

**Eurocode 6 – Mauerwerksbau
Bewehrtes Mauerwerk, Untersuchungen
zu Materialeigenschaften, Tragfähigkeit
und Bemessung**

T 2483

T 2483

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

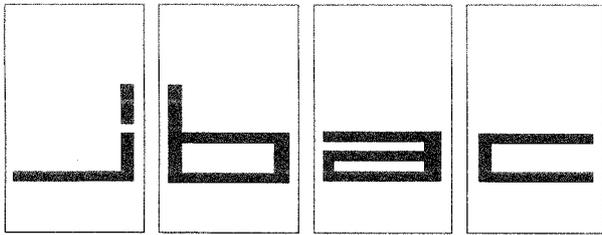
Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Direktoren: Professor Dr.-Ing. H. R. Sasse · Professor Dr.-Ing. P. Schießl

Schinkelstraße 3, W-5100 Aachen
Telefon (02 41) 80-51 00 · Telex 8 32 704 thac d · Telefax (02 41) 80-51 20

My/vdw

THEMA

EUROCODE 6 - Mauerwerksbau - Be-
wehrtes Mauerwerk, Untersuchungen zu
Materialeigenschaften, Tragfähigkeit und
Bemessung

Forschungsbericht Nr.

F 325
vom 30.09.1992

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. P. Schießl
Dr.-Ing. P. Schubert

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. U. Meyer

Auftraggeber/
Förderer

Bundesminister für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau
Deichmannsau

5300 Bonn 2

Auftragsdatum
Aktenzeichen

29.12.1989
RS II 2-674102-89.27

Dieser Bericht umfaßt 290 Seiten, davon 131 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
Seite

1	EINLEITUNG	1
1.1	Allgemeines.....	1
1.2	Versuchsprogramm	2
2	LITERATURSICHTUNG ZUM VERBUND ZWISCHEN MÖRTEL UND BEWEHRUNG.....	2
2.1	Grundlagen zum Verbund zwischen Beton und Bewehrung aus dem Stahlbetonbau.....	2
2.2	Untersuchungen zum Verbund zwischen Mauermörtel und Bewehrung.....	3
2.3	Einflußfaktoren auf den Verbund zwischen Mauermörtel und Bewehrung.....	3
2.3.1	Mörteleigenschaften	3
2.3.1.1	Mörteldruckfestigkeit	3
2.3.1.2	Mörtelzusammensetzung	4
2.3.2	Bewehrung.....	5
2.3.2.1	Allgemeines.....	5
2.3.2.2	Oberflächengeometrie der Bewehrung.....	6
2.3.2.3	Durchmesser der Bewehrung.....	6
2.3.2.4	Einfluß von angeschweißten Querstäben und Diagonalen.....	7
2.3.3	Verarbeitungseinflüsse.....	7
2.3.4	Einflüsse aus Dauerlasten	8
3	VERSUCHSPROGRAMM.....	8
3.1	Allgemeines.....	8
3.2	Untersuchte Einflußgrößen.....	9
3.2.1	Steinart	9
3.2.2	Einfluß der Mörtelzusammensetzung.....	10
3.2.2.1	Einfluß der Sieblinie	10
3.2.2.2	Bindemittelgehalt.....	10
3.2.2.3	Zusatzmittel	11
3.2.2.4	Mörtelart (Normal- und Leichtmörtel).....	12
3.2.3	Bewehrungseigenschaften.....	12
3.2.3.1	Epoxidharzbeschichtung.....	12
3.2.3.2	Dicke d_B der Epoxidharzbeschichtung.....	12
3.2.3.3	Stabdurchmesser d_s	13

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

3.2.3.4	Bezogene Rippenfläche f_R des Stahls	14
3.2.3.5	Angeschweißte Querstäbe und Schweißknoten	14
3.2.4	Verarbeitung	14
3.2.4.1	Allgemeines.....	14
3.2.4.2	Mörteldeckung c zur Wandoberfläche.....	15
3.2.4.3	Fugendicke d_F , Mörteldeckung c_L zwischen Bewehrung und der Lagerfläche der Mauersteine.....	15
3.2.4.4	Unvollständige Einbettung der Bewehrung	16
3.2.5	Verbund in Formsteinen	16
4	VERWENDETE MATERIALIEN UND DEREN EIGENSCHAFTEN	16
4.1	Mauersteine.....	16
4.1.1	Prüfungen.....	16
4.1.1.1	Maße, Trockenrohdichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$	16
4.1.1.2	Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge $\beta_{DL,st}$	17
4.1.1.3	Lochanteil, Feuchtegehalt beim Vermauern h_m	17
4.1.1.4	Steinzugfestigkeit $\beta_{Z,st}$	17
4.1.1.5	Kapillare Wasseraufnahme.....	18
4.1.2	Prüfergebnisse	18
4.1.2.1	Maße, Trockenrohdichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$	18
4.1.2.2	Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge $\beta_{DL,st}$	18
4.1.2.3	Lochanteil, Feuchtegehalt beim Vermauern h_m	19
4.1.2.4	Steinzugfestigkeit $\beta_{Z,st}$	19
4.1.2.5	Kapillare Wasseraufnahme.....	20
4.2	Mauermörtel	20
4.2.1	Allgemeines.....	20
4.2.2	Herstellung.....	21
4.2.3	Prüfungen.....	22
4.2.3.1	Frischmörtelprüfungen.....	22
4.2.3.2	Festmörtelprüfungen.....	23
4.2.3.3	Mörtel-Stein-Prüfungen.....	23
4.2.3.3.1	Mörteldruckfestigkeit in der Fuge.....	23
4.2.3.3.1.1	Allgemeines.....	23

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

4.2.3.3.1.2	Mörteldruckfestigkeit $\beta_{D,F}$ in der Fuge in Anlehnung an /X14/, Würfeldruckverfahren	24
4.2.3.3.1.3	Mörteldruckfestigkeit $\beta_{D,F}$ in der Fuge nach /8/	24
4.2.3.3.1.4	Haftscherfestigkeit β_{HS}	24
4.2.4	Prüfergebnisse	25
4.2.4.1	Frischmörtelprüfungen	25
4.2.4.2	Festmörtelprüfungen	25
4.2.4.3	Mörtel-Stein-Prüfungen	26
4.2.4.3.1	Mörteldruckfestigkeit in der Fuge	26
4.2.4.3.1.1	Mörteldruckfestigkeit $\beta_{D,F(RILI)}$ in der Fuge in Anlehnung an /X14/, Würfeldruckverfahren	26
4.2.4.3.1.2	Mörteldruckfestigkeit $\beta_{D,F}$ in der Fuge nach /8/	27
4.2.4.3.1.3	Zusammenhänge zwischen den existierenden Prüfverfahren zur Ermittlung der Fugendruckfestigkeit	27
4.2.4.3.2	Haftscherfestigkeit	28
4.2.4.3.2.1	Allgemeines	28
4.2.4.3.2.2	Verfahren nach DIN 18 555 Teil 5 /X17/	28
4.2.4.3.2.3	Verfahren nach CEN/TC 125/N 63 /X18/	29
4.3	Bewehrung	29
4.3.1	Allgemeines	29
4.3.2	Prüfungen	29
4.3.2.1	Spannung an der Streckgrenze R_e , Zugfestigkeit R_m und Zugbruchdehnung A_{10}	29
4.3.2.2	Bezogene Rippenfläche f_R	30
4.3.2.3	Dicke d_B der Epoxidharzbeschichtung	30
4.3.3	Prüfergebnisse	30
4.3.3.1	Spannung an der Streckgrenze R_e , Zugfestigkeit R_m und Zugbruchdehnung A_{10}	30
4.3.3.2	Bezogene Rippenfläche f_R	31
4.3.3.2.1	Unbeschichtete Stähle	31
4.3.3.2.2	Beschichtete Stähle	31
4.3.3.3	Dicke d_B der Epoxidharz-Beschichtung	31

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

5	VERSUCHE ZUM VERBUNDVERHALTEN ZWISCHEN LAGERFUGENBEWEHRUNG UND MAUERMÖRTEL.....	32
5.1	Prüfkörper.....	32
5.1.1	Allgemeines.....	32
5.1.2	Prüfkörperherstellung.....	34
5.2	Versuchseinrichtung.....	34
5.3	Versuchsdurchführung.....	35
5.4	Bestimmung von mittleren Verbundspannungen mit der Theorie des verschieblichen Verbundes.....	36
5.4.1	Allgemeines.....	36
5.4.2	Differentialgleichung des verschieblichen Verbundes.....	36
5.4.3	Auswertung der Verbundversuche.....	37
5.5	Versuchsergebnisse.....	39
5.5.1	Allgemeines.....	39
5.5.2	Zusammenhang zwischen den Verbundeigenschaften zwischen epoxidharzbe- schichteter Bewehrung und Mauermörtel und der Mörteldruckfestigkeit im Mauerwerk.....	39
5.5.2.1	Allgemeines.....	39
5.5.2.2	Zusammenhang zwischen der Haftverbundspannung $\tau_{0,001}$ und der Mörtel- druckfestigkeit im Mauerwerk nach /8/.....	40
5.5.2.3	Zusammenhang zwischen der Verbundspannung $\tau_{0,15}$ und der Mörteldruckfe- stigkeit im Mauerwerk nach /8/.....	40
5.5.2.4	Zusammenhang zwischen der mittleren Verbundspannung $\tau_{m,s}$ im Gebrauchzustand und der Mörteldruckfestigkeit im Mauerwerk nach /8/.....	41
5.5.2.5	Maßgeblicher Spannungszustand für die Bemessung der Verankerungslänge.....	41
5.5.2.6	Maßgebende Verankerungslängen $l_{v,m}$ und maßgebende Verbundspannungen τ_m für Bewehrung in Lagerfugen und Formsteinen.....	43
5.5.2.7	Schlupf Δ zwischen Bewehrung und Mörtel.....	44
5.5.3	Einfluß der verwendeten Steinart.....	44
5.5.4	Einfluß des Feuchtezustandes der Mauersteine.....	45
5.5.5	Einfluß der Mörtelzusammensetzung.....	46
5.5.5.1	Einfluß der Sieblinie.....	46
5.5.5.2	Einfluß des Bindemittelgehalts.....	47

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

5.5.5.3	Einfluß von Zusatzmitteln.....	48
5.5.5.4	Einfluß der Mörtelart (Normal- und Leichtmörtel).....	49
5.5.6	Einfluß von Bewehrungseigenschaften.....	50
5.5.6.1	Einfluß der Epoxidharzbeschichtung.....	50
5.5.6.2	Einfluß der Dicke d_B der Epoxidharzbeschichtung.....	51
5.5.6.3	Einfluß des Stabdurchmessers d_s	52
5.5.6.4	Einfluß der bezogenen Rippenfläche f_R	54
5.5.6.5	Einfluß von Schweißknoten im Bereich der Verankerung.....	55
5.5.7	Bewehrung in Formsteinen.....	55
5.5.8	Einfluß der Verarbeitungsqualität.....	58
5.5.8.1	Einfluß der Mörteldeckung c zur Wandoberfläche.....	58
5.5.8.2	Einfluß der Mörteldeckung c_L zur Lagerfläche der Mauersteine.....	58
5.5.8.3	Einfluß einer unvollständigen Einbettung im Mörtel.....	60
5.6	Vorschläge für Grundwerte τ_0 der zulässigen Verbundspannungen zwischen epoxidharzbeschichteter Bewehrung und Mauerwerk in Lagerfugen und Formsteinen.....	60
5.6.1	Allgemeines.....	60
5.6.2	Anforderungen an Bewehrung und Epoxidharz-Beschichtung.....	61
5.6.3	Anforderungen an die Qualität der Bauausführung.....	62
5.6.4	Anforderungen an die Mörteldruckfestigkeit im Mauerwerk.....	62
5.6.5	Ableitung von Grundwerten τ_0 der zulässigen Verbundspannung zwischen La- gerfugenbewehrung und Normalmörtel.....	63
5.6.5.1	Allgemeines.....	63
5.6.5.2	Sicherheitsbeiwerte γ zur Ermittlung von Grundwerten τ_0 der zulässigen Ver- bundspannung zwischen Lagerfugenbewehrung und Normalmörtel.....	65
5.6.5.2.1	Globaler Sicherheitsbeiwert für Verbund γ_g	65
5.6.5.2.2	Sicherheitsbeiwert γ_s	65
5.6.5.2.3	Sicherheitsbeiwert γ_{LP}	66
5.6.5.2.4	Sicherheitsbeiwert γ_{SL}	66
5.6.5.2.5	Sicherheitsbeiwert γ_{cL}	67
5.6.5.2.6	Sicherheitsbeiwert γ_E	67
5.6.5.2.7	Beiwert γ_D zur Berücksichtigung des Einflusses von Dauerlasten auf den Ver- bund.....	68

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

5.6.5.2.8	Sicherheitsbeiwert γ_{ds}	68
5.6.5.3	Gesamt-Sicherheitsbeiwert $\gamma_{G,Lagerfuge}$	69
5.6.6	Ableitung von zulässigen Grundwerten τ_0 der Verbundspannung für Bewehrung in Formsteinen	70
5.6.6.1	Allgemeines	70
5.6.6.2	Globaler Sicherheitsbeiwert für Verbund γ_g	70
5.6.6.3	Sicherheitsbeiwert γ_s	71
5.6.6.4	Sicherheitsbeiwert γ_{LP}	71
5.6.6.4	Beiwert γ_D zur Berücksichtigung des Einflusses von Dauerlasten auf den Ver- bund	71
5.6.6.5	Gesamt-Sicherheitsbeiwert $\gamma_{G,Formsteine}$	72
5.6.7	Überlegungen zu zulässigen Grundwerten τ_0 der Verbundspannung für Lager- fugenbewehrung und Leichtmörtel	72
5.6.8	Überlegungen zu Grundwerten τ_0 der zulässigen Verbundspannung bei Berücksichtigung der verwendeten Steinart	74
6	BAUTEILVERSUCHE ZUR RISSBREITENBESCHRÄNKUNG	75
6.1	Allgemeines	75
6.2	Rißursachen	75
6.2.1	Allgemeines	75
6.2.2	Rißbildung infolge behinderter Verformungen	76
6.2.3	Gesetzmäßigkeiten bei der Rißbildung infolge Zwangsbeanspruchung	76
6.3	Gründe für eine Beschränkung der Rißbreite in Mauerwerkbauteilen	78
6.3.1	Allgemeines	78
6.3.2	Dauerhaftigkeit	78
6.3.3	Ästhetik	79
6.4	Ermittlung der Mindestbewehrung	79
6.4.1	Allgemeines	79
6.4.2	Mindestbewehrung bei zentrischer Zwangsbeanspruchung	80
6.4.2.1	Grundlagen zur Ermittlung der Mindestbewehrung	80
6.4.2.2	Zentrische Zugfestigkeit $\beta_{Z,mw}$ von Mauerwerk	81
6.4.2.2.1	Allgemeines	81

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

6.4.2.3	Mindestbewehrung in Abhängigkeit von der Mauerwerkzugfestigkeit und der Wanddicke	84
6.5	Grundlagen der Rißbreitenbeschränkung bei Zwangsbeanspruchung	84
6.5.1	Allgemeines	84
6.5.2	Mittlere Rißbreiten bei Last- und Zwangsbeanspruchung	85
6.5.2.1	Allgemeines	85
6.5.2.2	Rechnerische Ermittlung der zu erwartenden Rißbreiten aus den Verbundgesetzen	86
6.6	Vorliegende Versuchsergebnisse zur Rißbreitenbeschränkung durch Lagerfügenbewehrung	89
6.7	Versuchsprogramm	90
6.7.1	Allgemeines	90
6.7.2	Verwendete Materialien	91
6.7.2.1	Mauersteine	91
6.7.2.2	Mauermörtel	92
6.7.2.3	Bewehrung	92
6.7.2.4	Beton zur Herstellung der Lasteinleitungsbalken	92
6.8	Versuchseinrichtung	92
6.8.1	Allgemeines	92
6.8.2	Dimensionierung der Prüfkörper und der Prüfeinrichtung	93
6.8.3	Lasteinleitung	93
6.8.4	Auflagerung des Wandprüfkörpers	94
6.9	Prüfkörperherstellung, Prüfalter	94
6.10	Versuchsdurchführung	95
6.11	Versuchsergebnisse	97
6.11.1	Rißbildung und -entwicklung	97
6.11.2	Last-Verformungsverhalten	99
6.11.2.1	Allgemeines	99
6.11.2.2	Zug-E-Modul im ungerissenen Zustand (Zustand I)	99
6.11.2.3	Anrißspannung $\sigma_{A,mw}$	99
6.11.2.3.1	Allgemeines	99
6.11.2.3.2	Vergleich der Anrißspannung $\sigma_{A,mw}$ mit der rechnerischen Mauerwerkzugfestigkeit nach /27/	100

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

6.11.2.4	Mauerwerkdehnung $\varepsilon_{A,mw}$ bei Anrißspannung	101
6.11.2.5	Bereich der Erstrißbildung	102
6.11.2.6	Mitwirkung des Mauerwerks auf Zug zwischen den Rissen	102
6.11.3	Rißbreiten	103
6.11.3.1	Allgemeines	103
6.11.3.2	Rißbreitenmessung mit Rißmaßstäben	103
6.11.3.3	Verformungsmessung mit induktiven Wegaufnehmern im Bereich ausgewählter Stoßfugen	104
6.11.3.4	Vergleich der gemessenen und der theoretisch abgeleiteten Rißbreiten	105
7	KORROSIONSV ERHALTEN VON LAGERFUGENBEWEHRUNG IN MAUERMÖRTEL	105
7.1	Allgemeines	105
7.1.1	Grundsätzliche Möglichkeiten des Korrosionsschutzes der Bewehrung in be- wehrttem Mauerwerk	105
7.1.1.1	Korrosionsschutz durch die hohe Alkalität der zementgebundenen Mauermörtel in Lagerfugen bzw. Füllbetone in Formsteinen	105
7.1.1.1.1	Allgemeines	105
7.1.1.1.2	Karbonatisierungsverhalten von Mauermörteln und Mauersteinen im Vergleich zu Beton	106
7.1.1.2	Korrosionsschutz durch Putze, Anstriche und Beschichtungen auf den bewehr- ten Mauerwerkbauteilen	106
7.1.1.3	Korrosionsschutz durch Beschichten der Bewehrung	107
7.1.1.3.1	Allgemeines	107
7.1.1.3.2	Verzinkung	108
7.1.1.3.3	Epoxidharzbeschichtung	109
7.1.1.3.4	Bituminöse Beschichtung	109
7.1.1.3.5	Zementgebundene Beschichtungssysteme (Mineralische Korrosionsschutzbe- schichtung)	110
7.1.1.3.6	Duplex-Beschichtungen	110
7.2	Tastversuche zum Korrosionsverhalten von Lagerfugenbewehrung in Mauer- mörtel	110
7.2.1	Allgemeines	110

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

7.2.2	Prüfkörper.....	111
7.2.2.1	Verwendete Materialien.....	111
7.2.2.1.1	Mauersteine.....	111
7.2.2.1.2	Mauermörtel.....	111
7.2.2.1.3	Bewehrung.....	111
7.2.3	Prüfkörperherstellung.....	112
7.2.4	Versuchsergebnisse nach einjähriger Auslagerung.....	112
8	ZUSAMMENFASSUNG.....	113
9	NORMEN UND VORSCHRIFTEN.....	116
10	LITERATUR.....	118
	Tabellen.....	A1-A79
	Bilder.....	B1-B80