d) zu verwenden; Kalk darf nicht zugesetzt werden.

Dies verdeutlicht, dass seinerzeit dem Mauermörtel keine weiteren Zusätze hinzugefügt wurden, die die Mörteleigenschaften beeinflussen.

DIN 1053 /X17/, Ausgabe 1952, unterteilt Mauermörtel erstmals in drei Mörtelgruppen. An Mörtel der Gruppe I werden keine besonderen Festigkeitsanforderungen formuliert. Mörtel der Gruppe II sollen eine mittlere Druckfestigkeit von 25 kg/cm² (2,5 N/mm²), Mörtel der Gruppe III von 100 kg/cm² (10 N/mm²) aufweisen. Die Mischungsverhältnisse, angegeben in Raumteilen, wurden tabellarisch in DIN 1053 /X17/, Tafel 3, zusammengestellt und den nunmehr festgelegten Mörtelgruppen zugeordnet. Mörtel, die in ihrer Zusammensetzung Tafel 3 in /X17/ entsprachen, waren ohne Nachweis der Druckfestigkeit als geeignet anzu-

sehen. Tafel 4, DIN 1053 /X17/, regelt die Anwendung von Mauermörtel in belasteten Wänden in Abhängigkeit der drei Mörtelgruppen, der Wanddicke und der Anzahl der Vollgeschosse (bis zu 2 Vollgeschosse) sowie in Sonderbauteilen (Kellerwände, Gewölbe und bewehrtes Mauerwerk).

In DIN 1053 /X18/, Ausgabe 1962, galten in Bezug auf den Mauermörtel die gleichen Regelungen wie in /X17/. Der Zusatz zur Tabelle 3 „Mörtelzusammensetzung“ /X18/, nämlich dass sich die angegebenen Werte auf „an der Baustelle hergestellten Mörtel“ beziehen, gibt den Hinweis, dass erste „werkmäßig hergestellte Mauermörtel“ auf dem Markt angeboten wurden. Für werkmäßig hergestellten Mörtel konnten gemäß DIN 1053, Beiblatt 1 /X19/, Ausgabe 1963, im Rahmen der Überwachung andere Zusammensetzungen gewählt werden, wenn deren Gleichwertigkeit durch Eignungsprüfung nachgewiesen wird. Zementmörtel (Mörtelgruppe III) soll nach /X19/ nur an einzelnen hoch beanspruchten Stellen verwendet werden. Sofern in Ausnahmefällen bei der Bemessung ganzer Geschosse Mörtel der Gruppe III vorausgesetzt wird, sei eine weitgehende Überwachung des verwendeten Mörtels notwendig.

Ab Mitte der 1970er Jahre wurde die Mauerwerk-Bemessungsnorm in verschiedene Teile, darunter DIN 1053-1, Ausgabe 1974 /X20/, gegliedert. Weitere Normenteile befanden sich in Bearbeitung. Die Regelungen zu Mauermörtel in /X18/ bzw. /X19/ wurden in DIN 1053-1 /X20/ überführt und ergänzt.

Die Mauermörtelgruppen wurden um die Gruppe IIa erweitert. Zudem wurden erstmals Anforderungen an die Mörteldruckfestigkeit im Alter von 28 Tagen (Einzel- und Mittelwerte) gestellt. Für die Mörtelgruppe I bestanden weiterhin keine Anforderungen an die Druckfestigkeit.

Mauermörtel, die nach den in /X20/ angegebenen Mischungsverhältnissen unter Einhaltung der genannten Hinweise auf der Baustelle angemischt und verarbeitet wurden, wurden aufgrund einer „ausreichenden Erfahrung“ hinsichtlich ihrer Herstellung und der späteren Eigenschaften als geeignet angesehen. Da zunehmend auch im Werk hergestellte Mörtel Verwendung im Mauerwerkbau fanden, denen beim Anmischen Zusatzstoffe und Zusatzmittel (Zusätze) zugegeben wurden, wurde in DIN 1053-1 /X26/ erstmals die Verwendung von Zusätzen für Mauermörtel geregelt.

Als Zusatzstoffe wurden nach /X20/ „fein aufgeteilte Zusätze“ bezeichnet, die die Mörteleigenschaften beeinflussten und im Gegensatz zu den Zusatzmitteln in größerer Menge zugegeben werden durften. Zusatzmittel, z. B. Luftporenbildner, Verflüssiger, Dichtungs-

mittel und Erstarrungsbeschleuniger sowie Mittel zur Verbesserung des Haftverbundes, durften dagegen nur in geringen Mengen zugegeben werden. Diese änderten die Mörteleigenschaften chemisch und/oder physikalisch. Bei Verwendung von Zusatzmitteln zur Beeinflussung der Mörteleigenschaften schrieb DIN 1053-1 /X20/ eine Mörtel-Eignungsprüfung vor. Die Eignung von im Werk hergestellten Mörteln (werkmäßig hergestellte Mörtel bzw. Vormörtel) musste ebenfalls durch Prüfung nachgewiesen werden. Bei der Eignungsprüfung war nach /X20/ der Nachweis der Mörteldruckfestigkeit nach DIN 18555 /X40/, Ausgabe 1972, zu erbringen.

Im Juli 1984 erfolgte die Einführung von DIN 1053-2 /X22/ „Mauerwerk nach Eignungsprüfung“. Während die Beurteilung der Eignung von Mauermörteln nach DIN 1053-1 /X20/, Ausgabe 1974, im Wesentlichen über die Druckfestigkeit erfolgte, wurde die Eignung von Mauermörteln nach DIN 1053-2 /X22/, Ausgabe 1984, zusätzlich über die Haftscherfestigkeit beurteilt, u. a. bei der Feststellung der Eignung von Werkmörtel und bei Änderung der Zusammensetzung. Es galten die festgelegten Mindesthaftscherfestigkeitswerte nach Tabelle 2 /X22/. Diese Regelung wurde später in DIN 1053-1 /X26/ übernommen, vgl. Abschnitt 4.2. DIN 1053-2, Ausgabe 1996 /X23/, verweist auf DIN 1053-1 /X28/.

Im Dezember 1987 erschien DIN 1053-1 /X24/ als Entwurfsfassung, in der ergänzende Regelungen zu Mauermörteln festgeschrieben wurden. Diese wurden in der endgültigen Fassung DIN 1053-1 /X26/, Ausgabe 1990, nur geringfügig angepasst. Neben den Regelungen zu Normalmörtel wurden nunmehr auch Regelungen zu Leicht- und Dünnbettmörtel in /X26/ festgeschrieben. Die neu definierten Begriffe Normalmörtel und Leichtmörtel ermöglichten eine eindeutige Abgrenzung der beiden Mauermörtel voneinander. Normalmörtel nach DIN 1053-1 /X26/ durften weiterhin sowohl auf der Baustelle als auch als Werkmörtel hergestellt werden. Die Trockenrohdichte von Normalmörtel sollte mindestens 1,5 kg/dm³ betragen, auch um die übermäßige Verwendung von Luftporenbildnern zu beschränken, vgl. /120/. Die unkontrollierte Zugabe von Luftporenbildnern kann nach /120/ zu größeren Schwankungen der Mörtelrohdichte und damit der Mörtelfestigkeit führen. Deshalb durfte nach DIN 1053-1 /X26/ nur so viel Luftporenbildner zugegeben werden, dass sich die Trockenrohdichte für Normal- und Leichtmauermörtel nur um höchstens 0,3 kg/dm³ verringert. Die zu verwendenden Zuschlagarten waren in DIN 4226-1 /X31/ geregelt. Leichtmörtel nach /X26/ waren Werk-Trocken- oder Werk-Frischmörtel mit einer Trockenrohdichte < 1,5 kg/dm³ mit Zuschlagarten nach DIN 4226-1 /X31/ bzw. DIN 4226-2 /X34/ sowie Leichtzuschlag, dessen Brauchbarkeit nach bauaufsichtlichen Vorschriften nachgewiesen war. Dünnbettmörtel nach /X26/ waren Werk-Trockenmörtel aus Zuschlagarten nach DIN 4226-1 /X31/ mit einem Größtkorn von 1,0 mm sowie Zement und

Zusätzen (Zusatzmittel, Zusatzstoffe). Die Mörtelgruppen wurden um die Gruppe IIIa ergänzt. Leichtmörtel werden je nach Wärmeleitfähigkeit in die Gruppen LM 21 und LM 36 eingeteilt und entsprechen hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit der Mörtelgruppe IIa, während Dünnbettmörtel aufgrund seiner Festigkeitseigenschaften der Mörtelgruppe III zugeordnet wurde.

DIN 1053-1 /X26/ unterscheidet zwischen Werk-Trocken-, Werk-Vor- und Werk-Frischmörtel. Grundsätzlich dürfen bei der Verarbeitung dem Werk-Trockenmörtel jeweils nur die erforderlichen Wassermengen und dem Werk-Vormörtel außer der erforderlichen Wassermenge die erforderliche Zementmenge zugegeben werden. Werkmörteln dürfen jedoch auf der Baustelle keine Zuschläge und Zusätze (Zusatzstoffe und Zusatzmittel) zugegeben werden.

Alle Mörtel mussten nach /X26/ eine verarbeitungsgerechte Konsistenz aufweisen. Aus diesem Grunde durften Zusätze zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und des Wasserrückhaltevermögens zugegeben werden. Die Verwendung von Zusätzen erforderte stets Eignungsprüfungen. Für Normalmörtel der Gruppen II, IIa und III, die in ihrer Zusammensetzung nicht /X26/ entsprachen, sowie für Mörtel der Gruppe IIIa waren ebenfalls Eignungsprüfungen durchzuführen. Für Leichtmörtel und Dünnbettmörtel war die Zusammensetzung jeweils auf Grundlage einer Eignungsprüfung festzulegen, um die Brauchbarkeit des Zuschlages sowie der Zusätze nachzuweisen.

Zur Eignungsprüfung wurden für alle Mörtel Anforderungswerte an bestimmte Eigenschaften sowie Prüfverfahren definiert. Für die Eignungsprüfung von Normalmörtel schrieb DIN 1053-1 /X26/ die Prüfung der Konsistenz und der Rohdichte des Frischmörtels nach DIN 18555-2 /X42/ vor. Bei Verwendung von Zusatzmitteln war nach /X26/ zudem die Druckfestigkeit nach DIN 18555-3 /X43/ und die Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5 /X47/ im Alter von 28 Tagen an Probekörpern, die zu Beginn und am Ende der vom Hersteller angegebenen Verarbeitbarkeitszeit hergestellt wurden, zu prüfen. Für Normal- und Leichtmörtel wurde neben der Prismendruckfestigkeit, geprüft nach /X43/ im Alter von 28 Tagen, auch die Fugendruckfestigkeit, geprüft nach der Vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel /X50/, gefordert. Zudem war für Leichtmörtel der Nachweis der Trockenrohdichte nach /X43/, der Längs- und Querdehnungsmoduln nach DIN 18555-4 /X45/, jeweils im Alter von 28 Tagen, und gegebenenfalls der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612-1 /X52/ zu erbringen. Die Schüttdichte des Leichtzuschlags war nach DIN 4226-3 /X36/ zu prüfen. Bei Dünnbettmörtel ist neben der Prismendruckfestigkeit nach /X43/ auch die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach 14-tägiger Wasserlagerung zu prüfen. Für die Verarbeitung von Dünnbettmörtel forderte

DIN 1053-1 /X26/ zudem eine bestimmte Verarbeitbarkeits- und Korrigierbarkeitszeit. Für alle Mörtelarten (Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel) wurde fortan zusätzlich zur Druckfestigkeit des Mauermörtels auch eine Mindesthaftscherfestigkeit nach DIN 18555-5 /X47/ im Alter von 28 Tagen gefordert.

Die Nachweise der Haftscherfestigkeit sowie der Fugendruckfestigkeit waren im Verbund mit einem festgelegten Referenzstein zu erbringen. Als Referenzstein war nach /X26/ ein normalformatiger Kalksandstein DIN 106-KS12-2,0-NF ohne Lochung bzw. Grifföffnung zu verwenden. Die Eignung des Kalksand- Referenzsteins für diese Prüfung war seither vom Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover – Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen – zu bescheinigen. Bei der Herstellung der Verbundprüfkörper sollte nach /X26/ der Kalksand-Referenzstein einen massebezogenen Feuchtegehalt zwischen 3 und 5 % aufweisen.

In DIN 1053-1 /X26/ erfolgte eine Anpassung der Grundwerte der zulässigen Druckspannungen gegenüber /X26/. Für Mauerwerk mit Leichtmörtel wurden Grundwerte im Vergleich zum Normalmörtel teilweise erheblich abgemindert, für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel dagegen geringfügig erhöht.

In DIN 1053-1 /X28/, Ausgabe 1996, erfolgten inhaltlich keine wesentlichen Änderungen gegenüber /X26/. Die obere Begrenzung der Längs- und Querdehnmoduln bei Leichtmörteln LM 21 entfiel. Zudem wurde der Mehrkammer-Silomörtel als Werk-Frischmörtel ergänzt. Diese durften nur mit dem vom Werk eingestellten Mischungsverhältnis unter Zugabe der erforderlichen Wassermenge hergestellt werden.

Nach DIN 1053-1 /X28/ galt nunmehr für alle Mörtel, denen zur Beeinflussung der Verarbeitungszeit Zusatzmittel zugegeben wurden, dass Probekörper am Beginn und am Ende der vom Hersteller anzugebenden Verarbeitungszeit herzustellen waren. Die Prüfung erfolgte stets im Alter von 28 Tagen, gerechnet vom Beginn der Verarbeitungszeit. Die Anforderungen waren von Proben beider Entnahmetermine zu erfüllen. Gegenüber /X26/ wurde in /X28/ nicht mehr spezifiziert, anhand welcher Prüfung (Fugendruck- und/oder Haftscherfestigkeit) der Nachweis zu erfolgen hatte.

4.3 Harmonisierung der nationalen Normen zu Mauermörtel

Im Zuge der Harmonisierung der nationalen Normen erfolgte u. a. die strikte Trennung von Bemessungsnorm und Baustoffnorm. Als europäische Baustoff- bzw. Produktnorm für Mau-

ermörtel wurde DIN EN 998-2 erarbeitet, nach der auch die CE-Kennzeichnung erfolgt. Die CE-Kennzeichnung erklärt die Konformität des Bauprodukts mit der vom Hersteller deklarierten Leistung. Bauprodukte mit CE-Kennzeichen dürfen im Geltungsbereich der Bauproduktenverordnung frei gehandelt werden. Die Regelung zur Verwendung der Produkte bleibt jedoch in der Zuständigkeit der Mitgliedstaaten. In der Bundesrepublik Deutschland wird die Verwendung CE-gekennzeichneter Produkte allgemein durch Anwendungsnormen geregelt, für Mauermörtel DIN 20000-412 /X5/.

DIN 20000-412 /X5/ enthält Festlegungen zu technischen Angaben, welche die CE-Kennzeichnung für Mauermörtel nach DIN EN 998-2 enthalten muss, und zu Anforderungen, die erfüllt sein müssen, um diese Mörtel für Mauerwerk nach DIN EN 1996 (Eurocode 6), der europäischen Bemessungsnorm im Mauerwerkbau, einschließlich der Nationalen Anhänge verwenden zu können.

DIN EN 998-2 /X3/ regelt jedoch bestimmte Mauermörteleigenschaften nicht, welche in Deutschland insbesondere seit den 1970er Jahren in der nationalen Bemessungsnorm DIN 1053 bzw. DIN 1053-1 eingearbeitet wurden. Diese sind:

- Druckfestigkeit in der Lagerfuge bei Normal- und Leichtmauermörtel,
- Verbundfestigkeit bei Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel,
- Druckfestigkeit nach Wasserlagerung bei Dünnbettmörtel und
- Verformbarkeit bei Leichtmauermörtel.

Als Reaktion auf diese Regelungslücke wurden in der ersten Generation der Anwendungsnorm DIN V 20000-412 /X4/ die Anforderungswerte für die Mörteldruckfestigkeit jeweils verdoppelt, um das Sicherheitsniveau gegenüber Mauermörtel nach DIN EN 998-2 /X1/ anzuheben.

Die bis dato geltenden Regelungen zu Mauermörteln und deren Eigenschaften nach DIN 1053-1 wurden in DIN V 18580 /X6, X7/ „Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften“ überführt. Diese sind nachfolgend aufgeführt:

Druckfestigkeit

Hinsichtlich der Druckfestigkeit galt DIN EN 998-2 /X1/. Zusätzlich war die Druckfestigkeit des Mörtels in der Fuge zu prüfen. In Abhängigkeit von der Mörtelart bzw. Mörtelgruppe waren Mindestanforderungen nach /X7/ Tabelle 1, siehe Bild 3, zu erfüllen. Die Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit galten als erfüllt, wenn der Nachweis nach einem der drei in /X7/ Tabelle 1 genannten Verfahren erfolgte, siehe Bild 3.

1	2	3	4	5	6
Mörtelart	Mörtelgruppe	Mörtelklasse nach DIN EN 998-2	Fugendruckfestigkeit [a, b] N/mm²		
			Verfahren I	Verfahren II	Verfahren III
Normalmauer-mörtel	I	M 1	—	—	—
	II	M 2,5	1,25	2,5	1,75
	IIa	M 5	2,5	5,0	3,5
	III	M 10	5,0	10,0	7,0
	IIIa	M 20	10,0	20,0	14,0
Leichtmauer-mörtel	LM 21	M 5	2,5	5,0	3,5
	LM 36	M 5	2,5	5,0	3,5
Dünnbettmörtel	DM	M 10	—	—	—

[a] Die Prüfung erfolgt nach DIN 18555-9.

[b] Die Prüfung der Fugendruckfestigkeit muss mit Referenzsteinen erfolgen. Referenzsteine sind Kalksandsteine DIN 106-KS12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteil), deren Eignung für diese Prüfung von der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen beim Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, Nienburger Straße 3, D-30617 Hannover, bescheinigt worden ist.

Bild 3: Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen, Tabelle 1 aus DIN V 18580 /X7/

Verbundfestigkeit

In Abhängigkeit von der Mörtelart bzw. Mörtelgruppe waren die Mindestanforderungen nach /X7/ Tabelle 2, siehe Bild 4, zu erfüllen. Die Anforderungen galten als erfüllt, wenn der Nachweis nach einem der beiden in /X7/ Tabelle 2, Spalten 3 und 4, genannten Verfahren erfolgte.

1	2	3	4
Mörtelart	Mörtelgruppe	Verbundfestigkeit [a]	
		Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) [b] N/mm²	Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) [c] N/mm²
		bei Prüfung nach	
		DIN EN 1052-3 [d]	DIN 18555-5
Normalmauermörtel	I	—	—
	II	0,04	0,10
	IIa	0,08	0,20
	III	0,10	0,25
	IIIa	0,12	0,30
Leichtmauermörtel	LM 21	0,08	0,20
	LM 36	0,08	0,20
Dünnbettmörtel	DM	0,20	0,50

[a] Die Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) muss mit Referenzsteinen erfolgen. Referenzsteine sind Kalksandsteine DIN 106-KS12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteile), deren Eignung für diese Prüfung von der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen beim Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, Nienburger Straße 3, D-30617 Hannover, bescheinigt worden ist.

[b] Die maßgebende Verbundfestigkeit ergibt sich aus dem ermittelten Wert der charakteristischen Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) multipliziert mit dem Prüffaktor 1,2.

[c] Die maßgebende Verbundfestigkeit ergibt sich aus dem Prüfwert der Haftscherfestigkeit (Mittelwert) multipliziert mit dem Prüffaktor 1,2.

[d] Abweichend von DIN EN 1052-3 darf die Prüfung ohne Vorbelastung an 5 Prüfkörpern durchgeführt werden. Die charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ergibt sich dann aus dem mit 0,8 multiplizierten Mittelwert.

Bild 4: Mindestanforderungen an die Verbundfestigkeit im Alter von 28 Tagen, Tabelle 2 aus DIN V 18580 /X7/

Druckfestigkeit nach Feuchtlagerung bei Dünnbettmörtel

Zusätzlich zur Prüfung der Druckfestigkeit nach DIN EN 998-2 /X7/, Abschnitt 5.4.1, war bei Dünnbettmörtel die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach Feuchtlagerung zu prüfen. Dazu waren die Prismen bis zum Alter von 7 Tagen im Klima 20/95 nach DIN 18555-3, danach 7 Tage im Normalklima 20/65 nach DIN 50014 und 14 Tage unter Wasser bei 20 °C zu lagern.

Der Festigkeitsabfall durch den Einfluss der Feuchtlagerung durfte höchstens 30 % des bei Prüfung nach /X7/ Abschnitt 5.4.1 erreichten Ist-Wertes betragen.

Verformbarkeit bei Leichtmauermörtel

Für die Verformbarkeit von Leichtmauermörtel galten die Anforderungen nach /X7/ Tabelle 3, siehe Bild 5. Bei der Bestimmung der Längs- und Querdehnungsmoduln galt in Zweifelsfällen der Querdehnungsmodul als Referenzgröße.

Leichtmauermörtel	Längsdehnungsmodul E_l [a] N/mm²	Querdehnungsmodul E_q [a] N/mm²
LM 21 LM 36	≥ 2 000 ≥ 3 000	≥ 7 500 ≥ 15 000
[a] Prüfung nach DIN 18555-4		

Bild 5: Anforderungen an die Verformbarkeit von Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen, Tabelle 3 aus DIN V 18580 /X7/

Neben den Anforderungen in DIN V 18580 /X6/ waren auch alle Anforderungen der DIN EN 998-2 /X1/ zu erfüllen. Mauermörtel, welche den Anforderungen nach DIN EN 998-2 /X1/ in Verbindung mit DIN V 18580 /X6/ entsprachen, durften in Deutschland neben dem CE-Zeichen zusätzlich auch mit dem sogenannten Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) gekennzeichnet werden. Damit wurde ermöglicht, den Mauermörtel so wie vor Einführung von DIN EN 998-2 /X1/ zu verwenden bzw. diesen gegenüber DIN V 20000-412 /X4/ höher auszunutzen und somit wirtschaftlich einzusetzen.

Der europäische Gerichtshof (EuGH) sah in dieser Regelung jedoch grundsätzlich eine Vertragsverletzung gegen den freien Warenverkehr in Europa. Mit dem Urteil vom 16.10.2014 verpflichtete der EuGH die Bundesrepublik Deutschland dazu, den benannten Verstoß zu beenden und Maßnahmen zu ergreifen, die sich aus dem Urteil ergaben.

In einer ersten Einschätzung wurde das Urteil des EuGH dahingehend interpretiert, dass bei harmonisierten Produkten eine länderbezogene Zusatzregel nicht erlaubt sei. Für harmonisierte Bauprodukte mit CE-Zeichen nach Bauproduktenverordnung sind deshalb seit dem 16.10.2016 u. a. Ü-Zeichen für (besondere) Produktleistungen nicht mehr möglich.

Die oben genannten Regelungen wurden deshalb von DIN V 18580 /X7/ in DIN 20000-412 /X5/ überführt. Nach /X5/ ist nur die Verwendung folgender Mauermörtel zulässig:

a) Normalmauermörtel nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung, für den der Hersteller mindestens die Leistungen nach /X5/ Tabelle 1, siehe Bild 6, deklariert hat;
b) Leichtmauermörtel (nicht der Witterung ausgesetzt) nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung, für den der Hersteller mindestens die Leistungen nach /X5/ Tabelle 2, siehe Bild 7, deklariert hat;
c) Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung, für den der Hersteller mindestens die Leistungen nach /X5/ Tabelle 3, siehe Bild 8, deklariert hat;
d) Normalmauermörtel als Baustellenmörtel nach DIN 18580 /X8/.

<table>
<tr><th>Wesentliches Merkmal</th><th>Deklarierte Leistungen (Normalmauermörtel)</th></tr>
<tr><td>Druckfestigkeit</td><td>Mörtelklasse M 1; M 2,5; M 5; M 10; M 15; M 20
Die deklarierte Mörtelklasse muss der geforderten entsprechen.</td></tr>
<tr><td>Verbund-festigkeit</td><td>
<table>
<tr><th>Mörtelklasse</th><th>Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit), geprüft nach DIN EN 1052-3, Verfahren B</th></tr>
<tr><td>M 1</td><td>NPD</td></tr>
<tr><td>M 2,5</td><td>≥0,04 N/mm^2</td></tr>
<tr><td>M 5</td><td>≥0,08 N/mm^2</td></tr>
<tr><td>M 10</td><td>≥0,10 N/mm^2</td></tr>
<tr><td>M 15</td><td>≥0,11 N/mm^2</td></tr>
<tr><td>M 20</td><td>≥0,12 N/mm^2</td></tr>
</table>
Zusätzlich ist eine Herstellerangabe erforderlich, mit welchen Steinen die deklarierte Verbundfestigkeit erreicht wurde.[a]
Der zu der jeweiligen Mörtelklasse gehörende Wert muss deklariert sein.</td></tr>
<tr><td>Chloridgehalt</td><td>≤0,1 % (Massenanteile) bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels</td></tr>
<tr><td>Brandverhaltens-klasse</td><td>A 1</td></tr>
<tr><td>Dichte</td><td>>1 300 kg/m^3 (Trockenrohdichte Festmörtel)</td></tr>
<tr><td>Dauerhaftigkeit</td><td>Keine Anforderungswerte an die Dauerhaftigkeit. Jedoch ist zum Beispiel eine Deklaration unter Bezugnahme auf die in DIN EN 998-2:2017-02, Anhang B angegebenen Umgebungsbedingungen möglich:
— stark angreifende Umgebung;
— mäßig angreifende Umgebung;
— nicht angreifende Umgebung.
BEISPIEL „Aufgrund vorliegender Erfahrungen bei sachgerechter Anwendung geeignet für stark angreifende Umgebung nach DIN EN 998-2:2017-02, Anhang B“.</td></tr>
</table>

[a] Die Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) kann unter Verwendung von Referenzsteinen erfolgen. Als Referenzsteine gelten Kalksandsteine DIN V 106-KS12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteile), zu beziehen von der Zapf Kalksandsteinwerk Amberg GmbH & Co. KG, Schafhofer Weg 8, D-92263 Ebermannsdorf. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch DIN. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

Bild 6: Leistungen, die für einen Normalmauermörtel nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung mindestens deklariert werden müssen, Tabelle 1 aus DIN 20000-412 /X5/

<table>
<tr><th>Wesentliches Merkmal</th><th>Deklarierte Leistungen (Leichtmauermörtel)</th></tr>
<tr><td>Druckfestigkeit</td><td>Mindestens Mörtelklasse M 5[b]</td></tr>
<tr><td>Verbundfestigkeit</td><td>
<table>
<tr><th>Mörtelklasse</th><th>Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit), geprüft nach DIN EN 1052-3, Verfahren B</th></tr>
<tr><td>M 5[b]</td><td>≥0,08 N/mm²</td></tr>
<tr><td>M 10</td><td>≥0,10 N/mm²</td></tr>
</table>
Zusätzlich ist eine Herstellerangabe erforderlich, mit welchen Steinen die deklarierte Verbundfestigkeit erreicht wurde.[a]
</td></tr>
<tr><td>Chloridgehalt</td><td>≤0,1 % (Massenanteile) bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels</td></tr>
<tr><td>Brandverhaltensklasse</td><td>A 1</td></tr>
<tr><td>Dichte</td><td>≤1 300 kg/m³ (Trockenrohdichte Festmörtel)
ANMERKUNG Siehe auch Anhang A.</td></tr>
<tr><td>Wärmeleitfähigkeit</td><td>Deklarierter Wert für $\lambda_{10,dry,mat}$ für $P = 50$ % und/oder
deklarierter Wert für $\lambda_{10,dry,mat}$ für $P = 90$ %
ANMERKUNG Siehe auch Anhang A.</td></tr>
</table>

[a] Die Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) kann unter Verwendung von Referenzsteinen erfolgen. Als Referenzsteine gelten Kalksandsteine DIN V 106-KS12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteile), zu beziehen von der Zapf Kalksandsteinwerk Amberg GmbH & Co. KG, Schafhofer Weg 8, D-92263 Ebermannsdorf. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch DIN. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

[b] Bei Verwendung von Leichtmauermörtel ist sicherzustellen, dass die Längs- und/oder Querverformung des Mörtels unter Druckbeanspruchung die Tragfähigkeit des Mauerwerks nicht übermäßig herabsetzt. Ein mögliches Verfahren hierzu ist in DIN 18555-4 beschrieben. Wird der Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen nach diesem Verfahren geprüft, so sollten die folgenden Werte nicht überschritten werden:

Trockenrohdichte des Leichtmauermörtels	Längsdehnungsmodul E_l	Querdehnungsmodul E_q
≤700 kg/m³	≥2 000 N/mm²	≥7 500 N/mm²
≤1 000 kg/m³	≥3 000 N/mm²	≥15 000 N/mm²

Liegt kein Nachweis über die Begrenzung der Verformbarkeit vor, so ist ein Leichtmauermörtel mindestens der Mörtelklasse M 10 zu verwenden. Siehe auch Anhang A.

Bild 7: Leistungen, die für einen Leichtmauermörtel nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung mindestens deklariert werden müssen, Tabelle 2 aus DIN 20000-412 /X5/

Wesentliches Merkmal	Deklarierte Leistungen (Dünnbettmörtel)
Druckfestigkeit	Mindestens Mörtelklasse M 10
Verbundfestigkeit	**Mörtelklasse** / **Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) geprüft nach DIN EN 1052-3, Verfahren B** M 10 / ≥0,20 N/mm² Zusätzlich ist eine Herstellerangabe erforderlich, mit welchen Steinen die deklarierte Verbundfestigkeit erreicht wurde[a].
Chloridgehalt	≤0,1 % (Massenanteile) bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels
Brandverhaltensklasse	A 1

[a] Die Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) kann unter Verwendung von Referenzsteinen erfolgen. Als Referenzsteine gelten zum Beispiel Kalksandsteine DIN V 106-KS12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteile), zu beziehen von der Zapf Kalksandsteinwerk Amberg GmbH & Co. KG, Schafhofer Weg 8, D-92263 Ebermannsdorf. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch DIN. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

Bild 8: Leistungen, die für einen Dünnbettmörtel nach DIN EN 998-2 nach Eignungsprüfung mindestens deklariert werden müssen, Tabelle 3 aus DIN 20000-412 /X5/

5 DRUCKFESTIGKEIT NACH WASSERLAGERUNG

5.1 Allgemeines

Die Entwicklung eines hochfesten Klebemörtels für Mauerwerk aus Betonsteinen wurde 1967 auf der ersten Internationalen Mauerwerkkonferenz (IMC) in Austin, Texas/USA, vorgestellt, siehe /70/. Das Dünnbettverfahren zum Ansetzen von keramischen Fliesen und Platten in zementgebundenen „Dünnbettklebemörteln“ wurde ebenfalls seit Ende der 1960er Jahre angewendet, vgl. /71/. Die Adaption auf Mauerwerk erfolgte in Deutschland nahezu zeitgleich. Nach *Irmschler und Meyer* /68/ hatten sich zunächst die Begriffe „geklebtes Mauerwerk“ und „Klebemörtel“ verbreitet, während in Fachkreisen der Begriff „Dünnbettmörtel“ verwendet wurde /68/.

Im Folgenden werden wichtige Aspekte zu Anwendungsvoraussetzungen und Regelungen bei Dünnbettmörtel bzw. Mauerwerk mit Dünnbettmörtel zusammengefasst. Anhand vorliegender Versuchsergebnisse wird das Erfordernis der normativen Regelung bewertet.

5.2 Voraussetzungen für die Verwendung von Dünnbettmörteln

Eine der wesentlichen Aufgaben des Mauermörtels im Mauerwerk ist der Ausgleich von Maßabweichungen der Mauersteine in Mauersteinhöhe bzw. bei vermörtelten Stoßfugen in Mauersteinlänge /68/. Voraussetzung zur Verwirklichung von Dünnbettmauerwerk sind demzufolge Mauersteine mit ausreichend kleinen Maßtoleranzen. Bei Porenbeton- und Kalksandsteinen konnten die Maßabweichungen durch die Herstelltechnik zunächst erheblich geringer gehalten werden als bei Mauerziegeln und (Leicht-)Betonsteinen. Die Implementierung einer Schleifvorrichtung in den Produktionsprozess zur nachträglichen Bearbeitung der Steinoberflächen ermöglichte später ebenfalls die Verwendung von Dünnbettmörtel bei Planziegeln und Plansteinen aus Leicht- und Normalbeton. Für den Toleranzausgleich solcher maßgenaueren Steine wurden dünnere Mörtelschichten zwischen 1 und 3 mm als ausreichend angesehen /68/. Zudem mussten die Mörtel ein angepasstes Wasserrückhaltevermögen aufweisen, um ein zu schnelles Absaugen des Anmachwassers aus der dünnen Lagerfuge zu verhindern /68/. Dazu wurden den Mörteln wasserspeichernde Additive wie z. B. Methylcellulose zugegeben, vgl. /68/.

5.3 Dünnbettmörtel und Dünnbettmauerwerk nach bauaufsichtlicher Zulassung und Norm

Bei Verwendung herkömmlicher Mauermörtel nach DIN 1053-1 /X20/ und handwerksgerechter Verarbeitung konnten nach *Irmschler und Meyer* /68/ von dem Mauerwerk nicht nur Druckkräfte übertragen, sondern auch Schub- und in gewissem Umfang auch Biegezugkräfte aufgenommen werden. Bei herkömmlichen Mauermörteln nach /X18, X20/ war aus Erfahrung und aus Kenntnis der verwendeten Bindemittel bekannt, inwieweit eine Feuchtebeanspruchung die Eigenschaften des Mauerwerks änderte /68/. Bei den neuen Dünnbettmörteln wurde der Erfahrungsbereich der herkömmlichen Mauermörtel nach /X18, X20/ verlassen. Die Verwendung von Dünnbettmörteln setzte deshalb zunächst eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) voraus.

Die ältesten Zulassungen für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel waren solche für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen, vgl. /73/. Nach /68/ umfasste eine abZ zunächst jeweils eine ganze Bauart, d. h. Stein in Kombination mit entsprechendem Mörtel. Nach /68/ zeigte sich, dass aufgrund überwiegend gleicher Steineigenschaften die verschiedenen Mörtel durchaus austauschbar waren. Die erste abZ, in der ausschließlich ein Dünnbettmörtel zur Verwendung mit Porenbetonsteinen im Allgemeinen geregelt wurde, wurde 1971 vom Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, erteilt, siehe /74/. Im Jahr 1973 folgte die erste abZ für

Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen bzw. -Planelementen in Kombination mit Dünnbettmörtel /75, 76/.

Irmschler und Meyer fassten 1976 in /68/ die Regelungen für Dünnbettmauerwerk der bis dato erteilten Zulassungen zusammen. Nach /68/ unterschieden sich die Anforderungen und Bestimmungen für Kalksand-Plansteinmauerwerk nicht erheblich von denen für Dünnbettmauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen.

Der Nachweis der Druckfestigkeit allein genügte nach Auffassung der Bauaufsicht nicht, um die Eignung des Dünnbettmörtels nachzuweisen. Im Rahmen der Zulassungsversuche war u. a. das Verhalten des Mörtels bei Wasserlagerung nachzuweisen. Nach /68/ zeigte sich, dass die Festigkeiten – sowohl die Druckfestigkeit als auch die Haftfestigkeit – mit steigendem Anteil organischer Bestandteile (Kunststoffe) abnahmen.

Bei den meisten der bis dato zugelassenen Mörtel wurde nach /68/ ein Anforderungswert für die Druckfestigkeit von mindestens rd. 10 N/mm² festgelegt. Bei Wasserlagerung durfte der Festigkeitsabfall nicht größer als 25 % sein. Nach DIN 1053-1 /X26/ wurde später eine bis zu 30 % geringere Prismendruckfestigkeit toleriert.

Nach /68/ wurden überwiegend die zulässigen Spannungen der Mörtelgruppe III (Druckfestigkeit 10 N/mm²) zugestanden. Die Einstufung galt sowohl für die zulässigen Druckspannungen als auch für die zulässigen Schub- und Zugspannungen /68/. Lediglich bei Steinen mit Nut-Feder-System und unvermörtelten Stoßflächen durften hinsichtlich der Schubspannung nur die 0,5-fachen Werte von DIN 1053-1 /X20/ angesetzt werden /68/.

Die Verarbeitbarkeit des Mörtels sollte nach /68/ durch eine ausreichende Verarbeitbarkeits- und Korrigierbarkeitszeit (Topfzeit bzw. offene Zeit) sichergestellt sein. Die Verarbeitbarkeitszeit sollte nach /68/ größer als 4 Stunden betragen. Damit sollten in der Baupraxis auftretende Arbeitsunterbrechungen, wie sie durch Frühstücks-, Mittags- oder Regenpausen entstehen, überbrückt werden können, ohne Modifikationen am Dünnbettmörtel z. B. durch eine unzulässige Wasserzugabe zu provozieren. Die Korrigierbarkeitszeit sollte mindestens 10 Minuten betragen, damit die Lage des Mauersteins unmittelbar nach dem Aufsetzen geringfügig korrigiert werden konnte.

Die Zugabe von Additiven zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens von Dünnbettmörtel im Kontakt zum Mauerstein wurde ebenfalls von *Irmschler und Meyer* in /68/ beschrieben. Durch ein verbessertes Wasserrückhaltevermögen sollte ein zu starkes Absaugen aus der dünnen Lagerfuge vermieden werden. Als Additive wurden wasserspeichernde organische Bestandteile wie z. B. Methylcellulosen oder Methylhydroxylcellu-

losen zugegeben. Nach DIN 1053-1 /X26/ sind die organischen Bestandteile auf einen Massenanteil von 2 % zu begrenzen.

Mit der normativen Regelung von Mauerwerk mit Dünnbettmörtel in der „Bemessungsnorm“ DIN 1053-1 /X26/, Ausgabe 1990, wurden die oben genannten und bis dato in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen festgelegten Regelungen sowie die Erfahrungen aus rd. 20 Jahren Baupraxis normativ festgeschrieben.

Die Begrenzung der organischen Bestandteile auf einen Massenanteil von 2 % entfiel in den Nachfolgedokumenten DIN V 18580 /X6, X7/ bzw. DIN V 20000-412 /X4/. Hinsichtlich der Verwendung von Zusatzmitteln wird nach /X4/ bzw. /X6, X7/ lediglich festgelegt, dass diese nicht zu Schäden am Mörtel oder am Mauerwerk führen sowie nicht die Korrosion der Bewehrung oder der stählernen Verankerungen fördern dürfen. Diese Anforderung gilt für bestimmte Betonzusatzmittel als erfüllt, siehe /X4/ bzw. /X6, X7/. Für andere Zusatzmittel ist die Unschädlichkeit nach den Zulassungsrichtlinien /80/ für Betonzusatzmittel durch Prüfung des Halogengehaltes und durch die elektrochemische Prüfung nachzuweisen.

Mit Einführung von DIN 20000-412 /X5/ entfiel die Regelung, dass zusätzlich zur Druckfestigkeit nach DIN EN 998-2 /X3/, Abschnitt 5.4.1. bei Dünnbettmörtel auch die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach Feuchtlagerung zu prüfen sei. Der Einfluss einer Wasserlagerung auf die Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel wird im folgenden Abschnitt 5.4 dargelegt.

5.4 Wasserlagerung bei Dünnbettmörtel

5.4.1 Allgemeines

Allgemeine Richtlinien für die Prüfung von Dünnbettmörteln gab es 1976 noch nicht. *Irmschler und Meyer* wiesen ausdrücklich darauf hin, dass die von der sogenannten Fliesenberatungsstelle herausgegebenen „Methoden für die Prüfung von Klebemörteln für das Dünnbettverfahren“, siehe /77/ bzw. /78/, für die Prüfung von Dünnbettmörteln für Fliesen und Wandbeläge erarbeitet worden seien und nicht für Dünnbettmörtel für Mauerwerk gelten /68/. Diese Anmerkung gibt einen Hinweis darauf, dass Dünnbettmörtel zur Verwendung im Mauerwerkbau in seinen Eigenschaften dem „Fliesenkleber“ sehr ähnlich ist. Die Adaption des Dünnbettverfahrens aus dem Bereich der „Fliesenkleber“ auf den Mauerwerkbau ist deshalb zu vermuten. Auch wenn die Prüfmethoden nicht für Dünnbettmörtel für Mauerwerk anzuwenden waren, werden die Erfahrungen in der Anwendung von „Fliesenklebern“, insbesondere der Einfluss einer Feuchtebeanspruchung

auf die Eigenschaften des Mörtels, bei Zulassungsverfahren für Dünnbettmörtel für Mauerwerk und später in der Normung Berücksichtigung gefunden haben.

Als Anwendungsbereiche für Fliesen sind u. a. Nassräume oder Schwimmbecken zu nennen /70/, bei denen die Bekleidungen Feuchtigkeit und Wasser ausgesetzt sind. Untersuchungen von *Hopp und Kaufhold* /72/ an einkomponentigen, hydraulisch abbindenden Dünnbettmörteln zeigten, dass Dünnbettmörtel mit mehlkornreicherer Einstellung in Kombination mit Steinzeugbelägen bei starker und häufiger Feuchte- und Frosttauwechsel-Belastung geringere Festigkeitswerte unter Scher- und Zugbeanspruchung erreichten /72/. Gleichzeitig konnte bei diesen Mörteln ein erhöhter Glühverlust aufgrund organischer, wasserrückhaltender Additive festgestellt werden /72/.

Nach /68/ führt ein steigender Anteil an organischen Bestandteilen (Kunststoffe) in Dünnbettmörtel zu einer geringeren Festigkeit bei einer Feuchtebeanspruchung. Durch die Begrenzung der dem Mörtel zugegebenen Kunststoffe auf 2 M.-%, vgl. DIN 1053-1 /X26/, konnte der Festigkeitsabfall zunächst begrenzt werden. Diese Begrenzung entfiel jedoch in den Nachfolgedokumenten DIN V 18580 /X6, X7/ bzw. DIN V 20000-412 /X4/. Nach DIN V 18580 /X6, X7/ war zusätzlich zur Prüfung der Druckfestigkeit nach Abschnitt 5.4.1 in /X6, X7/ die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach 14-tägiger Wasserlagerung zu prüfen. Dazu waren die Prismen bis zum Alter von 7 Tagen im Klima 20/95 nach DIN 18555-3, danach 7 Tage im Normalklima 20/65 nach DIN 50014 und anschließend 14 Tage unter Wasser bei 20 °C zu lagern. Der Festigkeitsabfall durch den Einfluss der Feuchtlagerung durfte höchstens 30 % des bei Prüfung nach normgemäßer Lagerung (7 Tage im Klima 20/95 und 21 Tage im Normalklima 20/65) erreichten Ist-Wertes betragen. Allgemein kann ein Festigkeitsabfall von 25 % bzw. 30 % jedoch nur dann toleriert werden, wenn die geringere Festigkeit keine negativen Auswirkungen auf die Tragfähigkeit von Mauerwerk hat.

5.4.2 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse

Zum Einfluss einer 14-tägigen Wasserlagerung auf die Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel liegen Versuchsergebnisse aus (Zulassungs-)Untersuchungen vor, siehe /81–94/, welche in einer Datenbank zusammengestellt und grafisch aufbereitet wurden.

Bild 9 zeigt die Verhältniswerte der Prismendruckfestigkeit von Dünnbettmörtel nach Wasserlagerung (Einzel- und Mittelwerte) bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Prismendruckfestigkeit nach Normlagerung (Mittelwerte mit Streubreiten). Ein Zusammenhang

zwischen der Mörteldruckfestigkeit und der prozentualen Abnahme der Druckfestigkeit infolge einer 14-tägigen Wasserlagerung kann nicht nachgewiesen werden. Die prozentuale Abnahme beträgt im Mittel maximal rd. 30 %, was der tolerierten Festigkeitsabnahme nach DIN V 18580 /X6, X7/ entspricht, vgl. Bild 9. Die in DIN 1053-1 /X26/ bzw. in /X6, X7/ festgelegte zulässige Abminderung deckt somit den ungünstigsten Fall der vorliegenden Stichprobe ab. Anhand dieses Kriteriums kann allerdings noch keine Aussage darüber formuliert werden, inwiefern die Abnahme der Mörteldruckfestigkeit sicherheitsrelevant ist.

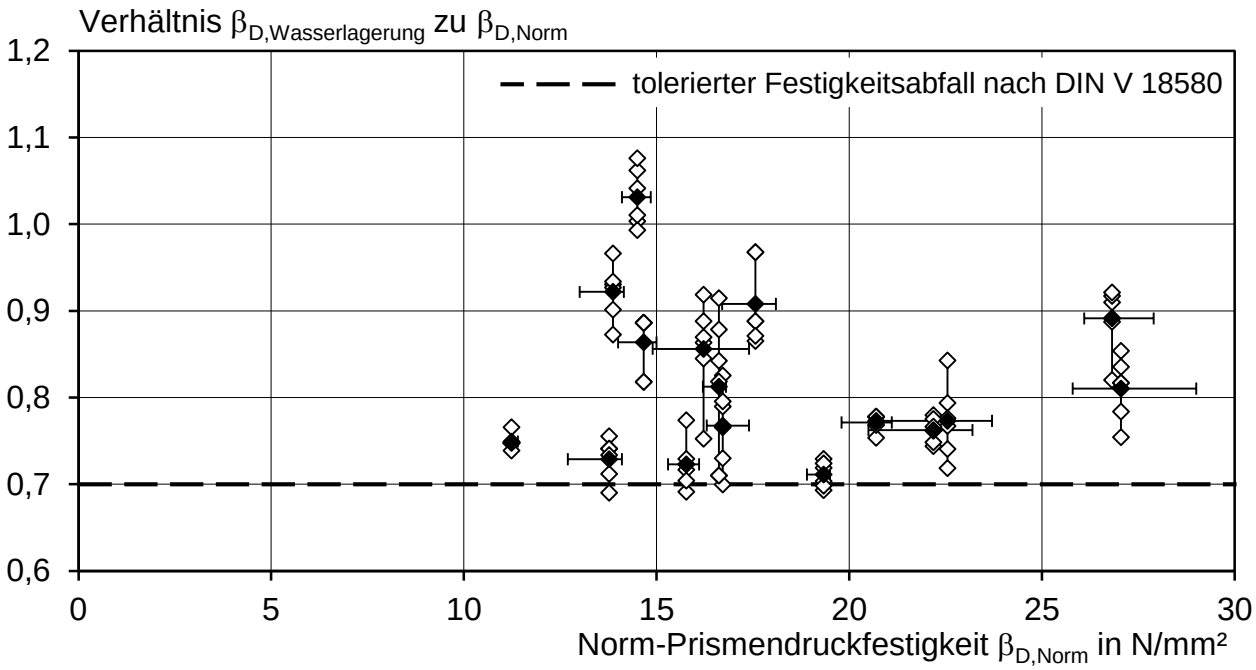


Bild 9: Verhältniswerte der Druckfestigkeit von Dünnbettmörteln nach Wasserlagerung (Einzel- und Mittelwerte) bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Prismendruckfestigkeit nach Normlagerung (Mittelwerte mit Streubreiten)

Bild 10 zeigt Druckfestigkeitswerte von Dünnbettmörtel nach 14-tägiger Wasserlagerung (Einzel- und Mittelwerte) in Abhängigkeit der Prismendruckfestigkeit nach Normlagerung (Mittelwerte und Streubreiten). Bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,87 zeigt sich ein nahezu linearer Zusammenhang der genannten Festigkeiten. Die Prismendruckfestigkeit nach Wasserlagerung beträgt im Mittel rd. 82 % der Norm-Prismendruckfestigkeit (Standardabweichung der Stichprobe: rd. 0,1 %, Variationskoeffizient: rd. 11 %). Die Festigkeitswerte liegen nach 14-tägiger Wasserlagerung i. d. R. bei mindestens 10 N/mm². In einem Fall wurde die mittlere Mindestdruckfestigkeit bei Dünnbettmörtel von 10 N/mm² unterschritten, was bei dem vorliegenden Stichprobenumfang rd. 7 % entspricht. Die Anforderung nach DIN 20000-412 /X5/ bzw. DIN EN 998-2 /X3/ an die Mörtelklasse M10 für Dünnbettmörtel wird somit in rd. 93 % eingehalten. Aus den vorliegenden Daten kann ein Vorhaltemaß als

Faktor gegenüber der Mindestdruckfestigkeit von 10 N/mm² zwischen 0,84 und rd. 2,5 abgeleitet werden.

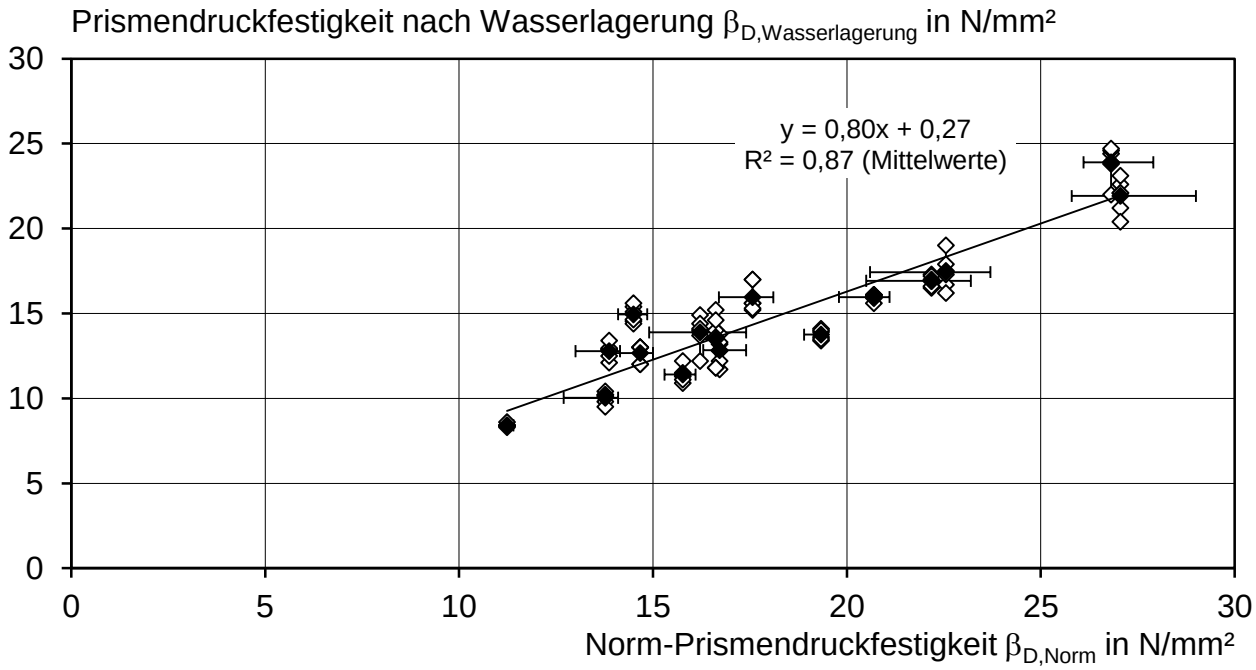


Bild 10: Prismendruckfestigkeit von Dünnbettmörtel nach Wasserlagerung (Einzel- und Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Prismendruckfestigkeit nach Normlagerung (Mittelwerte und Streubreiten)

Bei den Untersuchungen wurde der Einfluss einer Wasserlagerung auf die Festigkeit ausschließlich phänomenologisch untersucht bzw. quantifiziert. Die tatsächlichen Effekte wurden in diesem Zusammenhang nicht untersucht. Inwiefern die Festigkeitsabnahme bei Dünnbettmörteln infolge der Wasserlagerung von Relevanz ist für die Tragfähigkeit von Mauerwerk, ist aus den Untersuchungen ebenso wenig abzuleiten.

5.5 Durchfeuchtung von Dünnbettmauerwerk

5.5.1 Allgemeines

Mauerwerk mit Dünnbettmörtel wurde vielfach hinsichtlich des Trag- und Verformungsverhaltens untersucht. Dabei lag der Fokus der Forschungsarbeiten im Wesentlichen auf den Festigkeits- und Verbundeigenschaften von Dünnbettmauerwerk unter Druck-, Schub- und (Biege-)Zugbeanspruchung. Im Rahmen der Literatursichtung konnten keine Forschungsarbeiten gefunden werden, in denen die Effekte in Mauermörtel infolge einer Wasserlagerung systematisch untersucht wurden. Bei Zulassungsuntersuchungen wurde der Einfluss der Wasserlagerung ausschließlich phänomenologisch untersucht, vgl. Ab-

schnitt 5.4.2. Die Mechanismen, welche zu der Festigkeitsabnahme führen, wurden dabei nicht betrachtet. Zudem wird stets eine ausreichende Planungs- und Ausführungsqualität das Mauerwerk vorausgesetzt, sodass Mauerwerk planmäßig nicht durchfeuchtet wird. Im Schadensfall (Defekte Rohrleitungen, drückendes Grundwasser bei Starkregenereignissen, Hochwasser etc.) kann dagegen eine nahezu vollständige Durchfeuchtung des Mauerwerks auftreten. *Brameshuber und Graubohm* untersuchten den Einfluss einer Wasserbeaufschlagung von Mauerwerkprüfkörpern und anschließenden Rücktrocknung auf bestimmte Mauerwerkeigenschaften /79/. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

5.5.2 Experimentelle Untersuchungen

Für die Untersuchungen in /79/ wurden u. a. vier verschiedene Dünnbettmörtel jeweils zur Verwendung mit Mauersteinen aus Kalksandsteinen (KS-R 12), Leichtbeton-Vollblöcken (Vbl 12), Planhochlochziegeln (PHLz 8) und Porenbeton-Plansteinen (PP 4) verwendet.

Wesentliche Kennwerte der verwendeten Mauermörtel sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Festmörtelkennwerte (Mittelwerte) im Alter von 190 Tagen der in /79/ untersuchten Dünnbettmörtel

Mörtel	Trocken-rohdichte	Biegezug-festigkeit	Druck-festigkeit
-	kg/dm³	N/mm²	
DM-a	1,57	4,3	20,9
DM-d	1,36	3,6	12,3
DM-e	1,41	4,1	14,5
DM-f	1,64	4,4	24,3

Bei den untersuchten Dünnbettmörteln handelte es sich um herkömmliche Dünnbettmörtel mit einer Trockenrohdichte zwischen 1,36 und 1,64 kg/dm³. Für die weiteren Untersuchungen wurden die Dünnbettmörtel a, d, und e verwendet. Diese deckten einen Druckfestigkeitsbereich zwischen 12,3 und 20,9 N/mm² ab.

Es wurden Druckversuche an 5-Stein-Pfeilern mit verschiedenen Feuchtezuständen ohne und nach Wasserlagerung (Zustand I bzw. II) und nach Rücktrocknung (Zustand IV) durchgeführt. Zustand I beschreibt den Ausgangszustand. Die Prüfkörper wurden mit Mauersteinen hergestellt, die nach mindestens 4-wöchiger Lagerung in einer geschlossenen Halle bei rd. 15 °C bis 25 °C und 40 % bis 60 % relativer Luftfeuchte Ausgleichsfeuchte erreicht hatten. Zustand II beschreibt den wassergesättigten Zustand der Prüfkörper

nach Lagerung in Wasser mit einer Temperatur von rd. 20 °C bis zur Massekonstanz. Im Zustand IV hatten die Prüfkörper etwa den anfänglichen Feuchtegehalt vor der Wasserbeaufschlagung.

Die Druckfestigkeiten der Zustände II und IV wurden auf die Druckfestigkeit im Zustand I bezogen. Mauerwerk aus Kalksand-Referenzsteinen mit Dünnbettmörtel DM-a erreichte im wassergesättigten Zustand II rd. 91 % im Vergleich zur Druckfestigkeit im Referenz-Zustand I. Im Zustand IV nach Rücktrocknung betrug die Druckfestigkeit der 5-Stein-Pfeiler rd. 161 % der Druckfestigkeit im Ausgangszustand. Die Tragfähigkeitssteigerung war verbunden mit einer Zunahme des Elastizitätsmoduls.

An 2-Stein-Prüfkörpern aus drei Stein-Dünnbettmörtel-Kombinationen wurde die Biegehaftzugfestigkeit mit dem „Bond-Wrench-Verfahren“ nach DIN EN 1052-5 /X55/ untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Biegehaftzugfestigkeit nach DIN EN 1052-5 an 2-Stein-Prüfkörpern aus /79/

Mauerstein	Mauermörtel	Biegehaftzug-festigkeit	Biegehaftzugfestigkeit bezogen auf Zustand I	
		Zustand I	Zustand II	Zustand IV
	-	N/mm²	%	
KS-R 12	DM-a	0,40	135	162
Vbl 12	DM-d	0,82	132	124
PHLz 8	DM-e	0,09	67	78

Bei Dünnbettmörtel in Kombination mit Kalksandsteinen und Leichtbeton-Vollblöcken wurde eine Steigerung der Biegehaftzugfestigkeit nach Wasserlagerung von rd. 33 % erreicht. Nach Trocknung der Prüfkörper auf den Ausgangsfeuchtegehalt wurde mit Kalksandsteinen eine nochmalige Festigkeitssteigerung erzielt, währen die Biegehaftzugfestigkeit mit Leichtbeton-Vollblöcken annähernd konstant blieb. Bei den Versuchen mit Planhochlochziegeln sowohl im wassergesättigten als auch im rückgetrockneten Zustand kam es nach /79/ ausnahmslos zu einem Versagen durch Bruch der eingespannten Hochlochziegel. Die Verbundfestigkeit von Dünnbettmörtel mit Hochlochziegeln bei einer Biegezugbeanspruchung ist demzufolge größer als die Biegezugfestigkeit des Hochlochziegels.

Insbesondere bei Mauerwerk aus Kalksandsteinen und Leichtbetonsteinen mit Dünnbettmörtel wurde in /79/ ein positiver Einfluss einer Feuchtebeanspruchung auf die Druckfestigkeit und Verbundfestigkeit bei Biegezugbeanspruchung gezeigt. Bei Dünnbettmauerwerk mit Hochlochziegeln konnte ein negativer Einfluss auf die Verbundfestigkeit bzw. die Mörtelfestigkeit nicht nachgewiesen werden. Nach /79/ werden die der Bemessung zugrunde liegenden Festigkeitseigenschaften der Baustoffe weitgehend wieder erreicht.

Die Druckfestigkeit der Dünnbettmörtel nach Wasserlagerung wurde nicht untersucht.

Mit den in /79/ durchgeführten Versuchen wurde der Einfluss einer Hochwasserbeanspruchung auf mechanische Eigenschaften von Mauerwerk mit verschiedenen Mauersteinen und Dünnbettmörteln untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Feuchtebeanspruchung zu einer Tragfähigkeitssteigerung führen kann. Signifikante Tragfähigkeitsverluste konnten dagegen nicht nachgewiesen werden. Mit den in /79/ durchgeführten Versuchen wurde ein Schadensfall simuliert.

Die in /79/ verwendeten Dünnbettmörtel hatten eine Trockenrohdichte zwischen 1,36 und 1,64 kg/dm³ und können somit zu den herkömmlichen Dünnbettmörteln gezählt werden. Die verwendeten Dünnbettmörtel wiesen eine Druckfestigkeit von 12,3 N/mm² (Vbl-DM) bis 20,9 N/mm² (KS-DM) auf. Die Druckfestigkeit der Dünnbettmörtel nach Wasserlagerung wurde nicht untersucht. Ein Druckfestigkeitsabfall infolge einer 14-tägigen Feuchtebeanspruchung ist jedoch auch bei diesen Dünnbettmörteln zu erwarten. Bei einer Mörteldruckfestigkeit von 12,3 N/mm² (Vbl-DM) und einem theoretischen Festigkeitsabfall von 30 % würde die Mindestdruckfestigkeit nach DIN EN 998-2 /X3/ von 10 N/mm² unterschritten werden. Dennoch zeigt Mauerwerk mit diesem Mörtel keinen signifikanten Festigkeitsverlust infolge der Wasserbeaufschlagung.

5.6 Zusammenfassung und Bewertung

Die Verwendung von Dünnbettmörtel fand Ende der 1960er Jahre Eingang in den Mauerwerkbau in Deutschland. Dem Dünnbettmörtel wurden wasserspeichernde Additive, z. B. organische Bestandteile (Kunststoffe), für ein verbessertes Wasserrückhaltevermögen zugegeben. Da mit steigendem Anteil organischer Bestandteile die Festigkeit nach Wasserlagerung abnahm, wurde nach DIN 1053-1 /X26/ zum einen die maximal zulässige Abnahme der Druckfestigkeit auf 30 % und zum anderen der Anteil organischer Bestandteile auf einen Massenanteil von 2 % begrenzt.

Die Begrenzung der organischen Bestandteile auf 2 M.-% entfiel in den Nachfolgedokumenten DIN V 18580 /X6, X7/ bzw. DIN V 20000-412 /X4/. Mit Einführung von DIN 20000-412, Ausgabe 2019 /X5/, wurde auch auf die Prüfung der Druckfestigkeit nach Wasserlagerung verzichtet.

Vorliegende Versuchsergebnisse bestätigen eine Festigkeitsminderung bis zu 30 %. Die Mindestdruckfestigkeit der Mörtelklasse M10 nach /X3/ für Dünnbettmörtel (10 N/mm²) wird in rd. 93 % der vorliegenden Stichprobe dennoch eingehalten, siehe Abschnitt 5.4.2.

Die Ergebnisse in /79/ zeigen, dass eine Feuchtebeanspruchung von Mauerwerkprüfkörpern zu einer Tragfähigkeitssteigerung führen kann. Signifikante Tragfähigkeitsverluste konnten nicht nachgewiesen werden. Bei einer Mörteldruckfestigkeit von 12,3 N/mm² würde die Mindestdruckfestigkeit nach /X3/ von 10 N/mm² bei einem theoretischen Festigkeitsabfall von 30 % unterschritten werden. Dennoch zeigte Mauerwerk mit diesem Mörtel keinen signifikanten Festigkeitsverlust infolge der Wasserbeaufschlagung, siehe Abschnitt 5.5.

Die vorhandenen Untersuchungsergebnisse zeigen nicht, dass unter den genannten Bedingungen ein Erfordernis für die Prüfung der Druckfestigkeit nach Wasserlagerung besteht.

6 LÄNGS- UND QUERDEHNUNGSMODUL

6.1 Allgemeines

In Deutschland gewann der Wärmeschutz im Bauwesen mit Auftreten der 1. Ölpreiskrise Anfang der 1970er Jahre zunehmend an Bedeutung. Daraus folgte ein Umdenken hinsichtlich der wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Wandbaustoffen, vgl. /68/. Im Mauerwerkbau wurde nicht nur bei den Mauersteinen, sondern auch bei den Mauermörteln das Potenzial erkannt die Wärmedämmung zu verbessern /68, 107/. Durch die Reduzierung des Fugenanteils beim Dünnbettmauerwerk in Verbindung mit teils großformatigen Elementen konnte die Wärmedämmwirkung von Mauerwerk bereits teilweise verbessert werden. Eine weitere Entwicklung im Bereich der Mauermörtel waren die Leichtmörtel mit geringer Wärmeleitfähigkeit. Wie beim Leichtbeton wurden bei diesen Mörteln die Zuschläge mit hoher Dichte (i. A. natürliche Sande) teilweise durch leichte Zuschläge ersetzt.

Die Verwendung von Leichtzuschlägen mit porigem Gefüge in Mauermörtel veränderte dessen Trag- und Verformungsverhalten gegenüber Mauermörtel mit Zuschlag mit dichtem Gefüge teilweise erheblich /68, 107/, vgl. Bild 11.

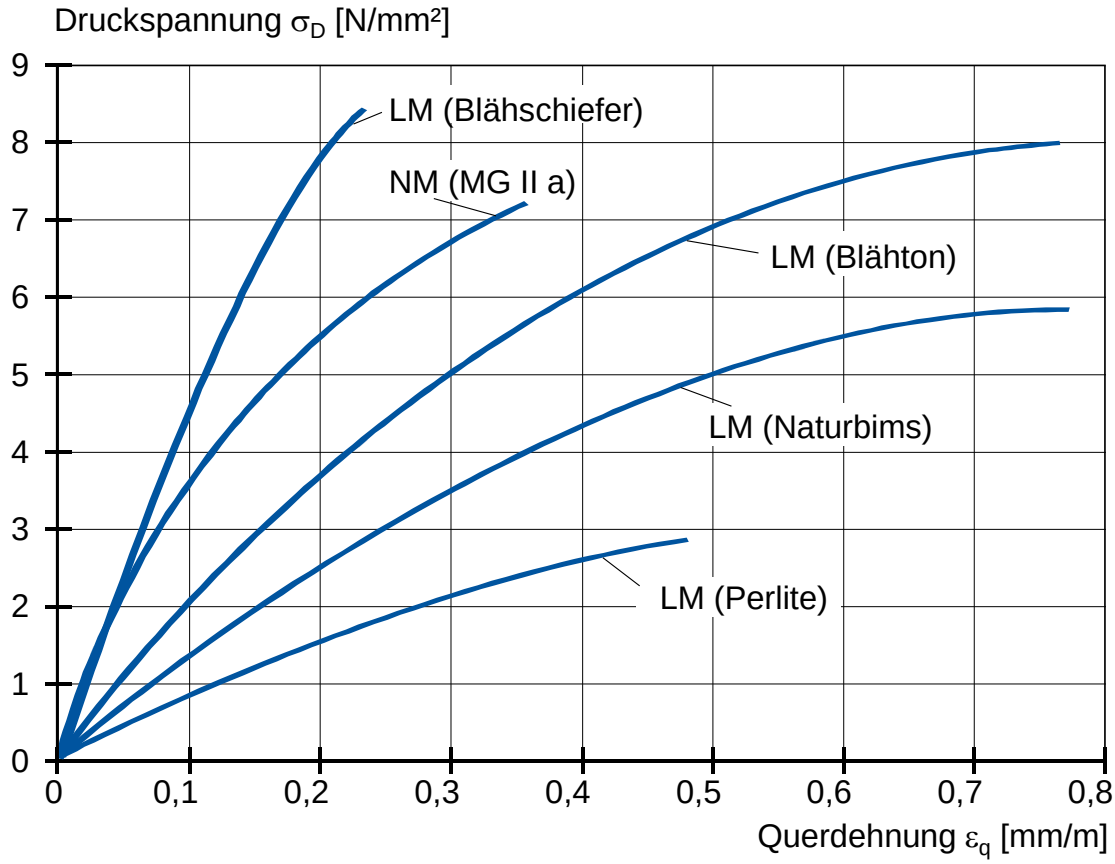


Bild 11: Querdehnungsverhalten bestimmter Leichtmauermörtel

In den 1970er und 1980er Jahren wurde deshalb das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmörteln eingehend untersucht. Als Ergebnis wurden Ende der 1980er Jahre in Deutschland Mindestwerte für die Verformungsmoduln (Längs- und Querdehnungsmoduln) von Leichtmauermörteln sowie mörtelspezifische Grundwerte für die zulässige Druckspannung für Mauerwerk für bestimmte Mauersteine festgelegt. Die Regelung der Längs- und Querdehnungsmoduln ist derzeit in DIN 20000-412 /X5/ als Empfehlung verankert, siehe Bild 7 und Abschnitt 6.3. Im Folgenden sollen wichtige Regelungen und die wichtigsten Forschungsergebnisse, die zu der normativen Regelung der Längs- und Querdehnungsmoduln geführt haben, zusammengestellt werden.

6.2 Leichtzuschläge für Leichtmauermörtel

Als Zuschlag für Mauermörtel war nach DIN 1053-1 /X20/, Ausgabe 1974, „Sand mineralischen Ursprungs im Sinne von DIN 4226“ zu verwenden. *Funk und Irmschler* grenzten diese allgemeine Formulierung in /95/ dahingehend ein, dass Sand nach DIN 4226-1 /X30/, d. h. mit dichtem Gefüge, zu verwenden sei. Bei sogenannten „Wärmedämmmörteln“

wurden dagegen u. a. Leichtzuschläge nach DIN 4226-2 /X33/ eingesetzt. Die Verwendung im Mauerwerkbau sei jedoch nach /95/ ausschließlich über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen nachzuweisen, weil diese Mauermörtel u. a. wegen der geringen Festigkeit der Leichtzuschläge ein anderes Tragverhalten aufwiesen.

Zuschläge nach DIN 4226-2 /X33/ waren vorwiegend künstliche und natürliche Leichtzuschläge mineralischen Ursprungs mit porigem Gefüge, vgl. /69, 107/. Dazu zählten nach /X33/ natürliche Gesteine, wie z. B. Naturbims, Lavaschlacke und Tuff, sowie künstlich hergestellte, gebrochene und ungebrochene porige Zuschläge, wie z. B. Blähton und Blähschiefer, geblähte Schmelzflüsse (z. B. Hüttenbims, Schaumschlacke), gebrannter Ton (z. B. Ziegelsplitt), gesinterte mineralische Stoffe (z. B. Sinterbims) sowie Steinkohlen- und Steinkohlenkoksschlacke. Diese Zuschläge wiesen jeweils eine verhältnismäßig hohe Korneigenfestigkeit auf /69, 107/.

DIN 4226-2 /X33/, Ausgabe 1971, galt dagegen nicht für sehr leichte und wenig feste mineralische sowie organische Zuschläge mit porigem Gefüge. Dazu zählten z. B. Blähglas, Blähglimmer (expandierter Vermiculit) und Blähperlit (Perlite) bzw. Schaumkunststoffperlen (Polystyrol-Perlen), vgl. /69, 107/. Die Verwendung von Leichtmörteln mit Leichtzuschlägen außerhalb von DIN 4226-2 /X33/ wurde in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Die erste Zulassung für einen Leichtmauermörtel mit Polystyrol-Perlen wurde am 7. Mai 1974 vom Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, erteilt /96/. Im November 1974 folgte die Zulassung für einen Leichtmörtel mit mineralischen Leichtzuschlägen aus geblähtem Perlit /97/. Weitere Zulassungen folgten, vgl. z. B. /102, 103, 104/.

Mit Einführung von DIN 4226-2 /X35/, Ausgabe 2002, wurden Blähperlit, expandierter Vermiculit und Blähglas als Leichtzuschläge in diese Norm aufgenommen. Europäisches Nachfolgedokument für Leichtzuschläge ist DIN EN 13055 /X38/. Nach DIN 20000-412 /X5/, der nationalen Anwendungsnorm für Mauermörtel in Deutschland, sind Leichtzuschläge nach DIN EN 13055 /X38/ zu verwenden. In /X38/ wird verschiedenen Gruppen von Ausgangsstoffen eine sogenannte „positive Anwendungsgeschichte“, z. B. für die Verwendung in Mörtel, zugeordnet, darunter Blähperlit, expandierter Vermiculit und Blähglas. Besondere Anforderungen werden an diese Leichtzuschläge nicht gestellt, vgl. DIN EN 13055 /X38/, Tabelle A.2.

6.3 Normative Regelungen von Leichtmauermörteln

Die Verwendung von Leichtmauermörteln wurde zunächst über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelt, vgl. Abschnitt 6.2.

Die zugelassenen Leichtmauermörtel mit Polystyrol-Perlen /96/ bzw. Bläh-Perlit /97/ mussten entsprechend der Mörtelgruppe IIa eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² erreichen. Für Mauerwerk aus Porenbeton-Blocksteinen der Festigkeitsklasse 2 mit Leichtmörtel nach /96/ bzw. /97/ wurde jedoch jeweils ein Grundwert der zulässigen Druckspannungen von 0,5 N/mm² entsprechend der Mörtelgruppe II, nicht der Gruppe IIa (0,6 N/mm²), festgelegt, d. h. mindestens rd. 15 % geringer als mit herkömmlichem Normalmauermörtel.

Die Ergebnisse von Wand- und Pfeilerdruckversuchen an Mauerwerk mit Leichtmauermörteln zeigten, dass sich das Trag- und Verformungsverhalten auch bei Verwendung von Leichtzuschlägen nach DIN 4226-2 /X33/ stark abweichend von vergleichbarem Mauerwerk mit herkömmlichem Normalmauermörtel gleicher Festigkeit verhielt /68, 107/. Der von *Bröcker* /98/ empirisch hergeleitete Zusammenhang zwischen Stein-, Mörtel- und Wanddruckfestigkeit, welcher für die Ermittlung der zulässigen Druckspannungen nach DIN 18554 /X53/ verwendet wurde, war /68, 107/ zufolge bei Mauerwerk mit Leichtmörtel nicht anwendbar.

Das Institut für Bautechnik (IfBt) reagierte im Dezember 1976 mit einem ergänzenden Muster-Einführungserlass zu DIN 1053-1 /X20/, siehe /100/. Darin heißt es: „Umfangreiche Versuche haben ergeben, daß Wände aus Steinen höherer Festigkeitsklassen als 50 [Anmerkung: 50 kp/cm² bzw. 5 N/mm²], die mit Leichtmauermörteln (Mörtel mit Leichtzuschlägen nach DIN 4226 Teil 2) hergestellt werden, unzureichende Wanddruckfestigkeiten erreichen.“ Über eine Änderung des Einführungserlasses zu DIN 1053-1 /X20/ der Bundesländer, vgl. z. B. Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 7. März 1977 /101/, wurden die zulässigen Druckspannungen nach /X20/ bei Verwendung von Leichtmörteln mit Zuschlägen nach DIN 4226-2 /X33/ erheblich abgemindert.

Die nach /100, 101/ abgeminderten Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für die Mörtelgruppen II, IIa und III in Abhängigkeit der Steinfestigkeitsklassen sind in Tabelle 3 den Grundwerten von Mauerwerk nach /X20/ gegenübergestellt.

Tabelle 3: Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk nach DIN 1053-1 /X20/ bzw. nach /100, 101/ bei Verwendung von Mauermörteln nach /X20/ mit Leichtzuschlägen nach DIN 4226-2 /X24/

Steinfestigkeitsklasse	Mauermörtel nach DIN 1053-1 /X20/			Leichtmauermörtel nach /100, 101/		
	II	IIa	III	II	IIa	III
N/mm²	N/mm²			N/mm²		
2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
4	0,7	0,8	1,0	-	0,8	1,0
6	0,9	1,0	1,2			
8	0,9	1,0	1,2			
12	1,2	1,4	1,6			
20	1,6	1,9	2,2			
28	2,2	2,5	3,0			

In der Entwurfsfassung DIN 1053-1 /X24/, Ausgabe 1987, wurden erstmals normative Anforderungen an Leichtmauermörtel festgelegt. Leichtmauermörtel sollten nicht mehr entsprechend ihrer Druckfestigkeit in die Mörtelgruppen II, IIa und III, sondern aufgrund ihrer Längs- und Querdehnungsmoduln in die Gruppen LM 1 und LM 2 eingeteilt werden, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Einteilung von Leichtmauermörteln nach DIN 1053-1 (Entwurf) /X24/ bzw. nach DIN 1053-1 /X26/, jeweils im Alter von 28 Tagen

DIN 1053-1	Leichtmörtel	Längsdehnungsmodul E_l	Querdehnungsmodul E_q
		N/mm²	
1987 /X24/ (Entwurf)	LM 1	> 2.000; ≤ 4.000	> 7.500; ≤ 20.000
	LM 2	> 4.000; ≤ 7.000	> 20.000; ≤ 40.000
1990 /X26/	LM 21	> 2.000; ≤ 3.000	> 7.500; ≤ 15.000
	LM 36	> 3.000	> 15.000

Seit Einführung der DIN 1053-1 /X26/, Ausgabe 1990, erfolgte die Unterscheidung der Leichtmörtelgruppen über (theoretische) Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit λ des Leichtmauermörtels. Leichtmörtel der Gruppe LM 21 bzw. LM 36 sollte eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0{,}21$ W/(m·K) bzw. $\lambda \leq 0{,}36$ W/(m·K) aufweisen. Die Anforderungswerte an die Längs- und Querdehnungsmoduln nach /X26/ sind ebenfalls in Tabelle 4 zusammengestellt. Gegenüber der Entwurfsfassung wurden die obere Grenze für die Mörtelgruppe LM 21 und die Mindestwerte für die Mörtelgruppe LM 36 um 25 % abgemindert, vgl. Tabelle 4. Hinsichtlich der Druckfestigkeit entsprachen die Leichtmörtel LM 21 und LM 36 der Mörtelgruppe IIa (5,0 N/mm²).

Die in Tabelle 4 angegebenen Anforderungswerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln nach /X26/ wurden in dem Arbeitskreis „Leichtmauermörtel“ diskutiert. Grundlage der

Diskussion waren u. a. Ergebnisse von Ringversuchen an Leichtmauermörteln, siehe auch /115, 120/. Im Rahmen der Ringversuche sollte das Prüfverfahren zur Bestimmung des Verformungsverhaltens nach DIN 18555-4 /X45/ abgesichert werden.

Die Grundwerte der zulässigen Druckspannungen σ_0 bei Verwendung von Leichtmauermörteln der Gruppen LM 1 und LM 2 nach /X24/ sowie LM 21 und LM 36 nach /X26/ sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die σ_0-Werte nach /X26/ entsprechen im Wesentlichen der Entwurfsfassung, lediglich die Werte für LM 36 für die Steinfestigkeitsklassen ≥ 12 wurden gegenüber der Entwurfsfassung um 0,1 N/mm² abgemindert. Es durften demnach keine höheren Grundwerte angesetzt werden als für Mauersteine der Festigkeitsklasse 12. Für die Steinfestigkeitsklassen 2 und 4 konnten je nach Mauersteinart teilweise höhere und niedrigere σ_0-Werte angesetzt werden, siehe /X24/ bzw. /X26/.

Tabelle 5: Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk mit Leichtmauermörteln der Gruppen LM 1 und LM 2 nach /X24/ bzw. der Gruppen LM 21 und LM 36 nach /X26/

Steinfestigkeitsklasse	Leichtmörtel nach /X24/		Leichtmörtel nach /X26/	
	LM 1	LM 2	LM 21	LM 36
N/mm²	N/mm²		N/mm²	
2	0,5	0,5	0,5	0,5
4	0,7	0,8	0,7	0,8
6	0,7	0,9	0,7	0,9
8	0,8	1,0	0,8	1,0
12	0,9	1,2	0,9	1,1
20				
28				

Nach DIN 20000-412 /X5/ gilt für Leichtmauermörtel eine Mindestdruckfestigkeit von 5,0 N/mm² entsprechend der Mörtelklasse M 5, vgl. Bild 7. Für die Verbundfestigkeit werden Mindestwerte von 0,08 N/mm² bzw. 0,10 N/mm² für die Mörtelklassen M 5 bzw. M 10 festgelegt. Die Trockenrohdichte soll ≤ 1.300 kg/m³ betragen. Gemäß Anhang A nach DIN 20000-412 /X5/ gilt die Zuordnung der bisherigen nationalen Bezeichnungen LM 21 und LM 36 zur Mörtelklasse M 5 nach europäischer Produktnorm DIN EN 998-2 /X3/, sofern der deklarierte Wert der Trockenrohdichte ≤ 700 kg/m³ (LM 21) bzw. ≤ 1000 kg/m³ (LM 36) und der deklarierte Wert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry,mat}$ (P = 90 %) ≤ 0,18 W/(m·K) (LM 21) bzw. ≤ 0,27 W/(m·K) (LM 36) betragen und wenn jeweils Nachweise über die Begrenzung der Verformbarkeit und die Erfüllung der Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit vorliegen. Bei Verwendung von Leichtmauermörtel ist nach /X5/ sicherzustellen, dass die Längs- und/oder Querverformung des Mörtels unter Druckbeanspruchung die Tragfähigkeit des Mauerwerks nicht übermäßig herabsetzt. Als mögliches Verfahren zur Bestimmung der

Verformungskenngrößen wird DIN 18555-4 /X46/ benannt. Wird der Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen nach diesem Verfahren geprüft, so sollten die in Tabelle 6 genannten Werte eingehalten werden.

Tabelle 6: Anforderungen an Leichtmauermörtel nach DIN 20000-412 /X5/ im Alter von 28 Tagen

Trockenrohdichte	Längsdehnungsmodul	Querdehnungsmodul
kg/m³	N/mm²	
≤ 700	≥ 2.000	≥ 7.500
≤ 1000	≥ 3.000	≥ 15.000

Als Leichtzuschläge sind Zuschläge nach DIN EN 13055 /X38/ zu verwenden.

In DIN EN 1996-1-1/NA /X62/ bzw. DIN EN 1996-3/NA /X67/ wurden Werte für die charakteristische Mauerwerkdruckfestigkeit f_k für bestimmte Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen festgelegt. Für die Leichtmauermörtel LM 21 und LM 36 werden f_k-Werte für Mauerziegel, Kalksandsteine sowie Leichtbeton-Voll- und -Lochsteine angegeben, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Charakteristische Druckfestigkeit f_k für Mauerwerk aus Mauerziegeln, Kalksandsteinen und Leichtbetonsteinen mit Leichtmauermörteln nach /X67/

Steinfestigkeitsklasse	Mauerziegel und Kalksandsteine		Voll- und Lochsteine aus Leichtbeton
	LM 21	LM 36	LM 21 und LM 36
N/mm²	N/mm²		N/mm²
2	1,2	1,3	1,4
4	1,6	2,2	2,3
6	2,2	2,9	3,0
8	2,5	3,3	3,6
10	2,8		-
12	3,0		
16			
20			
28			

6.4 Forschungsarbeiten und Monografien

6.4.1 Allgemeines

Nach dem Kenntnisstand von 1977 reichten die nach DIN 18555 /X40/ ermittelten Mörtelkennwerte *Trockenrohdichte* sowie *Biegezug- und Druckfestigkeit* für die Eignungsbeur-

teilung von Leichtmauermörtel nicht aus, vgl. /107/. Nach *Irmschler und Meyer* könne die Verwendung von Leichtmörteln nur für solche Mauersteine zugelassen werden, für die im Rahmen von Zulassungsversuchen das Trag- und Verformungsverhalten in Wanddruckversuchen nachgewiesen wurde /68/. Nach /69/ sind Leichtzuschläge praktisch nicht an der Kraftübertragung beteiligt. Die Auswirkung der Zuschlageigenschaft auf das Trag- und Verformungsverhalten von Mörtel und Mauerwerk könnten nach /105/ deshalb nur im Zusammenhang gesehen werden. Das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmörteln wurde in den darauffolgenden Jahren in Deutschland eingehend untersucht. Die wichtigsten Forschungsarbeiten, deren Ergebnisse und die wichtigsten Schlussfolgerungen sollen nachfolgend kurz im Kontext der „Forschungsstelle“ zusammenfassend dargestellt werden.

6.4.2 Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin

Meyer berichtet 1976 in /106/ über die Auswertung der bis dato dem Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, vorliegenden Versuchsergebnisse an Mauerwerk mit Leichtmörteln. Diese zeigten, dass die Zuordnung von zulässigen Druckspannungen, wie sie in DIN 1053-1 /X20/ zu bestimmten Mörtelfestigkeiten vorgesehen ist, für Mauerwerk mit Leichtmörteln nicht ohne weiteres möglich sei. Insbesondere bei Steindruckfestigkeiten > 5 N/mm² scheint nach *Meyer* das Dehnungsverhalten von Leichtmörteln gegenüber herkömmlichen Normalmörteln von größerem Einfluss auf die Wanddruckfestigkeit zu sein als die Mörteldruckfestigkeit.

Bei gleicher Mörteldruckfestigkeit sei die Art der Mörtelzusammensetzung, insbesondere die Art des Leichtzuschlags, von erheblichem Einfluss. Eine Abhängigkeit der Abweichung von der erwarteten Wanddruckfestigkeit von einem bestimmten Leichtzuschlag könne auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht nachgewiesen werden.

Solange keine allgemeingültigen Untersuchungsergebnisse von Mauerwerk mit Leichtmörteln vorliegen, soll nach *Meyer* der Eignungsnachweis im Einzelfall jeweils über Wanddruckversuche erfolgen /106/.

6.4.3 Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin

Über die Eignung von Leichtmörteln als Mauermörtel berichten *Plank und Kretschmann* 1977 in /107/. *Plank und Kretschmann* untersuchten in 82 Einzelversuchen an 69 Pfeilern

und 13 geschosshohen Wänden zwei handelsübliche Leichtmörtel mit Zuschlägen aus Polystyrol-Perlen (Leichtmörtel A) bzw. Blähsilikat (Leichtmörtel B) sowie einem Mauermörtel M II nach DIN 1053-1 /X20/ (Mischungsverhältnis Kalkhydrat:Zement:Sand 2:1:8) in Kombination mit den folgenden Mauersteinen: Porenbetonsteine (G 25 und G 75), Hohlblocksteine mit Naturbims (Hbl 25 und Hbl 50), Hohlblocksteine mit Ziegelsplitt (Hbl 75), Vollblocksteine mit Naturbims (Vbl 25 und Vbl 50), Leichtziegel (HLz 75) und Kalksand-Lochsteine (KSL 150).

Bei Leichtmörteln mit Zuschlägen geringer Korneigenfestigkeit sind nach /107/ die Zuschlagkörner im wesentlichen Hohlraumbildner und infolge dessen am Lastabtrag nahezu unbeteiligt. Die Festigkeit und das Verformungsverhalten von Leichtmörteln mit geschlossenem Gefüge werden maßgeblich durch die „Matrixfestigkeit des Bindemittels“ sowie durch den Volumenanteil, die Korngrößenverteilung und das Größtkorn des Zuschlags bestimmt. Die an Mörtelprobekörpern ermittelte Längssteifigkeit von Leichtmörteln kann bei gleicher Druckfestigkeit bis zu 2/3 geringer, die Querdehnung bis zu viermal größer und die Querdehnzahl doppelt so groß sein wie bei herkömmlichem Mauermörtel /107/.

Leichtmörtel weisen teilweise eine wesentlich größere Schwind- und Kriechneigung auf als herkömmliche Mauermörtel. Bei Leichtmörteln fallen Druckfestigkeitsminderungen infolge eines frühzeitigen Wasserentzugs durch die Saugwirkung des Steinmaterials im Allgemeinen geringer aus gegenüber herkömmlichem Mauermörtel /107/.

Plank und Kretschmann schließen aus den Versuchsergebnissen, dass eine Beurteilung der Eignung von Leichtmörtel allein aufgrund von Mörtelkennwerten, die nach einschlägigen DIN-Normen ermittelt werden, nach den vorliegenden Erkenntnissen ausscheide /107/. Als Eignungsnachweis werden Tragfähigkeitsprüfungen an Mauerwerkprobekörpern für die jeweilige Materialkombination empfohlen.

6.4.4 Institut für Ziegelforschung (IZF), Essen

Jung berichtet 1976 in /108/ über den Stand der Forschung aus /109/ zur Auswirkung von wärmedämmendem Mauermörtel auf Wärmedämmung, Tragfähigkeit und Verformungsverhalten tragender Wände. Neben dem Einfluss verschiedener Leichtmörtelrezepturen auf die Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerk wird das Trag- und Verformungsverhalten ausgewählter Leichtmörtel sowie von Mauerwerk mit diesen Mörteln diskutiert /108/. Neben Vergleichsmörteln der Mörtelgruppe II nach DIN 1053-1 /X20/ wurden verschiedene Mörtelrezepturen für wärmedämmenden Mörtel untersucht. Als Leichtzuschläge kamen z. B. stark

expandiertes Perlit, Blähton aus zwei verschiedenen Werken, keramische Schaumstoffe, Flugasche sowie Bims zum Einsatz.

Allgemein wurde mit zunehmender Mischdauer ein Anstieg der Mörtelrohdichte festgestellt, was auf die sehr geringe Korneigenfestigkeit der verwendeten Leichtzuschläge zurückzuführen sei und die Wärmeleitfähigkeit ungünstig beeinflusse /108/.

Das Verformungsverhalten von Leichtmörteln wurde nach DIN 1048-3 /X56/ an Probekörpern mit den Abmessungen 200 mm/200 mm/400 mm (Länge/Breite/Höhe) nach 10-maliger Vorbelastung bis zu rd. einem Drittel der erwarteten Bruchlast bestimmt. In Tabelle 8 sind exemplarisch die an den untersuchten Mauermörteln ermittelten Druckfestigkeitswerte sowie die Elastizitätsmoduln ausgewählter Mörtelmischungen jeweils als Mittelwerte angegeben.

Tabelle 8: Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul (Mittelwerte) der untersuchten Mauermörtel nach /108/

Mauermörtel	Leichtzuschlag	Druckfestigkeit nach /X40/	Druckfestigkeit nach /X56/	Elastizitätsmodul /X56/
-	-	N/mm²	N/mm²	N/mm²
NM II	-	5,8	5,1	6.340
LM 1	Blähton, Perlite	4,3	3,9	2.910
LM 2	Blähton, Perlite	6,3	4,1	3.790
NM II	-	11,7	9,7	13.110
LM 3	Blähton, Flugasche, keram. Schaumstoff	7,6	4,3	2.610
LM 4	vorwiegend Bims	13,1	10,9	4.120
LM 5	vorwiegend Bims	9,4	7,4	3.810

Die Ergebnisse der untersuchten Leichtmörtel zeigen, dass mit Leichtmörtel vergleichbare Druckfestigkeitswerte gegenüber Normalmörtel erzielt werden können. Die Elastizitätsmoduln von Leichtmörtel können jedoch auch bei höherer Prismendruckfestigkeit nach DIN 18555 /X40/ gegenüber herkömmlichem Mauermörtel deutlich niedriger ausfallen. Die Elastizitätsmoduln der Leichtmörtel lagen zwischen 2.610 und 4.120 N/mm² gegenüber 6.340 und 13.110 N/mm² beim herkömmlichen Mauermörtel, siehe Tabelle 8.

Es wurden Wanddruckversuche an kleinen Mauerwerkwänden mit den Abmessungen 124 cm/24 cm/124 cm (Länge/Breite/Höhe) durchgeführt. Bei zentrischer Belastung und gleicher Steindruckfestigkeit (150 kp/cm²) ergaben sich für Mauerwerk mit Leichtmörteln rd. 27 % (MG II) bzw. 44 % (MG IIa) niedrigere Bruchlasten gegenüber Mauerwerk mit herkömmlichen Mauermörteln. Dabei wurden die Ergebnisse nach dem Ansatz von *Bröcker*

in DIN 18554 /X53/ auf eine Mörteldruckfestigkeit von 35 kp/cm² (MG II) bzw. 100 kp/cm² (MG IIa) umgerechnet.

Aus den bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Ergebnissen zieht *Jung* in /108/ das Fazit, dass die Einstufung von Mauerwerk in eine bestimmte Festigkeitsklasse auf die übliche Weise nach DIN 1053 auf Basis der Einzelstein- und Mörtelprismendruckfestigkeit für Leichtmörtel nicht beibehalten werden könne. Eine ausreichende Sicherheit für Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln und Leichtmörteln sei nur gewährleistet, wenn das Verformungsverhalten des Mörtels, insbesondere der E-Modul, zur Beurteilung bei der Festlegung von zulässigen Spannungen mit herangezogen werde. Nach *Schellbach und Jung* sei der E-Modul zur Beurteilung des Querdehnungsverhaltens von Leichtmörtel nicht ausreichend, da die Querdehnzahl $\nu = \varepsilon_q/\varepsilon_l$ von Leichtmauermörtel zum Teil deutlich größer sei gegenüber herkömmlichem Mauermörtel /109/.

Schellbach und Jung berichten 1983 in /114/ über weitere Untersuchungen zum Verformungsverhalten und zur Tragfähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörteln. An 95 „RILEM-Wandprüfkörpern“ untersuchten sie das Trag- und Verformungsverhalten unter Variation der Mauersteine und der Mauermörtel. Es wurden Hohlblocksteine der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6 sowie Hochlochziegel der Festigkeitsklassen 6, 12 und 20 mit den Steinbreiten 24 cm bzw. 30 cm verwendet. Neben zwei Normalmörteln der Gruppen IIa und III kamen Leichtmörtel (LM) mit vier verschiedenen Leichtzuschlägen – Perlite, Bims, Blähton und Blähschiefer – und teilweise eine Mischung aus diesen zum Einsatz.

In Tabelle 9 sind die an Mörtelprüfkörpern mit den Maßen 100 mm/100 mm/200 mm (Länge/Breite/Höhe) ermittelten Längs- und Querdehnungsmoduln der in /114/ untersuchten Mauermörtel jeweils als Mittelwerte angegeben.

Tabelle 9: Druckfestigkeit sowie Längs- und Querdehnungsmoduln (Mittelwerte) der in /114/ untersuchten Mauermörtel

Mauer-mörtel	Leicht-zuschlag	Prüfalter	Druck-festigkeit β_D	Längsdehnungs-modul E_l	Querdehnungs-modul E_q
-	-	d	N/mm²	N/mm²	
LM 2a	Perlite	8	6,28	2.340	10.500
		44	5,57	2.700	12.200
LM 3a	Bims	3	7,01	5.570	27.550
		28	12,79	6.150	30.100
LM 6a	Bims und Blähton	7	7,65	5.150	28.400
		28	9,16	5.930	29.200
LM 11a	Blähschiefer	3	6,63	4.820	36.100
		31	12,71	9.340	47.700
NM IIa	-	5	8,40	6.340	45.000
		28	11,40	13.900	79.700
NM III	-	6	15,28	15.400	91.100
		28	20,19	14.000	70.600

Die Querdehnmoduln der untersuchten Mauermörtel im Alter von ≥ 28 Tagen liegen im Bereich zwischen 12.200 N/mm² (LM 2a mit Perliten) bis 47.700 N/mm² (LM 11a mit Blähschiefer). Insbesondere für den LM 11a mit Blähschiefer und den Normalmauermörtel NM IIa unterscheiden sich die Druckfestigkeiten und Querdehnmoduln in jungem Alter deutlich von den 28 Tage-Werten.

Für einen Vergleich der Ergebnisse der Wanddruckversuche mit der jeweils zugehörigen zulässigen Druckspannung wurden die ermittelten Wanddruckfestigkeiten umgerechnet. Bei der Umrechnung wurden ein Formfaktor für die Mauersteine, ein Faktor zur Umrechnung auf die Mindestwerte der Stein- und Mörteldruckfestigkeit nach dem Ansatz von *Bröcker* in DIN 18554 /X53/ sowie ein Faktor zur Umrechnung auf die Prüfkörperschlankheit 10 berücksichtigt. Die umgerechneten Wanddruckfestigkeiten $\beta_{w,red}$ der Serien mit Hochlochziegeln sind in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel in Bild 12 dargestellt.

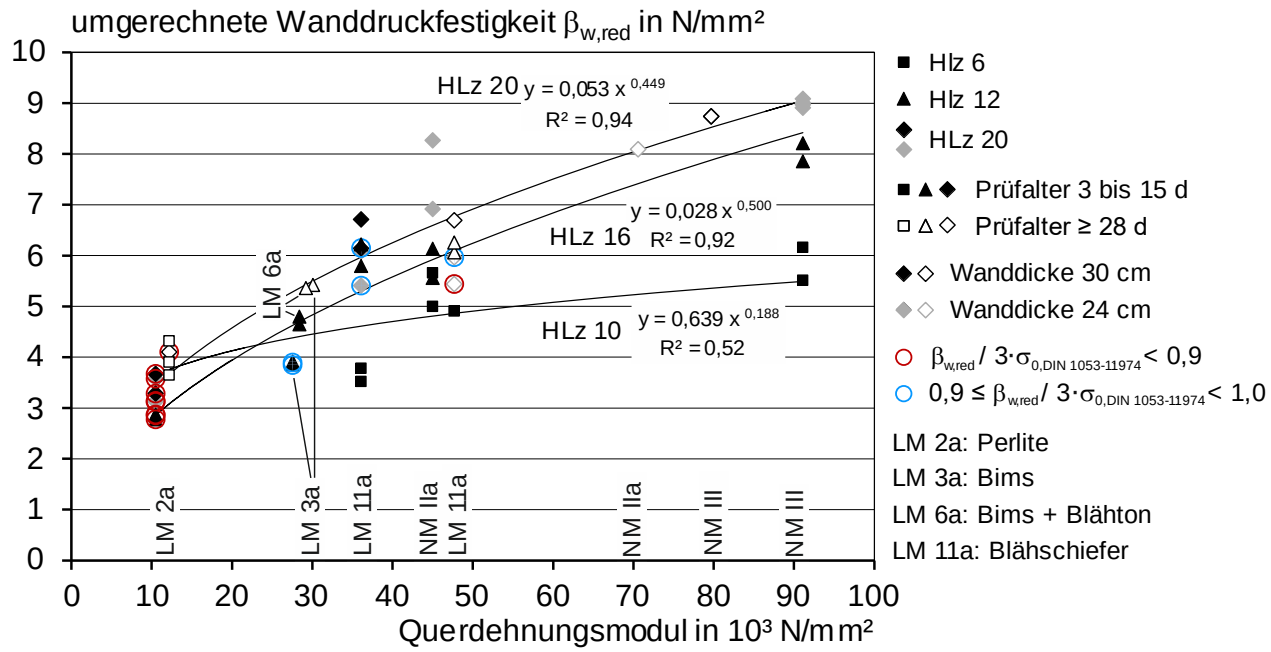


Bild 12: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit $\beta_{W,red}$ (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Hochlochziegeln in Abhängigkeit des jeweiligen Querdehnungsmoduls des Mauermörtels, Werte aus /114/ (Erläuterungen: Symbole ausgefüllt: Prüfalter 3 bis 15 d; Symbole nicht ausgefüllt: Prüfalter ≥ 28 d; Symbole schwarz: Wanddicke 30 cm, Symbole grau: Wanddicke 24 cm)

Im Gegensatz zur Darstellung in /114/ wurden in Bild 12 nicht die Mittelwerte der Prüfwerte, sondern alle Einzelwerte als umgerechnete Wanddruckfestigkeiten dargestellt. Eine Bewertung der Ergebnisse erfolgte in /114/ über den Vergleich der umgerechneten Wanddruckfestigkeiten $\beta_{W,red}$ mit den dreifachen in DIN 1053-1 /X20/ festgelegten Grundwerten der zulässigen Druckspannungen ($3 \cdot \sigma_0$). Werte kleiner als 90 % von $3 \cdot \sigma_0$ wurden in Bild 12 rot umkreist. Mit einem blauen Kreis wurden Werte versehen, die zwischen 90 und 100 % von $3 \cdot \sigma_{zul.}$ liegen und damit die erforderliche Wanddruckfestigkeit um weniger als 10 % unterschreiten. Für alle anderen Werte gilt: $\beta_{W,red} / 3 \cdot \sigma_0 \geq 1{,}0$.

Mit den verwendeten Normalmörteln der Gruppen NM IIa und NM III wurden unabhängig vom Prüfalter und Hochlochziegel umgerechnete Wanddruckfestigkeiten $\geq 3 \cdot \sigma_{zul.}$ erreicht, vgl. Bild 12. Bei Verwendung von Perliten als Leichtzuschlag (LM 2a) mit Hochlochziegeln HLz 12 und HLz 20 wurden unzureichende Wanddruckfestigkeiten erreicht. Die Leichtmörtel LM 3a mit vorwiegend Bims sowie LM 11a mit Blähschiefer als Leichtzuschlag in Kombination mit dem HLz 12 erreichten meist erst nach 28 Tagen ihre Verformungscharakteristik und ausreichende Wanddruckfestigkeiten. Bei dem Leichtmörtel LM 6a (Bims und Blähton) mit HLz 12 wurden ausreichende Festigkeiten erreicht.

Der unzureichende Wert der Wanddruckfestigkeit mit LM 11a in Kombination mit HLz 20 (Wanddicke 24 cm) im Prüfalter von 28 Tagen ist auf eine erhebliche Abminderung infolge des hohen Mörteldruckfestigkeitswertes ≥ 20 N/mm² zurückzuführen, welche auf die Nenndruckfestigkeit für die Mörtelgruppe III (10,0 N/mm²) bezogen wird. Für die Einstufung in die Mörtelgruppe IIIa würde sich eine ausreichende Wanddruckfestigkeit ergeben. Die Auswertung nach DIN 18554 /X53/ (vgl. *Bröcker* /98/) ergibt insgesamt ungünstigere Verhältniswerte gegenüber dem Ansatz nach DIN 18554-1 /X54/, bei dem der Mörteldruckfestigkeit ein geringerer Einfluss auf die Mauerwerkdruckfestigkeit beigemessen wird.

Mit zunehmendem Querdehnungsmodul des Mörtels vergrößert sich insbesondere bei Hochlochziegeln der Festigkeitsklassen 12 und 20 die umgerechnete Wanddruckfestigkeit, vgl. Bild 12.

Bei den Wanddruckversuchen mit Hohlblocksteinen in den Festigkeitsklassen 4 (Blähton) und 6 (Bims) mit Leichtmörteln wurde im Vergleich mit den jeweils entsprechenden Normalmörteln der Gruppen NM IIa und NM III kein signifikant schlechteres Tragverhalten festgestellt. Im Gegensatz zu den Hochlochziegeln wurde bei den Hohlblocksteinen mit zunehmendem Querdehnungsmodul des Mörtels keine signifikante Steigerung der umgerechneten Wanddruckfestigkeit festgestellt.

Schellbach und Jung leiten aus den Untersuchungen einen Vorschlag für Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk mit Hochlochziegeln und Leichtmauermörteln in Abhängigkeit des Querdehnungsmoduls E_q des Mauermörtels ab /114/. Bei der Verwendung von Leichtzuschlägen nach DIN 4226-2 /X33, X34/ und einem Querdehnungsmodul E_q des Leichtmörtels von mindestens 25.000 N/mm² könnten nach /114/ mit Mauersteinen bis einschließlich Festigkeitsklasse 6 die für Normalmörtel geltenden Grundwerte der zulässigen Druckspannung nach DIN 1053-1 /X20/ angewendet werden. Leichtmauermörtel mit Zuschlägen, welche nicht DIN 4226-2 /X33, X34/ entsprechen, wie z. B. Perlite, seien weiterhin durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu regeln. Für Mauerziegel der Festigkeitsklassen 12 und 20 in Kombination mit Leichtmörteln dürften die Grundwerte der zulässigen Druckspannung nach DIN 1053-1 /X20/ nur dann angewendet werden, wenn der Querverformungsmodul der Leichtmörtel dem der Normalmörtel, mindestens jedoch 45.000 N/mm² (MG IIa) bzw. 65.000 N/mm² (MG III), entspreche. Bei kleineren Querdehnungsmodulwerten schlagen *Schellbach und Jung* abgeminderte Grundwerte σ_0 der zulässigen Druckspannung vor /114/.

6.4.5 Institut für Baustoffkunde (IfB), Hannover

Kirtschig und *Metje* stellten 1979 Ergebnisse aus /110/ zum Tragverhalten von mit Leichtmörteln hergestelltem Mauerwerk vor /111, 112/. Es wurden vier verschiedene Leichtmörtel und zwei Normalmörtel der Gruppen IIa und III untersucht. Die verwendeten Mauermörtel entsprechen den von *Schellbach und Jung* in /114/ untersuchten Mauermörteln.

In Tabelle 10 sind die an den untersuchten Mauermörteln ermittelten Druckfestigkeiten sowie die Längs- und Querdehnungsmoduln jeweils als Mittelwerte angegeben. Die Werte wurden im Alter von 28 Tagen an Prüfkörpern mit den Abmessungen 100 mm/100 mm/ 200 mm (Länge/Breite/ Höhe) als Sekantenmodul bei 40 % der erwarteten Bruchlast ermittelt.

Tabelle 10: Druckfestigkeit sowie Längs- und Querdehnungsmoduln (Mittelwerte) der in /112/ untersuchten Mauermörtel

Mauermörtel	Leichtzuschlag	Druckfestigkeit β_D	Längsdehnungsmodul E_l	Querdehnungsmodul E_q
-	-	N/mm²	N/mm²	
NM IIa	-	6,7	7.040	48.500
LM 1	Perlite	3,2	1.960	10.100
LM 2	Bims	8,0	4.910	21.300
NM III	-	16,8	13.750	73.800
LM 3	Bims und Blähton	13,9	3.670	28.500
LM 4	Blähschiefer	13,4	8.500	42.900

Nach *Kirtschig und Metje* /112/ ist das Querdehnungsverhalten von Mauerstein und Mauermörtel entscheidend für das Tragverhalten von Mauerwerk. Die Tragfähigkeit von Mauerwerk werde jedoch nicht über die für den Bruch als maßgebend angesehenen Größen der Querverformungen der Steine und Mörtel, sondern vereinfachend über deren Druckfestigkeit beschrieben. Bei Normalmörteln steigt mit zunehmender Druckfestigkeit auch der Querdehnungsmodul, vgl. Werte für NM IIa und NM III in Tabelle 10. Die Beziehung zwischen der Druckfestigkeit und dem Querdehnungsverhalten von Leichtmörtel unterscheidet sich von Normalmörteln, wie die Vergleiche von NM IIa und LM 2 bzw. NM IIa und LM 4 zeigen, siehe Tabelle 10.

Mit den Leichtmörteln LM 1 und LM 4 in Kombination mit Kalksand-Hohlblocksteinen und Leichtbeton-Vollblöcken wurden Wanddruckversuche durchgeführt. Bei Mauerwerk mit Kalksand-Hohlblocksteinen steigt mit zunehmendem Querdehnungsmodul des Mauermörtels auch die Riss- bzw. Bruchspannung /112/. Für den Leichtmörtel LM 1 in Kombi-

nation mit Kalksand-Hohlblocksteinen ergibt sich ein Verhältnis der Riss- zur Bruchspannung von 0,28; somit kann die Rissspannung für diese Stein-Mörtel-Kombination im Bereich der Gebrauchslasten liegen. Bei Leichtbeton-Vollblöcken wird die Zunahme der Riss- bzw. Bruchspannungen mit steigendem Querdehnungsmodul geringer. Zwischen der Rissspannung und dem Längsdehnungsmodul ergibt sich nach /112/ keine entsprechende Korrelation.

Kirtschig und Metje stellten 1981 in /113/ weitere Ergebnisse zum Tragverhalten von Mauerwerk aus Porenbetonsteinen (G 4), Leichtbeton-Vollblöcken (Vbl 6, Blähton) sowie Kalksand-Hohlblöcken (KSHbl 6 und KSHbl 12) in Kombination mit vier verschiedenen Leichtmörteln und zwei Normalmörteln der Gruppen IIa und III vor. Die Mörtel LM 1 und LM 2 waren Angabe gemäß Fertigmörtel, während die Mörtel LM 3 und LM 4 sowie die Normalmörtel nach Rezeptur hergestellt wurden. In Tabelle 11 sind die nach /113/ an den untersuchten Mauermörteln ermittelten Längs- und Querdehnungsmoduln jeweils als Mittelwerte angegeben. Die Werte wurden im Alter von 28 Tagen an Prüfkörpern mit den Abmessungen (Länge/ Breite/Höhe) 100 mm/100 mm/200 mm als Sekantenmodul bei 33 % der erwarteten Bruchlast ermittelt.

Tabelle 11: Druckfestigkeit sowie Längs- und Querdehnungsmoduln (Mittelwerte) der in /113/ vorgestellten Mauermörtel

Mauermörtel	Leichtzuschlag	Druckfestigkeit β_D	Längsdehnungsmodul E_l	Querdehnungsmodul E_q
-	-	N/mm²	N/mm²	
NM IIa	-	6,7	7.460	51.890
LM 1	Perlite	3,2	2.050	10.100
LM 2	Bims	8,0	5.000	24.670
NM III	-	16,8	14.310	73.610
LM 3	Bims und Blähton	13,9	6.530	29.480
LM 4	Blähschiefer	13,4	8.780	44.620

Ein exemplarischer Vergleich der Druckfestigkeitswerte der Mörtel NM IIa und LM 2 zeigt, dass der Leichtmörtel LM 2 bei etwas höherer Druckfestigkeit einen deutlich niedrigeren Querdehnungsmodul aufweist. Nach /113/ sind bei den Normalmörteln die Längs- und Querverformungen bei gleichem Spannungsniveau, d. h. bei gleich großer Spannung bezogen auf die jeweilige Mörtelfestigkeit, z. T. beträchtlich niedriger als bei Leichtmörteln.

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Mauerwerk-Druckversuche wurden die bis dato bekannten Ergebnisse der Untersuchungen von *Schellbach und Jung* /109, 114/ an Mauerwerkprüfkörpern mit Hochlochziegeln (HLz 6, HLz 12 und HLz 20), Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit Blähton (Hbl 2 und 6) bzw. mit Bims (Hbl 2) analysiert.

Eine Analyse der Spannungs-Querdehnungslinien zeigte, dass bei Mauerwerk mit Hochlochziegeln mit steigendem Querdehnungsmodul ebenso die Bruchspannung zunimmt. Dieser Zusammenhang, wenn auch in geringerem Maße, kann ebenso für die untersuchten Mauersteine KSHbl 6 und KSHbl 12, Vbl 6 und Hbl 6 (mit Bims bzw. Blähton) sowie G 4 beobachtet werden /113/. Bei den Hohlblocksteinen aus Blähton der Festigkeitsklasse 2 ist nach /113/ kein Zusammenhang zwischen dem Querdehnungsmodul des Mauermörtels und der Bruchspannung des Mauerwerks nachzuweisen.

Kirtschig und Metje untersuchten 1984 in /116/ den Einfluss von Luftporenbildnern auf das Verformungsverhalten von Normal- und Leichtmauermörteln. Als Mauermörtel wurden Normalmörtel aus Portlandzement (PZ 35 F), Weißkalkhydrat und Mauersand (Grubensand 0-4 mm) sowie Leichtmörtel aus Portlandzement (PZ 35 F), Weißkalkhydrat und Blähton (Blähton-Zuschlag: 25 Vol.-% Blähton 0/0,25 mm und 75 Vol.-% Blähtonsand 0/4 mm) jeweils mit drei verschiedenen LP-Gehalten verwendet. An insgesamt acht Mörtelmischungen mit Variation der Mischungsverhältnisse und des Gehalts an Luftporenbildnern wurden die Druckfestigkeit nach DIN 18555-3 /X43/ sowie die Längs- und Querdehnungsmoduln nach DIN 18555-4 /X44/ bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Mischungsverhältnisse (Zement:Kalk:Zuschlag), Luftporengehalt (LP), Druckfestigkeit sowie Längs- und Querdehnungsmoduln der in /116/ untersuchten Mauermörtel mit Luftporenbildner

Mauermörtel	Mischungsverhältnis	LP-Gehalt	Druckfestigkeit β_D	Längsdehnungsmodul E_l	Querdehnungsmodul E_q
-	-	%	N/mm²	N/mm²	
M0 (NM)	1:1:7,5	2,1	5,1	4.910	33.500
M1 (NM)	1:1:6	10,5	6,4	5.180	32.700
M2 (NM)	1:1:5	18,0	5,8	4.270	32.100
LM0	1:1:8	12,0	10,7	6.230	29.000
LM1	1:1:6	20,0	9,1	4.970	23.700
LM2	1:1:5	28,0	6,1	4.070	19.500
LM0 (W)	1:1:8,5	13,0	5,9	4.220	22.600
LM2 (W)	1:1:4,5	29,0	5,6	4.140	23.000

Bei gleicher Mörteldruckfestigkeit und verschiedenen Luftporengehalten trat nach /116/ sowohl bei den Normalmörteln als auch bei den Leichtmörteln keine bedeutende Änderung der Querdehnungsmoduln ein.

Zudem wurden Wanddruckversuche an RILEM-Prüfkörpern aus 10 DF-Ziegeln und 2 DF-Ziegeln mit einer Druckfestigkeit von 18,8 N/mm² bzw. 17,2 N/mm² in Kombination mit

Mauermörteln der Mischungen M0 und M2 sowie LM0 (W) und LM2 (W) durchgeführt. Bei Verwendung von Normalmörteln mit verschiedenen Luftporengehalten änderte sich nach /116/ die Mauerwerkdruckfestigkeit nicht. Bei Mauerwerk mit Leichtmörteln wurde ein Festigkeitsabfall von rd. 14 % (10 DF) bzw. 6 % (2 DF) bei Verwendung von Luftporenbildnern festgestellt. Eine Signifikanz konnte nicht nachgewiesen werden. Bei Verwendung von Leichtmauermörtel stellen sich i. d. R. geringere Wanddruckfestigkeiten ein. Nach *Kirtschig und Metje* /91/ müsse die Vorgehensweise, bei Mörteleignungsprüfungen im Wesentlichen nur die Mörteldruckfestigkeit nachzuweisen, neu überdacht werden.

Kirtschig und Metje werteten in /115/ die bis 1984 verfügbaren Versuchsergebnisse zum Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmörteln aus. Mit der Auswertung sollte der Bruchmechanismus von Mauerwerk bei Verwendung von Leichtmauermörtel überprüft und zulässige Spannungen festgelegt werden.

Es wurden insgesamt 120 Versuchsserien ausgewertet, bei denen neben der Mauerwerkdruckfestigkeit auch die Querdehnungsmoduln der Mauersteine sowie der Mauermörtel vorlagen. In den ausgewerteten Datensätzen waren Hochlochziegel, Hohlblöcke aus Kalksandstein und Leichtbeton sowie Vollblöcke aus Poren- und Leichtbeton vertreten. Für die Kombination aus Voll- und Lochsteinen aus Kalksandstein mit Leichtmauermörtel lagen 1984 noch keine Untersuchungen vor.

Kirtschig und Metje leiten aus den vorliegenden Versuchsergebnissen Zusammenhänge zwischen den Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Mauersteinen, Mauermörteln und Mauerwerk ab /115/. Die beste Übereinstimmung lieferte der gemischte Ansatz der Steindruckfestigkeit und des Längsdehnungsmoduls des Mauermörtels. Mithilfe des Ansatzes wurden zulässige Druckspannungen berechnet. Nach dem Ansatz könnten nach /115/ Leichtmörtel entsprechend ihrer Längs- und Querdehnungsmoduln in die Gruppen LM 1 und LM 2 eingeteilt und diesen die zulässigen Druckspannungen der Mörtelgruppen II bzw. IIa zugeordnet werden. Nach /115/ sollten Leichtmörtel nicht mit Mauersteinen der Festigkeitsklasse 20 kombiniert werden.

Bei der Bestimmung der Längs- bzw. Querdehnungsmoduln ergeben sich nach /115/ Variationskoeffizienten zwischen 0,4 bis 9,5 % bzw. 2,2 und 24,9 %. Somit sei die Bestimmung des Querdehnungsmoduls mit einer größeren Streuung behaftet und kein geeigneter Parameter für die Berechnung der Mauerwerkdruckfestigkeit /115/.

Kirtschig und Meyer untersuchten in /117/ das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel und stellten 1987 wesentliche Ergebnisse in /118/ vor. Das

Versuchsprogramm umfasste Druckversuche an Wandprüfkörpern aus Hochlochziegel der Festigkeitsklasse 6 (HLz 6), Hochlochziegel der Lochung W in den Festigkeitsklassen 4 und 6 (HLzW 4 und HLzW 6), Porenbetonsteinen der Festigkeitsklassen 2 und 6 (G 2 und G 6), Leichtbeton-Hohlblöcken in den Festigkeitsklassen 2 und 4 (Hbl 2 und Hbl 4) sowie Kalksand-Hohlblocksteinen der Festigkeitsklassen 4 und 6 (KSHbl 4 und KSHbl 6). Als Mauermörtel kamen zwei Normalmörtel (NM 1 und NM 2) der Mörtelgruppen II bzw. IIa zum Einsatz. Zudem wurden insgesamt fünf Leichtmörtel (LM 1 bis LM 5) mit verschiedenen Leichtzuschlägen und Verformungskennwerten untersucht. In Tabelle 13 sind die in /117/ untersuchten Mauermörtel und wesentliche Kennwerte zusammengestellt.

Tabelle 13: Druckfestigkeit sowie Längs- und Querdehnungsmoduln (Mittelwerte) der in /117/ untersuchten Mauermörtel

Mauer-mörtel	Leicht-zuschlag	Prüfalter	Druck-festigkeit β_D	Längsdehnungs-modul E_l	Querdehnungs-modul E_q
-	-	d	N/mm²	N/mm²	
LM 1	Perlite	14	-	2.800	14.000
		28	7,8	2.400	9.700
LM 2	Blähton	14	-	4.900	25.500
		28	10,8	5.400	25.600
LM 3	Perlite	14	-	2.900	11.500
		28	10,7	5.400	10.900
LM 4	Bims	14	-	5.100	24.700
		28	15,2	4.500	18.700
LM 5	Polystyrol-Perlen	14	-	3.800	15.500
		28	7,9	3.900	16.000
NM 1	-	14	-	2.200	14.300
		28	3,2	2.500	16.300
NM 2	-	14	-	2.900	23.200
		28	6,1	4.000	26.700

Die Längs- und Querdehnungsmoduln wurden nach DIN 18555-4 /X44/ bestimmt. Das Trag- und Verformungsverhalten wurde in insgesamt 182 Wanddruckversuchen an RILEM-Prüfkörpern nach DIN 18554 /X53/ im Alter von 14 Tagen untersucht.

Die Untersuchungen von *Kirtschig und Meyer* bestätigen, dass je nach Mauerstein die Mauerwerkdruckfestigkeit sehr stark von der Art des verwendeten Mörtels beeinflusst werden kann. Während bei Mauerwerk mit HLz 6 in Kombination mit dem Normalmörtel NM 2 eine mittlere Wanddruckfestigkeit von 5,22 N/mm² erreicht wurde, betrug diese beim LM 1 nur 2,68 N/mm². Dagegen sind die Druckfestigkeiten bei Mauerwerk mit den Steinarten G 2, G 6, Hbl 2, Hbl 4 und Yali 4 praktisch unabhängig von der Art des verwendeten Mauermörtels.

Die größten Festigkeitsdifferenzen gegenüber dem herkömmlichen Mörtel NM 2 liegen nach /117/ vor, wenn Steine mit einem großen Querdehnungsmodul in Kombination mit Mörteln mit geringem Querdehnungsmodul vermauert werden.

Kirtschig und Meyer leiteten aus den Versuchsergebnissen einen mathematischen Zusammenhang ab, der die Mauerwerkdruckfestigkeit in Abhängigkeit der Steindruckfestigkeit sowie des Querdehnungsmoduls des Mauermörtels ausdrückte. Dabei wurde zunächst die Beziehung zwischen der Mauerwerkdruckfestigkeit und dem Querdehnungsmodul des Mauermörtels durch einen linearen Ansatz mit den Parametern a und b wiedergegeben. Schließlich wurden die Parameter in Abhängigkeit der Mauersteindruckfestigkeit durch den Ansatz einer Parabel 2. Grades ausgedrückt. Anhand von 224 Einzelergebnissen mit Leichtmauermörteln aus /115/ und /117/ wurden die Koeffizienten abgeleitet (Korrelationskoeffizient 0,81). Die errechneten Wanddruckfestigkeiten in Abhängigkeit der Steindruckfestigkeit und des Querdehnungsmoduls des Mauermörtels nach /118/ ist in Bild 13 grafisch dargestellt.

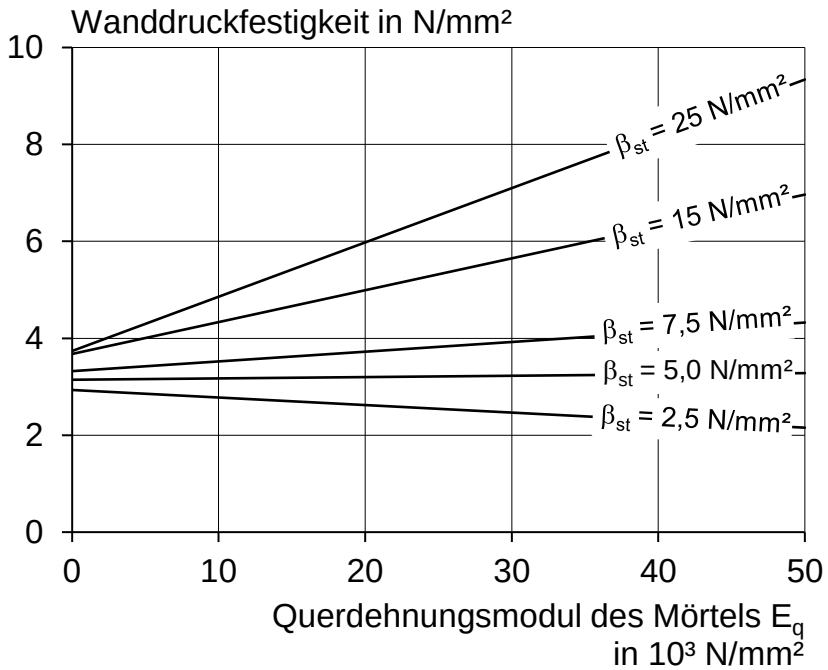


Bild 13: Wanddruckfestigkeit in Abhängigkeit des Querdehnungsmoduls E_q der Leichtmauermörtel und der Mauersteindruckfestigkeit β_{st} nach /118/

Kirtschig und Meyer ziehen folgende Schlussfolgerungen:

- Für die Steinfestigkeitsklasse 2 werden mit der ermittelten Gleichung keine realitätsnahen Ergebnisse erzielt.

- Im Bereich der Querdehnungsmoduln der untersuchten Leichtmörtel zwischen 7.500 und 20.000 N/mm² ist die Mauerwerkdruckfestigkeit für Steine der Festigkeitsklassen 4 und 6 annähernd konstant. Nach /118/ kann davon ausgegangen werden, dass dies auch für die Festigkeitsklasse 2 gilt.
- Bei den Steinfestigkeitsklassen 12 und 20 ist die Mauerwerkdruckfestigkeit stark abhängig von den Querdehnungsmoduln der Mörtel.

Die Festlegung von zulässigen Druckspannungen in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mörtel erscheint nach /118/ sinnvoll. Bei der Festlegung von zulässigen Druckspannungen unabhängig von den Querdehnungsmoduln der Mörtel muss nach /118/ von der Mörtelart mit den geringsten Querdehnungsmoduln, d. h. dem Mörtel mit Perliten als Leichtzuschlag, ausgegangen werden, für den nach /118/ ein unterer Grenzwert von 7.500 N/mm² zugrunde gelegt werden kann. *Kirtschig und Meyer* schlagen eine Gruppierung der Leichtmörtel in die Leichtmörtelgruppen LM 1 und LM 2 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln vor, siehe Tabelle 14. Für diese Leichtmörtelgruppen schlagen sie zulässige Druckspannungen vor, die nach /118/ auf der sicheren Seite liegen, siehe ebenfalls Tabelle 14.

Tabelle 14: Grundwerte der zulässigen Druckspannungen bei Verwendung von Leichtmauermörteln der Gruppen LM 1 und LM 2 nach /118/

Steinfestigkeitsklasse	Mauersteine nach		
	DIN 4165, DIN 18151 und DIN 18152	DIN 105-2 und DIN 106	
	LM 1[1)] und LM 2[2)]	LM 1[1)]	LM 2[2)]
-	N/mm²	N/mm²	
2	0,5	0,4	0,5
4	0,8	0,5	0,7
6	1,0	0,7	0,9
12	-	0,9	1,2
20	-	1,1	1,6

[1)] Querdehnungsmodul $E_q \geq 7.500$ N/mm²; < 20.000 N/mm²
[2)] Querdehnungsmodul $E_q \geq 20.000$ N/mm²

Nach diesem Vorschlag für den Ansatz der zulässigen Druckspannungen bei Verwendung von Leichtmauermörteln könnte erstmals nach Mauersteinarten differenziert werden. Als kleinster gemeinsamer Nenner wäre nach /118/ auch der Ansatz der Werte für die Mauersteine nach DIN 105-2 und DIN 106 denkbar. Die Werte basierten in erster Linie auf der Verwendung von Perlite oder Polystyrol als Leichtzuschläge. Zulassungsversuche haben gezeigt, dass für Mauerziegel auch höhere zulässige Druckspannungen zulässig seien.

Neben der Mauerwerkdruckfestigkeit wurden auch Haftscherversuche nach DIN 18555-5 durchgeführt. Für die Leichtmörtelgruppen LM 1 und LM 2 könnten nach /118/ Mindestwerte für die Haftscherfestigkeit von 0,10 N/mm² (LM 1) bzw. 0,15 N/mm² (LM 2) festgelegt werden.

Über den Einfluss von Zusatzmitteln auf das Verformungsverhalten von Mauermörtel berichten *Kirtschig und Meyer* 1987 in /119/. Es wurden Versuche mit verschiedenen Mauermörteln (Baustellenmörteln, Werk-Trocken- und Werk-Frischmörteln als Normal- und als Leichtmörtel) durchgeführt. Neben den Längs- und Querdehnungsmoduln wurde auch die Haftscherfestigkeit bestimmt. Die in den handelsüblichen Werkmörteln eingesetzten Zusatzmittel wirken sich nach /119/ nicht signifikant auf das Verformungsverhalten der Mörtel aus. Bei Mörteln mit Luftporenbildnern ändern sich die Frisch- und Festmörteleigenschaften nach /119/ bei der dreifachen Mischzeit z. T. beträchtlich.

6.4.6 FMPA und Otto-Graf-Institut, Stuttgart

Schneider untersuchte 1979 das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit neuen Mörtelgruppen /121/. *Manns und Zeus* untersuchten 1983 die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln mit dünnen Stegen und Leichtmauermörtel /122/.

Bei Verwendung von Leichtmauermörteln mit Zuschlägen nach DIN 4226-2 /X33, X34/ mit porigem Gefüge (Blähton) kann nach /122/ die Mauerwerkdruckfestigkeit bis zu 30 % reduziert werden gegenüber Mauerwerk mit Normalmörtel. Bei Verwendung von Leichtmauermörteln mit Leichtzuschlägen mit geringer (Perlite) bzw. ohne bedeutende Kornfestigkeit (Polystyrol-Schaumstoff) wurde dagegen eine um 60 % bzw. 40 % reduzierte Mauerwerkdruckfestigkeit gegenüber Mauerwerk mit Normalmörtel festgestellt.

Die Tragfähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit wird nach /122/ nicht nennenswert von der Dicke der Stege beeinflusst.

Nach /122/ sollte die Eignung von Leichtmauermörteln mit Leichtzuschlag geringer Kornfestigkeit im Rahmen von Zulassungsversuchen anhand von Wand- bzw. Pfeilerdruckversuchen in Kombination mit den zur Verwendung vorgesehenen Mauersteinen nachgewiesen werden.

6.4.7 Institut für Bauforschung (ibac), Aachen

Schubert wertete 1998 in /123/ bis dato vorliegende Untersuchungsergebnisse von Druckfestigkeitsprüfungen an Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln u. a. mit Leichtmörtel aus. Nach *Schubert* vergrößert sich die Mauerwerkdruckfestigkeit mit zunehmendem Querdehnungsmodul des Mörtels. Bei höherfesten Mauersteinen (> 15 N/mm²) nimmt die Mauerwerkdruckfestigkeit mit steigendem Querdehnungsmodul in stärkerem Maße zu als bei Mauersteinen mit geringerer Steindruckfestigkeit. Mit zunehmender Steindruckfestigkeit bzw. Steifigkeit der Mauersteine wirken sich die Querverformungsunterschiede zwischen Mauerstein und Mauermörtel deutlicher aus /123/.

6.4.8 Längs- und Querdehnungsmodulwerte

Die in /X24/ festgelegten Grenzwerte der Querdehnungsmoduln sowie der Grundwerte der zulässigen Druckspannungen gehen auf einen Vorschlag in /118/ zurück. Demnach wurde von der Mörtelart mit den geringsten Querdehnungsmoduln, d. h. dem Mörtel mit Perlite als Leichtzuschlag, ausgegangen und eine Unterteilung der Leichtmörtel in die Gruppen LM 1 ($E_q \geq 7.500$ und < 20.000 N/mm²) und LM 2 ($E_q \geq 20.000$ N/mm²) vorgenommen.

Nach /112, 113, 114, 117/ können mit Perlite-Leichtmörteln Längsdehnungsmoduln von rd. 2.000 bis 5.400 N/mm² sowie Querdehnungsmoduln zwischen rd. 9.700 und 14.000 N/mm² erreicht werden, vgl. Tabellen 9, 10, 11 und 13. Für die übrigen untersuchten Leichtmauermörtel ergeben sich Wertebereiche zwischen rd. 3.700 und 9.300 N/mm² (längs) bzw. zwischen rd. 15.500 und 47.700 N/mm² (quer). Trotz einer geringfügigen Überschneidung der Wertebereiche kann dies die Festlegung der Grenzwerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln in DIN 1053-1 /X26/ erklären. Diese wurden so gewählt, dass Leichtmauermörtel mit Perliten als Leichtzuschlag eindeutig von den übrigen Leichtmauermörteln mit Blähton, Blähschiefer, Bims oder Polystyrol abgegrenzt werden.

Die Wertebereiche der Längs- und Querdehnungsmoduln der relevanten Versuchsserien aus /110/, /114/ und /117/ sind in Abhängigkeit der Leichtzuschläge in Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15: Wertebereiche der Längs- und Querdehnungsmoduln in Abhängigkeit des verwendeten Leichtzuschlags, Werte aus /110/, /114/ und /117/

Leichtzuschlag	Längsdehnungsmodul	Querdehnungsmodul
-	N/mm²	N/mm²
Perlite	1.960…3.370	8.400…16.200
Bims	4.850…5.570	23.800…27.550
Blähton	4.620…5.120	22.300…25.800
Bims und Blähton	5.150…5.150	28.400…28.400
Blähschiefer	4.820…9.340	36.100…47.700
Polystyrol-Perlen	3.950…4.500	13.400…18.500
alle außer Perlite	3.950…9.340	13.400…47.700

Mit Perlite-Leichtmörteln können Längsdehnungsmoduln von rd. 1.960 bis 3.370 N/mm² sowie Querdehnungsmoduln zwischen rd. 8.400 und 16.200 N/mm² erreicht werden. Für die übrigen untersuchten Leichtmauermörtel ergeben sich Wertebereiche zwischen rd. 3.950 und 9.340 N/mm² (längs) bzw. zwischen rd. 13.400 und 47.700 N/mm² (quer).

Mithilfe der in DIN 1053-1 /X26/ eingeführten Mindestwerte der Längs- und Querdehnungsmoduln können im Wesentlichen Leichtmauermörtel mit Perliten als Leichtzuschlag (LM 21) von den übrigen Leichtmauermörteln (LM 36) abgegrenzt werden.

6.4.9 Schlussfolgerungen

Mauerwerk mit Leichtmauermörtel unterscheidet sich im Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit herkömmlichem Mauermörtel.

Mit Leichtmauermörteln können vergleichbare Mörteldruckfestigkeitswerte gegenüber herkömmlichen Mauermörteln erzielt werden /108/. Dagegen können die Elastizitätsmoduln von Leichtmauermörtel auch bei höherer Prismendruckfestigkeit gegenüber herkömmlichem Mauermörtel deutlich niedriger sein /108/. Bei zentrischer Druckbelastung und gleicher Steindruckfestigkeit ergaben sich für Mauerwerk mit Leichtmörteln bis zu 44 % niedrigere Bruchlasten gegenüber Mauerwerk mit herkömmlichen Mauermörteln.

Für das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk sei nach /118/ jeweils die Querverformung der Komponenten Stein und Mörtel maßgebend. Wenn sich der Mauermörtel unter einer Druckbeanspruchung sehr stark quer zur Belastungsrichtung ausdehne, könne dies die Druckfestigkeit von Mauerwerk herabsetzen. Die größten Festigkeitsdifferenzen gegenüber herkömmlichen Mauermörtel liegen nach /114, 117/ vor, wenn Steine mit einem großen Querdehnungsmodul in Kombination mit Mörteln mit geringem Querdehnungsmodul

vermauert werden. Insbesondere bei Hochlochziegeln mit hohen Steindruckfestigkeiten (12 und 20) und bei Verwendung von porigen Leichtzuschlägen mit geringer Korneigenfestigkeit (Blähperlite) wurden die erforderlichen Wanddruckfestigkeiten nicht erreicht /114/.

Die Grenzwerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln in DIN 1053-1 /X26/ wurden vermeintlich so gewählt, dass Leichtmauermörtel mit Perliten als Leichtzuschlag (LM 21) eindeutig von den übrigen Leichtmauermörteln mit Blähton, Blähschiefer, Bims oder Polystyrol (LM 36) abgegrenzt werden.

Inwiefern die festgelegten Mindestwerte der Elastizitätsmoduln ausreichende σ_0- bzw. f_k-Werte sicherstellen, sollte anhand einer Auswertung der vorliegenden Versuchsergebnisse analysiert werden.

6.5 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse

6.5.1 Allgemeines

Für die wissenschaftliche Beurteilung der heutigen Relevanz der Regelung des Längs- und Querdehnungsmoduls wurden die Versuchsergebnisse ausgewählter Forschungsarbeiten in MS Excel zusammengestellt und ausgewertet. Die Auswahl der Forschungsarbeiten erfolgte unter folgenden Kriterien: Breite Auswahl von Eigenschaftswerten der untersuchten Mauersteine, Mauermörtel und des Mauerwerks sowie Eingrenzung auf den für die Festlegung der normativen Regelungen relevanten Zeitraum bis zum Jahr 1990. Folgende Forschungsarbeiten wurden berücksichtigt:

/110/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Leichtzuschläge für Mauermörtel (1979)
/114/ Schellbach, G.; Jung, E.: Verformungsverhalten und Tragfähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörteln (1983)
/117/ Kirtschig, K.; Meyer, J.: Tragverhalten und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel (1985)

Die zusammengetragenen Daten wurden einheitlich aufbereitet und in dem Kontext der jeweils gültigen Fassungen der DIN 1053-1 /X20, X26/ bzw. der Nationalen Anhänge zum Eurocode 6 /X62, X67/ ausgewertet.

Für die Auswertung wurden die Serien mit den im Folgenden aufgeführten Mauersteinen herangezogen: Hochlochziegel, Kalksand-Hohlblocksteine, Leichtbeton-Voll- und Hohlblocksteine. In den Forschungsarbeiten wurden ebenfalls Porenbetonsteine und der Leicht-Kalksandstein „Yali“ untersucht. Porenbetonsteine werden heutzutage ausschließlich im

Dünnbettverfahren vermauert. Die Geltungsdauer der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Kalksandsteins „Yali“ endete 2006 /132/. Deshalb werden die Versuchsserien mit diesen Mauersteinen (insgesamt 75 Datensätze) im Weiteren nicht behandelt.

Bei der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse wurde wie folgt vorgegangen: Sofern an Mörtelmischungen, mit denen Wandprüfkörper hergestellt wurden, kein Querdehnungsmodul ermittelt wurde, wurden Werte aus vergleichbaren Serien aus den jeweiligen Forschungsarbeiten mit diesen Mörteln übertragen. Die Übertragung von Querdehnungsmodulwerten von anderen Mörtelmischungen desgleichen Mörtels ist jedoch aufgrund einer hohen Streuung bei der Bestimmung des Querdehnungsmoduls nur begrenzt möglich. Werte für die Trockenrohdichte wurden ebenfalls auf äquivalente Serien übertragen, sofern diese nicht an den jeweiligen Mischungen ermittelt wurden, mit denen die Wandprüfkörper hergestellt wurden.

Die Einstufung der Mauersteine in die jeweilige Steinfestigkeitsklasse erfolgte nach den im Versuch ermittelten Steindruckfestigkeiten einschließlich Formfaktor. Dies hatte teilweise eine Umbenennung der Mauersteinbezeichnung gegenüber den Angaben in /110/, /114/ und /117/ zur Folge. Die Zuordnung der Mauermörtel zur Mörtelgruppe erfolgte ebenfalls nach der mit der Mörtelmischung erreichten Druckfestigkeit.

6.5.2 Auswertung nach DIN 1053-1, Ausgabe 1974

Für die Auswertung nach DIN 1053-1 /X20/, Ausgabe 1974, wurde für alle Serien aus /110/, /114/ und /117/ analog zu /114/ die umgerechnete Wanddruckfestigkeit $\beta_{w,red}$ nach Gleichung (1) ermittelt.

$$\beta_{w,red} = \beta_w \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \qquad (1)$$

mit:

$\beta_{w,red}$ umgerechnete, abgeminderte Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
β_w Prüfwert der Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
f_1 Faktor zur Umrechnung auf die Mindestwerte β_N der Stein- und Mörteldruckfestigkeit,
f_2 Faktor zur Berücksichtigung der Steingeometrie und
f_3 Faktor zur Umrechnung auf die Prüfkörperschlankheit 10.

Zur Umrechnung der Stein- und Mörteldruckfestigkeit auf die Mindestdruckfestigkeit der jeweiligen Steinfestigkeitsklasse bzw. Mörtelgruppe wurde in /114/ Gleichung (2) nach DIN 18554 /X53/ gewählt.

$$f_1 = \frac{\sqrt{\min \beta_{D,st}}}{\sqrt{\beta_{D,st}}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\min \beta_{D,mö}}}{\sqrt[3]{\beta_{D,mö}}} \qquad (2)$$

mit:

$\min \beta_{D,st}$ 1,25-facher Wert der Steindruckfestigkeitsklasse in N/mm²,
$\beta_{D,st}$ Mittelwert der Steindruckfestigkeit (ohne Formfaktor) in N/mm²,
$\min \beta_{D,mö}$ Mindestdruckfestigkeit des Mauermörtels entsprechend der Mörtelgruppe in N/mm² und
$\beta_{D,mö}$ Mittelwert der Mörteldruckfestigkeit in N/mm².

Nach /114/ sind in Gleichung (2) Mittelwerte der Steindruckfestigkeiten ohne Formfaktor einzusetzen. Für die untersuchten Mauersteine sind je nach Mauersteinhöhe und Steinfestigkeitsklasse Formfaktoren von 1,0 bzw. 1,2 anzusetzen. Um den Einfluss des Steinformates bei der Umrechnung der Wanddruckfestigkeit zu berücksichtigen, wurde in /114/ über die in Gleichung (2) angegebene Beziehung ein Abminderungsfaktor f_2 aus den anzusetzenden Formfaktoren ermittelt. Diese ergeben sich zu 1,0 bzw. 0,913.

Die Mauerwerkdruckfestigkeit sollte analog zu /114/ auf geschosshohe Wände mit einer Schlankheit von rd. 10 umgerechnet werden. Die Prüfwerte, die an RILEM-Prüfkörpern ermittelt wurden, wurden deshalb pauschal mit dem Faktor $f_3 = 0{,}9$ abgemindert.

Die umgerechneten Wanddruckfestigkeiten wurden durch den Sicherheitsbeiwert 3 dividiert, um die rechnerische zulässige Druckspannung $\sigma_{zul,cal}$ zu ermitteln. Diese wurde mit der zulässigen Druckspannung σ_{zul} nach DIN 1053-1 /X20/ ins Verhältnis gesetzt.

Von 173 Einzelversuchen mit Leichtmauermörteln wurde bei 75 Versuchen eine ausreichende Wanddruckfestigkeit erreicht (43,4 %). Bei 32 Versuchen (18,5 %) wurde ein Verhältniswert $\sigma_{zul,cal}/\sigma_{zul}$ (Ausnutzungsgrad) zwischen 0,9 und 1,0 erreicht. Bei den verbleibenden 66 Versuchen (38,2 %) ergaben sich unzureichende Wanddruckfestigkeiten, die je nach Stein-Mörtel-Kombination teilweise erheblich kleiner als 90 % der ansetzbaren zulässigen Druckspannungen waren. Die kleinste rechnerische zulässige Druckspannung $\sigma_{zul,cal}$ betrug lediglich 43 % der ansetzbaren zulässigen Druckspannung nach DIN 1053-1 /X20/.

Bei den nachfolgend aufgeführten Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen wurden unzureichende Wanddruckfestigkeiten festgestellt:

- Hochlochziegel (HLz 8, HLz 16 und HLz 20 sowie HLzW 6 und HLzW 12) in Kombination mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Blähton und Polystyrol-Perlen als Leichtzuschlag,
- Leichtbeton-Hohlblöcke (Hbl 2 und Hbl 4) in Kombination mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Blähton und Polystyrol-Perlen sowie teilweise mit Blähschiefer und einer Mischung aus Bims und Blähton als Leichtzuschlag und
- Kalksand-Hohlblöcke (KSHbl 8 und KSHbl 12) mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Blähschiefer, Blähton, Bims und Polystyrol-Perlen sowie einer Mischung aus Bims und Blähton als Leichtzuschlag.

Daraus ist zu schließen, dass bei nahezu allen untersuchten, relevanten Materialkombinationen unzureichende Wanddruckfestigkeiten auftreten können, die jedoch nicht ausschließlich auf die verwendeten Leichtmauermörtel bzw. Leichtzuschläge zurückzuführen sind.

Irmschler und Meyer merkten bereits 1976 an, dass der von *Bröcker* empirisch hergeleitete Zusammenhang zwischen Stein-, Mörtel- und Wanddruckfestigkeit bei Leichtmauermörtel nicht anwendbar sei, vgl. /68/. Nach *Mann* /99/ sei der Einfluss der Mörteldruckfestigkeit auf die Mauerwerkdruckfestigkeit deutlich geringer als zuvor angenommen. Deshalb wurde in DIN 18554-1 /X54/, Ausgabe 1985, die Beziehung zwischen Stein-, Mörtel- und Wanddruckfestigkeit durch Gleichung (3) nach *Mann* ersetzt.

$$\beta'_{D,mw} = \beta_{D,mw} \left[\frac{\min \beta_{D,st}}{\beta_{D,st}}\right]^{0,7} \cdot \left[\frac{\min \beta_{D,mö}}{\beta_{D,mö}}\right]^{0,2} \qquad (3)$$

mit:

$\beta'_{D,mw}$ umgerechnete Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
$\beta_{D,mw}$ Mittelwert der Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
$\min \beta_{D,st}$ 1,25-facher Wert der Steindruckfestigkeitsklasse in N/mm²,
$\beta_{D,st}$ Mittelwert der Steindruckfestigkeit einschließlich Formfaktor in N/mm²,
$\min \beta_{D,mö}$ Mindestdruckfestigkeit des Mauermörtels entsprechend der Mörtelgruppe in N/mm² und
$\beta_{D,mö}$ Mittelwert der Mörteldruckfestigkeit in N/mm².

Mithilfe von Gleichung (3) wurden analog zu der zuvor beschriebenen Vorgehensweise die Verhältniswerte der rechnerischen zulässigen Druckspannungen gegenüber den ansetz-

baren zulässigen Druckspannungen nach DIN 1053-1 /X20/ überprüft. Die Verhältniswerte änderten sich im Vergleich zu der zuvor beschriebenen Auswertung nur unwesentlich. Die Zahl der Versuche mit unzureichenden Wanddruckfestigkeiten, d. h. mit einem Ausnutzungsgrad ≤ 0,9, war mit 38,7 gegenüber 43,4 % nahezu gleich.

6.5.3 Auswertung nach DIN 1053-1, Ausgabe 1990

Für einen Vergleich der Versuchsergebnisse mit den in DIN 1053-1 /X26/, Ausgabe 1990, festgelegten zulässigen Druckspannungen σ_0 wurden die Leichtmauermörtel entsprechend ihrer Wärmeleitfähigkeit bzw. ihrer Trockenrohdichte den Leichtmörtelgruppen LM 21 und LM 36 zugeordnet. Die rechnerische zulässige Druckspannung $\sigma_{0,cal}$ wurde analog zu Abschnitt 6.5.2 mit Gleichung (3) ermittelt.

Die untersuchten Leichtmauermörtel mit Perliten als Leichtzuschlag waren in der vorliegenden Auswertung entsprechend ihrer Trockenrohdichte der Mörtelgruppe LM 21 zuzuordnen, während die übrigen Leichtmörtel der Mörtelgruppe LM 36 zuzuordnen waren. Dies ist konsistent mit der Zuordnung anhand der Mindestwerte der Längs- und Querdehnungsmoduln, vgl. Abschnitt 6.4.8.

Für die Mörteldruckfestigkeit wurde der Mindestanforderungswert der Druckfestigkeit von 5,0 N/mm² nach /X26/ eingesetzt. Die Prüfwerte, die an RILEM-Prüfkörpern ermittelt wurden, wurden analog zu Abschnitt 6.5.2 mit dem Faktor 0,9 abgemindert, um die Wanddruckfestigkeit auf eine Schlankheit von rd. 10 (geschosshohe Wände) umzurechnen, vgl. /115, 117/.

Durch die Festlegung von zulässigen Druckspannungen σ_0 für Mauerwerk mit Leichtmörteln wurde das Sicherheitsniveau deutlich angehoben. Von den 173 Einzelversuchen wurde bei 126 Versuchen eine ausreichende Wanddruckfestigkeit erreicht (72,8 %). Bei 18 Versuchen (10,4 %) wurde die zulässige Druckspannung um weniger als 10 % unterschritten. Bei den übrigen 29 Versuchen (16,8 %) wurden unzureichende Wanddruckfestigkeiten erreicht.

Bei den nachfolgend aufgeführten Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen wurden unzureichende Wanddruckfestigkeiten festgestellt:

- Hochlochziegel (HLz 8 sowie HLzW 12) in Kombination mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Blähton und Polystyrol-Perlen als Leichtzuschlag,

- Leichtbeton-Hohlblöcke Hbl 2 in Kombination mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Bims, Blähschiefer und einer Mischung aus Bims und Blähton als Leichtzuschlag und
- Kalksand-Hohlblöcke (KSHbl 8 und KSHbl 12) mit Leichtmauermörteln mit Perliten, Blähschiefer, Blähton und Polystyrol-Perlen.

Der Ansatz einer Mindestmörteldruckfestigkeit von 5,0 N/mm² in Gleichung (3) kann bei sehr hohen Mörteldruckfestigkeiten zu einer erheblichen Abminderung der Mauerwerkdruckfestigkeit und damit zu unzureichenden Mauerwerkdruckfestigkeiten führen. Dies ist im Einzelfall gesondert zu beurteilen. Zudem können bei bestimmten Stein-Mörtel-Kombinationen unzureichende Wanddruckfestigkeiten auftreten, die nahezu unbeeinflusst vom verwendeten Mauermörtel sind.

Die in /X26/ festgelegten Mindestwerte der Längs- und Querdehnungsmoduln wurden vereinzelt geringfügig unterschritten. Die Unterschreitung beim Längsdehnungsmodul betrug 2 %, beim Querdehnungsmodul 4 % bzw. rd. 11 %. Mit diesen Mörteln wurden sowohl *unzureichende* als auch *ausreichende* Wanddruckfestigkeiten ermittelt. Dies zeigt, dass auch mit Mörteln, welche dem Nachweis der Längs- bzw. Querdehnungsmoduln zufolge als ungeeignet einzustufen sind, ausreichende Wanddruckfestigkeiten erzielt werden können. Dagegen können auch bei erfüllten Mindestwerten für die Längs- und Querdehnungsmoduln unzureichende Wanddruckfestigkeiten auftreten. *Der Nachweis der Mindestwerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln ist somit kein hinreichendes Kriterium zur Sicherstellung ausreichender Wanddruckfestigkeiten.*

6.5.4 Auswertung nach DIN EN 1996-1-1/NA, Ausgabe 2019

Für die wissenschaftliche Beurteilung der heutigen Relevanz der Regelung des Längs- und Querdehnungsmoduls sind die Versuchsergebnisse in den Kontext der DIN EN 1996-1-1/NA /X62/, Ausgabe 2019, zu stellen. Dazu wurde aus den Versuchsergebnissen die rechnerische charakteristische Mauerwerkdruckfestigkeit nach Gleichung (4) ermittelt.

$$f_{k,cal} = 0{,}8 \cdot \beta_{D,mw,5} \left[\frac{\min\beta_{D,st}}{\beta_{D,st}}\right]^{0,7} \cdot \left[\frac{\min\beta_{D,mö}}{\beta_{D,mö}}\right]^{0,2} \quad (4)$$

mit:

$f_{k,cal}$ Rechnerische charakteristische Mauerwerkdruckfestigkeit in N/mm²,
$\beta_{D,mw,5}$ auf die Schlankheit $\lambda = 5$ bezogene Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
$\min \beta_{D,st}$ 1,25-facher Wert der Steindruckfestigkeitsklasse in N/mm²,

$\beta_{D,st}$ Mittelwert der Steindruckfestigkeit einschließlich Formfaktor in N/mm²,
min $\beta_{D,mö}$ Mindestdruckfestigkeit des Mauermörtels entsprechend der Mörtelgruppe in N/mm² und
$\beta_{D,mö}$ Mittelwert der Mörteldruckfestigkeit in N/mm².

Die auf die Schlankheit $\lambda = 5$ bezogene Wanddruckfestigkeit wurde nach Gleichung (5) ermittelt.

$$\beta_{D,mw,5} = \beta_{D,mw} \cdot (0{,}966 + 0{,}00136 \cdot \lambda^2) \quad (5)$$

mit:

$\beta_{D,mw,5}$ auf die Schlankheit $\lambda = 5$ bezogene Wanddruckfestigkeit in N/mm²,
$\beta_{D,mw}$ Wanddruckfestigkeit in N/mm² und
λ Schlankheit des Wandprüfkörpers.

Die rechnerisch ermittelten Werte der charakteristischen Mauerwerkdruckfestigkeit wurden mit den nach DIN EN 1996-1-1/NA /X62/ ermittelten f_k-Werten ins Verhältnis gesetzt.

Von den 173 Einzelversuchen mit Leichtmauermörtel wurde bei 86 Versuchen eine ausreichende Wanddruckfestigkeit erreicht (49,7 %). Bei 34 Versuchen (19,7 %) wurden die f_k-Werte um weniger als 10 % unterschritten. Bei den übrigen 53 Versuchen (30,6 %) wurden unzureichende Wanddruckfestigkeiten mit einem Ausnutzungsgrad < 0,8 erreicht.

Die Auswertungsergebnisse wurden graphisch aufbereitet. Bilder 14 bis 22 zeigen die auf die Schlankheit 5 bezogene Mauerwerkdruckfestigkeit der Versuche mit Hochlochziegel, Kalksand-Hohlblöcken sowie Leichtbeton-Hohl- und -Vollblöcken in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der verwendeten Mauermörtel.

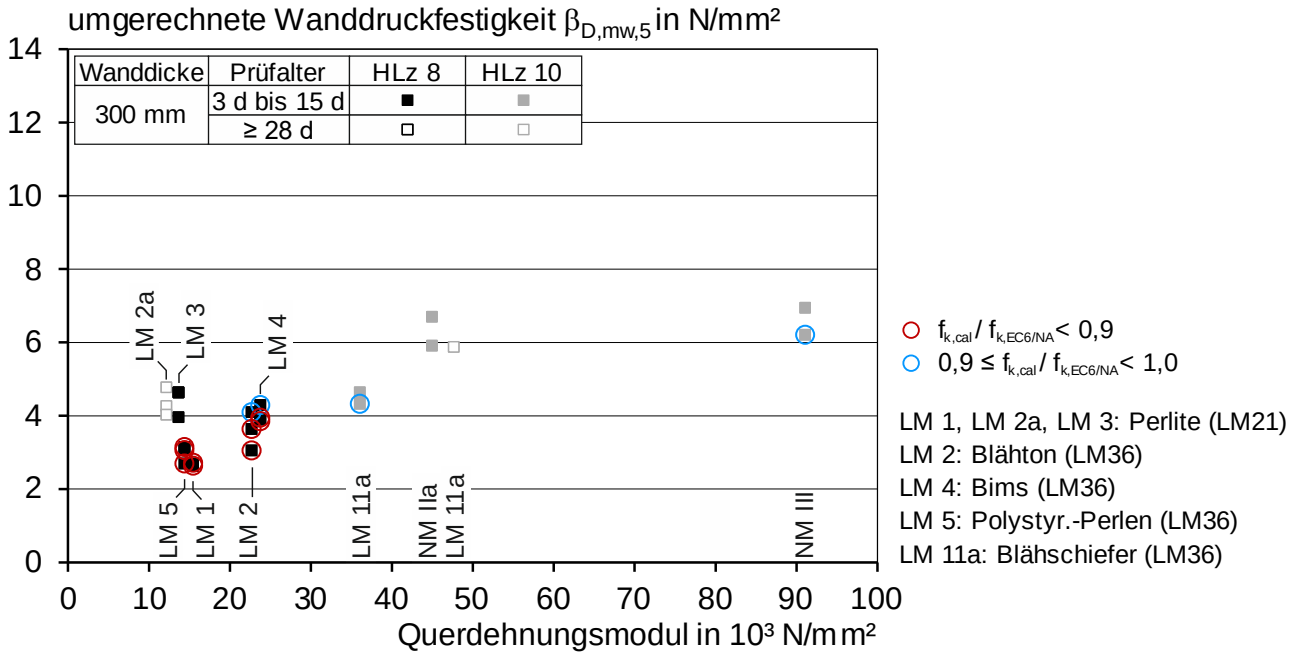


Bild 14: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Hochlochziegel HLz 8 und HLz 10 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

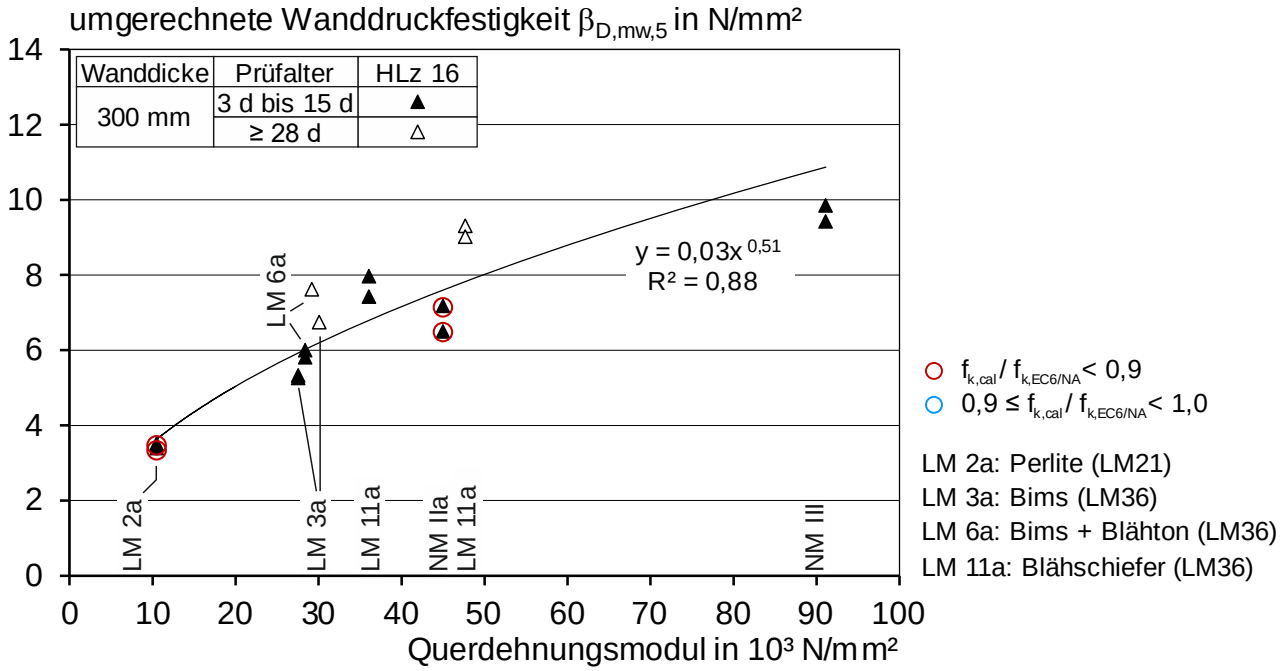


Bild 15: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Hochlochziegel HLz 16 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

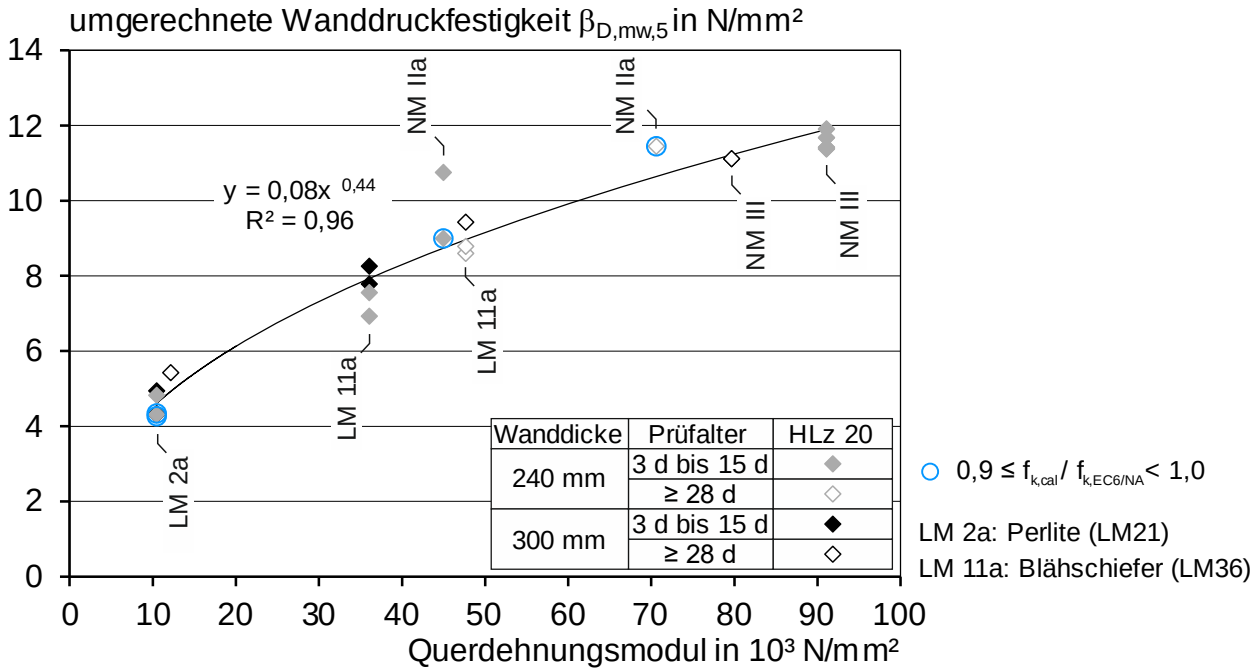


Bild 16: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Hochlochziegel HLz 20 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

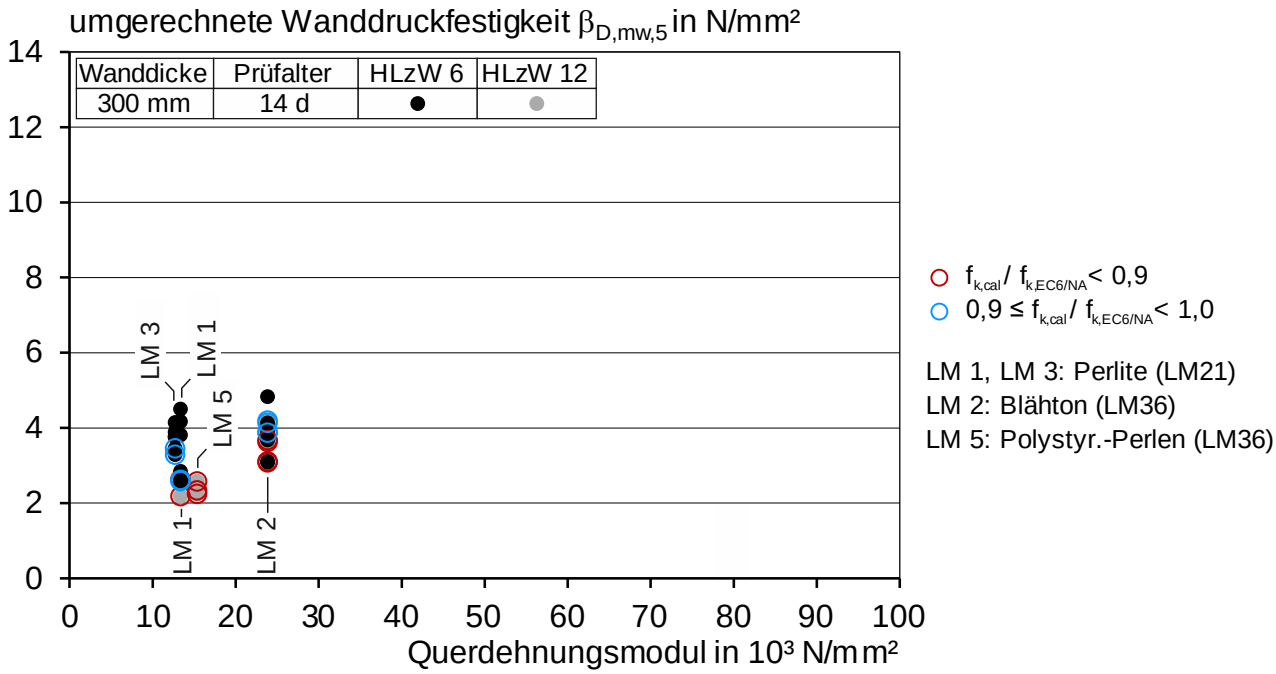


Bild 17: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Hochlochziegel HLzW 6 und HLzW 12 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

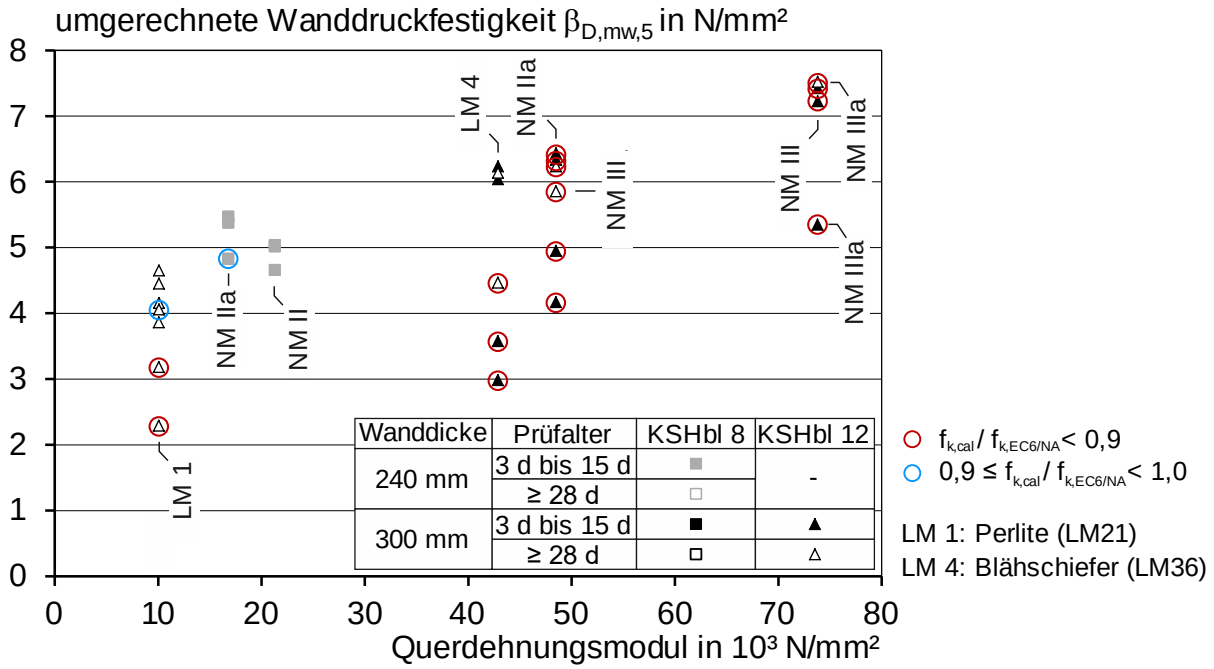


Bild 18: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Kalksand-Hohlblöcken KSHbl 8 und KSHbl 12 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

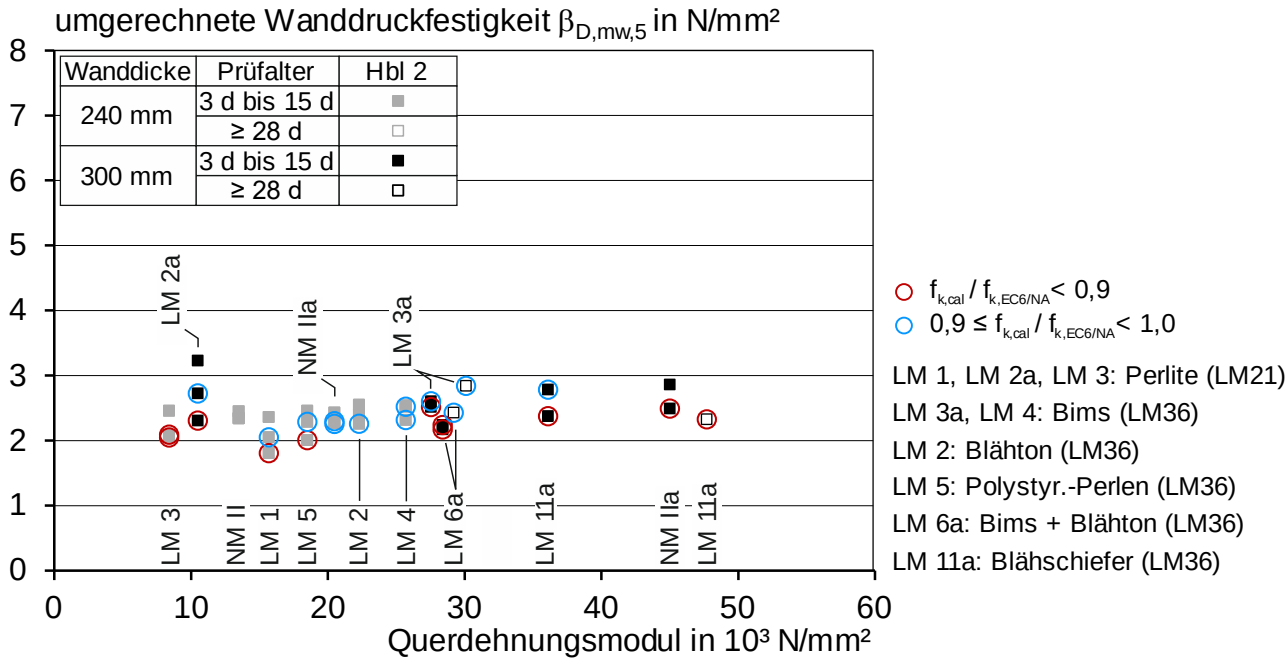


Bild 19: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Leichtbeton-Hohlblöcken Hbl 2 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

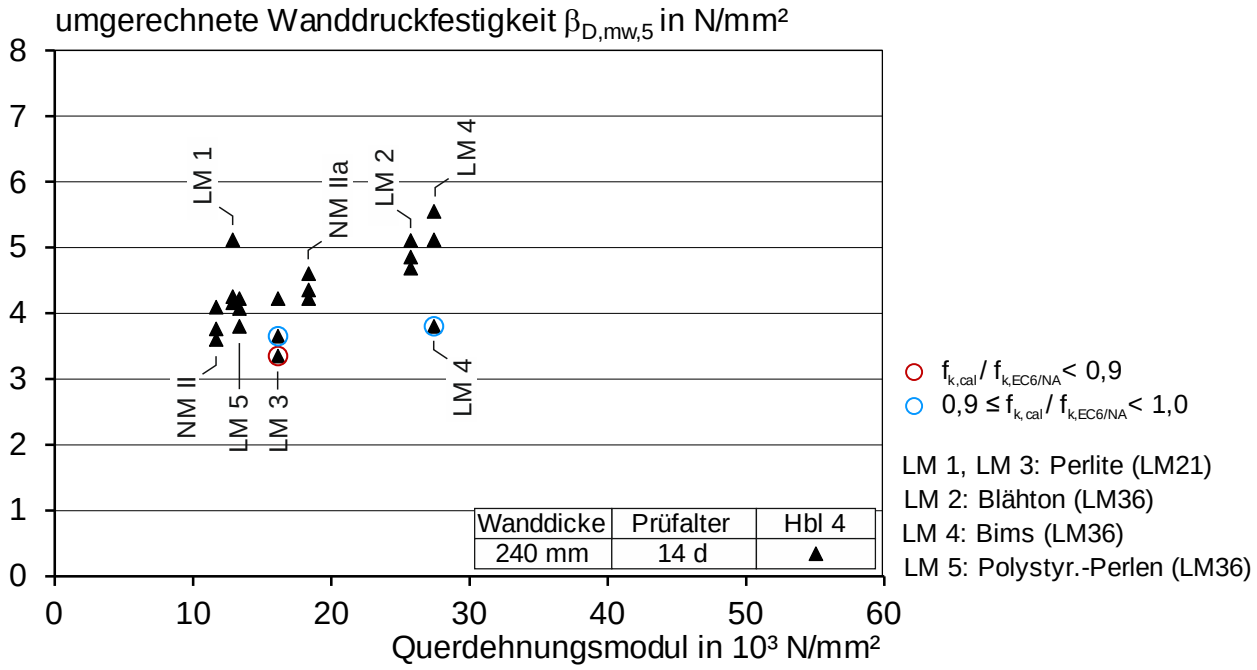


Bild 20: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Leichtbeton-Hohlblöcken Hbl 4 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

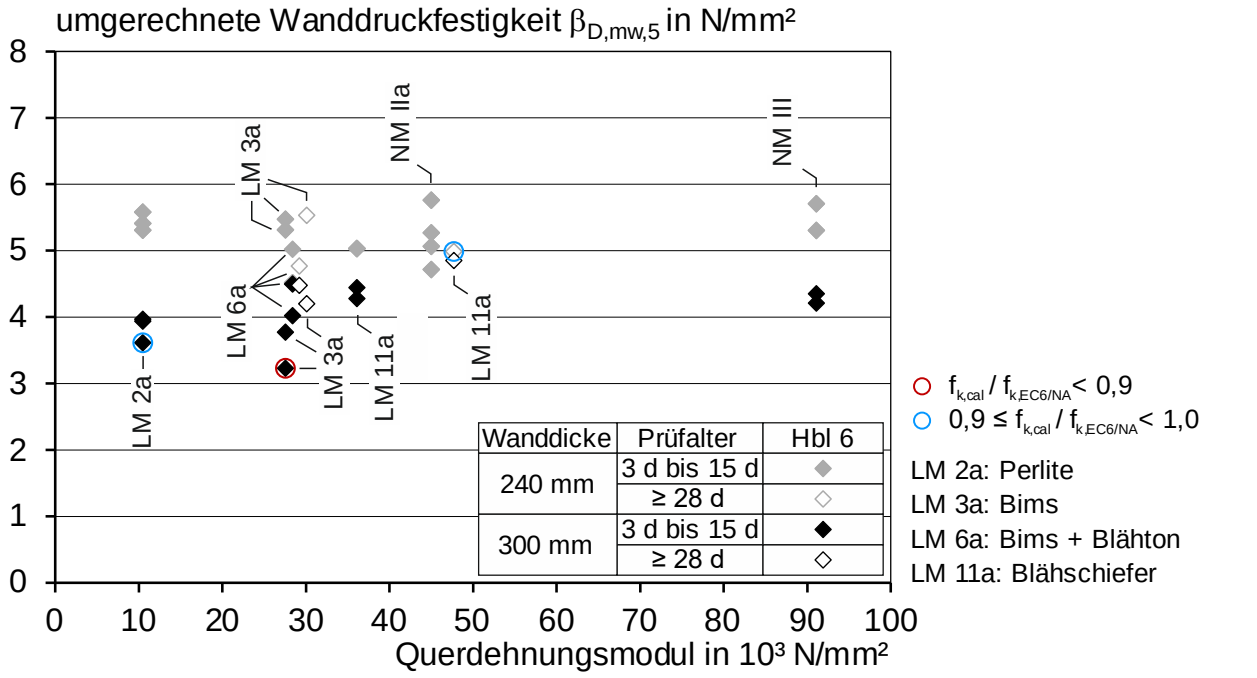


Bild 21: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Leichtbeton-Hohlblöcken Hbl 6 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

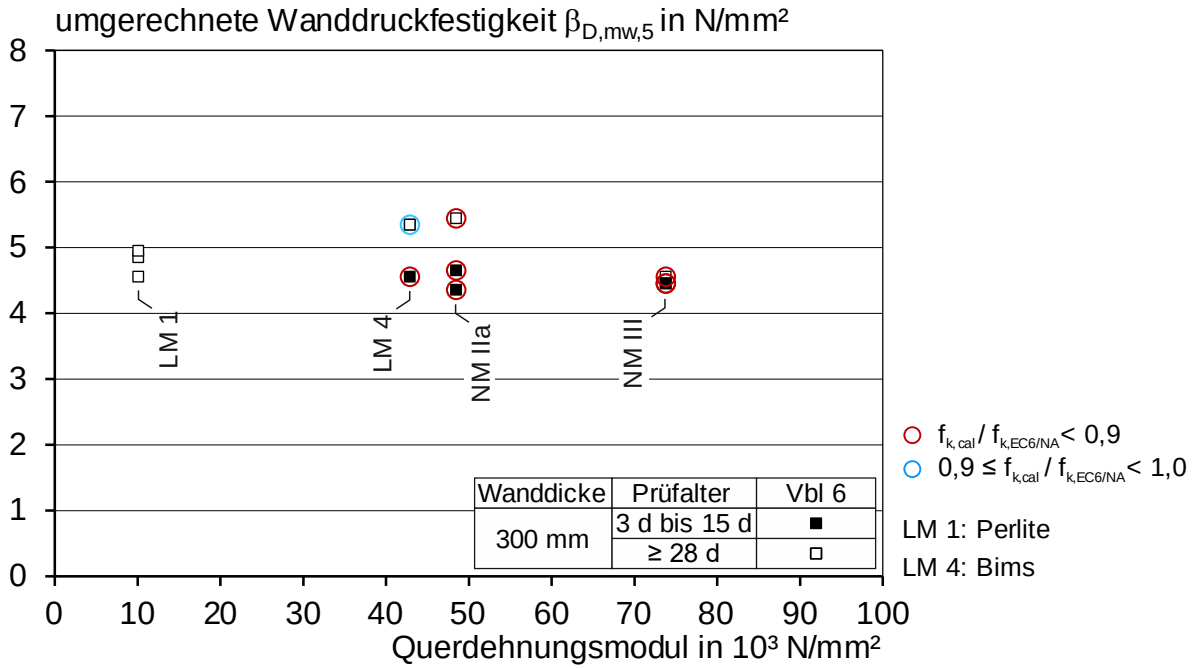


Bild 22: Umgerechnete Wanddruckfestigkeit (Einzelwerte) für Mauerwerk mit Leichtbeton-Vollblöcken Vbl 6 in Abhängigkeit der Querdehnungsmoduln der Mauermörtel, Werte aus /110/, /114/ und /117/

Bei Verwendung der untersuchten Mauersteine liegt das Sicherheitsniveau im Vergleich zur Auswertung nach DIN 1053-1 /X26/, siehe Abschnitt 6.5.3, deutlich niedriger. Eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen führt zu den folgenden Schlussfolgerungen:

- Bei Verwendung von Hochlochziegeln steigt im Allgemeinen die Mauerwerkdruckfestigkeit mit zunehmendem Querdehnungsmodul. Dagegen ist die Mauerwerkdruckfestigkeit bei Leichtbetonsteinen nahezu unabhängig von dem Querdehnungsmodul.
- Bei den Versuchen in /114/ mit Rezept-Leichtmörteln mit Blähschiefer bzw. einer Mischung aus Bims und Blähton werden in Kombination mit Hbl 6 (Bims und Blähton) sowie HLz 6, HLz 10, HLz 16 und HLz 20 ausreichende Wanddruckfestigkeiten erreicht. Lediglich in Kombination mit Hbl 2 (Blähton) sind die Wanddruckfestigkeiten zu gering.
- Bei Verwendung von Werk-Trockenmörteln nach Zulassung mit Bims, Blähschiefer, Blähton, Perlite und Polystyrol-Perlen als Leichtzuschlag werden mit Hbl 2, HLz 8, HLz 16, HLzW 6, HLzW 12, KSHbl 8, KSHbl 12 unzureichende Wanddruckfestigkeiten erreicht,

- Beim untersuchten Mauerstein Hbl 2 werden i. d. R. Wanddruckfestigkeiten im unteren Bereich erzielt. Unterschreitungen mit einem Ausnutzungsgrad bis zu 0,81 werden bei Leichtmörtel mit Perliten, Bims und Polystyrol-Perlen festgestellt.
- Die größten Unterschreitungen werden bei Kalksand-Hohlblocksteinen KSHbl 8 in Kombination mit Leichtmörteln mit Polystyrol-Perlen als Leichtzuschlag festgestellt. Die aus diesen Versuchen ermittelten charakteristischen Mauerwerkdruckfestigkeiten betragen rd. 52 % der nach EC6/NA ansetzbaren f_k-Werte. Die übrigen Leichtmörtel, mit denen keine ausreichende Mauerwerkdruckfestigkeit erreicht wurden, erreichten im Mittel zwischen 65 und 91 %. Als primäre Ursache für die sehr niedrigen Mauerwerkdruckfestigkeitswerte kann möglicherweise das Wasserabsaugverhalten der Kalksandsteine in Verbindung mit der fehlenden „inneren Nachbehandlung“ infolge des verwendeten Leichtzuschlags sein.
- Mit den Hochlochziegeln HLz 8 wurden 69 bis 86 % der nach EC6/NA ansetzbaren f_k-Werte erreicht. Die ansetzbaren f_k-Werte liegen demnach auch hier auf der unsicheren Seite. Auch mit dem Hochlochziegel HLzW 12 werden keine ausreichenden Mauerwerkdruckfestigkeiten erreicht (Ausnutzungsgrad 54 bis 91 %).

Es wird ersichtlich, dass in einigen Fällen nicht nur bei den Versuchsserien mit Leichtmauermörteln, sondern auch mit Normalmauermörteln der f_k-Wert nach EC6/NA nicht erreicht wird. Dies lässt den Schluss zu, dass bei einigen Stein-Mörtel-Kombinationen nicht das Querdehnungsverhalten alleinige Ursache für unzureichende Wanddruckfestigkeiten ist.

Daraus ergeben sich folgende Fragen:

- Welche Datenbasis lag für die Herleitung der Gleichungsparameter zur Bestimmung des f_k-Wertes für Leichtmörtel-Mauerwerk zugrunde?
- Lagen in dieser Datenbasis Längs- bzw. Querdehnungsmodulwerte der Leichtmauermörtel vor?

Diesen Fragestellungen soll in Abschnitt 6.6 nachgegangen werden.

6.6 Datenbasis zur Festlegung der f_k-Werte

Für die Leichtmörtel LM 21 und LM 36 werden in DIN EN 1996-1-1/NA /X62/ Gleichungsparameter für Mauerziegel, Kalksandsteine sowie Leichtbeton-Voll- und -Lochsteine angegeben, mit denen f_k-Werte berechnet werden können. Die f_k-Werte sind zudem in DIN EN 1996-3/NA /X67/ angegeben, siehe auch Tabelle 7.

Für die Herleitung der Parameter wurden die Ergebnisse von Mauerwerkdruckversuchen zusammengestellt und ausgewertet. In /124/ wurden u. a. Werte für Mauerwerk aus Leichtbeton-Voll- und -Lochsteinen mit Leichtmörtel angegeben:

- Vollsteine: n = 4 „Mittelwerte“ aus /110/, /125/ und /126/ sowie
- Lochsteine: n = 27 „Mittelwerte“ aus /114/, /118/, /125/ und /127/.

Die Vorgehensweise bei der Festlegung der Gleichungsparameter für Mauersteine aus Leichtbeton ist umfassend in /128/ dokumentiert. Zur Festlegung der Parameter wurde die in /124/ angegebene Datenbasis nochmals überarbeitet und um weitere Versuchsergebnisse, z. B. aus Zulassungsversuchen, ergänzt. In bilateralen Gesprächen mit dem DIBt wurde für Leichtbeton-Mauerwerk mit Leichtmauermörtel festgelegt, dass bei den Gleichungsparametern nicht nach Steinsorten und -typen (u. a. Hbl, Vbl) sowie nach Mörtelsorten (LM 21, LM 36) zu differenzieren ist, da sich die Querdehnungsmoduln von Stein und Mörtel nicht nennenswert voneinander unterscheiden. Nach /117/ ergeben sich für Leichtbeton-Hohlblöcke Längs- bzw. Querdehnungsmoduln von 1.800 N/mm² bzw. 7.600 N/mm² (Hbl 2) und 3.600 N/mm² bzw. 18.600 N/mm² (Hbl 4). Diese Werte liegen im Bereich der festgelegten Mindestwerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln von Leichtmörteln. Je nach Art des Leichtzuschlags können sich bei Mauermörtel auch deutlich höhere Werte für die Verformungsmoduln ergeben.

Aus praktischen Überlegungen heraus wurde zwischen den Vertretern der Leichtbeton-Industrie und der Bauaufsicht vereinbart, dass die Druckfestigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel nicht größer angenommen werden darf als für umgerechnete mittlere Steindruckfestigkeiten f_{st} = 10 N/mm². Ebenfalls aus praktischen Überlegungen heraus wurde Mauerwerk aus Betonsteinen mit Leichtmörtel ausgeschlossen, vgl. /128/.

Die Festlegung der Leichtbeton-f_k-Werte erfolgte im Wesentlichen auf Basis der Ergebnisse aus /110/, /114/, /118/, /125/, /126/ und /127/, welche auch für die Auswertung in Abschnitt 6.5 zugrunde gelegt wurden, ergänzt um weitere Versuchsergebnisse aus Zulassungsversuchen. Die in den Forschungsarbeiten ermittelten Werte der Längs- und Querdehnungsmoduln wurden dabei nicht erfasst und somit nicht berücksichtigt.

Für Mauerwerk mit Mauerziegeln und Kalksand-Hohlblöcken wurde die Vorgehensweise bei der Festlegung der f_k-Werte nicht in vergleichbarem Maße dokumentiert wie bei den Leichtbetonsteinen.

6.7 Leichtmörtel-Mauerwerk nach bauaufsichtlicher Zulassung

Die Verwendung von Mauermerk mit Leichtmauermörteln in Kombination mit Leichthochlochziegeln sowie Leichtbeton-Voll- und -Hohlblöcken ist in Deutschland teilweise in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. allgemeinen Bauartgenehmigungen (aBg) geregelt. Die in den abZ bzw. aBg für Mauerwerk mit Leichtmauermörteln festgelegten charakteristischen Werte der Mauerwerkdruckfestigkeit f_k sind als Wertebereiche in den Tabellen 16 bis 18 den jeweiligen f_k-Werten nach DIN EN 1996-3/NA /X67/ gegenübergestellt. Die Werte wurden /129/ entnommen.

Tabelle 16: Vergleich der Wertebereiche der f_k-Werte für Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln mit Leichtmauermörtel nach abZ bzw. aBg aus /129/ mit den f_k-Werten nach DIN EN 1996-3/NA /X67/

Steinfestigkeitsklasse	Leichtmörtel	Wertebereich der f_k-Werte nach abZ	f_k-Werte nach EC6-3/NA /X67/	Verhältniswert f_k abZ/EC6-3/NA
-	-	N/mm²	N/mm²	-
4	LM 21	0,8…1,3	1,6	0,50…0,81
	LM 36	0,8…1,8	2,2	0,36…0,82
6	LM 21	1,0…1,8	2,2	0,45…0,82
	LM 36	1,0…2,3	2,9	0,34…0,79
8	LM 21	1,2…2,1	2,5	0,48…0,84
	LM 36	1,3…2,6	3,3	0,39…0,79
10	LM 21	1,2…2,1	2,8	0,43…0,75
	LM 36	1,5…2,6	3,3	0,45…0,79
12	LM 21	1,2…2,3	3,0	0,40…0,77
	LM 36	2,1…3,1	3,3	0,64…0,94
16	LM 21	2,3	3,0	0,77
	LM 36	2,9	3,3	0,88

Tabelle 17: Vergleich der Wertebereiche der f_k-Werte für Mauerwerk aus Leichtbeton-Vollblöcken mit Leichtmauermörtel nach abZ bzw. aBg aus /129/ mit den f_k-Werten nach DIN EN 1996-3/NA /X67/

Steinfestigkeitsklasse	Leichtmörtel	Wertebereich der f_k-Werte nach abZ	f_k-Werte nach EC6-3/NA /X67/	Verhältniswert f_k abZ/EC6-3/NA
-	-	N/mm²	N/mm²	-
1,6	LM 21	0,95	-	-
2	LM 21	1,0…1,4	1,4	0,71…1,00
	LM 36	1,0…1,3	1,4	0,71…0,93
4	LM 21	1,5…2,3	2,3	0,65…1,00
6	LM 21	1,8	3,0	0,60
	LM 36	2,4	3,0	0,80

Tabelle 18: Vergleich der Wertebereiche der f_k-Werte für Mauerwerk aus Leichtbeton-Hohlblöcken mit Leichtmauermörtel nach abZ bzw. aBg aus /129/ mit den f_k-Werten nach DIN EN 1996-3/NA /X67/

Steinfestigkeitsklasse	Leichtmörtel	Wertebereich der f_k-Werte nach abZ	f_k-Werte nach EC6-3/NA /X67/	Verhältniswert f_k abZ/EC6-3/NA
-	-	N/mm²	N/mm²	-
2	LM 21	1,0	1,4	0,71
	LM 36	1,3	1,4	0,93
4	LM 21	1,3	2,3	0,57
	LM 36	2,1	2,3	0,91
6	LM 21	1,8	3,0	0,60
	LM 36	2,3	3,0	0,77

Ein Vergleich der f_k-Werte nach abZ bzw. aBg aus /129/ mit den f_k-Werten nach DIN EN 1996-3/NA /X67/ (EC 6-3/NA) zeigt, dass die von der Bauaufsicht zugesprochenen f_k-Werte i. d. R. deutlich konservativer als die nach /X67/ ansetzbaren f_k-Werte sind. Für Mauerwerk mit Leichthochlochziegel nach abZ bzw. aBg dürfen lediglich zwischen 34 bis 88 % der nach EC 6-3/NA festgelegten f_k-Werte angesetzt werden. Für Mauerwerk mit geschlitzten Leichtbeton-Vollblöcken dürfen zwischen 60 und 100 % und für Leichtbeton-Hohlblöcke zwischen 57 und 93 % der f_k-Werte nach EC 6-3/NA angesetzt werden.

Die in den Zulassungen geregelten Leichtmörtel sind größtenteils Leichtmörtel LM 21 bzw. LM 36 nach DIN V 18580 /X7/, d. h. mit mineralischem Leichtzuschlag mit porigem Gefüge nach DIN EN 13055-1 /X37/ in Verbindung mit DIN V 20000-104 /X39/. In den abZ Nrn. Z-17.1-815 /130/ und Z-17.1-839 /131/ wird der Leichtmörtel „LM Ultra“ mit Perliten bzw. Blähglas als Leichtzuschlag geregelt. Diese Leichtzuschläge waren zu diesem Zeitpunkt ebenfalls in DIN EN 13055-1 in Verbindung mit DIN V 20000-104 geregelt.

Kalksandsteine mit besonderer Lochung nach bauaufsichtlicher Zulassung bzw. Bauartgenehmigung werden nach /129/ ausschließlich mit Normal- oder Dünnbettmörtel vermauert. Inwiefern Mauerwerk mit Kalksand-Vollsteinen in Kombination mit Leichtmauermörteln in der Praxis ausgeführt wird und somit f_k-Werte für diese Stein-Mörtel-Kombination von Relevanz ist, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden.

6.8 Zusammenfassung und Bewertung

Das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmauermörteln wurde eingehend untersucht. Bestimmte Leichtzuschläge, wie z. B. Perlite, beeinflussen das Quer-

verformungsverhalten des Mauermörtels ungünstig. Eine geringe Korneigenfestigkeit setzt den Widerstand gegenüber Querverformung unter Druckbeanspruchung herab.

Durch die Festlegung von Mindestwerten für die Längs- und Querdehnungsmoduln der Leichtmörtel sollte sichergestellt werden, dass für die Errichtung von Mauerwerk möglichst nur „aufeinander abgestimmte“ Stein-Mörtel-Kombinationen verwendet werden. Mörtel mit einer zu hohen Querverformung wurden somit ausgeschlossen. Zudem war durch Ausschluss bestimmter Leichtzuschläge (Blähperlit, expandierter Vermiculit und Blähglas) in DIN 4226-2 /X34/, Ausgabe 1983, bei Mauerwerk nach „Norm“ eine zusätzliche Sicherheit gegeben. Mörtel mit diesen Leichtzuschlägen wurden über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelt, für deren Erlangung die Tragfähigkeit in Wanddruckversuchen nachzuweisen war. Mit Einführung von DIN 4226-2 /X35/, Ausgabe 2002, wurden Blähperlit, expandierter Vermiculit und Blähglas jedoch ebenfalls als Leichtzuschläge mit positiver „Anwendungsgeschichte“ in die Norm aufgenommen, d. h. die Verwendung dieser Leichtzuschläge war fortan auch ohne bauaufsichtliche Zulassung möglich. Da Leichtmörtel mit diesen Zuschlägen geringere Querdehnmoduln aufweisen, erscheint die Aufrechterhaltung der in DIN 20000-412 /X5/ empfohlenen Mindestwerte für die Längs- und Querdehnungsmoduln wichtig.

Bei der Auswertung der vorhandenen Datenbasis aus /110/, /114/ und /117/ wurde festgestellt, dass die heute gültigen f_k-Werte teilweise auf der unsicheren Seite liegen können. Die Regelung von Mindestwerten für die Längs- und Querdehnungsmoduln zur Sicherstellung eines ausreichenden Verformungswiderstands scheint somit in bestimmten Fällen kein hinreichendes Kriterium darzustellen. Dabei ist zu beachten, dass auch Mauerwerk mit den untersuchten Mauersteinen in Kombination mit Normalmörtel ebenfalls unzureichende Wanddruckfestigkeiten aufweisen konnte. Das Querverformungsverhalten scheint also nicht in jedem Fall alleinige Ursache für unzureichende Tragfähigkeiten zu sein.

Die von der Bauaufsicht zugesprochenen f_k-Werte sind i. d. R. deutlich konservativer als die nach /X67/ ansetzbaren f_k-Werte.

Nicht alle der im EC6/NA aufgeführten Stein-Mörtel-Kombinationen werden in der Praxis ausgeführt, darunter Betonsteine mit Leichtmörtel.

7 DRUCKFESTIGKEIT IN DER LAGERFUGE

7.1 Allgemeines

Der Erhärtungsmechanismus beim Mauermörtel wird – anders als beim Beton – beeinflusst durch den Kontakt zum Mauerstein, wodurch dem frischen Mörtel in unterschiedlichem Maße Wasser entzogen wird, siehe u. a. /138, 139/. Dieser „Absaugeffekt“ durch die Mauersteine hängt u. a. vom Feuchtegehalt sowie der Porenstruktur (Porenverteilung, Porengehalt) der Mauersteine, aber auch vom Wasserrückhaltevermögen sowie vom Erhärtungsverlauf des Mörtels ab /139/.

Der „Wasserentzug“ durch den Kontakt zum Mauerstein kann sich sowohl festigkeitssteigernd als auch festigkeitsmindernd auswirken. Folglich kann die Fugenmörteldruckfestigkeit im Mauerwerk stark von der Mörteldruckfestigkeit nach „Norm“ abweichen. In solchen Fällen kann nach /133/ das Sicherheitsniveau in Bezug auf die Mauerwerktragfähigkeit unvertretbar weit unterschritten werden.

Nach Auftreten von Schadensfällen Ende der 1970er Jahren, insbesondere bei Mauerwerk aus trocken verarbeiteten Mauersteinen und Werk-Frischmörteln, siehe /134/, welche auf diesen Effekt zurückgeführt wurden, wurde der Fugenmörteldruckfestigkeit von normaldicken Lagerfugen (Normal- und Leichtmauermörtel) zunehmend an Bedeutung beigemessen. *Eden et al.* schrieben 1993 in /144/:

> *„Zunehmende Bedeutung hat das Prüfverfahren zur Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit erst in den letzten Jahren erlangt. Die rasante Weiterentwicklung auf dem Mörtelsektor (Werkmörtel mit veränderten Stoff-Zusammensetzungen, geänderte Lieferformen (Werkfrischmörtel) hat gezeigt, daß man mit der Prüfung in Stahlschalungen nicht mehr auskommt.“*

Zur Prüfung der Fugendruckfestigkeit wurden verschiedene Prüfverfahren entwickelt, vgl. u. a. /135, 136/. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit wurden in der „Vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel“ /X50/ erstmals Anforderungswerte für die Fugendruckfestigkeit festgelegt, welche im Rahmen von Eignungsprüfungen des Mörtels nachzuweisen waren.

7.2 Prüfverfahren

7.2.1 Allgemeines

Die Verfahren zur Ermittlung der Normdruckfestigkeit nach DIN 18555-3 /X43/ bzw. DIN EN 1015-11 /X51/ sowie der Mörteldruckfestigkeit in der Fuge entsprechend der vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel /X50/ bzw. der aus der Richtlinie hervorgegangenen DIN 18555-9 /X49/ werden in den nachfolgenden Abschnitten kurz vorgestellt. DIN 18555-9 /X49/ unterscheidet drei Verfahren.

7.2.2 Normdruckfestigkeit nach DIN 18555-3 bzw. DIN EN 1015-11

Das Prüfverfahren nach DIN 18555-3 /X43/ stellt das in DIN 1053-1 für die Güte- und Eignungsprüfung vorgeschriebene Druckfestigkeitsprüfverfahren für Mauermörtel dar. Dabei werden drei prismatische Probekörper mit den Abmessungen 160 mm x 40 mm x 40 mm durch das Einbringen von Mörtel in eine Stahlform hergestellt. Die Lagerung der Prismen erfolgt zunächst zwei Tage bei 20 °C und 95 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Stahlschalung, bevor sie ausgeschalt werden und weitere 5 Tage im genannten Klima verbleiben. Im Anschluss daran lagern die Probekörper bei einem Normalklima von 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Im Alter von 28 Tagen werden die Mörtelprismen bei der Ermittlung der Biegezugfestigkeit geteilt. An den entstandenen Bruchhälften erfolgt die Ermittlung der Druckfestigkeit entsprechend DIN EN 196-1 /X20/. Bei der Prüfung der Druckfestigkeit wird der Prüfkörper teilflächig belastet (Druckstempel 40 mm x 40 mm), wobei darauf zu achten ist, dass die Bruchhälfte mittig zwischen die Prüfstempel eingelegt wird.

Als Druckfestigkeit wird das arithmetische Mittel der Einzelprüfungen angegeben. Dieses ergibt sich durch den Bezug der Bruchlast auf die Belastungsfläche.

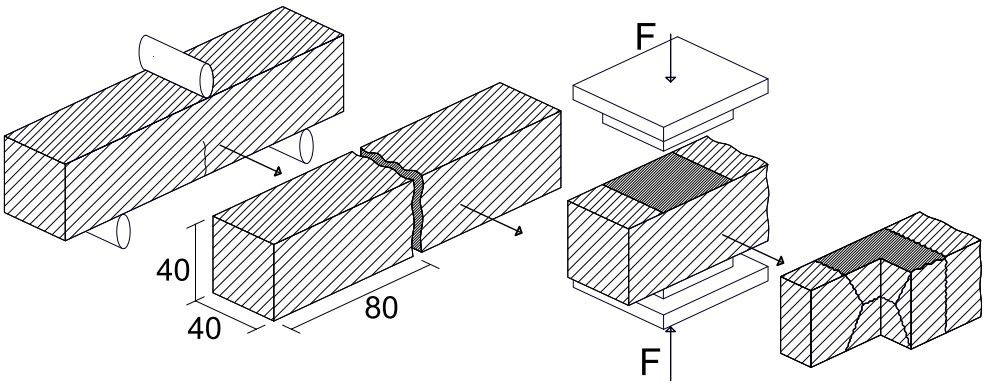


Bild 23: Druckfestigkeitsprüfung nach /X43/ bzw. /X51/;
Maße in mm, aus /137/

Das in DIN EN 1015-11 /X51/ geregelte Prüfverfahren ist äquivalent. Lagerungsbedingungen können je nach Zusammensetzung des Mauermörtels von den oben genannten Bedingungen abweichen.

Die mit den Prüfverfahren nach DIN 18555-3 /X43/ bzw. DIN EN 1015-11 /X51/ ermittelte Druckfestigkeit wird im Folgenden auch als Norm-, Prismen- bzw. Normprismen-Druckfestigkeit bezeichnet.

7.2.3 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – Würfeldruckverfahren

Das Würfeldruckverfahren beschreibt eines der in der vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel /X50/ angegebenen Verfahren zur Prüfung von in der Lagerfuge erhärtetem Mauermörtel. Durch den Kontakt zum Mauerstein ist der Mörtel dem Saugen der Steine ausgesetzt.

Bei dem Würfeldruckverfahren werden mindestens drei 2-Stein-Prüfkörper hergestellt. Als Mauerstein dient der als ungünstig angesehene Kalksand-Referenzstein DIN 106-KS12-2,0-NF, welcher bei der Herstellung der Prüfkörper einen Feuchtegehalt von 3 bis 5 M.-% aufweisen muss.

Auf einem waagerecht liegenden Stein wird ein feuchtes Faservlies aufgelegt, welches die Wechselwirkung zwischen Mörtel und Stein nicht beeinflussen, jedoch das spätere Lösen der erhärteten Mörtelfuge vom Stein erleichtern soll. Auf das Vlies wird eine leicht eingeölte Gitterform aus Stahl gelegt, welches einen Stegabstand von 20 mm und eine Höhe von 12 mm aufweist. In diese Gitterform wird der Mörtel mit einem Überstand von 2 mm eingebracht und durch leichtes Klopfen mit einer Kelle auf den anschließend aufgesetzten Stein verdichtet. Daraufhin wird der zuvor aufgesetzte Stein wieder abgehoben und der über die

Gitterform hinausstehende Mörtel abgestrichen. Ein zweites Faservlies wird aufgelegt und der zuvor abgehobene Stein wird, nun allerdings umgedreht, haftschlüssig aufgesetzt.

Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgt im Alter von 28 Tagen. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die drei hergestellten 2-Stein-Prüfkörper bei 15 bis 25 °C mit einer Folie überdeckt gelagert. Am Tag der Prüfung werden aus jedem 2-Stein-Prüfkörper je 10 Prüfkörper aus der Gitterform ausgeschalt, falls erforderlich abgeglichen und so belastet, dass die Höchstlast innerhalb von 30 bis 90 s erreicht wird. Die Belastung der Prüfkörper erfolgt vollflächig. Das Würfeldruckverfahren ist schematisch in Bild 24 dargestellt. Die Druckfestigkeit ergibt sich jeweils durch den Bezug der Bruchlast auf die Belastungsfläche. Die Druckfestigkeit wird als arithmetisches Mittel der 30 Einzelprüfungen berechnet.

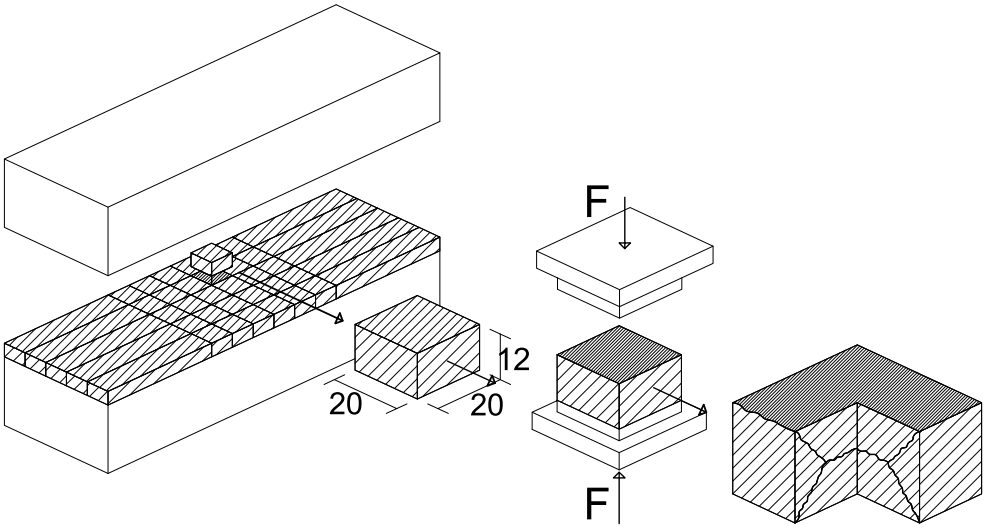


Bild 24: Würfeldruckverfahren nach /X50/ bzw. /X49/;
Maße in mm, aus /137/

Im Folgenden wird die mit diesem Verfahren ermittelte Druckfestigkeit als Würfeldruckfestigkeit bezeichnet. Das Würfeldruckverfahren ist als Verfahren I in DIN 18555-9 /X49/ eingegangen.

7.2.4 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – Plattendruckverfahren

Das Plattendruckverfahren ist das zweite in der vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung für Mauermörtel beschriebene Verfahren zur Prüfung der Druckfestigkeit. Ebenso wie bei dem Würfeldruckverfahren wird der Mörtel zwischen zwei Kalksand-Referenzsteinen DIN 106-KS12-2,0-NF mit einer Eigenfeuchte von 3 bis 5 M.-% vermauert. Auf die Gitterform wird hierbei jedoch verzichtet. Nach Abdecken des unteren Steins mit einem

Faservlies wird der Mörtel in einen auf einem Stein aufgesetzten Rahmen eingebracht. Durch den Schalungsrahmen wird eine Ausgangsmörteldicke von 15 mm erreicht. Nach dem Einbringen des Mörtels wird der Rahmen entfernt, ein weiteres Faservlies sowie der obere Stein aufgelegt und die Fuge auf 12 mm Fugendicke verdichtet.

Die Lagerungsbedingungen bis zum Erreichen des Prüfalters entsprechen denen des Würfeldruckverfahrens nach Abschnitt 4.1.2. Am Tag der Prüfung werden die Steine von der Fuge getrennt und anschließend Prüfkörper mit den Abmessungen 80 mm x 80 mm x 12 mm trocken herausgesägt und gegebenenfalls abgeglichen. Nach mittigem Einlegen des Prüfkörpers in das Prüfgestell wird eine Teilfläche von 40 mm x 40 mm so belastet, dass die Höchstlast nach 30 s bis 90 s erreicht wird.

Das Plattendruckverfahren ist schematisch in Bild 25 dargestellt. Die Druckfestigkeit ergibt sich jeweils durch den Bezug der Bruchlast auf die Belastungsfläche. Die Fugendruckfestigkeit wird aus dem arithmetischen Mittel der Druckfestigkeiten der einzelnen Prüfkörper ermittelt.

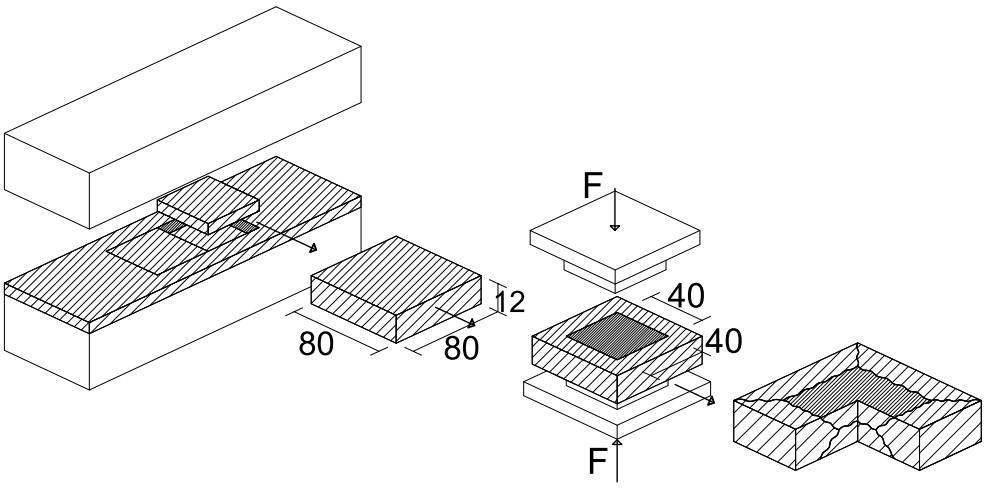


Bild 25: Plattendruckverfahren nach /X50/ bzw. /X49/;
Maße in mm, aus /137/

Die mit dem Plattendruckverfahren ermittelte Druckfestigkeit wird im Folgenden als Plattendruckfestigkeit bezeichnet. Das Plattendruckverfahren ist als Verfahren II in DIN 18555-9 /X49/ eingegangen.

7.2.5 Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 – ibac-Verfahren

Das Verfahren nach /133/, im Folgenden als ibac-Verfahren bezeichnet, fand 1998 als Verfahren III Eingang in DIN 18555-9 /X49/ und kann seitdem als ein mögliches Verfahren

neben dem Würfel- und Plattendruckverfahren zur Bestimmung der Mörteldruckfestigkeit verwendet werden. Es wurde entwickelt, um auch Prüfkörper aus bestehendem Mauerwerk prüfen zu können. Im Gegensatz zum Würfel- und Plattendruckverfahren ist bei diesem Verfahren ist der Einfluss aus nicht vermeidbaren Randschädigungen infolge der Entnahme aufgrund der teilflächigen Belastung vernachlässigbar (Prüfstempel Ø = 20 mm auf Prüfkörper 50 mm x 50 mm bzw. Ø = 50 mm). Dies gewährleistet, dass beim ibac-Verfahren sowohl Mörtelprüfkörper aus bestehendem Mauerwerk als auch aus labormäßig hergestellten Stein-Mörtel-Probekörpern entnommen werden können.

Bei der Herstellung wird ein Stück der Fuge mit Hilfe einer Steinsäge von den anhaftenden Steinen getrennt, sodass der Sägeschnitt, welcher die Fuge gerade berührt, möglichst im Stein verläuft. Aus dem mittleren Bereich der Fuge werden im Anschluss mehrere Prüfkörper gesägt oder gebohrt. Dies sollte möglichst trocken erfolgen, um Nacherhärten durch Feuchteeinwirkung zu vermeiden.

Die gewonnenen Prüfkörper werden anschließend zwischen zwei Filzscheiben (Ø = 20 mm) mittig in das Prüfgestell eingebracht und bei Teilflächenbelastung so belastet, dass die Höchstlast in 30 s bis 60 s erreicht wird. Das Plattendruckverfahren ist schematisch in Bild 25 dargestellt. Die Druckfestigkeit ergibt sich als Mittelwert der Einzelfestigkeiten und die Einzelfestigkeit durch den Bezug der Bruchlast auf die Belastungsfläche (Ø = 20 mm).

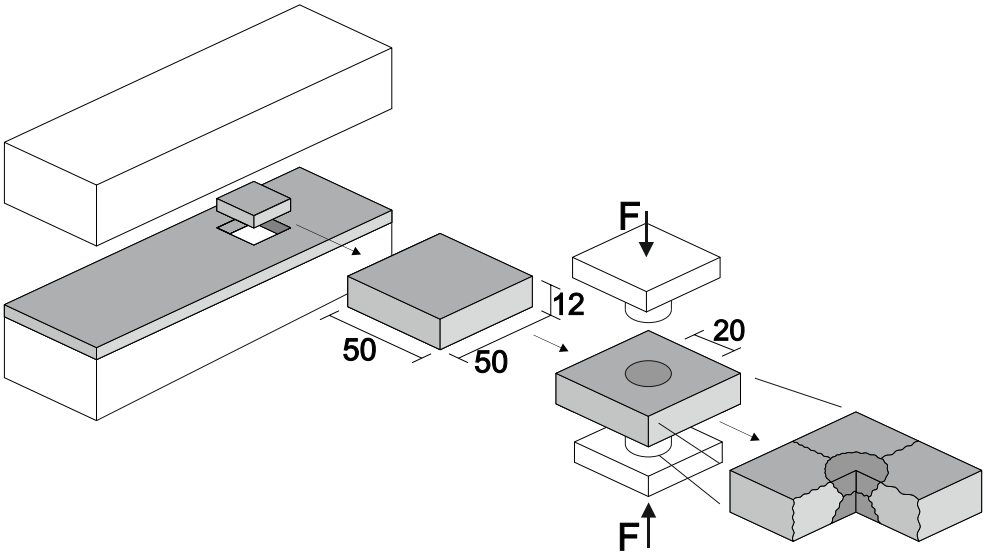


Bild 26: ibac-Verfahren nach /X49/; Maße in mm, nach /137/

7.3 Anforderungswerte

In DIN 1053-1 Ausgabe 1996 /X28/ wurde erstmals verlangt, neben der Normdruckfestigkeit zusätzlich die Druckfestigkeit des Mörtels in der Fuge mit dem Würfel- bzw. dem Plattendruckverfahren nach /X50/ zu prüfen. Anforderungswerte an die Fugendruckfestigkeit wurden ebenfalls in /X50/ festgelegt.

Mit Einführung von DIN 18555-9 /X49/ wurde auch das Prüfverfahren III (ibac-Verfahren) normativ geregelt. In DIN V 18580 /X6/ wurden Anforderungswerte bei Prüfung mit dem Verfahren III ergänzt, vgl. Tabelle 19.

Tabelle 19: Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach DIN V 18580 /X6/

Mörtelgruppe	Mindestdruckfestigkeit (Mittelwert) im Alter von 28 Tagen			
	Prismen-druckfestigkeit	Fugendruckfestigkeit		
		Verfahren I	Verfahren II	Verfahren III
		Würfeldruck-verfahren[1)]	Plattendruck-verfahren[2)]	ibac-Verfahren[3)]
-	N/mm²			
II	2,5	1,25	2,5	1,75
IIa	5,0	2,5	5,0	3,5
III	10,0	5,0	10,0	7,0
IIIa	20,0	10,0	20,0	14,0
LM 21; LM 36	5,0	2,5	5,0	3,5

[1)] Anforderungswert = 50 % des Anforderungswertes für die Prismendruckfestigkeit
[2)] Anforderungswert = 100 % des Anforderungswertes für die Prismendruckfestigkeit
[3)] Anforderungswert = 70 % des Anforderungswertes für die Prismendruckfestigkeit

Die Anforderungen wurden nach /138/ so festgelegt, dass nach Berücksichtigung eines Formfaktors die Festigkeit des Mörtels in der Fuge rd. 70 % (66,7 bis 71,4 % aufgrund gerundeter Werte) der Prismendruckfestigkeit zu betragen brauchte. Nach /138/ wurde demnach eine bedingt durch den Steineinfluss reale Festigkeitsabnahme um rd. 30 % zugelassen.

Die Formfaktoren wurden nach /138/ als Proportionalitätsfaktor mithilfe der Nullpunktregression ermittelt, um den Einfluss der Prüfkörpergeometrie sowie der Prüfrandbedingungen herausrechnen und somit die Ergebnisse gleicher Eigenschaften, jedoch geprüft nach unterschiedlichen Verfahren, miteinander vergleichbar sowie ineinander überführbar machen zu können. Die Formfaktoren sind nachfolgend in Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 20: Formfaktoren nach /138/ für die Umrechnung der Prismendruckfestigkeit in die Fugendruckfestigkeit

Verfahren nach /X49/	Bezeichnung	Formfaktor
I	Würfeldruckverfahren	$\beta_{DF,Würfel} = 0{,}75 \cdot \beta_{D,N}$
II	Plattendruckverfahren	$\beta_{DF,Platte} = 1{,}4 \cdot \beta_{D,N}$
III	ibac-Verfahren	$\beta_{DF,ibac} = 1{,}0 \cdot \beta_{D,N}$

In Deutschland waren entsprechend der Normenreihe DIN 1053 andere Bezeichnungen der Mauermörtel, als in DIN 998-2 festgelegt, üblich. Eine direkte Zuordnung zwischen diesen (nationalen) Bezeichnungen und den europäischen Mörtelkategorien ist nach /X5/ aufgrund unterschiedlicher Anforderungen nicht ohne weiteres möglich. Die Zuordnung der Mörtelgruppen nach DIN 1053 zu den Mörtelklassen nach EN 998-2 kann nach Tabelle A.1 aus DIN 20000-412 /X5/ erfolgen, siehe Bild 27. Nach /X5/ gilt die Zuordnung nur für Mauermörtel, für welche die in /X5/ festgelegten Eigenschaftskennwerte deklariert und die Eignung der Ausgangsstoffe nachgewiesen wurde.

Bisherige nationale Bezeichnungen der Mauermörtel nach DIN 1053 (alle Teile)	**Mörtelklasse nach DIN EN 998-2**	**Erläuterung**
Normalmauermörtel		
I	M 1	Die Zuordnung gilt, wenn ein Nachweis über die Erfüllung der Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit vorliegt.
II	M 2,5	
IIa	M 5	
III	M 10	
IIIa	M 20	
Leichtmauermörtel		
LM 21	M 5	Die Zuordnung gilt, wenn der deklarierte Wert der Trockenrohdichte $\leq 700\ kg/m^3$ und der deklarierte Wert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry,mat}\ (P = 90\ \%) \leq 0{,}18\ W/(m{\cdot}K)$ betragen und wenn Nachweise über die Begrenzung der Verformbarkeit und die Erfüllung der Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit vorliegen.
LM 36	M 5	Die Zuordnung gilt, wenn der deklarierte Wert der Trockenrohdichte $\leq 1\,000\ kg/m^3$ und der deklarierte Wert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry,mat}\ (P = 90\ \%) \leq 0{,}27\ W/(m{\cdot}K)$ betragen und wenn Nachweise über die Begrenzung der Verformbarkeit und die Erfüllung der Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit vorliegen.
Dünnbettmörtel		
DM	M 10	

Bild 27: Zuordnung der Mörtelgruppen nach DIN 1053 zu den Mörtelklassen nach EN 998-2, Tabelle A.1 aus DIN 20000-412 /X5/

Bild 28 zeigt Mindestanforderungen nach Tabelle B.1 aus DIN 20000-412 /X5/ an die Fugendruckfestigkeit von Normalmauermörtel und Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen, vgl. Tabelle 19.

Mörtelart	Mörtelklasse nach DIN EN 998-2	Fugendruckfestigkeit[a,b] N/mm²		
		Verfahren I	Verfahren II	Verfahren III
Normalmauermörtel	M 1	-	-	-
	M 2,5	1,25	2,5	1,75
	M 5	2,5	5,0	3,5
	M 10	5,0	10,0	7,0
	M 20	10,0	20,0	14,0
Leichtmauermörtel	M 5	2,5	5,0	3,5
Dünnbettmörtel	M 10	-	-	-

[a] Die Prüfung erfolgt nach DIN 18555-9.

[b] Die Prüfung der Fugendruckfestigkeit kann mit Referenzsteinen erfolgen. Referenzsteine sind Kalksandsteine DIN V 106-KS 12-2,0-NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 % bis 5 % (Masseanteil), zu beziehen von der Zapf Kalksandsteinwerk Amberg GmbH & Co. KG, Schafhofer Weg 8, D-92263 Ebermannsdorf. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch DIN. Gleichwertige Produkte dürfen verwendet werden, wenn sie nachweisbar zu den gleichen Ergebnissen führen.

Bild 28: Mindestanforderungen nach Tabelle B.1 aus DIN 20000-412 /X5/ an die Fugendruckfestigkeit von Normalmauermörtel und Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen, Tabelle A.1 aus DIN 20000-412 /X5/

7.4 Forschungsarbeiten und Monografien

7.4.1 Riechers

Riechers untersuchte die Einflüsse auf den Erhärtungsverlauf von Mauermörtel in Kontakt zu Mauersteinen /138/ und stellte eine rechnerische Beziehung für die Ermittlung des Hydratationsgrades sowie die Festigkeitsentwicklung von Mauermörtel in der Fuge auf.

Nach *Riechers* /138/ beruht die Änderung der Mörteldruckfestigkeit in der Fuge auf zwei Phänomenen:

Festigkeitssteigerungen ergeben sich nach /138/, wenn abgesaugtes Wasser zu einer wirkungsvollen Senkung des effektiven w/z-Wertes beiträgt. Dies erfolgt nach /138/ dann, wenn sich dort, wo Wasser aus dem Frischmörtel abgesaugt wurde, die hinterlassenen

Poren wieder schließen und sich dadurch die „Packungsdichte“ des Frischmörtels erhöht. Besonders ausgeprägt sei der Effekt bei schnell saugenden Ziegeln.

Dagegen ergeben sich nach /138/ *Festigkeitsverminderungen*, wenn der w/z-Wert in der Fuge soweit sinkt, dass innerhalb des betrachteten Zeitraumes (i. d. R. 28 d) das gesamte noch vorhandene Wasser für die Hydratation verbraucht wird und diese anschließend infolge Wassermangels abbricht.

Diese Effekte treten nach /138/ gleichzeitig auf. Mithilfe des von Riechers entwickelten Modells zur Beschreibung der Auswirkungen der w/z-Wert-Veränderungen auf die Festigkeitsentwicklung des Mörtels bis zu einem bestimmten Zeitpunkt t wurden verschiedene Stein-Mörtel-Kombinationen betrachtet. Daraus ergaben sich die folgenden Erkenntnisse:

- Bei *Ziegelsteinen* wird i. d. R. die Festigkeitsverminderung infolge unvollständiger Hydratation durch die Festigkeitssteigerung infolge Senkung des effektiven w/z-Wertes kompensiert. Durch Zugabe von Methylcellulose o. ä. oder Vornässen der Mauersteine kann die Senkung des effektiven w/z-Wertes behindert werden. Beide Maßnahmen vermindern deshalb i. d. R. die Fugendruckfestigkeit. Das Vornässen der Mauersteine kann jedoch die Absenkung des effektiven w/z-Wertes auch fördern, da der Mörtel länger plastisch bleibt und sich infolgedessen die Phase, in welcher der effektive w/z-Wert wirksam gesenkt werden kann, verlängert. Dadurch steht dem Mörtel Wasser, welches aus den Steinen zurück in den Mörtel transportiert wird, für die Hydratation zur Verfügung und es kann ein höherer Hydratationsgrad erreicht werden, vgl. /138/.

- *Kalksandsteine* sind aufgrund ihrer Saugcharakteristik in der Lage, den effektiven w/z-Wert eines Mörtels wirksam zu senken. Allerdings führt der langanhaltende Wasserentzug zu niedrigen tatsächlichen w/z-Werten und damit zu niedrigen Hydratationsgeschwindigkeiten und einem niedrigen erreichbaren Hydratationsgrad. Durch geeignete Maßnahmen (z. B. hoher Ausgangswassergehalt, Vornässen der Mauersteine, Zugabe von Methylcellulose etc.) ist nach /138/ der Wassergehalt des Mörtels so zu beeinflussen, dass eine ausreichende Fugendruckfestigkeit erreicht wird, vgl. /138/.

- *Leichtbetonsteine* verhalten sich nach /138/ prinzipiell wie Kalksandsteine. Da Leichtbetonsteine im Anlieferungszustand einen gewissen Feuchtegehalt aufwiesen, bleibt der Gesamtwasserentzug i. d. R. in einem unkritischen Bereich, sodass die Senkung des effektiven w/z-Wertes einer unvollständigen Hydratation entgegenwirkt. Ein

Vornässen der Steine führt auch bei Leichtbetonsteinen i. d. R. zu einer Festigkeitssteigerung des Mörtels in der Fuge, vgl. /138/.

- Bei Verwendung von *Leichtmauermörtel* ist nach /138/ durch geeignete Maßnahmen (z. B. hoher Ausgangswassergehalt, Vornässen der Mauersteine, Zugabe von Methylcellulose etc.) der Wassergehalt des Mörtels so zu beeinflussen, dass eine ausreichende Fugendruckfestigkeit erreicht wird. Ansonsten kommt es zu Festigkeitseinbußen, die nicht kompensiert werden können, vgl. /138/.

- *Verzögerte Mörtel* sind nach /138/ über einen längeren Zeitraum „plastisch", wodurch sich die Phase, in welcher der effektive w/z-Wert wirksam gesenkt werden kann, verlängert. In dieser Phase erhöht sich nach /138/ der Widerstand, den der Mörtel dem weiteren Wasserentzug entgegensetzt. Verzögerte Mörtel weisen deshalb nicht unbedingt einen erhöhten Wasserentzug auf. Da bei verzögerten Mörteln der effektive w/z-Wert i. d. R. stärker gesenkt wird, als bei nicht verzögerten Mörteln, weisen sie ein ausgeprägtes Nacherhärtungspotenzial auf, vgl. /138/.

- Der *Ausgangswassergehalt* des Mörtels ist entscheidend dafür, wieviel Wasser am Ende der Phase des Wasserabsaugens für die Hydratation noch zur Verfügung steht. Je höher der Ausgangswassergehalt, desto günstiger sind die Voraussetzungen für die Hydratation. Hohe *Luftporengehalte* ersetzen bei gleicher Verarbeitbarkeit einen Teil des Anmachwassers und beeinflussen somit indirekt die Hydratation ungünstig, vgl. /138/.

Nach /138/ sind Mörtel, die für Mauersteine mit langsamer und kontinuierlicher Saugcharakteristik geeignet sein sollen, durch besondere Maßnahmen so einzustellen, dass die Wasserabgabe vermindert wird, um den Festigkeitsabfall infolge unvollständiger Hydratation zu begrenzen. Dagegen sind Mörtel für Mauersteine, die dem Mörtel das Wasser schnell entziehen, so einzustellen, dass es zu einer wirksamen Senkung des effektiven w/z-Wertes kommen kann, jedoch ausreichend Wasser für eine vollständige Hydratation zur Verfügung steht.

7.4.2 Schubert et al.

Schubert und Heer untersuchten den „Einfluss der Zusammensetzung von Mauermörtel auf seine Eigenschaften im Mauerwerk“ /141/.

In Tabelle 21 sind die verwendeten Mauersteine und in Tabelle 22 die verwendeten Mauermörtel benannt. Die Zusammensetzung der Mauermörtel ist in Tabelle 23 gegeben.

Tabelle 21: Verwendete Mauersteine nach /141/

Steinart	Kurzzeichen	Festigkeitsklasse	Kapillarporenanteil	Wasseraufnahmecharakteristik
Kalksandsteine	KS-R[1)]	20	rd. 13–14 Vol.-%	langsam kontinuierlich saugend
	KS			
Mauerziegel	Mz	12	rd. 22 Vol.-%	schnelle Wasseraufnahme in kurzem Zeitraum
	HLz	12	rd. 34 Vol.-%	
Leichtbetonstein	LB	2	-	schnelle Wasseraufnahme in kurzem Zeitraum, dann langsam kontinuierlich saugend

[1)] Referenz-Kalksandstein nach DIN 1053-1, Tabelle A.2

Tabelle 22: Verwendete Mauermörtel /141/

Mauermörtel/ Lieferform	Besonderheit	Kurzzeichen
Werk-Trockenmörtel	mit Luftporenbildner	WTM 1
	mit Luftporenbildner und hohem Wasserrückhaltevermögen	WTM 2
	Leichtmauermörtel LM 21 mit Perlite (…)	WTM 3
Werk-Frischmörtel	mit Luftporenbildner und Verzögerer	WFM

Tabelle 23: Zusammensetzung der verwendeten Mauermörtel /141/
Angaben gemäß Auftraggeber

Bestandteil	WTM 1	WTM 2	WFM	WTM 3[1)]
-	kg/m³			
Zement z	CEM I 32,5 R			CEM I 42,5 R
	251	248	237	454
Flugasche f	79	77	-	-
Zusatzmittel	1,89 Compound[2)]	1,86 Compound 0,70 Culminal[3)]	3,55 VZ 0,95 LP	MC LP
Zuschlag	Sand 0 - 1			Perlite
	1240	1220	1302	130 (37 Vol.-%)
Wasser w	267	263	227	430
w / z	1,06	1,06	0,96	0,95
w / (z + 0,4 · f)	0,94	0,94	0,96	0,95

[1)] Leichtmauermörtel LM 21 mit Perlite (…)
[2)] Compound SP3
[3)] Culminal MHPC 20000 P
VZ: Mörtelverzögerer, LP: Luftporenbildner, MC: Methylcellulose

In Bild 29 wurden die jeweils zeitlichen Verläufe der kapillaren Wasseraufnahme der verwendeten Mauersteine bei verschiedenen Ausgangsfeuchtegehalten (trocken und feucht) zusammengefasst.

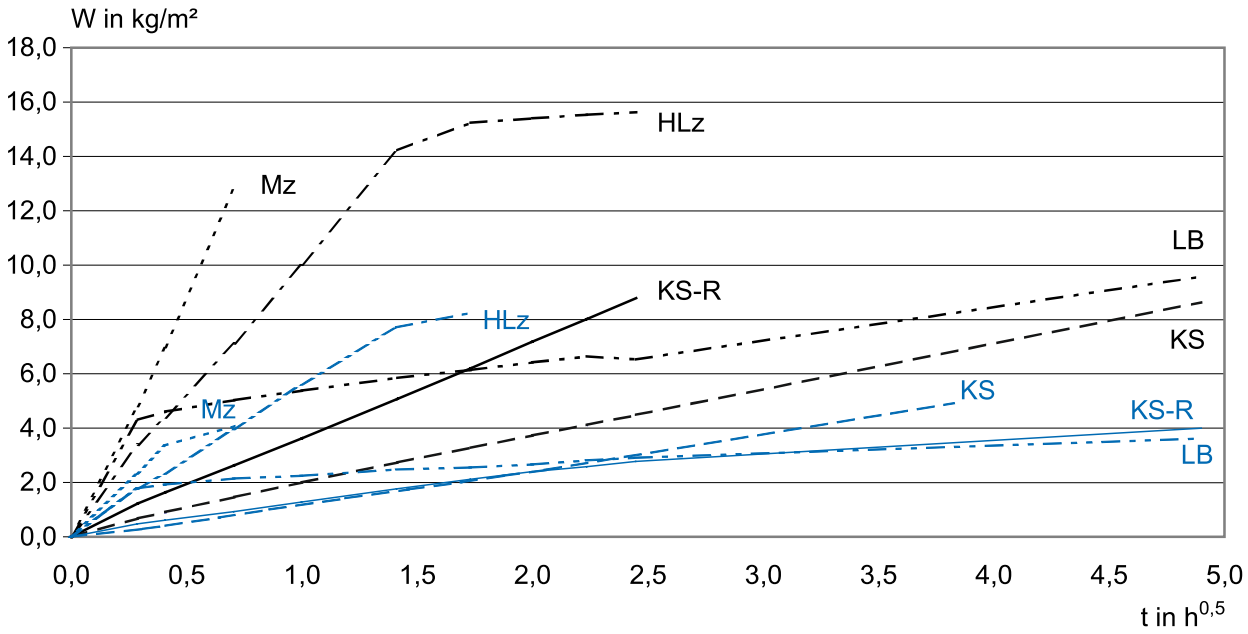


Bild 29: Kapillare Wasseraufnahme der verwendeten Mauersteine bei verschiedenen Ausgangsfeuchtegehalten (trocken und feucht) in Abhängigkeit der Zeit, Bilder 1 und 2 aus /141/ zusammengefasst (schwarz: trocken, blau: feucht)

Aufgrund der Porenstruktur (Porengrößenverteilung und Porosität), vgl. /141/, weisen die Mauersteine sehr unterschiedliche Wasseraufnahmecharakteristiken auf: Mauerziegel saugen relativ schnell, dafür aber nur in einem „recht“ kurzen Zeitraum. Kalksandsteine dagegen saugen langsam, jedoch kontinuierlich über einen „verhältnismäßig“ langen Zeitraum. Leichtbetonsteine saugen nach anfänglich schneller Wasseraufnahme ebenso wie Kalksandsteine langsam und kontinuierlich weiter. Erwartungsgemäß nehmen trockene Mauersteine mehr Wasser auf.

Bild 30 zeigt Verhältniswerte der Mörteldruckfestigkeit in der Fuge $\beta_{F,III}$ bezogen auf die Prismendruckfestigkeit β_D für die verwendeten Mauersteine.

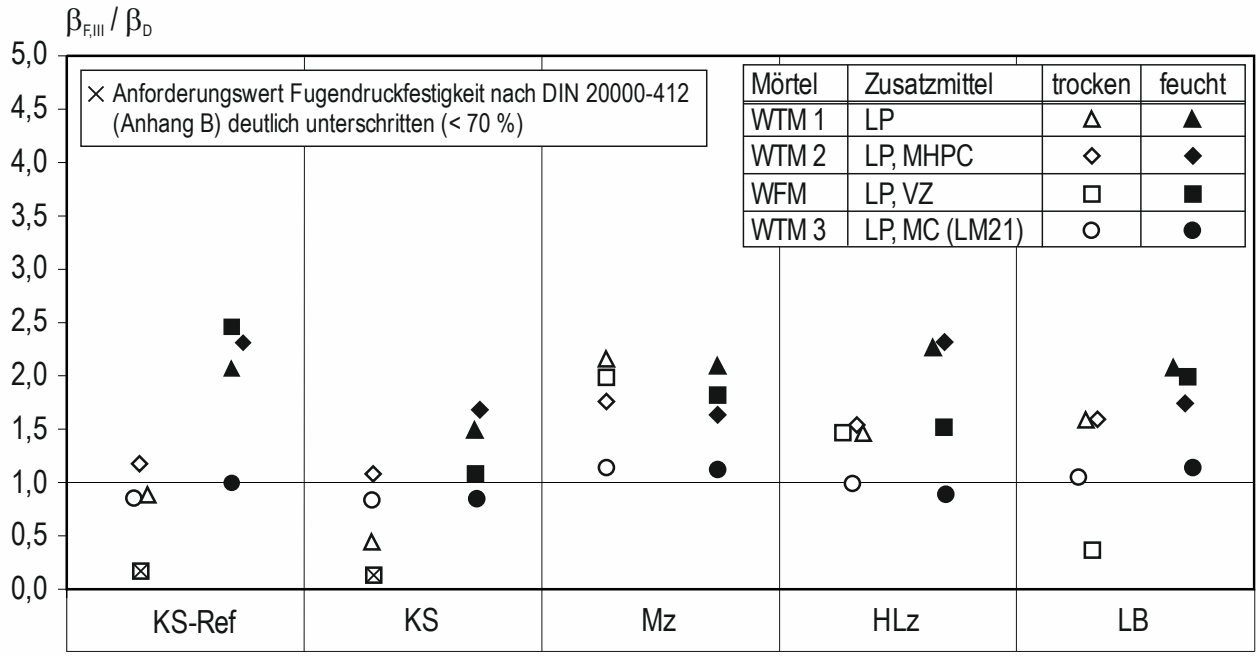


Bild 30: Mörteldruckfestigkeit in der Fuge $\beta_{F,III}$ bezogen auf die Prismendruckfestigkeit β_D, aus /142/ nach Bild 8 aus /141/ (28 d-Werte)

Die Mauersteine wurden in verschiedenen Feuchtezuständen vermauert: trocken, d. h. mit Ausgleichsfeuchte bei Lagerung in 20/65, sowie feucht, d. h. mit einem Feuchtegehalt von rd. 10 M.-%. Als Mauermörtel wurden Werk-Trockenmörtel (WTM) und Werk-Frischmörtel (WFM) mit folgenden Zusatzmitteln verwendet: Luftporenbildner (LP), Verzögerer (VZ), Methylcellulose (MC) und Methylhydroxypropylcellulose (MHPC), vgl. Tabellen 22 und 23.

Vor allem bei trocken vermauerten Kalksandsteinen können sich nach /142/ je nach Feuchtezustand bezogene Druckfestigkeiten in der Fuge ≤ 1,0 ergeben. Hingegen kann die Saugcharakteristik bei Mauerziegeln (relativ hohe Wasseraufnahme in kurzem Zeitraum) zu einer Festigkeitssteigerung führen, unabhängig vom Feuchtezustand der Mauersteine, vgl. /141/. Bei Verwendung von Werk-Frischmörtel mit geringem Wasserrückhaltevermögen können sich teils erhebliche Festigkeitseinbußen in Kombination mit KS-Ref, KS und LB (jeweils trocken vermauert) ergeben. Die Rechenfestigkeit kann folglich auf der unsicheren Seite liegen.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen nach /141/ sind:

- Bei Verwendung stark saugender Steine (z. B. trockene Kalksandsteine), kann dem Mörtel nach /141/ zu viel Wasser entzogen werden, sodass keine „optimale“ Festigkeitsausbildung mehr möglich ist. Durch Zugabe von Wasserrückhaltemitteln oder Vornässen der Mauersteine kann nach /141/ diesem Effekt entgegengewirkt werden.

- Durch die Zugabe von MC bzw. MHPC weisen die Werk-Trockenmörtel WTM 2 und WTM 3 in Kombination mit allen untersuchten Mauersteinen und Feuchtezuständen nach /141/ jeweils ein „auffällig“ gutes Wasserrückhaltevermögen auf. Demgegenüber werden dem Werk-Trockenmörtel WTM 1 und insbesondere dem Werk-Frischmörtel WFM wesentliche Wassermengen entzogen /141/.

- Starke Festigkeitseinbußen wurden nach /141/ deshalb vor allem bei dem verzögerten Werk-Frischmörtel WFM sowie dem Werk-Trockenmörtel WTM 1 in Kombination mit trockenen Kalksandsteinen (KS, KS-R) bzw. trockenen Leichtbetonsteinen (nur WFM) festgestellt.

Schubert et al. untersuchten den „Einfluss der Zusammensetzung von Werk-Frischmörteln auf die Fugenfestigkeit im Mauerwerk“ /143/.

An 8 Werk-Frischmörteln wurden der Zementgehalt, die Sieblinie und die Frischmörtelrohdichte variiert. Alle untersuchten Mörtel enthielten einen Verzögerer (VZ) und einen Luftporenbildner (LP). In Tabelle 24 ist die Zusammensetzung der verwendeten Werk-Frischmörtel zusammengestellt.

Tabelle 24: Zusammensetzung der verwendeten Werk-Frischmörtel aus /143/

Bestandteil	Werk-Frischmörtel /143/							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
-	kg/m³							
Zement z[1)]	217	234	264	273	216	215	255	257
Zuschlag	Sieblinie A (grob)				Sieblinie B (fein)			
	1334	1439	1291	1336	1328	1321	1245	1255
Luftporenbildner[2)]	0,74	0,26	0,57	0,23	1,71	1,22	2,7	1,15
Verzögerer[2)]	1,96	2,12	2,38	2,46	1,96	1,95	2,29	2,31
Wasser w	196	214	192	198	225	233	213	222
w/z[3)]	0,92	0,92	0,74	0,74	1,06	1,10	0,85	0,88

[1)] Portlandzement PZ 35F
[2)] flüssig
[3)] einschließlich Luftporenbildner und Verzögerer

Die wichtigsten Schlussfolgerungen nach /143/ sind:

- Die verwendete Zusatzmittelkombination bewirkte eine Erhärtungsverzögerung weit über die vorgesehene Verarbeitungszeit hinaus.

- Die Mörteldruckfestigkeiten in der Fuge sind deutlich niedriger als die Druckfestigkeiten nach Norm. Wesentlicher Grund dafür ist nach /143/ die lange Verzö-

gerungszeit der Werk-Frischmörtel. Durch eine intensive Nachbehandlung konnten die Fugenmörteldruckfestigkeiten allerdings erheblich gesteigert werden.

- Die Haftscherfestigkeitswerte waren bei allen Mörteln hoch.
- Aufgrund der Eigenschaftsschwankungen bei den verwendeten Mauersteinen und der sehr geringen Bandbreite der Fugenmörteldruckfestigkeiten sind die Zusammenhänge zwischen Fugenmörtel- und Mauerwerkdruckfestigkeiten nach /143/ nur sehr schwach.

Schubert und Schmidt führten Untersuchungen zur „Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk“ durch /133/. Dabei wurde zunächst das entwickelte Prüfverfahren validiert und der Einfluss von Prüfrandbedingungen quantifiziert. Anschließend wurde der Einfluss verschiedener Mauersteine (Kalksandstein, Hochlochziegel und Leichtbetonstein) auf die Fugendruckfestigkeit untersucht.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen nach /133/ sind:

- Nach /133/ ergaben sich deutliche Abhängigkeiten zwischen erreichter Druckfestigkeit des Fugenmörtels und der verwendeten Mörtelart sowie der verwendeten Mauersteinart. Insbesondere bei der Verwendung lufttrockener Kalksand- und Leichtbetonsteine wurde die Normanforderung an die Prismendruckfestigkeit von den entnommenen Mörteln aus der Lagerfuge nicht erreicht. Im Gegensatz dazu wurde nach /133/ die Festigkeit der Normprismen von der Fugenfestigkeit bei den Hochlochziegeln z. T. deutlich überschritten.
- Labormäßig hergestellter Rezeptmörtel wurde im Gegensatz zu den verwendeten Werk-Frisch- und Werk-Trockenmörteln weniger durch die Steinart und dessen Feuchtezustand beeinflusst.
- Die Mauerwerkdruckfestigkeit kann nach /133/ bei Bezug auf die Mörtelnormdruckfestigkeit erheblich überschätzt werden. Der Bezug auf die Fugendruckfestigkeit des Mörtels sei dagegen wesentlich zutreffender.

7.4.3 Graubohm

Graubohm führte Untersuchungen zur „Druckfestigkeit von Mauerwerk“ durch /139, 140/. Dabei sollte u. a. die Saugcharakteristik der Steine in Abhängigkeit ihres Anfangsfeuchte-

gehalts bestimmt und die daraus resultierende Beeinflussung der Eigenschaften des Fugenmörtels untersucht werden.

Für die Untersuchungen wurden Kalksand-Vollsteine KS R(P) 20 2,0 8DF 240 verwendet. Als Mauermörtel kamen zwei Normalmauermörtel nach DIN EN 998–2 zum Einsatz; ein Kalk-Zementmörtel der Mörtelklasse M2,5 sowie ein Zementmörtel der Mörtelklasse M5. Die Mauersteine wurden auf drei vorab festgelegte Feuchtegehalte (ofentrocken, 4 M.-%, 10 M.-%) konditioniert. Das Verformungsverhalten von Mauerwerk unter zentrischer Druckbeanspruchung wurde u. a. mit dem optischen 3D-Verformungsmesssystem ARAMIS untersucht.

In Tabelle 25 sind die Ergebnisse der Fugendruckprüfung (Mittelwerte aus jeweils 16 bis 20 Einzelwerten) für die beiden nach Kontakt mit den Mauersteinen untersuchten Mörtel jeweils auch die an Mörtelprismen ohne Kontakt zum Mauerstein bestimmten Druckfestigkeitswerte der gleichen Mörtelmischungen zusammengefasst. Die Druckfestigkeit des Fugenmörtels weicht durch den Kontakt zum Kalksandstein in den meisten Fällen deutlich von der Normdruckfestigkeit des entsprechenden Mörtels ab /140/. Die Festigkeitsentwicklung der Mörtel wird nach /140/ stark durch das Saugverhalten der Mauersteine unterschiedlich beeinflusst. Bei Kontakt mit ofentrockenen Kalksandsteinen erfolgt nach /140/ bereits nach 7 d keinen nennenswerte Festigkeitssteigerung mehr. Dies ist nach /140/ darauf zurückzuführen, dass das für die Festigkeitsentwicklung erforderliche Wasser bereits im jungen Mörtelalter zu einem großen Teil durch die stark saugenden trockenen Kalksandsteine entzogen wird. Je nach Mörtelart und Feuchtegehalt der Steine beim Vermauern können sich im Vergleich zur Normdruckfestigkeit sowohl deutlich höhere, als auch deutlich niedrigere Fugendruckfestigkeitswerte ergeben /140/.

Tabelle 25: Fugendruckfestigkeit $\beta_{F,III}$ und Normdruckfestigkeit f_m aus /139, 140/

Mörtel	Feuchtegehalt h_m	$\beta_{F,III}$			f_m			$\beta_{F,III} / f_m$		
		7 d	14 d	28 d	7 d	14 d	28 d	7 d	14 d	28 d
		N/mm²						-		
M2,5	ofentrocken	4,5	4,4	5,1	1,1	2,2	2,0	3,9	2,0	2,6
	4 M.-%	4,7	5,4	6,4				4,1	2,5	3,3
	10 M.-%	5,4	6,7	8,3				4,7	3,1	4,2
M5	ofentrocken	6,7	6,6	7,3	6,2	10,2	11,3	1,1	0,6	0,6
	4 M.-%	10,0	11,9	13,4				1,6	1,2	1,2
	10 M.-%	11,1	14,4	15,8				1,8	1,4	1,4

Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind:

- Die Druckfestigkeit des Fugenmörtels nimmt nach /139, 140/ mit steigender Ausgangsfeuchte der Steine zu. Ferner sind die an den Prismen aus der Fuge bestimmten Druckfestigkeitswerte bei Kontakt mit feuchten bzw. nassen Kalksandsteinen (4 M.-% und 10 M.-%) stets höher als die an in Stahlschalungen hergestellten Mörtelprismen.

- Bei den untersuchten Mörteln ist ein deutlicher Einfluss des Ausgangsfeuchtegehalts der Steine auf die Haftscherfestigkeit zu erkennen. Die mit ofentrockenen Steinen hergestellten Prüfkörper wiesen so geringe Verbundfestigkeiten auf, dass die Prüfkörper entweder beim Einbau in die Prüfmaschine oder beim Aufbringen der Vorlast bereits versagten.

- Mithilfe des optischen 3D-Verformungsmesssystems ließen sich nach /140/ über die Fugendicke Bereiche unterschiedlicher Steifigkeit feststellen. Das Verformungs-verhalten des Lagerfugenmörtels wird nach /140/ entlang der Kontaktzone zum Stein deutlich vom Saugverhalten der Mauersteine beeinflusst. Der Lagerfugenmörtel verhält sich in der Kontaktzone zum Stein aufgrund des Wasserentzuges deutlich weicher und wird stärker in Vertikalrichtung gestaucht als in Fugenmitte.

7.4.4 Cordes et al.

Cordes et al. untersuchten die „Eignung von verzögerten Werk-Frischmörteln für Mauerwerk“ /134/. Dabei wurden die Ausgangsfeuchte der Mauersteine sowie die Temperatur variiert.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen nach /134/ sind:

- Die Liefermörtel lagen mit ihren Druckfestigkeiten im Allgemeinen unter den Werten der Baustellenmörtel.

- Bei der Prüfung der Haftscherfestigkeit wurden im Vergleich zur Druckfestigkeitsprüfung größere Streuungen der Versuchsergebnisse festgestellt.

- Die mit den Liefermörteln erreichten Haftfestigkeitswerte liegen bei allen Steinarten mit Ausnahme eines Werkes unterhalb der Werte, die mit den vergleichbaren Baustellenmörteln erzielt worden waren.

- Bei den untersuchten Stein-Mörtelkombinationen, Feuchtigkeitszuständen der Steine und verwendeten Zusatzmitteln konnte das Wasserrückhaltemittel bei trockenen Kalksandsteinen und trocken-nassen Gasbetonsteinen zu einer wesentlichen Verbesserung der Haftscherfestigkeit beitragen /134/.

7.4.5 Eden et al.

Eden et al. untersuchten die „Druckfestigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Mörteleigenschaften in der Fuge durch den Wasserhaushalt des Verbundsystems“ /144/.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde an insgesamt 46 Kalksandsteinsorten untersucht, welche Steineigenschaften charakteristisch sind hinsichtlich der Wasseraufnahme. Dazu wurden u. a. die maximale Wasseraufnahme, wassererfüllbare Porosität, Wasseraufnahmekoeffizienten nach verschiedenen Methoden an trockenen und feuchten Steinen und Porenradienverteilung ermittelt.

An ausgewählten Steinsorten wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Steinfeuchtegehalte bei verschiedenen Mörtelarten auf Mörtelkenngrößen, wie Fugendruckfestigkeit und Haftscherfestigkeit, auswirken. Im Einzelnen wurde bei den verwendeten Mörteln untersucht, wie sich Sandsieblinien und Zusatzmittel sowie bei Werk-Frischmörtel unterschiedliche Verarbeitungszeitpunkte auf die Mörtelkenngrößen in der Mörtelfuge auswirken.

Unter Verwendung von 4 Steinarten mit 2 Feuchtezuständen und 3 Normalmauermörteln, 4 Werk-Trockenmörteln und 1 Werk-Fischmörtel wurden die Stein-, Mörtel- und Mauerwerkeigenschaften (Hauptuntersuchungen) bestimmt.

Die bei den Hauptuntersuchungen verwendeten Mauersteine und Mauermörtel werden nachfolgend in den Tabellen 26 und 27 charakterisiert.

Tabelle 26: Verwendete Mauersteine aus /144/

Mauerstein	Festigkeitsklasse	Porosität in %	Wasseraufnahme-charakteristik
KS-R (NF)[1)]	20	28,5	langsam, kontinuierlich saugend
KS Vb (NF)		29,4	
KSV (NF)		39,5	
KSL (2DF)	12	34,1	

[1)] Kalksand-Referenzstein

Tabelle 27: Zusammensetzung der verwendeten Mauermörtel aus /144/

Bestandteil	Normalmörtel			Werk-Trockenmörtel				Werk-Frischmörtel		
	N1	N2	N3	T1	T2	T3	T4	F1	F2	F3
	kg									
Zement z[1)]	8,0	11,8	11,2	8,7	10,1	[4)]		200		
PM-Binder	14,0	-	-	-				-		
Weißkalkhydrat	-	5,4	5,1	-				40		
Flugasche f	-			3,1	1,8			-		
Zuschlag	60,0	66,7	63,3	50,2	50,0			1301		
Zusatzmittel in g	-	-	32,7[2)]	74,4[3)]	72,2[3)]			[5)]		
Wasser w	9,0	11,3	9,5	7,8	7,9			190		
w/z	1,14	0,96	0,85	0,89	0,78			0,95		
w/(z+ 0,4 f)	-			0,78	0,73			-		

[1)] Portlandzement PZ 35F
[2)] Mischöl (Luftporenbildner)
[3)] VT-Gemisch
[4)] keine Angabe in /144/
[5)] Zusatzmittel vorhanden, jedoch nicht bekannt

Bild 31 zeigt die Mauerwerkdruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Fugendruckfestigkeit für eine Steindruckfestigkeit von 25 N/mm², siehe Bild 33 aus /144/.

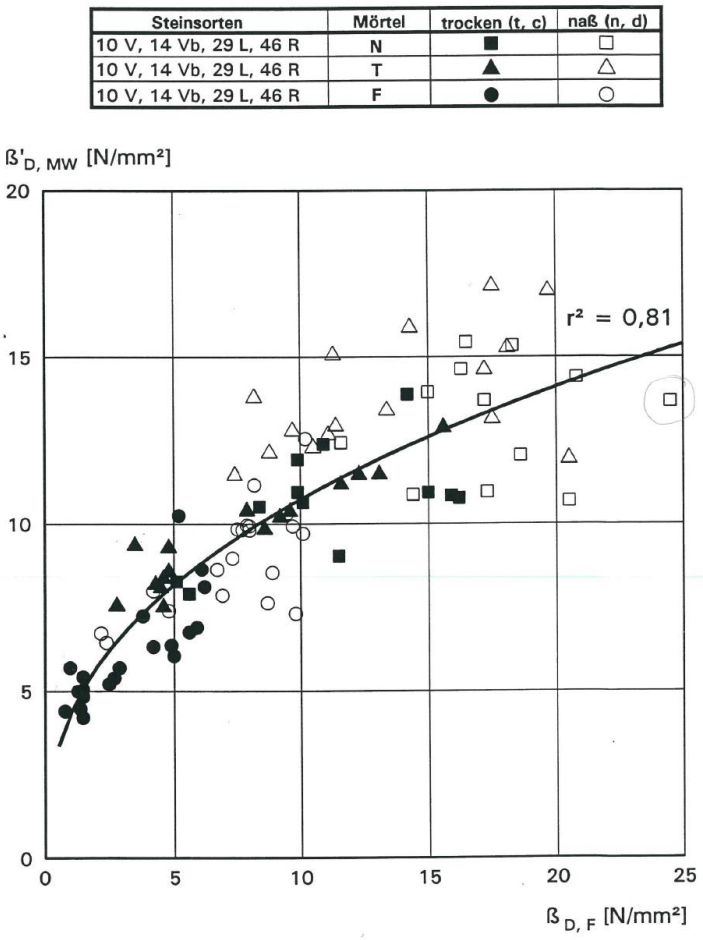


Bild 31: Mauerwerkdruckfestigkeit $\beta'_{D,mw}$ bezogen auf die Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$ mit Regressionskurve (Bestimmtheitsmaß 81 %), Auszug aus Bild 33 aus /144/

Die wichtigsten Schlussfolgerungen nach /144/ sind:

- Das Saugverhalten der untersuchten Kalksandsteine ist unterschiedlich, was durch die große Bandbreite der Wasseraufnahmekoeffizienten gezeigt wird. Bei Wasseraufnahmekoeffizienten > 4,0 kg/(m · $h^{0,5}$) wird nach /144/ der Großteil des aufnehmbaren Wassers unabhängig von der Steinsorte etwa innerhalb der ersten 4 bis 6 Stunden aufgesogen.

- Der Wasserentzug aus dem Frischmörtel durch die Steine hängt nach /144/ in erster Linie von den Mörteleigenschaften – und hier von den verwendeten Mörtelzusatzmitteln – ab. Nach /144/ wurde ein erheblicher Einfluss dieser Zusatzmittel festgestellt.

- Der Einfluss der verschiedenen Mörtelsandsorten auf die Haftscherfestigkeit und auf die Druckfestigkeit des Mörtels in der Lagerfuge ist nach /144/ deutlich erkennbar. Einkörnige Mörtelsande mit hohem Wasserverlust führen nach /144/ zu höheren

Haftscherfestigkeiten und gemischtkörnige Mörtelsande mit geringerem Wasserverlust führen zu höheren Druckfestigkeiten des Mörtels in der Lagerfuge.

- Die unterschiedlichen Steinfeuchten führen nach /144/ zu unterschiedlich hohen Mauerwerkdruckfestigkeiten, dabei gilt: Trockene Steine führen im allgemeinen im Vergleich zu feuchten Steinen zu geringeren Mauerwerksdruckfestigkeiten.

- Bei der Verwendung des Werk-Frischmörtels und trockenen Steinen wurden nach /144/ in einigen Fällen die Anforderungen der DIN 1053 unterschritten.

7.5 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse

7.5.1 Allgemeines

Für die wissenschaftliche Beurteilung der heutigen Relevanz der Regelung des Längs- und Querdehnungsmoduls wurden die Versuchsergebnisse ausgewählter Forschungsarbeiten in MS Excel zusammengestellt und ausgewertet. Die Auswahl der Forschungsarbeiten erfolgte unter folgenden Kriterien: Breite Auswahl von Eigenschaftswerten der untersuchten Mauersteine, Mauermörtel und des Mauerwerks bzw. des Mörtels in der Lagerfuge. Folgende Forschungsarbeiten wurden berücksichtigt:

/139/ Graubohm, M.: Einfluss des Kontakts zwischen Mauerstein und Mauermörtel auf das Drucktragverhalten von Mauerwerk (2018)

/143/ Schubert, P.; Meyer, U.; Schulte, M.: Einfluss der Zusammensetzung von Werk-Frischmörteln auf die Fugenfestigkeit im Mauerwerk Teil 1: Literaturauswertung, Teil 2: Untersuchungen mit Werk-Frischmörtel (1991)

/144/ Eden, W.; Kasten, D.; Meyer, G.: Ermittlung der Druckfestigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Mörteleigenschaften in der Fuge durch den Wasserhaushalt des Verbundsystems (1993)

7.5.2 Ergebnisse

Zur Vergleichbarkeit wurden die Fugendruckfestigkeitswerte aus /144/, ermittelt nach dem Würfeldruckverfahren (vgl. Abschnitt 7.2.3), mithilfe der in Abschnitt 7.3 angegebenen Formfaktoren nach Gleichung (6) in Fugendruckfestigkeitswerte $\beta_{F,III}$ umgerechnet.

$$\beta_{F,III} = \frac{\beta_{F,I}}{0,75} \qquad (6)$$

mit:

$\beta_{F,III}$ Fugendruckfestigkeit nach Verfahren III in DIN 18555-9 /X49/ in N/mm² und

$\beta_{F,I}$ Fugendruckfestigkeit nach Verfahren I in DIN 18555-9 /X49/ (Würfeldruckverfahren) in N/mm².

Die auf eine Steindruckfestigkeit von 25 N/mm² (analog zu /144/) sowie die Schlankheit 5 umgerechnete Mauerwerkdruckfestigkeit $\beta'_{D,mw}$ ist bezogen auf die Fugendruckfestigkeit $\beta_{F,III}$ in Bild 32 dargestellt.

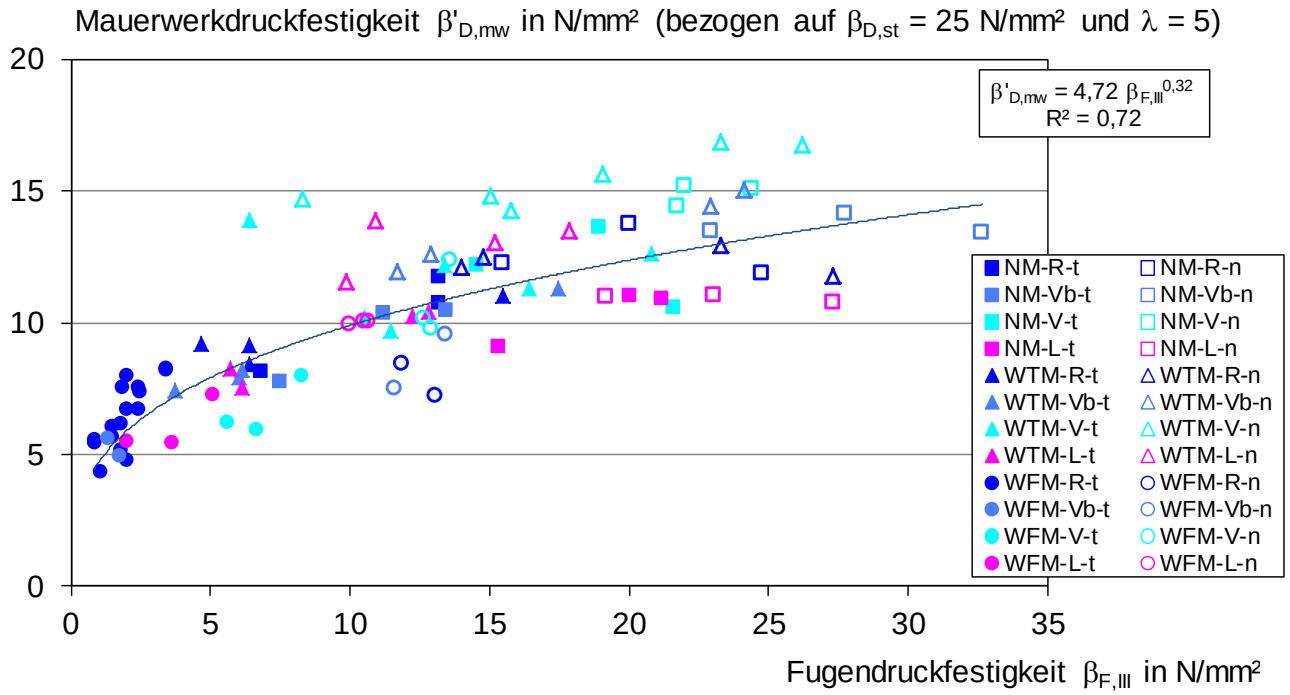


Bild 32: Mauerwerkdruckfestigkeit $\beta'_{D,mw}$ bezogen auf die Fugendruckfestigkeit $\beta_{F,III}$ mit Regressionskurve und -parametern, Werte aus /139, 143, 144/

In Bild 33 wurden diejenigen Wertepaare markiert, bei denen der Anforderungswert an die Fugendruckfestigkeit (3,5 N/mm², vgl. Tabelle 19) nicht erfüllt wurde. In Bild 34 wurden dagegen diejenigen Wertepaare markiert, bei denen der Anforderungswert an die Haftscherfestigkeit (0,20 N/mm², vgl. Bild 4 bzw. 0,08 N/mm², vgl. Bild 6) nicht erfüllt wurde.

In Bild 35 wurden diejenigen Wertepaare markiert, bei denen der anhand der Ergebnisse der Wanddruckversuche rechnerisch ermittelte f_k-Wert $f_{k,cal}$ jeweils unterhalb des nach DIN EN 1996-1-1/NA berechneten bzw. in DIN EN 1996-3/NA tabellierten f_k-Wert liegt.

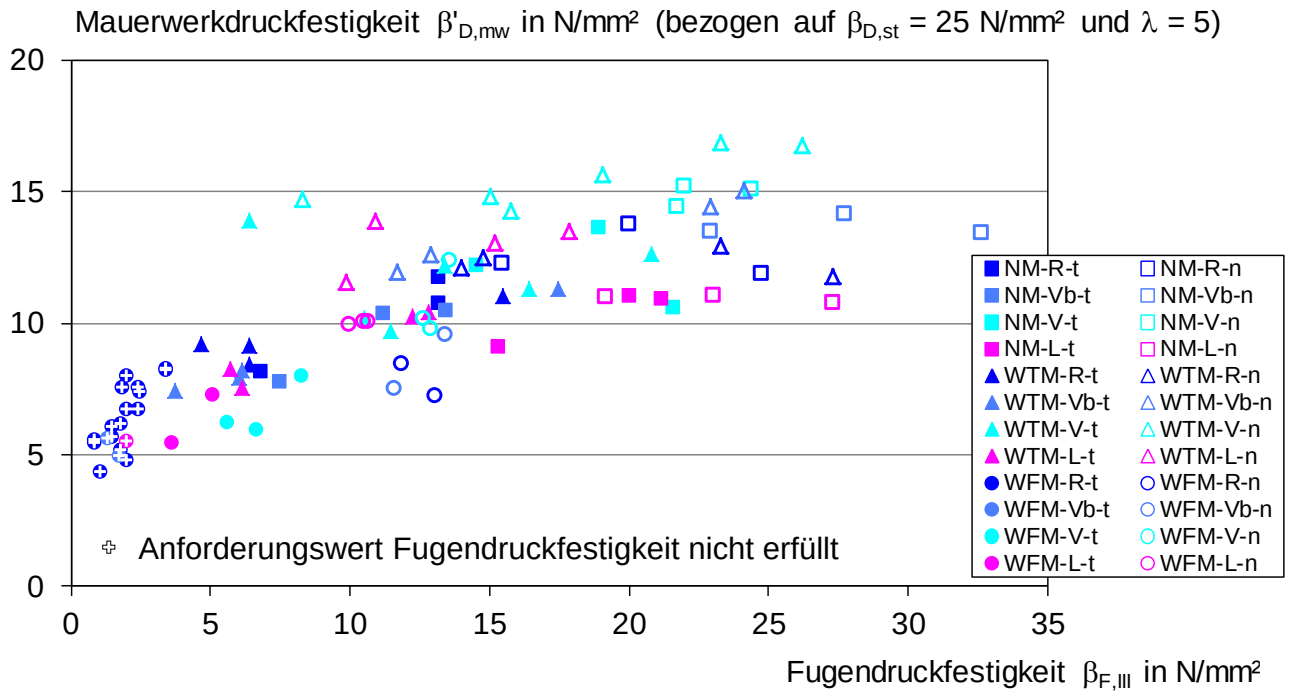


Bild 33: Mauerwerkdruckfestigkeit β'D,mw bezogen auf die Fugendruckfestigkeit βF,III, Anforderungswerte an die Fugendruckfestigkeit nicht erfüllt, Werte aus /139, 143, 144/

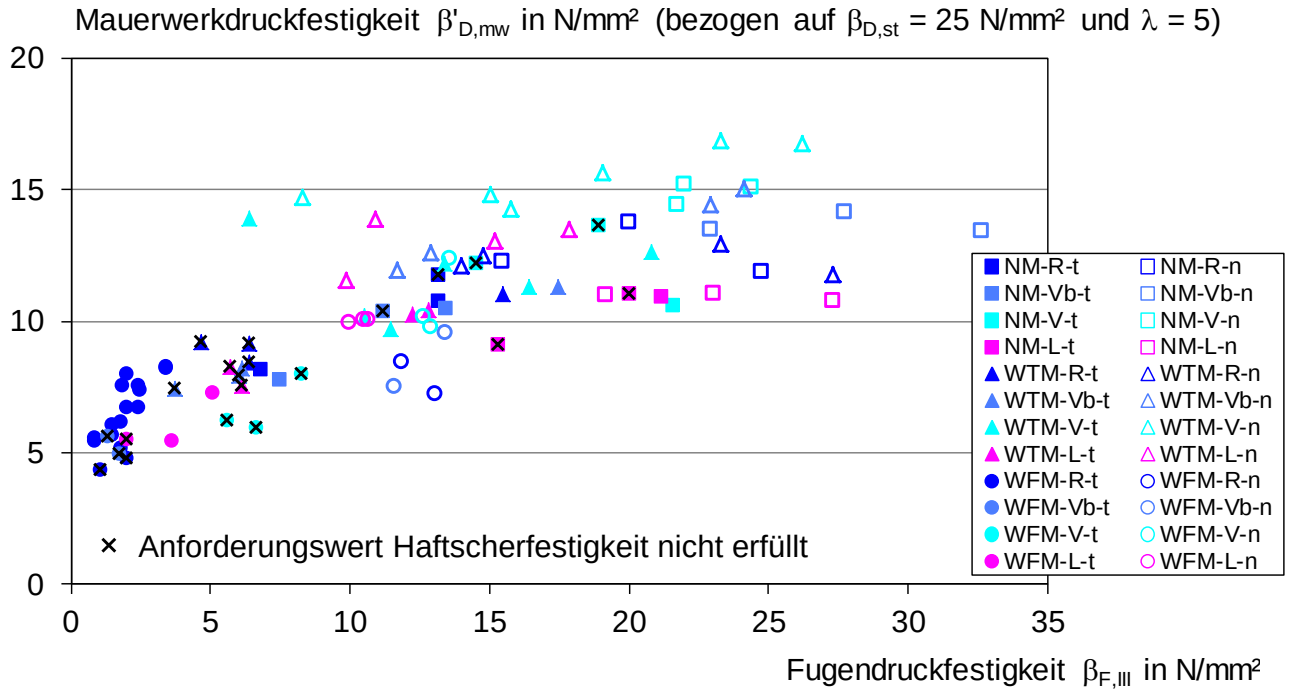


Bild 34: Mauerwerkdruckfestigkeit β'D,mw bezogen auf die Fugendruckfestigkeit βF,III, Anforderungswerte an die Haftscherfestigkeit nicht erfüllt, Werte aus /139, 143, 144/

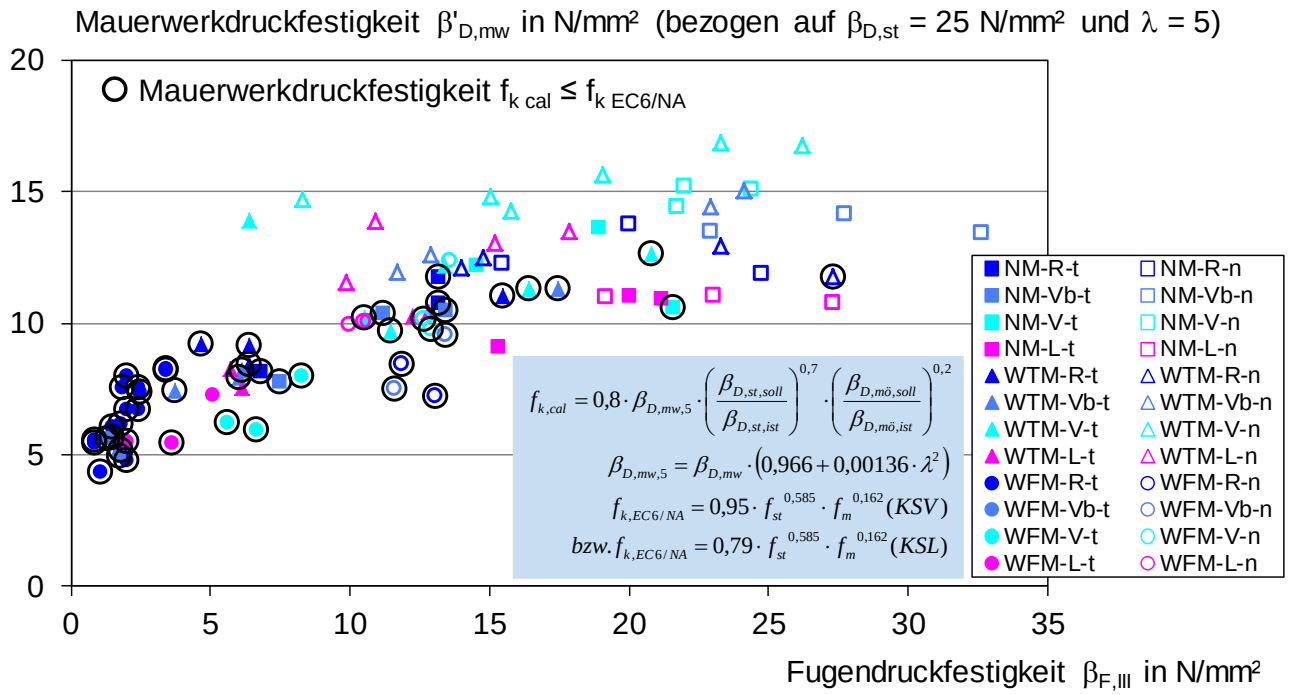


Bild 35: Mauerwerkdruckfestigkeit β‘D,mw bezogen auf die Fugendruckfestigkeit βF,III, Rechnerisch ermittelte Mauerwerkdruckfestigkeit kleiner als tabellierte Mauerwerkdruckfestigkeit nach EC6/NA, Werte aus /139, 143, 144/

7.5.3 Schlussfolgerungen

Ein Vergleich der Bilder 33, 34 und 35 zeigt:

- Sämtliche Versuche, bei denen der Anforderungswert an die Fugendruckfestigkeit nicht erfüllt wurde, weisen unzureichende Mauerwerkdruckfestigkeiten auf, dies betrifft i. W. Werk-Frischmörtel mit verschiedenen trocken vermauerten KS-Steinen.

- Auch bei nicht erfülltem Anforderungswert der Haftscherfestigkeit wurden teilweise ausreichende Wanddruckfestigkeitswerte erzielt. Dagegen wurden auch bei erfülltem Anforderungswert der Haftscherfestigkeit teilweise unzureichende Wanddruckfestigkeitswerte festgestellt.

- Beide Kennwerte – Fugendruck- und Haftscherfestigkeit – ermöglichen nur unzuverlässig, unsichere Stein-Mörtel-Kombinationen zu identifizieren. Eine Vielzahl an unzureichenden Wanddruckfestigkeitswerten wird über die Kennwerte nicht erfasst.

- Werk-Frischmörtel in Kombination mit Kalksandsteinen – trocken und nass vermauert – scheinen per se kritisch zu sein, da sowohl in Kombination mit trockenen als

auch mit nassen KS-Steinen unzureichende Wanddruckfestigkeitswerte erzielt wurden.

7.6 Zusammenfassung und Bewertung

Aus bestimmten Mörtelrezepturen, Lieferformen bzw. Stein-Mörtel-Kombinationen können niedrige Fugendruck- und/oder Haftscherfestigkeitswerte resultieren, die unterhalb der Anforderungswerte nach DIN V 18580 bzw. DIN 20000-412 liegen können.

Kritische Stein-Mörtel-Kombinationen sind i. d. R. trocken vermauerte KS und LB i. V. m. Mörteln mit unzureichendem Wasserrückhaltevermögen. Diese Kombinationen können durch die Prüfung der Fugendruckfestigkeit identifiziert werden. Dadurch kann i. d. R. eine ausreichende Tragfähigkeit bei einer Druckbeanspruchung des Mauerwerks sichergestellt werden.

Doch auch bei erfüllten Anforderungswerten der Fugen- und/oder Haftscherfestigkeit können unzureichende Mauerwerkdruckfestigkeitswerte vorliegen. Die Kennwerte stellen somit kein hinreichendes Kriterium zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit, insbesondere bei Kalksandstein-Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln, dar.

Alternativ könnte der Eignungsnachweis des Mauermörtels über die Prüfung der Druckfestigkeit von Mauerwerk mit den für die Verwendung vorgesehenen Mauersteinen erfolgen. Da dies mit erheblichem Aufwand verbunden wäre, sollte weiterhin die Prüfung beider Mörteleigenschaften – Fugen- und Haftscherfestigkeit – zur Identifikation kritischer Mörtelrezepturen herangezogen werden, solange kein geeigneteres Verfahren für den Eignungsnachweis neuer Mörtelrezepturen vorliegt.

Mauermörtel wurden – oftmals auf Grundlage der hier vorgestellten Untersuchungen – stofflich weiterentwickelt und auf die für die Verwendung vorgesehenen Mauersteine abgestimmt. Inwiefern die hier vorgestellten Untersuchungen repräsentativ für moderne Mauermörtel sind, kann im Rahmen dieses Berichts ebenso wenig geklärt werden wie die Beurteilung der Marktrelevanz der verschiedenen Lieferformen sowie bestimmter Stein-Mörtel-Kombinationen.

8 VERBUNDFESTIGKEIT

8.1 Allgemeines

Die Übertragung von Schub-, Zug- und Biegezugspannungen erfolgt über den Haftverbund zwischen Mauermörtel und Mauerstein. Durch die Festlegung von Mindestwerten für die Haftscherfestigkeit sollte nicht nur ein ausreichender Verbund sichergestellt, sondern ebenso kritische Stein-Mörtel-Kombinationen bei Eignungsnachweisen identifiziert werden, vgl. Abschnitt 7.

Ausschlaggebend dafür dürfte vor allem die Anwendung von Werk-Frischmörtel, später auch Werk-Trockenmörtel, im Mauerwerkbau gewesen sein, welche seit ihrer Einführung im Jahr 1973 einen beachtlichen Marktanteil erworben haben. Bei beiden Mörtelarten bzw. Lieferformen handelt es sich um Mauermörtel mit Zusatzmitteln. Diese Zusatzmittel können beispielsweise Luftporenbildner, Wasserrückhaltemittel oder Verzögerer sein.

Die Mörtel haben sich aus wirtschaftlichen Gründen und angesichts gestiegener Ansprüche seitens des Verbrauchers auf der Baustelle weitgehend durchgesetzt. *Dahms* /145/ schätzte den Anteil des Baustellenmörtels (Mischen des Mörtels auf der Baustelle) am Gesamtvolumen des Mörtelverbrauchs in Deutschland bereits 1984 auf nur noch rd. 10 bis 20 %.

Durch den Einsatz von Zusatzmitteln können sich neben den angestrebten Änderungen einzelner Mörteleigenschaften auch unvorhergesehene Änderungen ergeben, die sich unter Umständen festigkeitsmindernd auswirken. Ende der 1970er Jahre wurden Bauschäden bekannt, deren Schadensursache in einem nicht ausreichenden Haftverbund von Mauerstein und Mörtel begründet lag, vgl. /134/. Dadurch wurde deutlich, dass Zusatzmittel massiv in den Wasserhaushalt und den Erhärtungsverlauf des bis dahin bewährten Mauermörtels aus Sand, Kalk, Zement und Wasser eingreifen /146/. Mit der Druckfestigkeitsprüfung an Normprismen nach DIN 18555-3 /X43/ konnten die veränderten Eigenschaften der Mauermörtel jedoch nicht immer ausreichend erfasst werden.

Daraus ergab sich die Notwendigkeit, neben der Druckfestigkeit von Mauermörtel auch die Hafteigenschaften zwischen Mörtel und Mauerstein genauer zu untersuchen.

8.2 Prüfverfahren

8.2.1 Allgemeines

DIN 1053-2 /X22/ und später DIN 1053-1 /X26/ legten für die Eignungsprüfung von Mauermörtel das Prüfverfahren nach DIN 18555-5 /X47/ fest. Es wird für alle Normal-, Leicht- und

Dünnbettmörtel angewendet. Dabei zeichnet sich das Prüfverfahren durch eine einfache Herstellung der Prüfkörper, die Beschränkung auf kleine Steinformate und die daraus resultierende einfache Handhabung aus. Nachfolgend soll das Prüfverfahren näher vorgestellt werden.

8.2.2 Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5

Bei der Herstellung der symmetrischen Prüfkörper wird der als ungünstig angesehene Kalksand-Referenzstein DIN 106-KS12-2,0-NF verwendet, welcher bei der Herstellung der Prüfkörper einen Feuchtegehalt von 3 bis 5 M.-% aufweisen muss. Auf einem waagerecht liegenden Stein wird ein mit Schalöl behandelter Rahmen aufgesetzt, der allseitig etwa 5 mm größer als die zu vermörtelnde Steinfläche sein muss. Anschließend wird der Rahmen mit Mörtel befüllt, bis sich eine hohlstellenfreie Schicht mit einer Dicke von (15 ± 1) mm ergibt. Den über den Rahmen hinausstehenden Mörtel zieht man mit einem Metalllineal ab. Im nächsten Schritt wird der Metallrahmen entfernt und der obere Stein bündig auf das Mörtelband aufgesetzt. Durch Aufklopfen auf den oberen Stein mit einer Kelle wird eine Lagerfugendicke von (12 ± 1) mm erreicht. Dabei ist darauf zu achten, dass der obere Stein parallel, lot- und fluchtrecht zum unteren Stein ausgerichtet wird.

Die Haftscherfestigkeitsprüfung erfolgt nach 28 Tagen. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die hergestellten 2-Stein-Prüfkörper bei 15 bis 22 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 50 bis 70 % gelagert. Währenddessen sind die Prüfkörper mit einer Folie abzudecken, um sie vor Zugluft zu schützen. Am Tag der Prüfung werden die Prüfkörper so in die Prüfvorrichtung eingesetzt, dass die Krafteinwirkung senkrecht zu den Stirnflächen der Steine und parallel zu der Mörtelfläche erfolgt, vgl. Bild 36. Die Bruchlast soll bei konstantem Lastanstieg innerhalb von 30 bis 90 s erreicht werden.

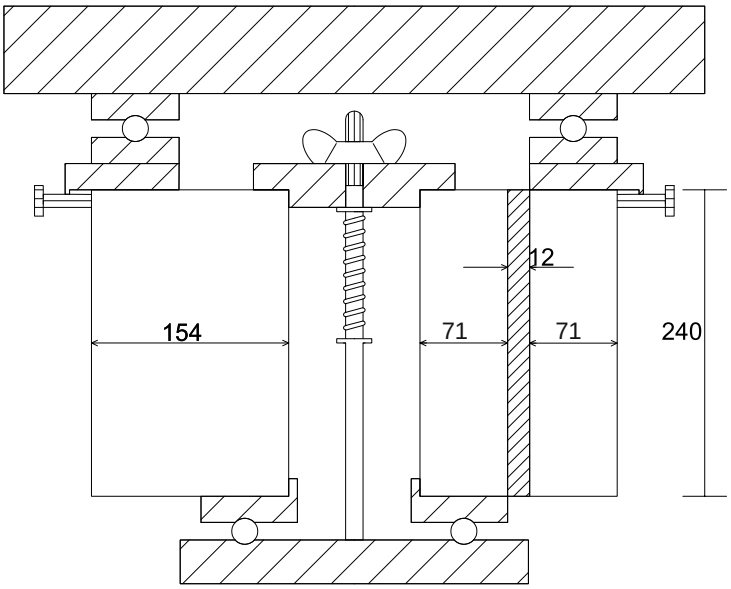


Bild 36: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5 /X47/ aus /137/; Maße in mm

Der Bruch kann als Adhäsionsbruch zwischen Mörtel und Stein, als Kohäsionsbruch im Mörtel oder im Stein oder als Mischform der zuvor genannten Brucharten auftreten. Bei der Prüfung mit Normal- und Leichtmauermörtel in Kombination mit dem Referenzstein sind in der Regel Adhäsionsbrüche zu erwarten. Die Verwendung von Dünnbettmörtel hat für gewöhnlich eine Mischform der beiden Brucharten zur Folge.

8.3 Forschungsarbeiten und Monografien

An dieser Stelle wird auf die in Abschnitt 7.4 vorgestellten Forschungsarbeiten bzw. Monografien verwiesen. Bei den dort aufgeführten Forschungsarbeiten wurden teilweise neben Druckversuchen an Lagerfugenmörtel ebenso Haftscherversuche nach /X47/ durchgeführt. Die Ergebnisse werden nachfolgend nochmals kurz aufgeführt:

- Die Haftscherfestigkeitswerte waren bei allen Mörteln hoch. /143/
- Bei den in /140/ untersuchten Mörteln ist ein deutlicher Einfluss des Ausgangsfeuchtegehalts der Steine auf die Haftscherfestigkeit zu erkennen. Die mit ofentrockenen Steinen hergestellten Prüfkörper wiesen so geringe Verbundfestigkeiten auf, dass die Prüfkörper entweder beim Einbau in die Prüfmaschine oder beim Aufbringen der Vorlast bereits versagten.
- Bei der Prüfung der Haftscherfestigkeit wurden in /134/ im Vergleich zur Druckfestigkeitsprüfung größere Streuungen der Versuchsergebnisse festgestellt.

- Die in /134/ mit den Liefermörteln erreichten Haftfestigkeitswerte liegen bei allen Steinarten mit Ausnahme eines Werkes unterhalb der Werte, die mit den vergleichbaren Baustellenmörteln erzielt worden waren.

- Bei den untersuchten Stein-Mörtelkombinationen, Feuchtigkeitszuständen der Steine und verwendeten Zusatzmitteln konnte das Wasserrückhaltemittel bei trockenen Kalksandsteinen und trocken-nassen Gasbetonsteinen zu einer wesentlichen Verbesserung der Haftscherfestigkeit beitragen /134/.

- Der Einfluss der verschiedenen Mörtelsandsorten auf die Haftscherfestigkeit und auf die Druckfestigkeit des Mörtels in der Lagerfuge ist nach /144/ deutlich erkennbar. Einkörnige Mörtelsande mit hohem Wasserverlust führen nach /144/ zu höheren Haftscherfestigkeiten und gemischtkörnige Mörtelsande mit geringerem Wasserverlust führen zu höheren Druckfestigkeiten des Mörtels in der Lagerfuge.

8.4 Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse

An dieser Stelle wird auf die in Abschnitt 7.5 vorgestellten Ergebnisse verwiesen. Bei den dort aufgeführten Untersuchungen wurden teilweise neben Druckversuchen an Lagerfugenmörtel ebenso Haftscherversuche nach /X47/ durchgeführt. Die Ergebnisse werden nachfolgend nochmals kurz aufgeführt:

- Bei nicht erfülltem Anforderungswert der Haftscherfestigkeit wurden teilweise ausreichende Wanddruckfestigkeitswerte erzielt. Dagegen wurden auch bei erfülltem Anforderungswert der Haftscherfestigkeit teilweise unzureichende Wanddruckfestigkeitswerte festgestellt, siehe Abschnitt 7.5.3.

- Beide Kennwerte – Fugendruck- und Haftscherfestigkeit – ermöglichen nur unzuverlässig, unsichere Stein-Mörtel-Kombinationen zu identifizieren. Eine Vielzahl an unzureichenden Wanddruckfestigkeitswerten wird über die Kennwerte nicht erfasst.

8.5 Zusammenfassung und Bewertung

Durch die Prüfung der Fugendruckfestigkeit können nicht sämtliche kritische Stein-Mörtel-Kombinationen identifiziert werden, da sich u. a. der Spannungszustand bei einer Druckbeanspruchung von dem bei einer reinen Scherbeanspruchung unterscheidet. Deshalb ist

es ebenso zielführend, kritische Materialkombinationen durch die Prüfung der Haftscherfestigkeit zu identifizieren.

Wie in Abschnitt 7.6 dargelegt, stellt die Prüfung der Haftscherfestigkeit kein hinreichendes Kriterium zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit, insbesondere bei Kalksandstein-Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln, dar. Dennoch erscheint es sinnvoll die Prüfung beider Mörteleigenschaften – Fugen- und Haftscherfestigkeit – weiterhin zur Identifikation kritischer Mörtelrezepturen heranzuziehen, solange kein geeigneteres Verfahren für den Eignungsnachweis neuer Mörtelrezepturen vorliegt.

9 VORSTELLUNG DER ERGEBNISSE

9.1 Allgemeines

Die im Rahmen der Literatursichtung und Auswertung der vorliegenden Daten erzielten Erkenntnisse wurden auf den nachfolgend aufgeführten Sitzungen vorgestellt und diskutiert. Die jeweiligen Folien mit den vorgestellten (Zwischen-)Ergebnissen sind im Anhang B dokumentiert, siehe Verweise.

- SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel,
  DIBt, Berlin 5. Februar 2018, siehe Anhang B, Bild B2 ff., Seite B2 ff.

- SVA Wandbauelemente B1 und B2,
  DIBt, Berlin, 24./25. April 2018, siehe Anhang B, Bild B56 ff., Seite B29 ff.

- NA 005-06-03 AA Mauermörtel,
  Berlin, 8. Oktober 2018, siehe Anhang B, Bild B72 ff., Seite B37 ff.

9.2 Wesentliche (Zwischen-)Ergebnisse

Wesentliche Ergebnisse wurden wie folgt zusammengefasst:

- Werk-Frischmörtel enthalten u. a. Verzögerer (VZ), um lange Zeit (36 h und mehr) verarbeitbar zu bleiben.
- In der Verzögerungszeit wird die Reaktivität des Zements herabgesetzt. In dieser Zeit kann der Mörtel jedoch schon im Kontakt zum Stein stehen, wodurch ihm Wasser entzogen wird.

- Bei Nachlassen der Wirkung des VZ kann das Wasserangebot im Mörtel jedoch so stark reduziert worden sein, dass nicht mehr ausreichend Wasser für eine vollständige Hydratation vorhanden ist.
  → Dies wirkt sich festigkeitsmindernd aus! (insbesondere Fugendruckfestigkeit)
  → Intensive Nachbehandlung erforderlich! → Nachhydratation
- Werk-Frischmörtel enthalten u. a. Luftporenbildner (LP), die sich festigkeitsmindernd auswirken können!
- Aus bestimmten Mörtelrezepturen bzw. Stein-Mörtel-Kombinationen können niedrige Fugendruck- und/oder Haftscherfestigkeitswerte resultieren, die teilweise erheblich unterhalb der Anforderungswerte nach DIN V 18580 liegen können.
- Eine Korrelation der Fugendruck- mit der Haftscherfestigkeit besteht nicht, da sich relevante Einflussgrößen (Zementart und -gehalt, Sieblinie der Gesteinskörnung, Zusatzmittel, Steinart, Wassergehalt der Steine etc.) unterschiedlich auf diese beiden Eigenschaften auswirken können.
- Die Prüfung der Haftscherfestigkeit ist nicht generell das schärfere Kriterium.
- Bei der Eignungsprüfung eines Mörtels erscheint es daher sinnvoll weiterhin die Prüfung beider Mörteleigenschaften als Filter zur Identifikation kritischer Mörtelrezepturen heranzuziehen.

10 ZUSAMMENFASSUNG

10.1 Allgemeines

Die in den Abschnitten 5 bis 8 dargelegten Schlussfolgerungen und Erkenntnisse sollen im Folgenden nochmals kompakt zusammengefasst werden.

10.2 Druckfestigkeit nach Wasserlagerung

Die Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel nimmt bei Lagerung in Wasser i. d. R. ab. Vorliegende Versuchsergebnisse bestätigen eine Festigkeitsminderung bis zu 30 %. Die Mindestdruckfestigkeit wird in rd. 93 % der vorliegenden Stichprobe jedoch eingehalten.

Bei einer Feuchtebeanspruchung von Mauerwerkprüfkörpern konnten keine signifikanten Tragfähigkeitsverluste nachgewiesen werden, obwohl in diesem Fall die Mörteldruckfestig-

keit von 12,3 N/mm² bei einem theoretischen Festigkeitsabfall von 30 % unterschritten werden würde.

Unter den genannten Bedingungen besteht kein Erfordernis für die Prüfung der Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel nach Wasserlagerung sowie eine normative Regelung in DIN 20000-412 bzw. DIN EN 998-2.

10.3 Längs- und Querdehnungsmodul

Mindestwerte für den Längs- und Querdehnungsmodul von Leichtmauermörtel sollen einen ausreichenden Verformungswiderstand des Mörtels sicherstellen und somit die Querdehnungsunterschiede zwischen Mauermörtel und Mauerstein in Mauerwerk unter Druckbeanspruchung begrenzen. Die vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass mithilfe der Unterscheidung der Leichtmauermörtel entsprechend der Rohdichte (früher LM 21 und LM 36) im Wesentlichen solche mit Perliten von den übrigen abgegrenzt werden. Da die Verwendung von Perliten keiner gesonderten Zulassung mehr bedarf, wird die Empfehlung von Mindestwerten für Längs- und Querdehnungsmoduln umso mehr als sinnvoll und zielführend angesehen, um einen ausreichenden Verformungswiderstand sicherzustellen. Allerdings ist die Formulierung in DIN 20000-412 /X5/ fehlerhaft. Sie könnte deshalb beispielsweise sinngemäß wie folgt angepasst werden:

> *„Bei Verwendung von Leichtmauermörtel ist sicherzustellen, dass die Tragfähigkeit des Mauerwerks unter Druckbeanspruchung nicht infolge zu großer Verformungsunterschiede zwischen Mauerstein und Mauermörtel übermäßig herabgesetzt wird. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Verformungswiderstands sollten der Längs- und Querdehnungsmodul des Leichtmauermörtels ausreichend hoch sein.*
>
> *Ein mögliches Verfahren zur Bestimmung von Verformungskenngrößen ist in DIN 18555-4:2019 beschrieben. Wird der Leichtmauermörtel im Alter von 28 Tagen nach diesem Verfahren geprüft, so sollten die folgenden Werte nicht unterschritten werden:*

Trockenrohdichte	*Längsdehnungsmodul*	*Querdehnungsmodul*
kg/m³	*N/mm²*	*N/mm²*
≤ 700	*≥ 2.000*	*≥ 7.500*
≤ 1000	*≥ 3.000*	*≥ 15.000*

> *Liegt kein Nachweis über die Begrenzung der Verformbarkeit vor, so ist ein Leichtmauermörtel mindestens der Mörtelklasse M 10 zu verwenden.“*

10.4 Druckfestigkeit in der Lagerfuge

Nach Auftreten einiger Schadensfälle, insbesondere bei Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln, erfolgte zunächst die normative Regelung von Anforderungswerten der Haftscher- und schließlich der Fugendruckfestigkeit. Seither wurden Mauermörtel – oftmals auf Grundlage der hier vorgestellten Untersuchungen – stofflich weiterentwickelt und auf die für die Verwendung vorgesehenen Mauersteine abgestimmt.

Kritische Stein-Mörtel-Kombinationen können durch die Prüfung der Fugendruckfestigkeit identifiziert werden. In Verbindung mit der Prüfung der Haftscherfestigkeit kann dadurch i. d. R. eine ausreichende Tragfähigkeit bei einer Druckbeanspruchung des Mauerwerks sichergestellt werden. Deshalb erscheint es sinnvoll auch weiterhin die Fugendruckfestigkeit bei Eignungsnachweisen zu prüfen. In manchen Fällen stellt der Kennwert allerdings kein hinreichendes Kriterium dar, beispielsweise bei Kalksandstein-Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln.

10.5 Verbundfestigkeit

Nach Auftreten einiger Schadensfälle, insbesondere bei Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln, erfolgte zunächst die normative Regelung von Anforderungswerten der Haftscher- und schließlich der Fugendruckfestigkeit. Seither wurden Mauermörtel – oftmals auf Grundlage der hier vorgestellten Untersuchungen – stofflich weiterentwickelt und auf die für die Verwendung vorgesehenen Mauersteine abgestimmt.

Kritische Stein-Mörtel-Kombinationen können durch die Prüfung der Haftscherfestigkeit identifiziert werden. In Verbindung mit der Prüfung der Fugendruckfestigkeit kann dadurch i. d. R. eine ausreichende Tragfähigkeit bei einer Druckbeanspruchung des Mauerwerks sichergestellt werden. Deshalb erscheint es sinnvoll auch weiterhin die Haftscherfestigkeit bei Eignungsnachweisen zu prüfen. In manchen Fällen stellt der Kennwert allerdings kein hinreichendes Kriterium dar, beispielsweise bei Kalksandstein-Mauerwerk mit Werk-Frischmörteln.

11 FAZIT

Durch die Begrenzung der Verformbarkeit mithilfe eines ausreichenden Längs- bzw. Querdehnungsmoduls sowie durch die Erfüllung von Mindestwerten sowohl der Fugendruck- als

auch der Haftscherfestigkeit bei Eignungsnachweisen von Mauermörtel ist bei sinnvollen Stein-Mörtel-Kombinationen sowie ordnungsgemäßer Ausführung unter Beachtung der Herstellerangaben und -empfehlungen i. d. R. eine ausreichende Tragfähigkeit von Mauerwerk sichergestellt. Die gegenwärtigen Regelungen in DIN 20000-412 bezüglich der hier betrachteten Mörteleigenschaften stellen somit *eine* grundlegende Säule des nationalen Sicherheitskonzepts dar. Deshalb erscheint es sinnvoll, diese unter der Voraussetzung, dass die Formulierungen konform mit der Normungsphilosophie gehen, beizubehalten, vgl. Bild 37.

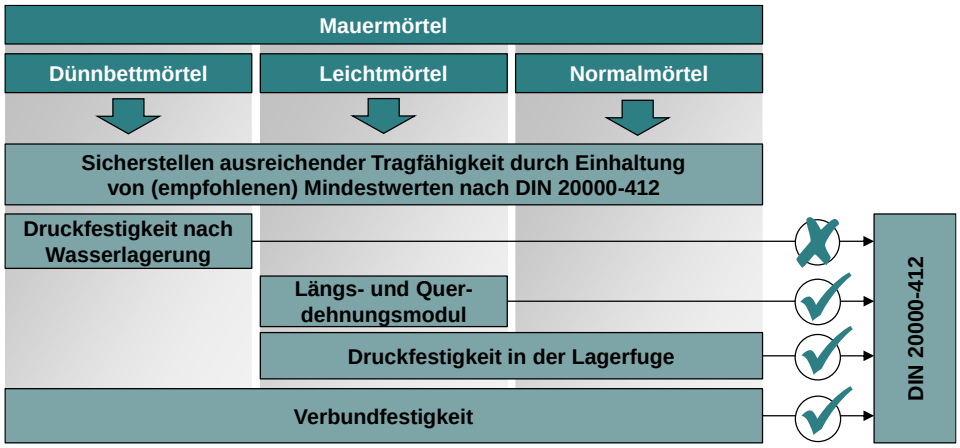


Bild 37: Schematische Darstellung des Arbeitsergebnisses

Die vorliegenden Daten zeigen allerdings auch, dass die betrachteten Eigenschaften nicht in jedem Fall ein *hinreichendes Kriterium* für ausreichend tragfähiges Mauerwerk darstellen. Als Gründe sind nicht zuletzt die vielfachen Möglichkeiten der Materialkombinationen sowie der Rezepturgestaltung bei Mauermörteln zu nennen. Die vorliegenden Daten entstammen i. d. R. Untersuchungen, die bereits viele Jahre bis Jahrzehnte zurückliegen. Dabei unterscheiden sich beispielweise die bei den Untersuchungen angewandten Prüfverfahren sowie Prüfrandbedingungen teilweise voneinander. Zudem wurden die derzeit am Markt verfügbaren Mauermörtel durch stoffliche Weiterentwicklung verbessert bzw. immer weiter auf die für die jeweilige Verwendung vorgesehenen Mauersteine abgestimmt. Ob diese neuen Mauermörtel durch die vorliegenden Daten zufriedenstellend repräsentiert werden, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden. Ebenso tragen Anwendungserfahrungen sowie ggf. veränderte Marktanteile dazu bei, dass bestimmte Materialkombinationen nicht oder nur unter Beachtung erforderlicher Maßnahmen ausgeführt werden.

Für die Überführung der Regelungen in EN 998-2 müssten zunächst für alle derzeit verfügbaren Mauermörtel sowie bewährte bzw. gebräuchliche Kombinationen mit Mauersteinen differenzierte Mindestwerte erarbeitet werden. Der Nutzen daraus, dem ein erheblicher Aufwand entgegenstünde, wäre nur schwer quantifizierbar.

NORMEN UND RICHTLINIEN

Mauermörtel

/X1/ DIN EN 998-2:2003-09 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel

/X2/ DIN EN 998-2:2015-11 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel

/X3/ DIN EN 998-2:2017-02 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel

/X4/ DIN V 20000-412:2004-03 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2003-09

/X5/ DIN 20000-412:2019-06 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2017-02

/X6/ DIN V 18580:2004-03 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften

/X7/ DIN V 18580:2007-03 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften

/X8/ DIN 18580:2019-06 Baustellenmauermörtel

/X9/ DIN 18557:1982-05 Werkmörtel; Herstellung, Überwachung und Lieferung

/X10/ DIN 18557:1997-11 Werkmörtel – Herstellung, Überwachung und Lieferung

Mauersteine

/X11/ DIN 105:1922-08 Mauerziegel (Backsteine)

/X12/ DIN 106:1926-10 Kalksandsteine (Mauersteine)

/X13/ DIN 106-1:1980-09 Kalksandsteine – Vollsteine, Lochsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine

/X14/ DIN 106-1/A1:1989-09 Kalksandsteine; Vollsteine, Lochsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine; Änderung 1

/X15/ DIN 106:2015-06 Kalksandsteine mit besonderen Eigenschaften (Entwurf)

Mauerwerk

/X16/ DIN 1053:1937-02 Bauteile aus künstlichen und natürlichen Steinen – Berechnungsgrundlagen

/X17/ DIN 1053:1952-12 Mauerwerk – Berechnung und Ausführung

/X18/ DIN 1053:1962-11 Mauerwerk – Berechnung und Ausführung

/X19/ DIN 1053:1963-09 Mauerwerk - Berechnung und Ausführung – Erläuterungen, Beiblatt 1

/X20/ DIN 1053-1:1974-11 Mauerwerk; Berechnung und Ausführung

/X21/ DIN 1053-2:1981-02 Mauerwerk; Ingenieurmäßig bemessene Bauten; Berechnung und Ausführung (Entwurf)

/X22/ DIN 1053-2:1984-07 Mauerwerk; Mauerwerk nach Eignungsprüfung; Berechnung und Ausführung

/X23/ DIN 1053-2:1996-11 Mauerwerk - Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen

/X24/ DIN 1053-1:1987-12 Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung (Entwurf)

/X25/ DIN 1053-1:1988-03 Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung; Änderung 1 zum Entwurf DIN 1053 Teil 1

/X26/ DIN 1053-1:1990-02 Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung

/X27/ DIN 1053-3:1990-02 Mauerwerk; Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung

/X28/ DIN 1053-1:1996-11 Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung

/X29/ DIN 1053-100:2004-08 Mauerwerk - Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts

Zuschläge/Gesteinskörnung

/X30/ DIN 4226-1:1971-12 Zuschlag für Beton; Zuschlag mit dichtem Gefüge; Begriffe, Bezeichnung, Anforderungen und Überwachung

/X31/ DIN 4226-1:1983-04 Zuschlag für Beton; Zuschlag mit dichtem Gefüge; Begriffe, Bezeichnung und Anforderungen

/X32/ DIN 4226-1:2001-07 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen

/X33/ DIN 4226-2:1971-12 Zuschlag für Beton; Zuschlag mit porigem Gefüge (Leichtzuschlag); Begriffe, Bezeichnung, Anforderungen und Überwachung (liegt nicht vor)

/X34/ DIN 4226-2:1983-04 Zuschlag für Beton; Zuschlag mit porigem Gefüge (Leichtzuschlag); Begriffe, Bezeichnung und Anforderungen

/X35/ DIN 4226-2:2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen (Leichtzuschläge)

/X36/ DIN 4226-3:1983-04 Zuschlag für Beton - Prüfung von Zuschlag mit dichtem oder porigem Gefüge

/X37/ DIN EN 13055-1:2002-08 Leichte Gesteinskörnungen - Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel

/X38/ DIN EN 13055:2016-11 Leichte Gesteinskörnungen

/X39/ DIN V 20000-104:2004-04 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 104: Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1:2002-08

Prüfung von Mörteln und Mauerwerk

/X40/ DIN 18555:1972-01 Mörtel aus mineralischen Bindemitteln; Prüfung

/X41/ DIN 18555-1:1982-09 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Allgemeines, Probenahme, Prüfmörtel

/X42/ DIN 18555-2:1982-09 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts

/X43/ DIN 18555-3:1982-09 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte

/X44/ DIN 18555-4:1983-10 (Entwurf) Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln im statischen Druckversuch statischen Druckversuch

/X45/ DIN 18555-4:1986-03 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln im statischen Druckversuch

/X46/ DIN 18555-4:2019-04 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln - Teil 4: Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln (Festmörtel) im statischen Druckversuch

/X47/ DIN 18555-5:1986-03 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln - Festmörtel - Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln

/X48/ DIN 18555-7:1987-11 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenverfahren

/X49/ DIN 18555-9:1998-02 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln - Festmörtel - Teil 9: Bestimmung der Fugendruckfestigkeit

/X50/ Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V. (DGfM): Vorläufige Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel; Druckfestigkeit in der Lagerfuge; Anforderungen, Prüfung. Bonn, 1990-03,1990-11, 1992-08, 1996-10

/X51/ DIN EN 1015-11:2020-01 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel

/X52/ DIN 52612-1:1979-09 Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät - Durchführung und Auswertung

/X53/ DIN 18554:1971-03 Mauerwerk; Ermittlung der Tragfähigkeit von Wänden und Pfeilern

/X54/ DIN 18554-1:1985-12 Prüfung von Mauerwerk; Ermittlung der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls

/X55/ DIN EN 1052-5:2005-06 Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 5: Bestimmung der Biegehaftzugfestigkeit

Beton

/X56/ DIN 1048-3:1975-01 Prüfverfahren für Beton - Bestimmungen des statischen Elastizitätsmoduls

Normenreihe Eurocode 6

/X57/ DIN EN 1996-1-1:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X58/ DIN EN 1996-1-1:2013-02 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X59/ DIN EN 1996-1-1:2019-09 Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X60/ DIN EN 1996-1-1/NA:2012-01 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X61/ DIN EN 1996-1-1/NA:2012-05 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X62/ DIN EN 1996-1-1/NA:2019-12 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

/X63/ DIN EN 1996-2:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk

/X64/ DIN EN 1996-2/NA:2012-01 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk

/X65/ DIN EN 1996-3:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

/X66/ DIN EN 1996-3/NA:2012-01 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

/X67/ DIN EN 1996-3/NA:2019-12 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

LITERATUR DÜNNBETTMÖRTEL

/68/ Irmschler, H.-J.; Meyer, H. G.: Neue Baustoffe und Bauarten im Mauerwerksbau. In: Mauerwerk-Kalender 1 (1976), (Hrsg. Funk, P.) Ernst & Sohn, Berlin, S. 507-582

/69/ Meyer, H. G.: Mauermörtel. In: Mauerwerk-Kalender 2 (1977), (Hrsg. Funk, P.) Ernst & Sohn, Berlin, S. 337-358

/70/ Schupack, M.; McDonald, A.: High Strength Adhesive Mortar in Concrete Masonry Structural Systems. Houston: Gulf Publishing Company, 1969. - In: Designing Engineering and Constructing with Masonry Products, S. 80-86 (Taken from the proceedings of “The International Conference on Masonry Structural Systems” (1. IMC), Austin, Texas, 1967)

/71/ Grunau, E. B.: Verlegemörtel für das Dünnbettverfahren. In: Fliesen und Platten 20 (1970), Nr. 5

/72/ Hopp, E.; Kaufhold, H.: Untersuchung von Mörtelfestigkeiten für das Ansetzen von keramischen Fliesen und Platten nach dem Dünnbettverfahren unter Anwendung verschiedener Prüfverfahren – Zusammenfassung. In: Fliesen und Platten 21 (1971), Nr. 17, S. 429-438

/73/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: Mauerwerk aus YTONG-Plansteinen. Zulassungsinhaber: YTONG AG, Volkartstraße 83, 8 München 19. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1969, Bescheid vom 08.05.1969, Geltungsdauer: 01.05.1974, In: Mitteilungen 1 (1970), Nr. 1, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 12

/74/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: ARDURIT G 125 Haft- und Glättmörtel, plastifizierter Zementmörtel zum Herstellen von Mauerwerk aus Gasbeton-Plansteinen der Güteklassen GS 25, GS 50 und GS 75. Zulassungsinhaber: Ardex Chemie GmbH, Chemische Fabrik Witten, 5810 Witten. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1971, Bescheid vom 01.04.1971, Geltungsdauer: 30.04.1974, In: Mitteilungen 2 (1971), Nr. 4, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 11

/75/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: ARDURIT K5, Haft- und Glättmörtel, Dünnbettmörtel zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Planelementen und Kalksand-Plansteinen der Festigkeitsklassen 150, 250 und 350. Zulassungsinhaber bzw. Antragsteller: ARDEX CHEMIE GmbH, Chemische Fabrik Witten, 581 Witten-Annen. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1973, Bescheid vom 26.04.1973, Geltungsdauer: 30.04.1977, In: Mitteilungen 4 (1973), Nr. 5, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 137

/76/ Verlängerung der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: ARDURIT K5, Haft- und Glättmörtel, plastifizierter Zementmörtel zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Planelementen und Kalksand-Plansteinen der Festigkeitsklassen 15 MN/m² (150 kp/cm²), 25 MN/m² (250 kp/cm²) und 35 MN/m² (350 kp/cm²). Zulassungsinhaber: ARDEX CHEMIE GmbH, Chemische Fabrik Witten, 5810 Witten-Annen. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1977, Bescheid vom 13.06.1977, Geltungsdauer: 31.07.1978, In: Mitteilungen 8 (1977), Nr. 6, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 178

/77/ Methoden zur „Prüfung von Dünnbettmörtel für keramische Belagsmaterialien“, Stand Dezember 1972, Fliesenberatungsstelle e. V., Burgwedel (liegt nicht vor)

/78/ Methoden für die Prüfung von Klebemörteln für das Dünnbettverfahren, herausgegeben von der Fliesenberatungsstelle e. V. – Untersuchungsstelle , Großburgwedel. (liegt nicht vor)

/79/ Brameshuber, W.; Graubohm, M.: Instandsetzung wasserbeaufschlagter Mauerwerkbauteile - Einfluss einer Wasserbeaufschlagung auf Eigenschaften von Mauerwerk und Bauteilbekleidungen, Austrocknungsmaßnahmen und deren Wirkung. Aachen : Institut für Bauforschung, RWTH Aachen University, 2007. - Forschungsbericht Nr. F 917

/80/ Richtlinien für die Erteilung von Zulassungen für Betonzusatzmittel (Zulassungsrichtlinien), Fassung Juni 1993; In: Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, 1993, Heft 5

/81/ Tebbe, H.; A 2385/1.3: Prüfung von Werk-Trockenmörteln auf Frischmörtel- und Festmörteleigenschaften nach Norm DIN 18555: Sakret Dünnbettmörtel für "Gasbeton und Kalksandstein GMS/KMS 100". Aachen: Institut für Bauforschung, 1992 – Prüfbericht Nr. A 2385/1.3

/82/ Hoffmann, G.; A 2585: Eignungsprüfung von Dünnbettmörtel gemäß DIN 1053 - Teil 1. Aachen: Institut für Bauforschung, 1992 – Prüfbericht Nr. A 2585

/83/ Hoffmann, G.; A 2726: Prüfung von Dünnbettmörtel. Aachen: Institut für Bauforschung, 1994 – Prüfbericht Nr. A 2726

/84/ Brameshuber, W.; Koster, M.; M 1606: Haftscheruntersuchungen am quick-mix-Dünnbettmörtel DBM-L in Verbindung mit einem Glasfilamentgewebe. Aachen: Institut für Bauforschung, RWTH Aachen University, 2012 – Prüfbericht Nr. M 1606

/85/ Winkels, B.; Graubohm, M.; M 2292: Untersuchungen zum Antrag auf eine Bauartgenehmigung für den quick-mix Dünnbettmörtel SECON. Aachen: Institut für Bauforschung, RWTH Aachen University, 2017 – Prüfbericht Nr. M 2292

/86/ Zulassungsprüfung des Dünnbettmörtels "SALITH TYP II", der Fa. Fels-Werke zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksandstein-Planelementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1985 – Prüfzeugnis Nr. 1299/85

/87/ Zulassungsprüfung des Dünnbettmörtels "Sakret GMS 100", der Fa. Sakret zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksandstein-Planelementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1985 – Prüfzeugnis Nr. 1067/85

/88/ Zulassungsprüfung des Dünnbettmörtels "Ceresit-KS", der Fa. Ceresit GmbH zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksandstein-Planelementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1985 – Prüfzeugnis Nr. 473/85

/89/ Zulassungsprüfung des "LUGATO"-Dünnbettmörtels der Fa. LUGATO CHEMIE, Hamburg, zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksandplansteinen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1984 – Prüfzeugnis Nr. 962/84

/90/ Prüfung der Wandfestigkeit von 3 geschosshohen Wandprüfkörpern aus Poroton-Planhochlochziegeln ohne Stoßfugenvermörtelung unter Verwendung von Dünnbettmörtel. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1984 – Prüfzeugnis Nr. 630/84

/91/ Prüfung der Wandfestigkeit von 3 geschosshohen Wandprüfkörpern aus Poroton-Planhochlochziegeln mit Stoßfugenvermörtelung unter Verwendung von Dünnbettmörtel. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1984 – Prüfzeugnis Nr. 778/84

/92/ Zulassungsprüfung des Dünnbettmörtels "maxitmur 900", der Fa. Kalkwerk Mathis zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und

Kalksandstein-Planelementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1985 – Prüfzeugnis Nr. 523/85

/93/ Zulassungsprüfung des Dünnbettmörtels "Helawit", der Fa. Herbert Lange KG zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksandstein-Planelementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1986 – Prüfzeugnis Nr. 1068/85

/94/ Zulassungsprüfung des "ADDIMENT-Dünnbettmörtels" der Fa. Heidelberger Zement AG, Heidelberg zum Herstellen von Mauerwerk aus Kalksand-Plansteinen und Kalksandstein-Elementen. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover; Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1985 – Prüfzeugnis Nr. 1548/84

LITERATUR LEICHTMÖRTEL

/95/ Funk, P.; Irmschler, H.-J.: Erläuterungen zu den Mauerwerksbestimmungen; Band I DIN 1053 Blatt 1 und zugehörige Normen. Berlin: Ernst & Sohn, 1975

/96/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: RHODIPOR-Leichtmauermörtel. Antragsteller: Gebr. Rhodius, 5475 Brugbrohl. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1974, Bescheid vom 07.05.1974, Geltungsdauer: 31.12.1978, In: Mitteilungen 5 (1974), Nr. 6, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 183

/97/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: Iso-Crete-(R) Mauermörtel als Leichtmauermörtel zur Herstellung von Mauerwerk aus Gasbeton-Blocksteinen G25. Antragsteller: Perlite Dämmstoff GmbH & Co. Beratung und Vertrieb, Kaiserstraße 21, 46 Dortmund. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1974, Bescheid vom 07.05.1974, Geltungsdauer: 30.11.1979, In: Mitteilungen 6 (1975), Nr. 4, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 123

/98/ Bröcker, O.: Die Auswertung von Tragfähigkeitsversuchen an gemauerten Wänden. In: Betonstein-Zeitung 29 (1963) Nr. 10, S. 518-519

/99/ Mann, W.: Druckfestigkeit von Mauerwerk; Eine Statistische Auswertung von Versuchsergebnissen in geschlossener Darstellung mit Hilfe von Potenzfunktionen. Berlin : Ernst & Sohn, 1983 - In: Mauerwerkskalender 8 (1983), S. 687-699

/100/ Muster für einen Einführungserlass – Fassung Dezember 1976 – DIN 1053 Teil 1 – Mauerwerk; Berechnung und Ausführung – Ausgabe November 1974. In: Mitteilungen 8 (1977), Nr. 6, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 174

/101/ Erlass des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 7.3.1977, Az. II B 11 – 9142/3 – 120. In: MABl. 29 [96. Jahrg.] Nr. 7 v. 18.3.1977, S. 141 (Seite liegt vor)

/102/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: Bisotherm-Leichtmörtel M II als Leichtmauermörtel zur Herstellung von Mauerwerk aus Gasbeton-Blocksteinen G 25 sowie Hohlblocksteinen aus Leichtbeton Hbl 25. Antragsteller: OTAVI MINEN- UND EISENBAHNGESELLSCHAFT Perlitwerk Dorfprozelten, Industriestraße 1, 6981 Dorfprozelten. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1975, Bescheid vom 23.09.1975, Geltungsdauer: 31.08.1980, In: Mitteilungen 7 (1976), Nr. 3, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 86

/103/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: Bisotherm-Leichtmörtel M IIa als Leichtmauermörtel zur Herstellung von Mauerwerk aus Hohlblocksteinen aus Leichtbeton Hbl 50. Antragsteller: OTAVI MINEN- UND EISENBAHNGESELLSCHAFT Perlitwerk Dorfprozelten, Industriestraße 1, 6981 Dorfprozelten. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1975, Bescheid vom 23.09.1975, Geltungsdauer: 31.08.1980, In: Mitteilungen 7 (1976), Nr. 3, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 86

/104/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Nr. unbekannt), Zulassungsgegenstand: Alphaperl-Mauermörtel als Leichtmauermörtel zur Herstellung von Mauerwerk aus Gasbeton-Blocksteinen G 25 sowie Hohlblocksteinen aus Leichtbeton Hbl 25 und Hbl 50 nach DIN 18151. Antragsteller: Perlite Dämmstoff GmbH & Co. Beratung und Vertrieb, Kaiserstraße 21, 4600 Dortmund. Berlin: Institut für Bautechnik (IfBt), 1975, Bescheid vom 14.10.1975, Geltungsdauer: 31.10.1980, In: Mitteilungen 7 (1976), Nr. 3, Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin, S. 86

/105/ Lühr, H.-P.: Zulassungsbedürftige Baustoffe, Bauteile und Bauarten; Baustoffe für Beton und Mörtel. In: Mitteilungen Institut für Bautechnik 8 (1977), Nr. 1, S. 11-15

/106/ Meyer, H. G.: Zur Frage der Tragfähigkeit von mit Leichtmörteln gemauertem Mauerwerk. In: Proceedings der 4. Internationalen Mauerwerkskonferenz (IBMC), Brügge (1976), Beitrag 2.b.2, S. 1-4

/107/ Plank, A., Kretschmann, G.: Über die Eignung von Leichtmörteln als Mauermörtel. Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin. In: Mitteilungen Institut für Bautechnik 8 (1977), Nr. 1, S. 3-10

/108/ Jung, E.: Wärmedämmender Mauermörtel – seine Auswirkung auf Wärmedämmung, Tragfähigkeit und Verformungsverhalten tragender Wände. In: Proceedings der 4. Internationalen Mauerwerkskonferenz (IBMC), Brügge (1976), Beitrag 2.a.2, S. 1-11

/109/ Schellbach, G.; Jung, E.: Untersuchung über Mörtel mit erhöhter Wärmedämmung. Institut für Ziegelforschung Essen e. V., 1976. Forschungsbericht B II 5 - 8001 – 30

/110/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Leichtzuschläge für Mauermörtel, Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover (Hrsg.), Forschungsbericht Nr. VB 1-72,02 - Nr. 88/77, September 1979

/111/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Zum Tragverhalten von mit Leichtmörteln hergestelltem Mauerwerk. Brick Institute of America, Virginia. In: Preprints of Papers to be delivered at Vth International Brick Masonry Conference (IBMaC), Washington (1979), S. 86-89

/112/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Deformation Characteristics with Light-Weight Mortars. Brick Institute of America, Virginia. In: Proceedings of the Vth International Brick Masonry Conference (IBMaC), Washington (1979), S. 182-189

/113/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Tragverhalten von Mauerwerk mit Leichtmörtel. In: Mauerwerk-Kalender 6 (1981), S. 661-686

/114/ Schellbach, G.; Jung, E.: Verformungsverhalten und Tragfähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörteln. Institut für Ziegelforschung Essen e. V., 1983. Forschungsbericht B II 5 – 80 01 77-27

/115/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Auswertung von Versuchsergebnissen zur Überprüfung der Vorstellungen über den Bruchmechanismus von Mauerwerk und zur Festlegung von zulässigen Spannungen bei Verwendung von Leichtmauermörtel Heft 53 der Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1984

/116/ Kirtschig, K.; Metje, W.-R.: Prüfung von Mörteln und Leichtmauermörteln mit zum Teil hohem Anteil an Luftporenbildnern. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1984, Prüfbericht 7/84

/117/ Kirtschig, K.; Meyer, J.: Tragverhalten und Verformungsverhalten von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1985

/118/ Kirtschig, K.; Meyer, J.: Zur Tragfähigkeit von mit Leichtmauermörteln hergestelltem Mauerwerk. In: Mauerwerk-Kalender 12 (1987), S. 471-487

/119/ Kirtschig, K.; Meyer, J.: Zum Einfluß von Zusatzmitteln auf das Verformungsverhalten von Mauermörtel. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1987. - (IRB-Verlag Best. Nr. F 2070)

/120/ Funk, P.; Gränzer, M.; Irmschler, H.-J.; Kirtschig, K.; Mann, W.; Oppermann, B.; Schellbach, G.; Schießl, P.: Mauerwerk. Kommentar zu DIN 1053 Teil 1 – Rezeptmauerwerk und DIN 1053 Teil 3 – Bewehrtes Mauerwerk, Ausgaben Februar 1990. Berlin: Beuth; Ernst, 1990

/121/ Schneider, H.: Tragfähigkeit und Verformungsmodul von Mauerwerk mit neuen Mörtelgruppen. Amtliche Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen (FMPA), Otto-Graf-Institut, Stuttgart. - In: Schriftenreihe des Otto-Graf-Instituts (1979), Nr. 74 und Anhang

/122/ Manns, W.; Zeus, K.: Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Lochziegeln mit dünnen Stegen und Leichtmauermörtel. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg (FMPA), Otto-Graf-Institut, Stuttgart, 1983. (IRB-Verlag Best. Nr. T 1168)

/123/ Schubert, P.: Druckfestigkeit und Kennwerte der Spannungsdehnungslinie von Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln mit Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel. Aachen : Institut für Bauforschung, 1998. - Forschungsbericht Nr. F 632/1

/124/ Brameshuber, W.; Graubohm, M.: Elektronische Aufbereitung von Versuchsdatenbanken zur Erarbeitung von Grundlagen für die charakteristische Mauerwerkdruckfestigkeit in DIN 1053-1 : Electronical Processing of Test Data Bases. Aachen: Institut für Bauforschung, RWTH Aachen University, 2007. – Forschungsbericht Nr. F 7056

/125/ Schubert, P.; Meyer, U.: Verbesserung der Druckfestigkeit von Naturbimsbetonmauerwerk durch Optimierung der Mörteleigenschaften. Aachen: Institut für Bauforschung, 1989. - Forschungsbericht Nr. F 308

/126/ Meyer, J.; Kirtschig, K.: Kostenreduzierung im Mauerwerksbau durch verbesserte Abstimmung von Stein- und Mörteleigenschaften. Hannover : Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1989. - Forschungsbericht Nr. F 2125

/127/ Schubert, P.; Meyer, U.: Harmonisierung europäischer Baubestimmungen - Eurocode 6 Mauerwerksbau; Ermittlung von charakteristischen Spannnungs-Dehnungs-Linien von Mauerwerk. Aachen: Institut für Bauforschung, 1989. - Forschungsbericht Nr. F 330

/128/ Graubohm, M.; Glitza, H.: Charakteristische Druckfestigkeitswerte für Leichtbeton-Mauerwerk. 43. Aufl. Berlin : Ernst & Sohn, 2018. - In: Mauerwerk-Kalender 43 (2018), S. 55-73

/129/ Jäger, W.; Hirsch, R.: Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen/allgemeinen Bauartgenehmigungen für den Mauerwerksbau (Stand 15.06.2019). 45. Aufl. Berlin : Ernst & Sohn, 2020. - In: Mauerwerk-Kalender 45 (2020), S. 217-351

/130/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-815, Zulassungsgegenstand: Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen - bezeichnet als Liapor-Super-K Plus Wärmedämmsteine - und Normal- und Leichtmauermörtel. Antragsteller: Liapor GmbH & Co. KG, Industriestraße 2, 91352 Hallerndorf-Pautzfeld. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2014, Bescheid vom 21.10.2014, Geltungsdauer: 23.04.2019

/131/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-839, Zulassungsgegenstand: Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen - bezeichnet als Liapor Compact Vollblöcke - und Leichtmauermörtel. Antragsteller: Liapor GmbH & Co. KG, Industriestraße 2, 91352 Hallerndorf-Pautzfeld. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2014, Bescheid vom 13.10.2014, Geltungsdauer: 23.04.2019

/132/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-433, Zulassungsgegenstand: KS-Yali-Steine. Antragsteller: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V., Entenfangweg 15, 30419 Hannover. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 2001, Bescheid vom 05.03.2001, Geltungsdauer: 04.03.2006

LITERATUR FUGENDRUCKFESTIGKEIT UND VERBUNDFESTIGKEIT

/133/ Schubert, P.; Schmidt, St.: Bestimmung der Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk. Aachen, Institut für Bauforschung, 1990 - Forschungsbericht Nr. F 304

/134/ Cordes, R.; Kasten, D.; Krohn, W.; Quincke, J. E.: Eignung von verzögerten Werk-Frischmörteln für Mauerwerk. Hannover: Bundesverband Kalksandstein-industrie, 1983

/135/ Schubert, P.: Zur Festigkeit des Mörtels im Mauerwerk; Prüfung, Beurteilung. Berlin: Ernst & Sohn - In: Mauerwerk-Kalender 13 (1988), S. 459-471

/136/ Schubert, P.; Caballero Gonzalez, A.; Wollenweber, J.; Riechers, H.-J.: Zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauermörtel in der Fuge – Fugendruckfestig-keit. Teil 1: Notwendigkeit, Bedeutung, Prüfverfahren und Anforderungen. Teil 2: Laboruntersuchungen zur prüfbedingten Einflüssen auf die Fugendruckfestigkeit. Teil 3: Praxisgerechte Formfaktoren. Berlin: Ernst & Sohn - In: Mauerwerk-Kalender 24 (1999), S. 707-727

/137/ Hufen, T.: Historie und Hintergrund der Restnormregelung in der DIN V 18580 für Mauermörtel: History and Background of the Remain Regulations in DIN V 18580 for Masonry Mortar. RWTH Aachen University, Fachbereich 3, Institut für Bauforschung, Bachelorarbeit, 2017 (unveröffentlicht)

/138/ Riechers, H.-J.: Ein neues Modell zur Beschreibung der Festigkeitsentwicklung von Mauermörtel in der Fuge. Aachen: Wissenschafts-Verlag Mainz, 2000 – Aachener Beiträge zur Bauforschung des ibac, Bd. 10 - Dissertation

/139/ Graubohm, M.: Einfluss des Kontakts zwischen Mauerstein und Mauermörtel auf das Drucktragverhalten von Mauerwerk. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, 2018 - Dissertation

/140/ Graubohm, M.; Brameshuber, W.: Druckfestigkeit von Mauerwerk. Aachen: Institut für Bauforschung, 2017 - Forschungsbericht Nr. F 1015

/141/ Schubert, P.; Heer, B.: Einfluß der Zusammensetzung von Mauermörtel auf seine Eigenschaften im Mauerwerk. Aachen: Institut für Bauforschung, 2000, Forschungsbericht Nr. F 684

/142/ Raupach, M.; Saenger, D.; Winkels, B.: Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk. Berlin: Ernst & Sohn - In: Mauerwerk-Kalender 49 (2024)

/143/ Schubert, P.; Meyer, U.; Schulte, M.: Einfluss der Zusammensetzung von Werk-Frischmörteln auf die Fugenfestigkeit im Mauerwerk Teil 1: Literaturauswertung, Teil 2: Untersuchungen mit Werk-Frischmörtel. Aachen: Institut für Bauforschung, 1991 - Forschungsbericht Nr. F 364

/144/ Eden, W.; Kasten, D.; Meyer, G.: Ermittlung der Druckfestigkeit von Kalksand-stein-Mauerwerk unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Mörteleigen-schaften in der Fuge durch den Wasserhaushalt des Verbundsystems. Hannover: Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., 1993 - Forschungsbericht Nr. 78

/145/ Dahms, J.: Werk-Frischmörtel, Begriffe, Ausgangsstoffe, Verfahren. Beton 4 1984

/146/ Kasten, D.; Metje, W. R.: Haftscherfestigkeitsprüfung gewinnt an Bedeutung. In: Baugewerbe 16/86. S. 27-29

WEITERE LITERATUR (INFORMATIV)

/147/ Wollenweber, J.: Prüfverfahren zur Ermittlung der Fugenmörteldruckfestigkeit – Ermittlung von Prüf- und Formfaktoren. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 1997

/148/ Riechers, H.-J.; Schubert, P.; Deutler, T.: Prüfung der Druckfestigkeit von Mauermörtel – Formfaktoren für den Vergleich der unterschiedlichen Prüf-verfahren. In: Das Mauerwerk. 1998, Heft 3

/149/ Riechers, H.-J.: Mauermörtel. Berlin: Ernst & Sohn - In: Mauerwerk-Kalender 30 (2005)

/150/ Schubert, P.; Laurini, G.: Einfluß der Zusammensetzung von Mauermörtel auf die Eigenschaften im Mauerwerk – Wasserhaushalt in der Mörtelfuge, Haft-scherfestigkeit. Aachen: Institut für Bauforschung, 1996 – Forschungsbericht Nr. F 444

/151/ Schubert, P.: Zur Haftscherfestigkeit zwischen Mörtel und Mauerstein. In: Mauerwerk-Kalender 12. Berlin, Ernst & Sohn, 1987, S. 497-506

/152/ Glitza, H.; Metzemacher, H.; Fehring, J.; Keller, H.-G.; Mehlmann M.: Untersuchungen über den Einfluss der Haftscherfestigkeit von Mörtel auf die Gebrauchseigenschaften von Mauerwerk; Teile 1 und 2. Aachen, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, 1988 - Forschungsbericht Nr. F249 (Teil 1); Köln, Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V., 1988 - Forschungsbericht Nr. 3/88 (Teil 2)

/153/ Kasten, D.; Metje, W.-R.: Haftscherfestigkeitsprüfung gewinnt an Bedeutung. In: Baugewerbe 16/86. S. 27-29

/154/ Metzemacher, H.; Glitza, H.; Ritter, H.-J.: Einfluss der Scherfestigkeit von Mörteln auf die Gebrauchseigenschaften von Mauerwerk. In: Bautechnik 67. 1990, Nr. 7, S. 224 232

/155/ Anstötz, W.; Kirtschig, K.: Eignung von Werkmörtel zur Herstellung von Mauerwerk. Hannover: Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 1987. - Forschungsbericht

/156/ Manns, W.; Schönfelder R.: Untersuchung von Mörtelzusatzmitteln auf schädliche Einflüsse auf Mauerwerk. Otto-Graf-Institut Universität Stuttgart, IRB T 317

/157/ Manns, W.; Schönfelder, R.: Untersuchung von Mörtelzusatzmitteln auf schädliche Einflüsse auf Mauerwerk. In: Kurzberichte aus der Bauforschung 19 (1978d), Nr. 6, S. 485-486

/158/ Manns, W.; Schönfelder, R.: Der Einfluß von Mörtelzusatzmitteln auf die Festigkeit von Mauermörtel. In: Ziegelindustrie 32 (1979), Nr. 2, S. 80-92

/159/ Otto-Graf-Institut Universität Stuttgart: Einfluß der Feinheit des Mauersandes auf die Mörtelfestigkeit bei Anwendung der in DIN 1053, Entwurf 1973, empfohlenen Mischungsverhältnisse

/160/ Schneider, H.: Einfluß der Feinheit des Mauersandes auf die Mörtelfestigkeit bei Anwendung der Mischungsverhältnisse nach DIN 1053, IRB – T 195

/161/ Schneider, H.: Einfluß der Feinheit des Mauersandes auf die Mörtelfestigkeit bei Anwendung der Mischungsverhältnisse nach DIN 1053. In: Ziegelindustrie 30 (1977), Nr. 5, S. 223-238

/162/ Kirtschig, K.; Kasten, D.: Zur Prüfung von Mauermörtel. In: Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Universität Hannover. 1977, Heft 39 – T 154

/163/ Schubert, P.; Glitza, H.: Auswertung der vorliegenden E-Modulwerte von Mauerwerk, RIB – T 285

/164/ Schubert, P.; Glitza, H.: Festigkeits- und Verformungskennwerte von Mauermörteln und Wandbausteinen, IRB – F 1453/1

/165/ Schneider, H.; Tragfähigkeit und Verformungsmodul von Mauerwerk mit neuen Mörtelgruppen, IRB – F 1531

/166/ Grunau, E. B.; Wössner, L. A.: Zementgebunde Dünnbettmörtel für Fliesenverlegung. In: Fliesen und Platten 21 (1971), Nr. 17, S. 445 – 452

/167/ Grunau, E. B.: Neue Aspekte der Klebertechnik. In: Fliesen und Platten (1975), Nr. 15, S. 11-13

/168/ Kasten, D.: Dünnbettmörtel mit Leichtzuschlag. In: Mauerwerk 5 (2001), Nr. 6, S. 216-228

/169/ Oppermann, B.: Arten, Anforderungen und Verwendung von Mauermörtel. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1990. In: Referatensammlung Neues im Mauerwerk nach DIN 1053 : Heidelberg, 1990, S. 2.1-2.19

/170/ Neunast, A.: Leichtmauermörtel aus Naturbims : Sein Einfluß auf Wärmeschutz und Tragfähigkeit des Mauerwerks. In: Betonwerk und Fertigteil-Technik 43 (1977), Nr. 9, S. 470-475

/171/ Manns, W.; Laskowski, Chr.: Untersuchung von Betondichtungsmitteln hinsichtlich schädlicher Einflüsse auf den Luftgehalt und die Druckfestigkeit von Mörtel und Beton. Stuttgart : Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMPA), 1988. - Forschungsbericht = In: Kurzberichte aus der Bauforschung 31 (1990), Nr. 3, S. 133-135

/172/ Manns, W.; Zeus, K.; FMPA: Einfluß der Mauersteinart, des Formats und der Fugenausbildung auf den Rißwiderstand von verputztem Mauerwerk. Stuttgart : IRB-Verlag, 1991. - Bestell.-Nr. F 2185 Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Würtemberg -FMPA-, Otto-Graf-Institut (Hrsg.)

/173/ Manns, W.; Zeus, K.: Zum Einfluß der Mauersteinart, des Formats und der Fugenausbildung auf den Rißwiderstand von Mauerwerk. Bonn : Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e.V., 1991. - In: Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlin, Germany 13-19 October 1991, Vol. 2, S. 1095-1104

/174/ Asenbaum, K.: Einflüsse auf die Druckfestigkeit des Mauermörtels und Ermittlung dieser Druckfestigkeit im Mauerwerk. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, Diplomarbeit, 1979

/175/ Boterbloem, N.: Effects of Brick Properties on Mortar-Brick Bond. In: Proceedings of the International Calcium Silicate Symposium, Amsterdam, 4-5 June 1998, S. 153-162

/176/ Backes, H. P.: Zum Verhalten von Mauerwerk bei Zugbeanspruchung in Richtung der Lagerfugen. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, Dissertation, 1985

/177/ Dahms, J.: Werk-Frischmörtel, Begriffe, Ausgangsstoffe, Verfahren. Beton 4/1984

/178/ Energieeinsparungsgesetz (EnEG): Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden, 22. Juli 1976 (BGBl I S. 1873), geändert durch Erstes Gesetz Änderung des Energieeinspargesetzes vom 20. Juni 1980 (BGBl I S. 701)

/179/ Haller, P.: Der Ziegelbau in der Schweiz. In: Die Ziegelindustrie. 1953, Heft 15, S.635 647

/180/ Hofmann, P.; Stoeckl, S.: Versuche zum Haftscherverhalten der Lagerfugen von Mauerwerk. München, Lehrstuhl für Massivbau der Uni München, 1981 + 1985 - Forschungsbericht Teil I (1981), Teil II (1985)

/181/ Hilsdorf, H. K.: Untersuchungen über die Grundlagen der Mauerwerksfestigkeit. München, Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Universität München, 1965 - Bericht Nr. 40

/182/ Kirtschig, K.: Zur Bestimmung der Mörtelgüte im Mauerwerk. In: Die Ziegelindustrie. 1972, Heft 12, S.552-554

/183/ Kirtschig, K; Meyer, J: Zur Tragfähigkeit von mit Leichtmauermörtel hergestelltem Mauerwerk. In: Mauerwerk-Kalender. 1987, S. 471-486

/184/ Metje, W.-R.: Zum Einfluss des Feuchtigkeitszustandes der Steine bei der Verarbeitung auf das Trag- und Verformungsverhalten von Mauerwerk. Dissertation, TU Hannover, 1983

/185/ Opperman, B.; Rudert, V.: Verbesserung des Haftverbundes Mörtel/Stein. Köln, Forschungsgemeinschaft der deutschen Kalkindustrie e.V., 1979 – Forschungsbericht Nr. 12/79

/186/ Opperman, B.; Rudert, V.: Untersuchungen zur Verbesserung des Haftverbundes Mörtel/Stein. In: Zement Kalk Gips 36. 1983, Nr. 1, S. 43-50

/187/ Ohnemüller, W.: Prüfung von Mauermörtel für die Mörtelgruppe II unter Berücksichtigung der hochhydraulischen Kalke. In: Zement-Kalk-Gips. 1972, Nr. 10, S.489-493

/188/ Ohnemüller, W.: Reaktionen zwischen Steinoberfläche und Mörtel. Forschungsberichte NRW, 1966, NR. 1759

/189/ Quincke, J. E.; Bundesverband Kalksandsteinindustrie: Der Einfluss der Rauheit von Kalksandsteinen auf den Haftverbund Stein/Mörtel. Hannover, Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V., 1977 - Forschungsbericht Nr. 44

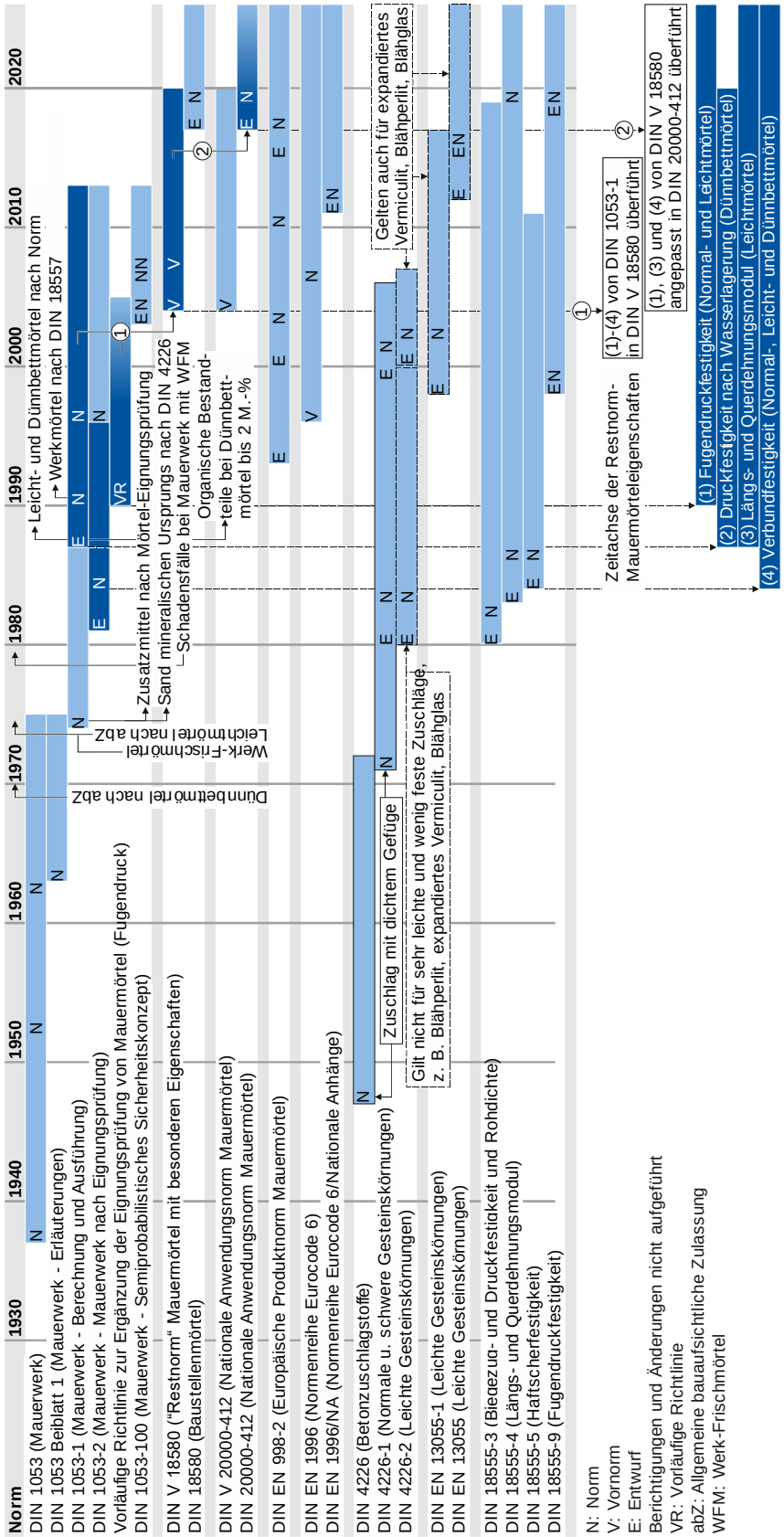


Bild B1: Historie der für Mauermörtel relevanten nationalen und europäischen Normen, vereinfachte Darstellung mit wichtigen Meilensteinen

SVA Wandbauelemente Arbeitskreis Mauermörtel, DIBt, 5. Februar 2018

Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580

Dipl.-Ing. Bernd Winkels, Dipl.-Ing. Dorothea Saenger

Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac)

Bild B2: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018

Übersicht

- Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel
- Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
  - Fugendruckfestigkeit (NM, LM)
  - Haftscherfestigkeit (NM, LM, DM)
  - Quer- und Längsdehnmoduln bei Leichtmauermörteln
  - Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel nach Feuchtlagerung
- Stellungnahme des VDPM:
  Prüfung der Fugendruckfestigkeit von Mauermörtel im Rahmen der europäischen Normung

Bild B3: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

Bild B4: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

- **DIN 1053**
  - Bauteile aus künstlichen und natürlichen Steinen – Berechnungsgrundlagen Februar 1937
  - Mauerwerk - Berechnung und Ausführung Dezember 1952
  - Mauerwerk - Berechnung und Ausführung November 1962
  - Mauerwerk - Berechnung und Ausführung – Erläuterungen September 1963 (Beiblatt)
- **Werkmäßig hergestellte Mauermörtel gewinnen an Bedeutung**

Bild B5: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

- **DIN 1053 Teil 1**
  - Mauerwerk; Berechnung und Ausführung
    November 1974
  - Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung
    Dezember 1987 (Entwurf)
  - Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung; Änderung 1 zum Entwurf DIN 1053 Teil 1
    März 1988 (Entwurf)
  - Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung
    Februar 1990
  - Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung
    November 1996

Bild B6: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

- **DIN 1053 Teil 2**
  - Mauerwerk; Ingenieurmäßig bemessene Bauten; Berechnung und Ausführung
    Februar 1981 (Entwurf)
  - Mauerwerk; Mauerwerk nach Eignungsprüfung; Berechnung und Ausführung
    Juli 1984
  - Mauerwerk - Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen
    November 1996

Bild B7: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Eignungsprüfung nach DIN 1053-1:1990

A.5 Eignungsprüfungen
A.5.1 Allgemeines
Eignungsprüfungen sind für Mörtel erforderlich,

a) wenn die Brauchbarkeit des Zuschlages nach Abschnitt A.2.1 nachzuweisen ist,
b) wenn Zusatzstoffe (siehe aber Abschnitt A.2.3) oder Zusatzmittel verwendet werden,
c) bei Baustellenmörtel, wenn dieser nicht nach Tabelle A.1 zusammengesetzt ist oder Mörtel der Gruppe IIIa verwendet wird,
d) bei Werkmörtel einschließlich Leicht- und Dünnbettmörtel
e) bei Bauwerken mit mehr als sechs gemauerten Vollgeschossen.

Die Eignungsprüfung ist zu wiederholen, wenn sich die Ausgangsstoffe oder die Zusammensetzung des Mörtels wesentlich ändern.

Bild B8: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Eignungsprüfung nach DIN 1053-1:1990

A.5.2 Normalmörtel

Es sind die Konsistenz und die Rohdichte des Frischmörtels nach DIN 18555 Teil 2 zu ermitteln. Außerdem sind die Druckfestigkeit nach DIN 18555 Teil 3 und zusätzlich nach der vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel und die Haftscherfestigkeit nach DIN 18555 Teil 5[3)] nachzuweisen. Dabei sind die Anforderungen nach Tabelle A.2 zu erfüllen.

Bei Mörteln, die insbesondere zur Beeinflussung der Verarbeitungszeit Zusatzmittel enthalten, sind die Probekörper am Beginn und am Ende der vom Hersteller anzugebenden Verarbeitungszeit herzustellen. Die Prüfung erfolgt stets im Alter von 28 Tagen, gerechnet vom Beginn der Verarbeitungszeit. Die Anforderungen an die Druckfestigkeit und die Haftscherfestigkeit nach Tabelle A.2 sind von Proben beider Entnahmetermine zu erfüllen.

[3)] Siehe Fußnote [4)] in Tabelle A.2

Bild B9: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN 1053-1:1990 - Normalmauermörtel

Tabelle A.2. **Anforderungen an Normalmörtel**

1	2	3	4
Mörtelgruppe	Mindestdruckfestigkeit 1) im Alter von 28 Tagen Mittelwert bei Eignungsprüfung 2) 3) N/mm²	bei Güteprüfung N/mm²	Mindesthaftscherfestigkeit im Alter von 28 Tagen 4) Mittelwert bei Eignungsprüfung N/mm²
I	–	–	–
II	3,5	2,5	0,10
II a	7	5	0,20
III	14	10	0,25
III a	25	20	0,30

1) Mittelwert der Druckfestigkeit von sechs Proben (aus drei Prismen). Die Einzelwerte dürfen nicht mehr als 10 % vom arithmetischen Mittel abweichen.
2) Zusätzlich ist die Druckfestigkeit des Mörtels in der Fuge zu prüfen. Diese Prüfung wird z. Z. nach der „Vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel; Druckfestigkeit in der Lagerfuge; Anforderungen, Prüfung" durchgeführt. Die dort festgelegten Anforderungen sind zu erfüllen.
3) Richtwert bei Werkmörtel.
4) Als Referenzstein ist Kalksandstein mit DIN 106 – KS 12 – 2,0 – NF (ohne Lochung bzw. Grifföffnung) mit einer Eigenfeuchte von 3 bis 5 % (Massenanteil) zu verwenden, dessen Eignung für diese Prüfung vom Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover – Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen –, Nienburger Straße 3, 3000 Hannover 1, bescheinigt worden ist.
Die maßgebende Haftscherfestigkeit ergibt sich aus dem Prüfwert multipliziert mit dem Prüffaktor 1,2.

9 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B10: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Eignungsprüfung nach DIN 1053-1:1990

A.5.3 Leichtmörtel

Es sind zu ermitteln:

a) Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach DIN 18555 Teil 3 und Druckfestigkeit des Mörtels in der Fuge nach der vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel,
b) Querdehnungs- und Längsdehnungsmodul E_q und E_l im Alter von 28 Tagen nach DIN 18555 Teil 4,
c) Haftscherfestigkeit nach DIN 18555 Teil 5[3)],
d) Trockenrohdichte nach DIN 18555 Teil 3,
e) Schüttdichte des Leichtzuschlags nach DIN 4226 Teil 3.

Dabei sind die Anforderungen nach Tabelle A.3 zu erfüllen. Die Werte für die Trockenrohdichte und die Leichtmörtelgruppen LM 21 oder LM 36 sind auf dem Sack oder Lieferschein anzugeben.

3) Siehe Fußnote 4) in Tabelle A.2

10 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B11: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN 1053-1:1990 - Leichtmauermörtel

Tabelle A.3. **Anforderungen an Leichtmörtel**

		Anforderungen bei Eignungsprüfung LM 21	Eignungsprüfung LM 36	Güteprüfung LM 21	Güteprüfung LM 36	Prüfung nach
1	Druckfestigkeit [1] im Alter von 28 Tagen in N/mm²	≥ 7 [2]	≥ 7 [2]	≥ 5	≥ 5	DIN 18555 Teil 3
2	Querdehnungsmodul E_q im Alter von 28 Tagen in N/mm²	> $7{,}5 \cdot 10^3$ ≤ $15 \cdot 10^3$	> $15 \cdot 10^3$	[3]	[3]	DIN 18555 Teil 4
3	Längsdehnungsmodul E_l im Alter von 28 Tagen in N/mm²	> $2 \cdot 10^3$ ≤ $3 \cdot 10^3$	> $3 \cdot 10^3$	–	–	DIN 18555 Teil 4
4	Haftscherfestigkeit [4] im Alter von 28 Tagen in N/mm²	≥ 0,20	≥ 0,20	–	–	DIN 18555 Teil 5
5	Trockenrohdichte [5] im Alter von 28 Tagen in kg/dm³	≤ 0,7	≤ 1,0	[5]	[5]	DIN 18555 Teil 3
6	Wärmeleitfähigkeit [6] $\lambda_{10\,tr}$ in W/(m·K)	≤ 0,18	≤ 0,27	–	–	DIN 52612 Teil 1

[1] Siehe Fußnote [2] in Tabelle A.2.
[2] Richtwert.
[3] Trockenrohdichte als Ersatzprüfung, bestimmt nach DIN 18555 Teil 3.
[4] Siehe Fußnote [4] in Tabelle A.2.
[5] Grenzabweichung höchstens ± 10 % von dem bei der Eignungsprüfung ermittelten Wert.
[6] Bei Einhaltung der Trockenrohdichte nach Zeile 5 gelten die Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit ohne Nachweis als erfüllt. Bei einer Trockenrohdichte größer als 0,7 kg/dm³ für LM 21 sowie größer als 1,0 kg/dm³ für LM 36 oder bei Verwendung von Quarzsandzuschlag sind die Anforderungen nachzuweisen.

zurückgezo

Bild B12: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Eignungsprüfung nach DIN 1053-1:1990

A.5.4 Dünnbettmörtel

Es sind zu ermitteln:

a) Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach DIN 18555 Teil 3 sowie der Druckfestigkeitsabfall infolge Feuchtlagerung (siehe Tabelle A.4),
b) Haftscherfestigkeit im Alter von 28 Tagen nach DIN 18555 Teil 5[3)],
c) Verarbeitbarkeitszeit und Korrigierbarkeitszeit nach DIN 18555 Teil 8.

Die Anforderungen nach Tabelle A.4 sind zu erfüllen.

[3)] Siehe Fußnote [4)] in Tabelle A.2

Bild B13: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN 1053-1:1990 - Dünnbettmörtel

Tabelle A.4. **Anforderungen an Dünnbettmörtel**

		Anforderungen bei		Prüfung nach
		Eignungsprüfung	Güteprüfung	
1	Druckfestigkeit [1] im Alter von 28 Tagen in N/mm²	≥ 14	≥ 10	DIN 18 555 Teil 3
2	Druckfestigkeit [1] im Alter von 28 Tagen bei Feuchtlagerung in N/mm²	≥ 70 % vom Istwert der Zeile 1		DIN 18 555 Teil 3, jedoch Feuchtlagerung [2]
3	Haftscherfestigkeit [3] im Alter von 28 Tagen in N/mm²	≥ 0,5	–	DIN 18 555 Teil 5
4	Verarbeitbarkeitszeit in h	≥ 4	–	DIN 18 555 Teil 8
5	Korrigierbarkeitszeit in min	≥ 7	–	DIN 18 555 Teil 8

[1] Siehe Fußnote [1] in Tabelle A.2.
[2] Bis zum Alter von 7 Tagen im Klima 20/95 nach DIN 18 555 Teil 3, danach 7 Tage im Normalklima DIN 50 014–20/65-2 und 14 Tage unter Wasser bei + 20 °C.
[3] Siehe Fußnote [4] in Tabelle A.2.

- withdrawn

Bild B14: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

Harmonisierung der nationalen normativen Regelungen

- **DIN EN 998 Teil 2**
  - Festlegungen für Mörtel für Mauerwerk; Teil 2: Mauermörtel
    April 1993 (Entwurf)
  - Festlegungen für Mörtel für Mauerwerksbau - Teil 2: Mauermörtel
    August 2000 (Entwurf)
    September 2003
    März 2010 (Entwurf)
    Dezember 2010
    November 2015 (Entwurf)
    Februar 2017

Bild B15: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

- **DIN 18557**
  - Werkmörtel; Herstellung, Überwachung und Lieferung
    Mai 1982
  - Werkmörtel - Herstellung, Überwachung und Lieferung
    November 1997

- **Vorläufige Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel (DGfM)**
  - Druckfestigkeit in der Lagerfuge - Anforderungen, Prüfung
    August 1992

15 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B16: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Entwicklung der normativen Regelung von Mauermörtel

- **DIN EN 1996 / Eurocode 6**
  - Teil 2 (2010-12)
  - Teil 3 (2010-12)
  - Teil 2/NA (2012-01)
  - Teil 3/NA (2012-01)
  - Teil 1-1/NA (2012-05)
  - Teil 1-1 (2013-02)

16 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B17: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Harmonisierung der nationalen normativen Regelungen

Anwendungsnorm DIN 20000-412

Restnorm Mauermörtel DIN V 18580 (2004)

DIN 1053-1 zurückgezogen Januar 2012

Bild B18: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580

Bild B19: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Mauermörteleigenschaften der Restnorm DIN V 18580

Eigenschaften nach DIN 1053-1:1990	Mauermörtel		
	NM	LM	DM
Prismen-Druckfestigkeit nach 28 d	x	x	x
Prismen-Druckfestigkeit nach 28 d nach Feuchtlagerung	-	-	x
Fugendruckfestigkeit	x	x	-
Haftscherfestigkeit	x	x	x
Quer- und Längsdehnungsmodul	-	x	-
Trockenrohdichte	x	x	-
Wärmeleitfähigkeit	-	x	-
Verarbeitbarkeits- und Korrigierbarkeitszeit	-	-	x

19 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B20: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Haftscherfestigkeit

20 Besprechung beim DIBt
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180205-DIBt-WiB.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B21: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

3.2.3 Mörteleigenschaften
3.2.3.2 Verbund zwischen Mauerstein und Mörtel
(1)P Der Verbund zwischen Mörtel und Mauerstein muss für die vorgesehene Verwendung ausreichend sein.

ANMERKUNG 1 Der ausreichende Verbund hängt von dem verwendeten Mörtel und den Mauersteinen, für die der Mörtel verwendet wird, ab.

ANMERKUNG 2 EN 1052-3 regelt die Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) von Mauerwerk und EN 1052-5 die Bestimmung der Biegehaftzugfestigkeit von Mauerwerk.

Bild B22: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

3.6.2 Charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk
(1)P Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} von Mauerwerk ist aus Ergebnissen von Versuchen an Mauerwerk zu bestimmen.
ANMERKUNG Versuchsergebnisse dürfen entweder aus Versuchen für das jeweilige Projekt oder aus einer vorhandenen Datenbasis entnommen werden.

(2) Die charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) f_{vk0} von Mauerwerk sollte aus Versuchen nach EN 1052-3 oder EN 1052-4 ermittelt werden.

(3) Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} von Mauerwerk mit Normalmörtel nach 3.2.2 (2), oder Dünnbettmörtel mit einer Fugendicke von 0,5 mm bis 3,0 mm nach 3.2.2 (3), oder Leichtmörtel nach 3.2.2 (4) darf aus Gleichung (3.5) ermittelt werden, wenn alle Fugen die Anforderungen nach 8.1.5 erfüllen und als vollständig vermörtelt angesehen werden können.

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_d \qquad (3.5)$$

jedoch nicht größer als 0,065 f_b bzw. f_{vlt}.

Bild B23: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

(4) Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} von Mauerwerk mit Normalmörtel nach 3.2.2 (2), oder Dünnbettmörtel nach 3.2.2 (3) mit einer Lagerfugendicke von 0,5 mm bis 3,0 mm, oder Leichtmörtel nach 3.2.2 (4) und unvermörtelten Stoßfugen jedoch mit knirsch gestoßenen Stirnflächen der Mauersteine darf aus Gleichung (3.6) ermittelt werden.

$$f_{vk} = 0{,}5 \cdot f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_d \qquad (3.6)$$

jedoch nicht größer als 0,045 · f_b oder f_{vlt}.

(5) Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} von Mauerwerk mit Randstreifenvermörtelung der Lagerfugen in zwei oder mehr gleich breiten Streifen aus Normalmörtel von mindestens 30 mm Breite, wobei mindestens zwei Streifen an den Rändern der Mauersteine sein müssen, darf aus Gleichung (3.7) ermittelt werden.

$$f_{vk} = g/t \cdot f_{vk0} + 0{,}4 \cdot \sigma_d \qquad (3.7)$$

aber nicht größer als der aus (4) ermittelte Wert.

Bild B24: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

(6) Die charakteristische Haftscherfestigkeit f_{vk0} darf dabei wie folgt ermittelt werden, entweder:

- durch Auswertung einer Datenbank aus Versuchsergebnissen von Haftscher-untersuchungen von Mauerwerk

oder

- aus der Tabelle 3.4, unter der Voraussetzung, dass der verwendete Normalmörtel nach EN 1996-2 keine Zusatzmittel oder Zusatzstoffe beinhaltet.

ANMERKUNG Die Festlegung, welche der beiden o. g. Methoden in dem jeweiligen Land anzuwenden ist, kann seinem Nationalen Anhang entnommen werden. Wenn sich ein Land entscheidet, seine f_{vk0}-Werte über die Auswertung einer Datenbank zu bestimmen, sind die Werte im Nationalen Anhang anzugeben.

Bild B25: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Tabelle 3.4 - Werte für die Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) f_{vk0} von Mauerwerk

Mauersteinart	f_{vk0} (N/mm²)			
	Normalmörtel mit einer Festigkeitsklasse		Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 0,5 mm und ≤ 3 mm)	Leichtmörtel
Ziegel	M10 – M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 – M9	0,20		
	M1 – M2	0,10		
Kalksandstein	M10 – M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 – M9	0,15		
	M1 – M2	0,10		
Beton	M10 – M20	0,20	0,30	0,15
Porenbeton	M2,5 – M9	0,15		
Betonwerkstein und maßgerechter Naturstein	M1 – M2	0,10		

Bild B26: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

3.6.3 Charakteristische Schubfestigkeit der Fuge zwischen Mauerwerk und vorgefertigtem Sturz

(1) Die charakteristische Haftscherfestigkeit der Fuge zwischen dem Mauerwerk und der Oberfläche des Fertigteils eines Flachsturzes, f_{vk0i}, wird vom Hersteller in der Deklaration angegeben.

3.6.4 Charakteristische Biegefestigkeit von Mauerwerk

(2)P Die charakteristischen Biegefestigkeiten f_{xk1} und f_{xk2} von Mauerwerk sind aus Ergebnissen von Mauerwerksversuchen zu bestimmen.

(3) Die charakteristische Biegefestigkeit von Mauerwerk darf aus Versuchen nach EN 1052-2 oder durch Auswertung von Versuchsergebnissen zur Biegefestigkeit und entsprechenden Stein-Mörtel-Kombinationen bestimmt werden.

Bild B27: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1/NA: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

NDP zu 3.6.2 (3) „Charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk“
Haftscherfestigkeit nach Tabelle NA.11

NDP zu 3.6.2 (6) „Charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk“
Die Haftscherfestigkeit f_{vk0} ist nach Tabelle NA.11 zu bestimmen.

Tabelle NA.11 - Werte für die Haftscherfestigkeit f_{vk0} von Mauerwerk ohne Auflast

f_{vk0} (N/mm²)					
Normalmauermörtel mit einer Festigkeit f_m N/mm²				**Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 1 mm bis 3 mm)**	**Leichtmauer-mörtel**
2,5	5	10	20		
0,08	0,18	0,22	0,26	0,22	0,18

Bild B28: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1/NA/A1+A2: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

2 Änderung zu NDP zu 3.6.3 (3)
Die Gleichung (NA.8) ist wie folgt zu ersetzen:

$$f_{xk2} = (\alpha \cdot f_{vk0} + 0{,}6 \cdot \sigma_d) \cdot l_{ol}/h_u \qquad \text{(NA.8)}$$

Mit:
α Korrekturbeiwert: $\alpha = 1{,}0$ für vermörtelte Stoßfugen
$\alpha = 0{,}5$ für unvermörtelte Stoßfugen

$$f_{xk2} = 0{,}5 \cdot f_{bt,cal} \leq 0{,}7 \text{ in N/mm}^2 \qquad \text{(NA.9)}$$

Bild B29: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 1996-1-1/NA/A1+A2: Wo geht die Haftscherfestigkeit ein?

Zu 7 „Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit“

NCI zu 7.2 „Unbewehrte Mauerwerkswände“

(NA.10) Sofern in Gleichung (NA.19) der Rechenwert der Haftscherfestigkeit in Ansatz gebracht wird, ist bei Windscheiben mit einer Ausmitte $e > l_w/6$ zusätzlich nachzuweisen, dass die rechnerische Randdehnung aus der Scheibenbeanspruchung auf der Seite der Klaffung $\varepsilon_R = \varepsilon_D \cdot a/l'_w$ für charakteristische Bemessungssituationen nach DIN EN 1990:2010-12, 6.5.3 (2) a) den Wert $\varepsilon_R = 10^{-4}$ nicht überschreitet (siehe Bild NA.4). Der Elastizitätsmodul für Mauerwerk darf hierfür zu $E = 1000 \cdot f_k$ angenommen werden.

Bild B30: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 998-2: Haftscherfestigkeit

5.4.2 Verbundfestigkeit

5.4.2.1 Haftscherfestigkeit

Für Mauermörtel nach Eignungsprüfung, die für die Verwendung in Bauteilen, die Anforderungen an die Standsicherheit unterliegen, bestimmt sind, ist die Haftscherfestigkeit zwischen Mörtel und Mauerstein als charakteristische Anfangsscherfestigkeit anzugeben. Diese Deklaration kann entweder wie unter a) beschrieben auf der Grundlage von Prüfungen oder wie unter b) beschrieben auf der Grundlage von Tabellenwerten erfolgen. Der Hersteller muss angeben, worauf seine Deklaration beruht.

a) Deklaration auf der Grundlage von Prüfungen

Die charakteristische Anfangsscherfestigkeit des Mörtels in Verbindung mit einer bestimmten Steinart nach EN 771 darf auf der Grundlage von Prüfungen an Mörtel, bei dem die Probenahme von Mauermörtel in Übereinstimmung mit EN 1015-2 und die Prüfung mit dem entsprechenden Stein nach EN 1052-3 erfolgt, angegeben werden. Die charakteristische Anfangsscherfestigkeit darf den deklarierten Wert nicht unterschreiten.

Bild B31: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 998-2: Haftscherfestigkeit

b) Deklaration auf der Grundlage von tabellierten Werten

Erfolgt die Deklaration nicht nach a), ist die charakteristische Anfangsscherfestigkeit von Mörtel in Verbindung mit einer Reihe von Steinarten unter Bezug auf Anhang C zu deklarieren.

ANMERKUNG Die Haftscherfestigkeit hängt von dem Mörtel, dem Mauerstein, dessen Feuchtegehalt und der Ausführung ab.

Bild B32: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

DIN EN 998-2/Anhang C: Haftscherfestigkeit

Anhang C (normativ)
Charakteristische Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) von Mauermörteln nach Eignungsprüfung

Es gelten die folgenden Werte für die charakteristische Anfangsscherfestigkeit von Mauermörteln nach Eignungsprüfung in Verbindung mit Mauersteinen nach EN 771:

- 0,15 N/mm² für Normal- und Leichtmauermörtel;
- 0,3 N/mm² für Dünnbettmörtel.

ANMERKUNG Die Verwendung dieser tabellierten Werte für Deklarationen verbleibt in der Verantwortung des Herstellers, zudem müssen diese durch entsprechende technische Dokumentation bestätigt werden können.

Bild B33: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Werte für die Haftscherfestigkeit f_{vk0} - europäisch

DIN EN 1996-1-1	f_{vk0} (N/mm²)			
Mauersteinart	**Normalmörtel mit einer Festigkeitsklasse**		**Dünnbettmörtel (Lagerfugendicke 0,5 mm und ≤ 3 mm)**	**Leichtmörtel**
Ziegel	M10 – M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 – M9	0,20		
	M1 – M2	0,10		
Kalksandstein	M10 – M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 – M9	0,15		
	M1 – M2	0,10		
Beton	M10 – M20	0,20	0,30	0,15
Porenbeton	M2,5 – M9	0,15		
Betonwerkstein und maßgerechter Naturstein	M1 – M2	0,10		
DIN EN 998-2	-	0,15	0,30	0,15

Bild B34: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Werte für die Verbund- bzw. Haftscherfestigkeit f_{vk0} - national

	f_{vk0} (N/mm²)								
	NM						**DM**	**LM**	
Mörtelgruppe	**I**	**II**	**IIa**	**III**	**-**	**IIIa**		**21/36**	**-**
Festigkeit f_m (N/mm²)	**1**	**2,5**	**5**	**10**	**15**	**20**	**10**	**5**	**10**
DIN 1053-1:1996	-	0,08	0,18	0,22	-	0,26	0,22	0,18	
DIN EN 1996-1-1/NA	-	0,08	0,18	0,22	-	0,26	0,22	0,18	
DIN 20000-412 + DIN EN 1052-3	NPD	0,04	0,08	0,10	0,11	0,12	0,20	0,08	0,08
DIN V 18580 + DIN EN 1052-3	-	0,04	0,08	0,10	-	0,12	0,20	0,08	-
DIN V 18580 + DIN 18555-5	-	0,10	0,20	0,25	-	0,30	0,50	0,20	-

Bild B35: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Druckfestigkeit nach Feucht-lagerung bei Dünnbettmörtel

Bild B36: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Druckfestigkeit nach Feuchtlagerung bei Dünnbettmörtel

Mit sogenannten Dünnbettmörteln verließ man zunächst einen Erfahrungsbereich, welcher bei Einhaltung der in DIN 1053 bzw. DIN 1053 -1 angegebenen Mischungsverhältnisse vorausgesetzt werden konnte.

Die Regelung erfolgte zunächst über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen.

Für den Eignungsnachweis war zusätzlich zur Normdruckfestigkeit auch das Verhalten bei Feuchtlagerung nachzuweisen.

„Mit steigendem Anteil organischer Bestandteile (Kunststoffe) wurde die Festigkeit - sowohl die Druck- als auch die Haftscherfestigkeit - geringer. Dieser Festigkeitsabfall wurde bei den Zulassungen in gewissem Maße toleriert.“

[MWK 1983: Irmschler, H.-J.; Meyer, H. G.: Neue Baustoffe und Bauarten im Mauerwerksbau, S. 262 ff]

Der Festigkeitsverlust nach Feucht- bzw. Wasserlagerung von Normprismen wurde auf die gegenüber Normalmörtel veränderte Mörtelrezeptur, d. h. die Beimengung von Zusätzen zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens, zurückgeführt.

Bild B37: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Druckfestigkeit nach Feuchtlagerung bei Dünnbettmörtel

Die Standardabweichung beträgt im Beispiel etwa 8 % bei einem mittleren Verhältniswert „Druckfestigkeit nach Feuchtlagerung zu Normdruckfestigkeit“ von 0,80.

Stand 1983 [MWK 1983 „Neue Baustoffe und Bauarten“]

In Zulassungen (16 reine DM-Zulassungen) wird ein Festigkeitsabfall von nicht mehr als 25 % gefordert. Dieser Wert wurde in der DIN 1053-1:1990 auf 30 % angehoben.

Der Ansatz eines zulässigen Festigkeitsabfalls von 30 % liegt in dem beobachteten Rahmen. Dies bestätigen die als Reaktion auf die Regelungen der DIN 1053-1:1990 durchgeführten Untersuchungen an Dünnbettmörteln.

Bild B38: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Prüfung der Fugendruckfestigkeit von Mauermörtel im Rahmen der Eignungsprüfung

Bild B39: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Prüfung der Haftscherfestigkeit bildet den Steineinfluss ausreichend ab

Die durch den Steinkontakt ausgelösten Eigenschaftsänderungen des Mauermörtels werden über die Prüfung der Haftscherfestigkeit ausreichend abgedeckt [a]. Diese Prüfung hat überdies den Vorteils, dass der zu prüfende Mauermörtel tatsächlich im direkten Kontakt zum Stein erhärtet, während bei der Prüfung der Fugendruckfestigkeit der direkte Kontakt durch ein eingelegtes Vlies verhindert wird (siehe Unterpunkt „Randbedingungen bei der Prüfung der Fugendruckfestigkeit ungünstig“).

[a] Siech, H.-J.: Scherfestigkeit und Fugendruckfestigkeit. In: Das Mauerwerk 12 (2008), Heft 6

Bild B40: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Prüfhäufigkeit für Haftscherfestigkeit erhöht

Die Haftscherfestigkeit wird nach EN 998-2 und auf nachdrückliches Verlangen der Marktüberwachung regelmäßig geprüft (früher nur im Rahmen der Erstprüfung) und ist somit ein „echtes“ Qualitätskriterium im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle geworden.

Anmerkung: Die Fugendruckfestigkeit wird dahingegen nicht regelmäßig, sondern nur einmal, und zwar im Rahmen der Erstprüfung, geprüft.

Anhang D (informativ)

Unverbindliche Prüfintervalle bei der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK)

Haftscherfestigkeit: (Mauermörtel nach Eignungsprüfung, für die Verwendung in Bauteilen, die Anforderungen an die Sandsicherheit unterliegen)

jährlich

Bild B41: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Anforderung an Haftscherfestigkeit erhöht

In der neuen DIN 20000-412 ist der bisher übliche Faktor (1,2) entfallen. Mit diesem Faktor wurde früher das Prüfergebnis der Haftscherfestigkeit multipliziert, um damit negative Prüfeinflüsse zu kompensieren. De facto ergibt sich aus dem Wegfall des Prüffaktors eine um 20 % erhöhte Anforderung an die Haftscherfestigkeit und damit ein deutlich höheres Sicherheitsniveau (Wegfall der Prüfung der Fugendruckfestigkeit wird überkompensiert).

Bild B42: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Fugendruckfestigkeit wird bei der Bemessung von Mauerwerk nicht berücksichtigt

Professor Dr. Wolfgang Brameshuber (†) hatte ausgeführt, dass die Prüfung der Fugendruckfestigkeit zwar ein Prüfergebnis liefere, dies aber im Gegensatz zu anderen geprüften Festmörteleigenschaften keinen Eingang in die Bemessung von Mauerwerk fände.

(Anmerkung: In der Regel ist die Festigkeit des Mauermörtels in der Fuge höher als im Prisma; wenn diese höhere Fugendruckfestigkeit bei der Bemessung von Mauerwerk anstelle der Prismendruckfestigkeit zugrunde gelegt werden dürfte, wäre eine Prüfung sinnvoll.)

Die Eigenschaftsänderungen des Mauermörtels in der Fuge werden nur indirekt über die Regression von Versuchsergebnissen aus Wanddruckversuchen berücksichtigt; der Kennwert der Fugendruckfestigkeit geht nicht in die Bemessung ein.

Bild B43: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Grund für das Einführen der Fugendruckfestigkeitsprüfung ist entfallen

Die Fugendruckfestigkeit wurde Ende der 80er Jahre vor dem Hintergrund in die Diskussion gebracht (und fand Eingang in eine DGfM-Richtlinie, später auch in die Normung), dass übermäßig stark verzögerte Werk-Frischmörtel in Verbindung mit trockenen Kalksandsteinen und bei entsprechend ungünstigen Witterungsbedingungen ursächlich für einzelne Schäden waren. Solche Mörtel konnten über die Prüfung der Fugendruckfestigkeit identifiziert werden. Der Marktanteil von Werk-Frischmörtel am Mauermörtel ist seitdem von über 60% auf unter 10% gesunken, wobei der verbliebene Werk-Frischmörtel heute nach gänzlich anderen Qualitätskriterien und nur noch von darauf spezialisierten Herstellern produziert wird.

Bild B44: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Die Aussage wird in der Literatur bestätigt

DIN Referatensammlung: Neues im Mauerwerk nach DIN 1053 (1990)

„Durch diese zusätzliche Prüfung soll sichergestellt werden, dass bei bestimmten ungünstigen Stein/Mörtel-Kombinationen, z. B. bei sehr saugfähigen trockenen Steinen und stark verzögerten Frischmörteln, die zu erwartende Mörtelfestigkeit im Mauerwerk nicht unvertretbar stark absinkt.“

Bild B45: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Prüfung der Fugendruckfestigkeit war nie ein regelmäßig zu prüfendes Qualitätskriterium

Die Fugendruckfestigkeit wurde immer nur im Rahmen der Erstprüfung geprüft und war somit nie ein maßgebliches Kriterium für die Qualitätsüberwachung (werkseigene Produktionskontrolle) der laufenden Produktion. Entsprechend wenig Prüfergebnisse gibt es.

Dies trifft ebenso auf die Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5 zu. Aus diesem Grund wurde bei der Festlegung von Rechenwerten ein Vorhaltemaß von 0,9 berücksichtigt:

DIN 1053-1:1996, Tabelle 5: Zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit

Bild B46: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Randbedingungen bei der Prüfung der Fugendruckfestigkeit ungünstig

Um die Prüfkörper für die Prüfung der Fugendruckfestigkeit aus der Fuge gewinnen zu können, wird bei der Probenherstellung zwischen Stein und Mörtel ein Faservlies eingelegt; der Kontakt zum Mauerstein besteht also nur indirekt. Durch den ungünstigen Einfluss des Faservlieses wird die potenzielle Fugendruckfestigkeit gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um 20 bis 30 % gesenkt [b]. Dieser ungünstige Einfluss ist bei der Prüfung der Haftscherfestigkeit nicht vorhanden, da hier der Mörtel realitätsnah im direkten Verbund mit dem Stein erhärtet.

[b] Riechers, H.-J.: Ein neues Modell zur Beschreibung der Festigkeitsentwicklung von Mauermörtel in der Fuge. Aachen: Wissenschafts-Verlag Mainz, 2000 – Aachener Beiträge zur Bauforschung des ibac, Bd. 10

Bild B47: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Bisheriges Prüfszenario bildet die Praxis nicht ab und führt zu Widersprüchen

Mauermörtel werden in der Regel auf die verwendeten Steine abgestimmt. Beispiel: Ein Mörtel für nicht oder gering saugende Steine muss möglichst „trocken“ vermauert werden, damit das frische Mauerwerk nicht „schwimmt“. Wird dieser Mörtel im Rahmen der Eignungsprüfung in Verbindung mit Kalksand-Referenzsteinen (für die er definitiv nicht geeignet ist!) geprüft, „verdurstet“ er und die Fugendruckfestigkeit fällt entsprechend niedrig aus bzw. die Anforderung an die Fugendruckfestigkeit wird nicht erfüllt.

Bild B48: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Auswertung vorhandener Prüfergebnisse

Wenig Prüfergebnisse

Da die Fugendruckfestigkeit nur einmal im Rahmen der Erstprüfung von Mauermörtel geprüft wird, liegen entsprechend wenig Prüfergebnisse vor. Das Institut für Kalk- und Mörtelforschung (IKM), Köln, hat die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Prüfergebnisse, die im Rahmen der Fremdüberwachung ermittelt wurden, zur Verfügung gestellt.

Bild B49: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Auswertung vorhandener Prüfergebnisse

Keine Korrelation

Mauermörtel werden im Hinblick auf ihre spätere Verwendung auf die erwarteten Steineigenschaften eingestellt. Beispielhaft ist hier ein Ausschnitt der Mauermörtelarten aus dem Hause quick-mix dargestellt:

Bild B50: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Auswertung vorhandener Prüfergebnisse

Keine Korrelation

Je nachdem, wie der Mörtel eingestellt ist, entwickelt er zwischen den Steinen andere Eigenschaften, die naturgemäß nicht mit solchen Eigenschaften korrelieren, die ohne Steineinfluss ermittelt werden.

Mörtel mit einem hohen Wassergehalt weisen tendenziell niedrige Prismen-druckfestigkeiten und hohe Fugendruckfestigkeiten auf, bei Mörteln mit einem eher niedrigen Wassergehalt verhält es sich umgekehrt. Dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, dass die zur Prüfung der Fugendruckfestigkeit herangezogenen Referenz-Kalksandsteine ein besonders ungünstiges Saugverhalten aufweisen und die geprüften Mauermörtel möglicherweise für gänzlich andere Steinarten optimiert wurden. Dies wird im Fall von Leichtmauermörtel besonders eklatant: Diese Mörtel werden in keinem Fall mit Kalksandsteinen vermauert, müssen aber nach heutiger Rechtslage die Prüfung zwischen Kalksandsteinen bestehen.

Bild B51: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Auswertung vorhandener Prüfergebnisse

Prüfstreuung

Sowohl die Prüfung der Haftscherfestigkeit als auch die Prüfung der Fugendruckfestigkeit weisen aufgrund der Komplexität der Prüfverfahren und der uneinheitlichen Eigenschaften der verwendeten Referenz-Kalksandsteine entsprechend hohe Prüfstreuungen auf. Dies ist bei der Bewertung der Prüfergebnisse zu berücksichtigen.

Bild B52: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

Stellungnahme des VDPM

Auswertung vorhandener Prüfergebnisse

Bewertung der Prüfergebnisse

Die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Prüfergebnisse zeigen, dass – unter Berücksichtigung der Prüfstreuungen – bei der Prüfung der Fugendruckfestigkeit lediglich ein einziger Mörtel (Zeile 12) eindeutig durchgefallen ist, während das Kriterium „Haftscherfestigkeit“ von 6 Mörteln nicht erfüllt wird. Die Haftscherfestigkeit stellt somit das deutlich schärfere Prüfkriterium dar. Der Mörtel in Zeile 12 wäre auch über dieses Prüfkriterium identifiziert worden.

Bild B53: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

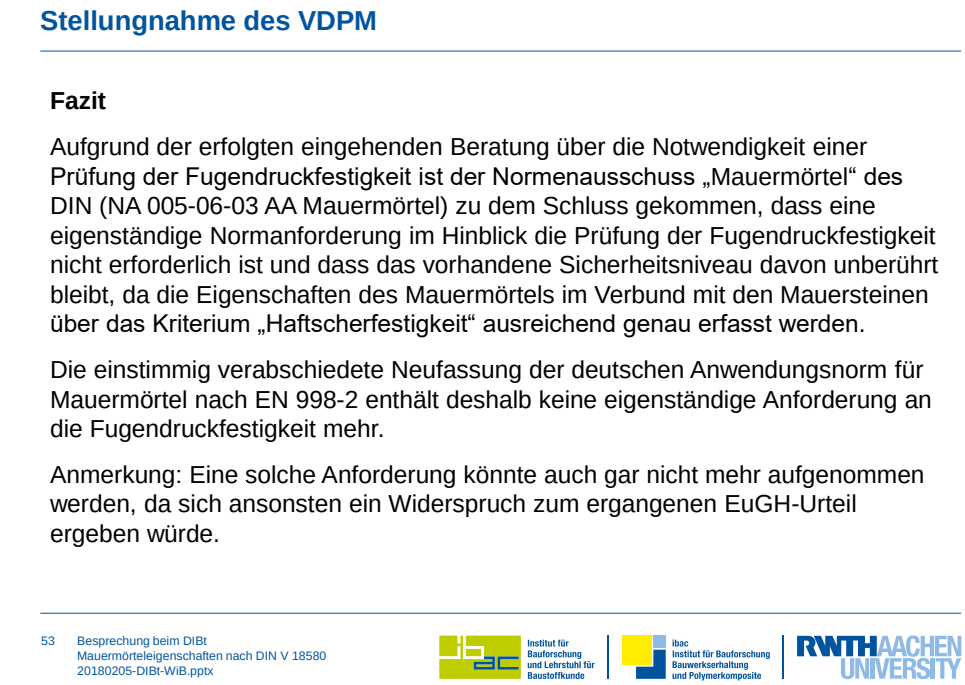


Bild B54: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

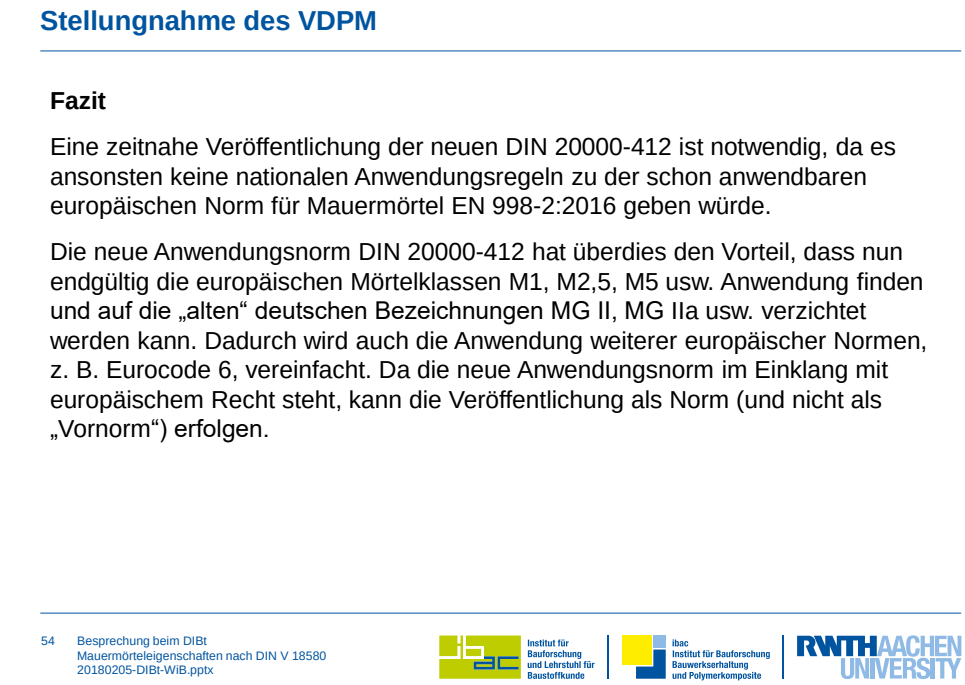


Bild B55: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“, Sitzung SVA Wandbauelemente - Arbeitskreis Mauermörtel, 5. Februar 2018 (Fortsetzung)

77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 und B2, 24./25. April 2018

Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580

Dipl.-Ing. Dorothea Saenger, Dipl.-Ing. Bernd Winkels
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach

Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac)

Bild B56: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018

Mauermörteleigenschaften mit zusätzlichen Anforderungen in DE nach DIN V 18580 (Ausgabe 2007)

Eigenschaft	Prüfung	Mauermörtel		
		NM	LM	DM
Fugendruckfestigkeit	DIN 18555-9	x	x	-
Haftscherfestigkeit	DIN 18555-5 DIN EN 1053-2	x	x	x
Quer- und Längsdehnungsmodul nach 28 d	DIN 18555-4	-	x	-
Prismen-Druckfestigkeit nach 28 d nach Feuchtlagerung	in Anlehnung an DIN EN 1015-11	-	-	x

Bild B57: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Mauermörteleigenschaften mit zusätzlichen Anforderungen in DE nach DIN 20000-412 (Entwurf 2017)

Eigenschaft	Prüfung	Mauermörtel		
		NM	LM	DM
Fugendruckfestigkeit	entfällt	x	x	-
Haftscherfestigkeit	DIN EN 1053-2	x	x	x
Quer- und Längsdehnungsmodul nach 28 d	DIN 18555-4	-	x	-
Prismen-Druckfestigkeit nach 28 d nach Feuchtlagerung	entfällt	-	-	x

Bild B58: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Neufassung DIN 20000-412 – Stellungnahme VDPM

- Der Normenausschuss „Mauermörtel“ des DIN (NA 005-06-03 AA) hat die Neufassung der deutschen Anwendungsnorm für Mauermörtel **DIN 20000-412 einstimmig verabschiedet**.
- Dieser Normenausschuss ist zu dem Schluss gekommen, dass eine eigenständige Normanforderung im Hinblick auf die **Prüfung der Fugendruckfestigkeit nicht erforderlich** ist und dass das vorhandene Sicherheitsniveau davon unberührt bleibt, **da die Eigenschaften des Mauermörtels im Verbund mit den Mauersteinen über das Kriterium „Haftscherfestigkeit“ ausreichend genau erfasst werden**.
- **DIN 20000-412 enthält** daher **keine Anforderung an die Fugendruckfestigkeit**.
- Eine **zeitnahe Veröffentlichung** der neuen DIN 20000-412 ist **notwendig**, da es **ansonsten keine nationalen Anwendungsregeln zu** der schon anwendbaren europäischen Norm für Mauermörtel **EN 998-2:2016** geben würde.

Bild B59: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Haftscherfestigkeit bei Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel

DIN 18555-5

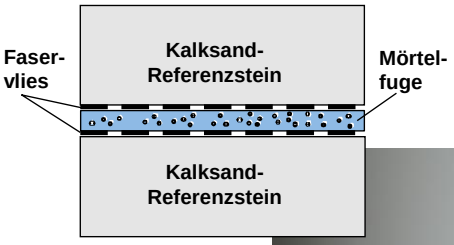
DIN EN 1053-2, Verfahren B

5 SVA Wandbauelemente
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180423-DIBt.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B60: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Fugendruckfestigkeit bei Normal- und Leichtmörtel nach DIN 18555-9



DIN 18555-9 , Verfahren III

6 SVA Wandbauelemente
Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580
20180423-DIBt.pptx

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B61: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Forschungsarbeit „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B62: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Forschungsarbeit

Ziel:
Erarbeitung einer wissenschaftlichen Grundlage als notwendige Voraussetzung für die **Ableitung des Erfordernisses der Erhaltung und Aufnahme der Resteigenschaften der deutschen Norm DIN V 18580** in die DIN EN 998-2

Vorgehensweise:

- Literatursichtung im Hinblick auf die Veranlassung und die zu ziehenden Schlussfolgerungen hinsichtlich des Erfordernisses der Prüfung der vier Mörteleigenschaften:
  - Fugendruckfestigkeit
  - Haftscherfestigkeit
  - Längs- und Querdehnungsmodul bei Leichtmörtel
  - Prismen-Druckfestigkeit von Dünnbettmörtel bei Feuchtlagerung
- Zusammenstellung der Daten in kleinen Datenbanken
- Feststellung von Zusammenhängen (falls vorhanden)

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B63: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

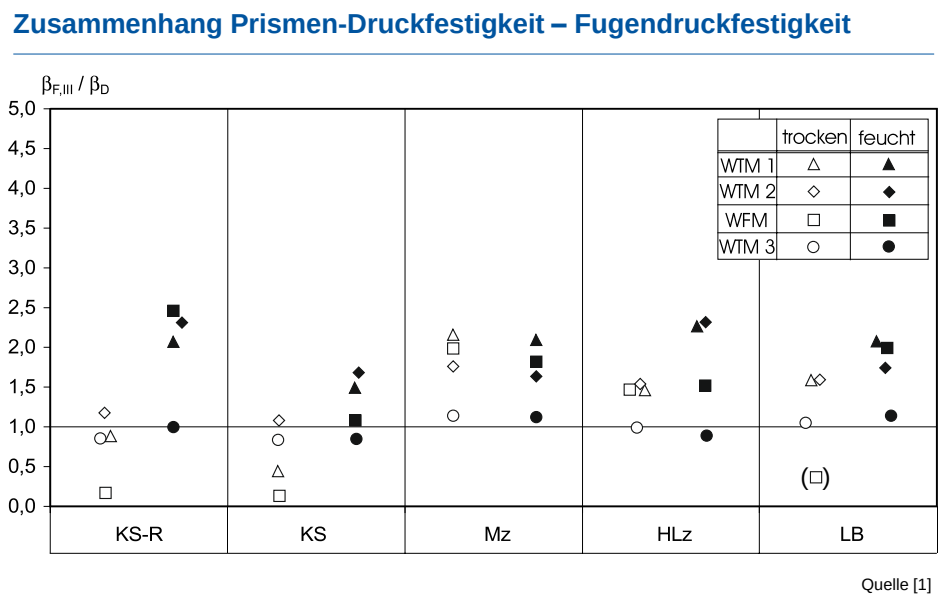


Bild B64: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

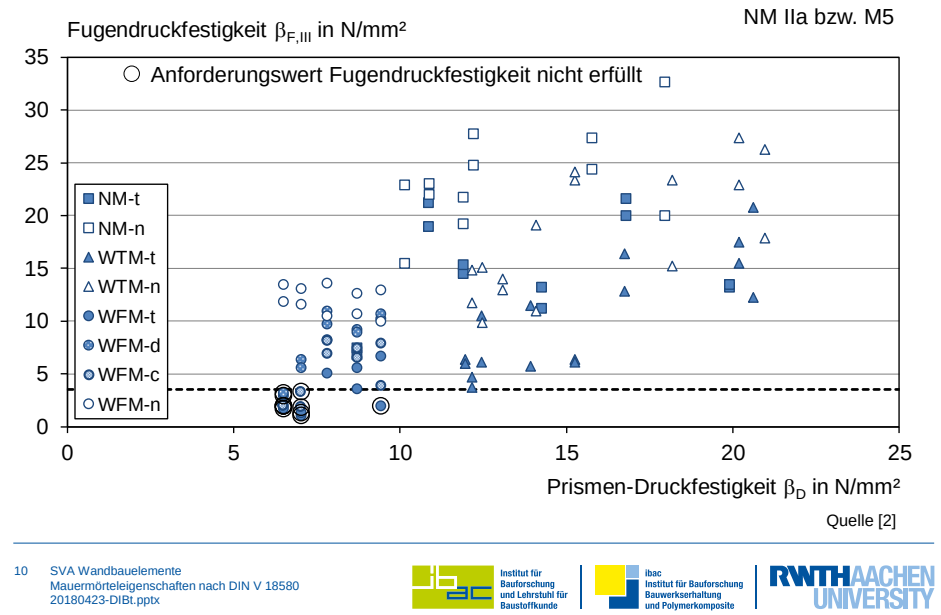


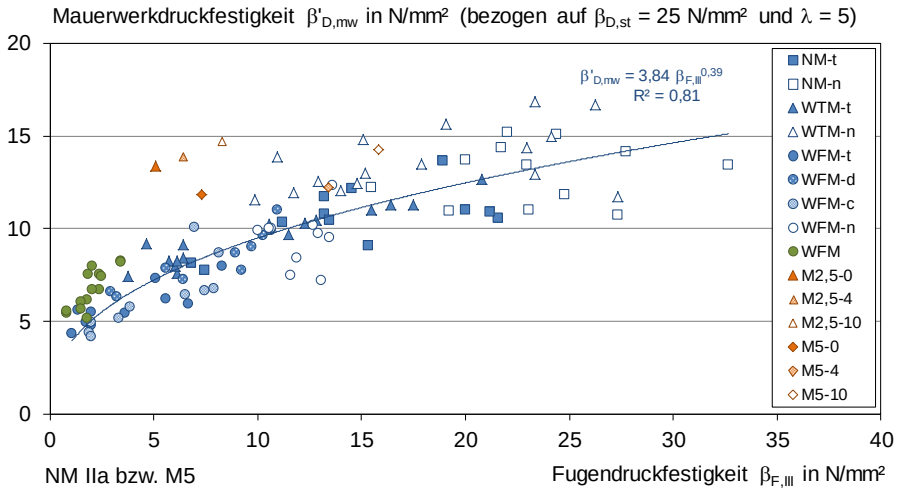
Bild B65: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Merkmale von Werk-Frischmörtel (WFM)

- Werk-Frischmörtel enthalten u. a. Verzögerer (VZ), um lange Zeit (36 h und mehr) verarbeitbar zu bleiben.
- In der Verzögerungszeit wird die Reaktivität des Zements herabgesetzt! In dieser Zeit kann der Mörtel jedoch schon im Kontakt zum Stein stehen, wodurch ihm Wasser entzogen wird.
- Bei Nachlassen der Wirkung des VZ kann das Wasserangebot im Mörtel jedoch so stark reduziert worden sein, dass nicht mehr ausreichend Wasser für eine vollständige Hydratation vorhanden ist.
  → Dies wirkt sich festigkeitsmindernd aus!
  (vor allem im Hinblick auf die Fugendruckfestigkeit)
  → Intensive Nachbehandlung erforderlich! → Nachhydratation
- Werk-Frischmörtel enthalten ebenfalls Luftporenbildner (LP), die sich festigkeitsmindernd auswirken!

Bild B66: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

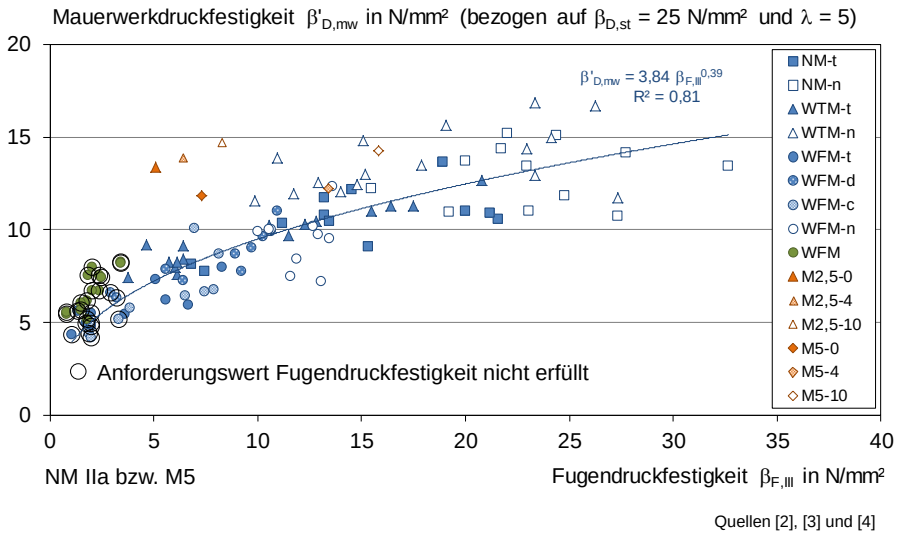
Zusammenhang Mauerwerkdruckfestigkeit – Fugendruckfestigkeit



Quellen [2], [3] und [4]

Bild B67: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Kritische Mauerwerkdruckfestigkeit?
Identifikation durch Prüfung der Fugendruckfestigkeit?

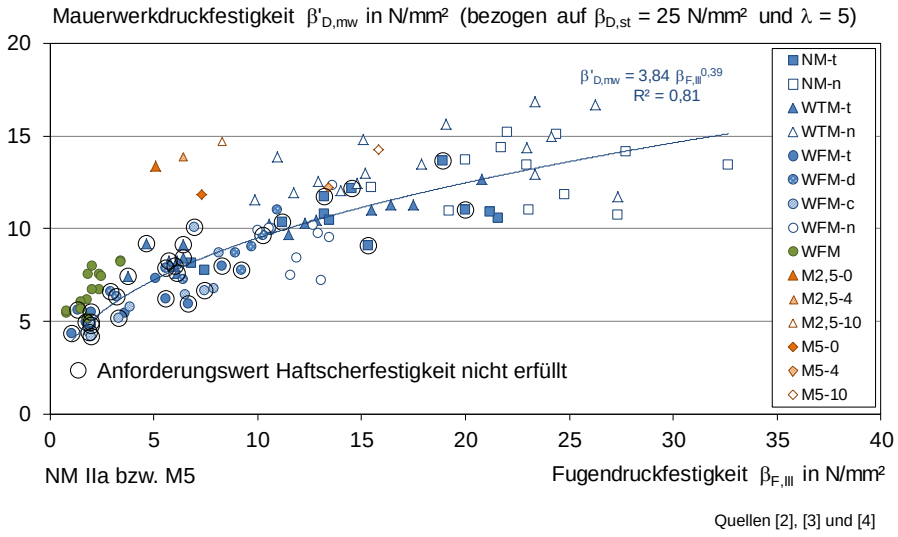


Quellen [2], [3] und [4]

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B68: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Kritische Mauerwerkdruckfestigkeit?
Identifikation durch Prüfung der Haftscherfestigkeit?

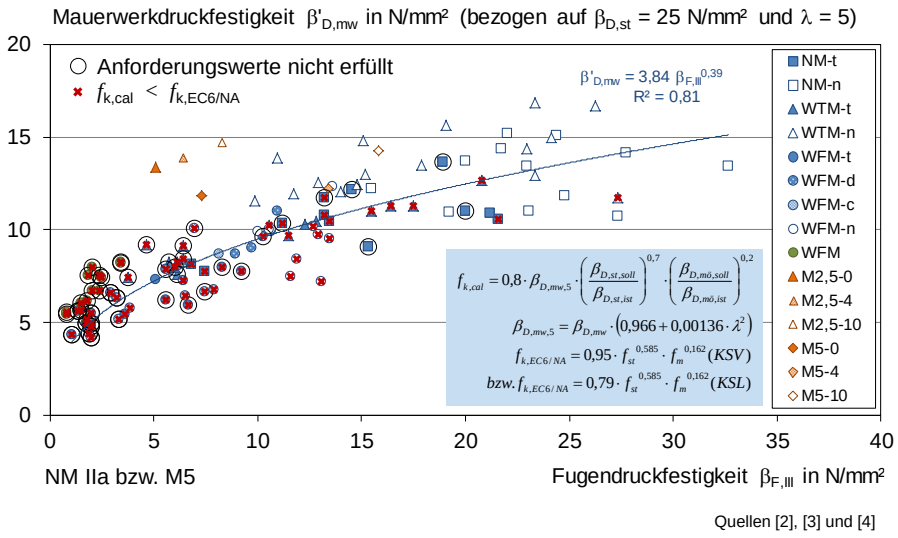


Quellen [2], [3] und [4]

Institut für Bauforschung und Lehrstuhl für Baustoffkunde | ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B69: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Kritische Mauerwerkdruckfestigkeit? Gegenüberstellung $f_{k,cal}$ vs. $f_{k,EC/NA}$



Quellen [2], [3] und [4]

Bild B70: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Quellen

[1] Schubert, P. ; Heer, B.: Einfluß der Zusammensetzung von Mauermörtel auf seine Eigenschaften im Mauerwerk.
Aachen: Institut für Bauforschung, 2000 - Forschungsbericht Nr. F 684

[2] Eden, W. ; Kasten, D. ; Meyer, G.: Ermittlung der Druckfestigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Mörteleigenschaften in der Fuge durch den Wasserhaushalt des Verbundsystems.
Hannover: Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., 1993 - Forschungsbericht Nr. 78

[3] Schubert, P. ; Meyer, U. ; Schulte, M.: Einfluß der Mörtelzusammensetzung auf die Druckfestigkeit des Mörtels nach Norm und im Mauerwerk
Teil 1: Literaturauswertung, Teil 2: Untersuchungen mit Werkfrischmörtel.
Aachen: Institut für Bauforschung, 1991 - Forschungsbericht Nr. F 364

[4] Graubohm, M. ; Brameshuber, W.: Druckfestigkeit von Mauerwerk.
Aachen : Institut für Bauforschung, 2017 -
Forschungsbericht Nr. F 1015 (DISS Graubohm)

Bild B71: „Mauermörteleigenschaften nach DIN V 18580“,
77. Sitzung SVA Wandbauelemente B1 u. B2, 24./25. April 2018 (Fortsetzung)

Bild B72: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018

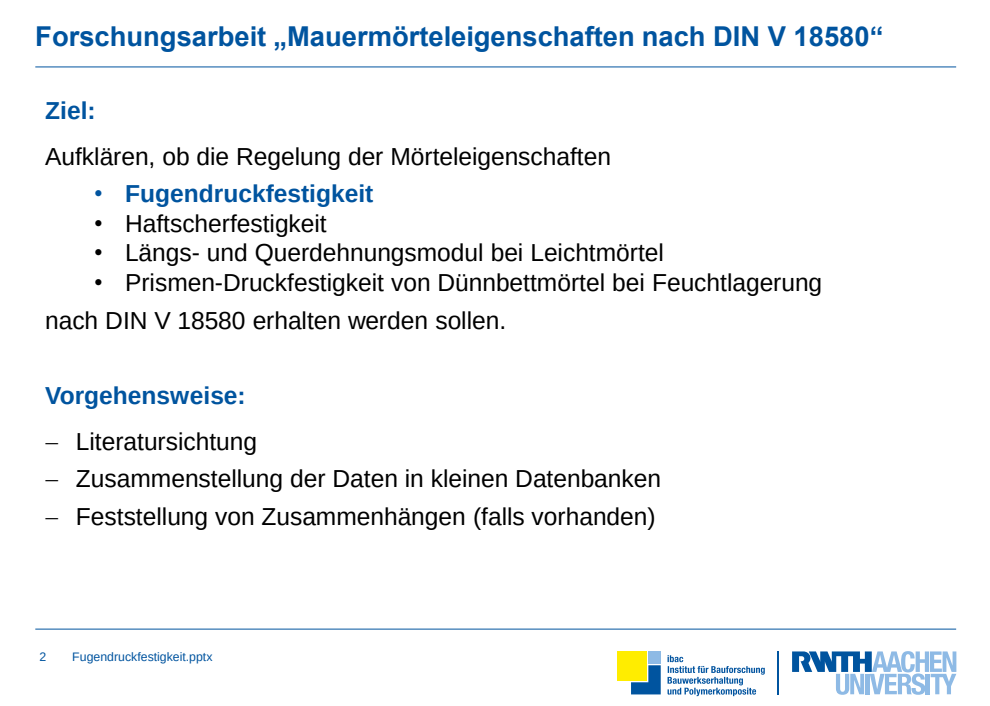
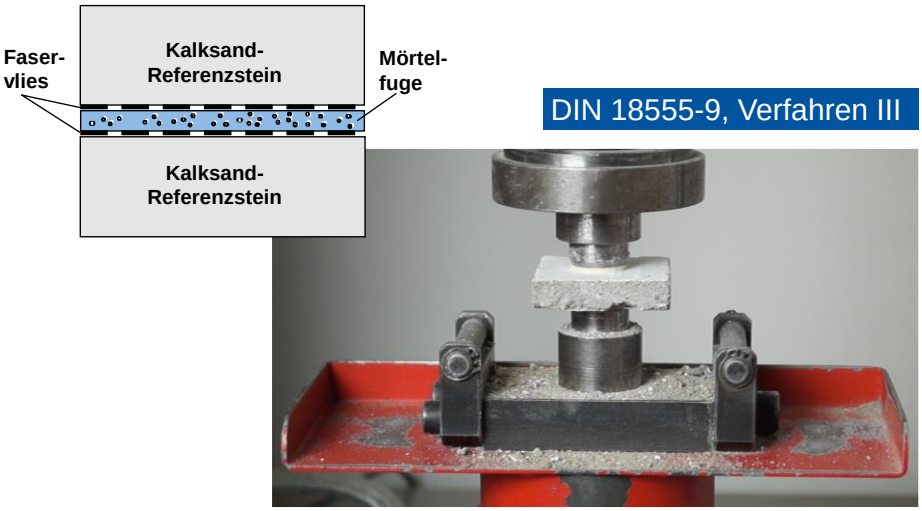


Bild B73: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Fugendruckfestigkeit bei Normal- und Leichtmörtel nach DIN 18555-9



3 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B74: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Quelle 1

[1] Schubert, P. ; Heer, B.: **Einfluß der Zusammensetzung von Mauermörtel auf seine Eigenschaften im Mauerwerk**. Aachen: Institut für Bauforschung, **2000** - Forschungsbericht Nr. F 684

4 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B75: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Verwendete Mauersteine

Mauerstein	Festigkeits-klasse	Kapillarporenanteil	Wasseraufnahme-charakteristik
KS / KS-R	20	rd. 13 – 14 Vol.-%	langsam saugend, kontinuierlich
Mz	12	rd. 22 Vol.-%	schnelle Wasseraufnahme in kurzem Zeitraum
HLz	12	rd. 34 Vol.-%	
LB	2	-	-

Quelle [1]

5 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B76: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Verwendete Mauermörtel – Zusammensetzung

Bestandteil	WTM1	WTM 2	WFM	WTM 3
-	kg/m³			
Zement z	CEM I 32,5 R			CEM I 42,5 R
	251	248	237	454
Flugasche f	79	77	-	-
Zusatzmittel	1,89 LP	0,70 MHPC 1,86 LP	3,55 VZ 0,95 LP	MC LP
Zuschlag	Sand 0 - 1			Perlite
	1240	1220	1302	130 (37 Vol.-%)
Wasser w	267	263	227	430
w/z	1,06	1,06	0,96	0,95
w/(z + 0,4 f)	0,94	0,94	0,96	0,95

Quelle [1]

6 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B77: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

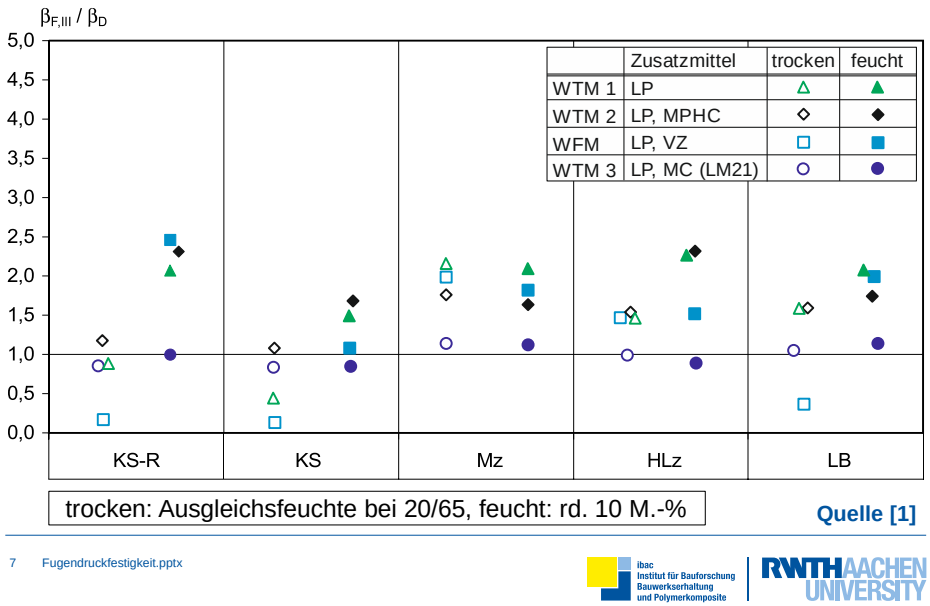


Bild B78: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

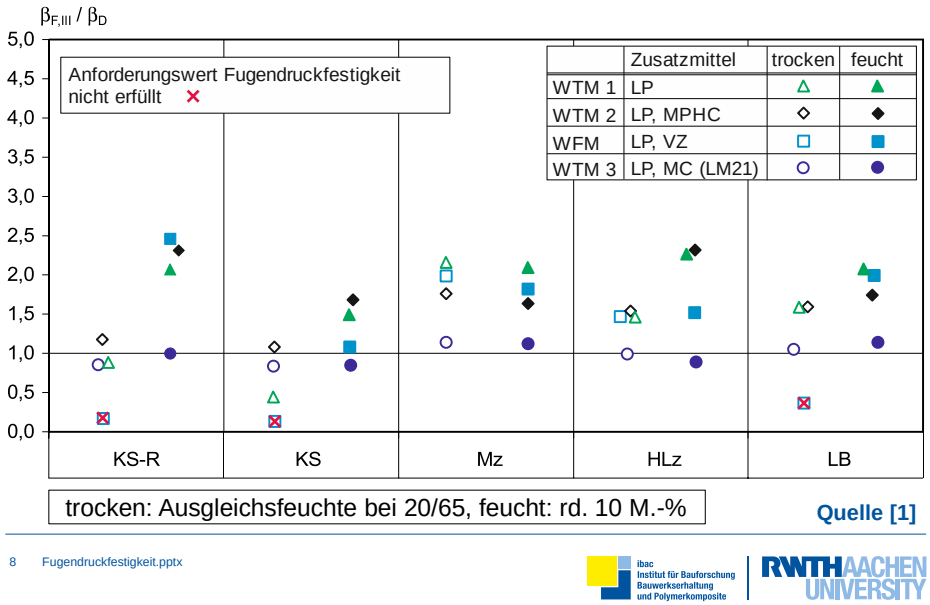


Bild B79: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Quellen 2, 3 und 4

[2] Eden, W. ; Kasten, D. ; Meyer, G.: **Ermittlung der Druckfestigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk unter Berücksichtigung der Beeinflussung der Mörteleigenschaften in der Fuge durch den Wasserhaushalt des Verbundsystems.** Hannover: Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., **1993** - Forschungsbericht Nr. 78

[3] Schubert, P. ; Meyer, U. ; Schulte, M.: **Einfluß der Mörtelzusammensetzung auf die Druckfestigkeit des Mörtels nach Norm und im Mauerwerk Teil 1: Literaturauswertung, Teil 2: Untersuchungen mit Werkfrischmörtel.** Aachen: Institut für Bauforschung, **1991** - Forschungsbericht Nr. F 364

[4] Graubohm, M. ; Brameshuber, W.: **Druckfestigkeit von Mauerwerk.** Aachen : Institut für Bauforschung, **2017** - Forschungsbericht Nr. F 1015 (Dissertation Graubohm)

Bild B80: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Verwendete Mauersteine

Quelle	Mauerstein	Festigkeits-klasse	Porosität in %	Wasseraufnahme-charakteristik
[2]	KS-R (NF)	20	28,5	langsam saugend, kontinuierlich
	KS Vb (NF)	20	29,4	
	KSV (NF)	20	39,5	
	KSL (2DF)	12	34,1	
[3]	KS-R (NF)	20	k. A.	
[4]	KSV (8DF)	20	k. A.	

Bild B81: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Zusammensetzung der verwendeten Mauermörtel Quelle [2]

Bestandteil	NM			WTM[2)]				WFM[2)]		
	N1	N2	N3	T1	T2	T3	T4	F1	F2	F3
-	kg							kg/m³		
Zement z	Portlandzement PZ 35F									
	8,0	11,8	11,2	8,7	10,0	9,0	5,8	200		
PM-Binder	14,0	-	-	-				-		
Weißkalkhydrat	-	5,4	5,1	-				40		
Flugasche f	-			3,0	1,8	3,2	2,0	-		
Zuschlag	60,0	66,7	63,3	50,2	50,0	52,5	33,5	1301		
Zusatzmittel in g	-	-	32,7[1)]	74,4	72,2	648	72,3	vorhanden		
Wasser w	9,0	11,3	9,5	7,8	7,9	6,8	5,2	190		
w/z	1,14	0,96	0,85	0,89	0,78	0,74	0,90	0,95		
w/(z + 0,4 f)	-			0,78	0,73	0,65	0,78	-		

1) Mischöl (LP-Bildner) **2) Zusatzmittel nicht benannt**

11 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B82: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Zusammensetzung der verwendeten Mauermörtel Quellen [3,4]

Bestandteil	[3] WFM								[4] WTM	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	M2,5	M5
-	kg/m³									
Zement z	Portlandzement PZ 35F								CEM I	
	217	234	264	273	216	215	255	257	k. A.	
Zuschlag	Sieblinie A (grob)				Sieblinie B (fein)				Quarzsand	
	1334	1439	1291	1336	1328	1321	1245	1255	k. A.	
Kalk	-								x	-
LP-Bildner (LP) [1)]	0,74	0,26	0,57	0,23	1,71	1,22	2,7	1,15	k. A.	
Verzögerer (VZ) [1)]	1,96	2,12	2,38	2,46	1,96	1,95	2,29	2,31	k. A.	
Wasser w	196	214	192	198	225	233	213	222	k. A.	
w/z [2)]	0,92	0,92	0,74	0,74	1,06	1,10	0,85	0,88	k. A.	

1) flüssig
2) einschließlich LP und VZ

12 Fugendruckfestigkeit.pptx

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B83: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

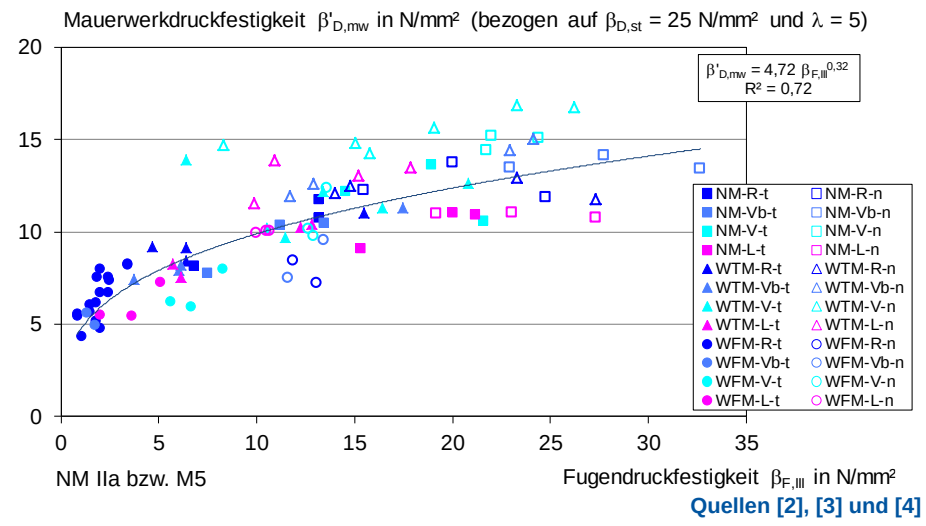


Bild B84: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

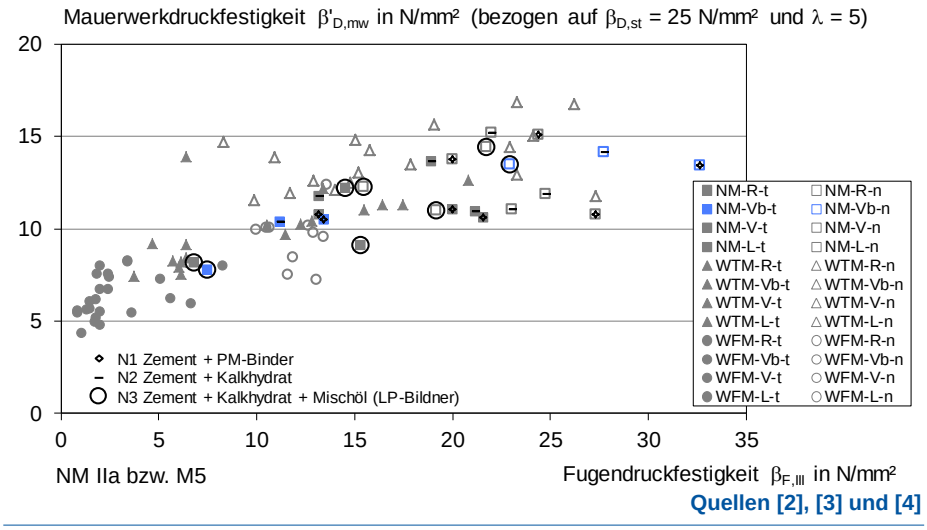


Bild B85: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

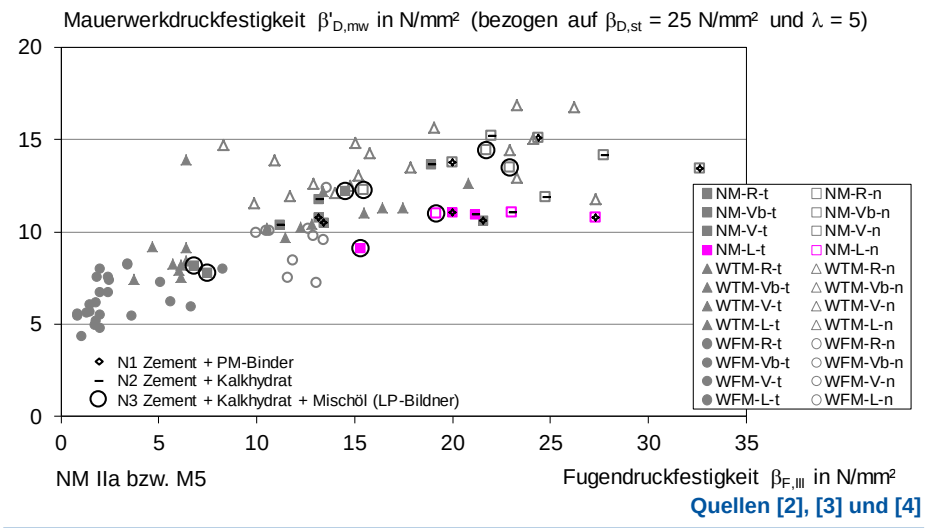


Bild B86: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

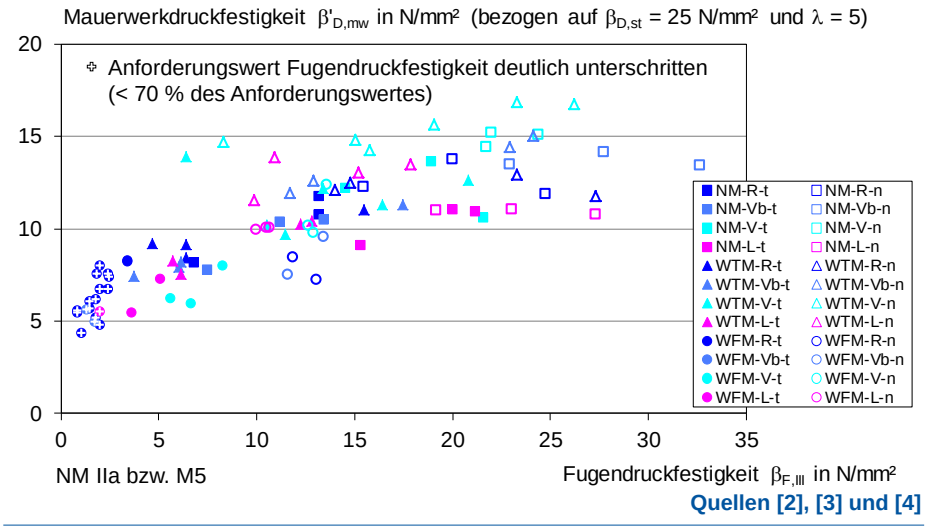


Bild B87: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

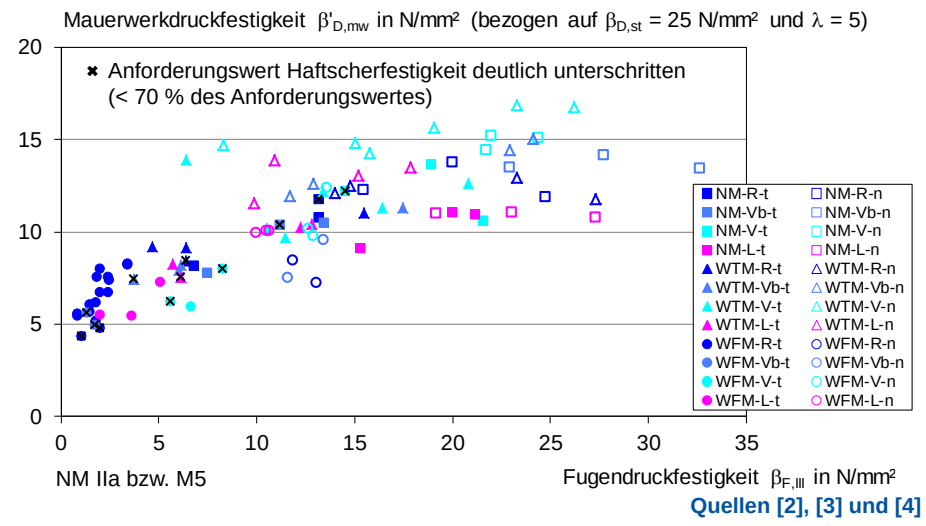


Bild B88: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

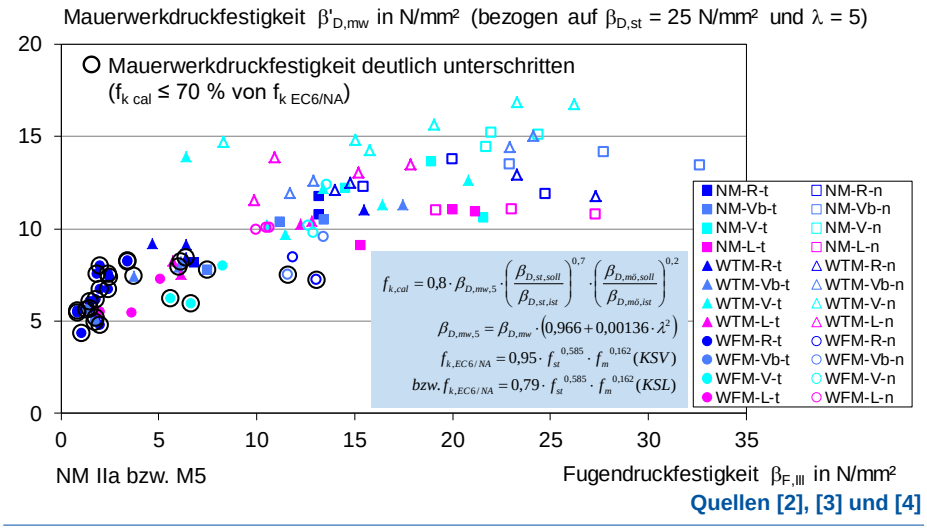


Bild B89: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)

Schlussfolgerungen

- Aus bestimmten Mörtelrezepturen bzw. Mörtel-Steinkombinationen können niedrige Fugendruck- und/oder Haftscherfestigkeitswerte resultieren, die unterhalb der Anforderungswerte nach DIN V 18580 liegen können.
- Eine Korrelation der Fugendruck- mit der Haftscherfestigkeit besteht nicht, da sich relevante Einflussgrößen (Zementart und -gehalt, Sieblinie der Gesteinskörnung, Zusatzmittel, Steinart, Wassergehalt der Steine, u. a.) unterschiedlich auf diese beiden Eigenschaften auswirken können.
- Die Prüfung der Haftscherfestigkeit ist nicht generell das schärfere Kriterium.
- Bei der Eignungsprüfung eines Mörtels sollte daher weiterhin die Prüfung beider Mörteleigenschaften als Filter zur Identifikation kritischer Mörtelrezepturen herangezogen werden.

ibac Institut für Bauforschung Bauwerkserhaltung und Polymerkomposite
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bild B90: „Fugendruckfestigkeit“, Sitzung des „NA 005-06-03 AA Mauermörtel“, Berlin, 8. Oktober 2018 (Fortsetzung)