

**Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke**

**Empfehlungen für die Praxis**

# **Historisches Mauerwerk**

**Untersuchen, Bewerten und  
Instandsetzen**

**Fritz Wenzel, Birger Gigla, Martin Kahle  
und Gerhard Stiesch**

mit Beiträgen von **Ralph Egermann, Gabi Patitz,  
Claudia Neuwald-Burg** und **Ahmad Sabha**

und einer denkmalpflegerischen Bewertung von

**Hannes Eckert**

**Sonderforschungsbereich 315**

**□ Universität Karlsruhe (TH)**

<b>Einführung</b>	1
<b>Untersuchen</b>	3
Bauhistorische Untersuchung	6
Baufaufnahme	6
Kartierungen und Verformungsaufnahmen	7
Risse und Gefügestörungen 7	Materialanomalien, Verformungen 8
Strukturerkundung	9
Radar 10	Geoelektrik, Magnetik 12
Infrarotthermographie, Ultraschall 13	
Mikroseismik 14	Kombinierte Verfahren, Probenentnahme 15
Bestimmung der Materialkennwerte	16
Mechanische Eigenschaften	16
Probenmengen und -entnahmestellen, Steindruckfestigkeit 17	Spaltzugfestigkeit des Steins 18
Druckfestigkeit von Mörtel, Spaltzugfestigkeit von Fugenbohrkernen, Druckfestigkeit einer Zwischenschicht in einem mehrschaligen Mauerquerschnitt 20	Direkte Bestimmung der Druckfestigkeit von Mauerwerk 21
Feuchte	21
Zerstörungsfreie oder -arme Meßmethoden, Probenentnahme und -prüfung 22	
Salze	23
Materialzusammensetzung und -struktur	23
Baugrund und Gründung	23
<b>Bewerten</b>	25
<b>Schadensursachen</b>	27
Schadensentwicklung	28
Rißbilder	28
<b>Gebrauchsfähigkeit</b>	28
Bauphysikalische Anforderungen	29
Wärmeschutz	29
Schall- und Brandschutz	29
Feuchteschutz	29
Dauerhaftigkeit	30
<b>Tragfähigkeit</b>	30
Einwirkungen	31
Nachweisführung, Sicherheitskonzepte	31
Nach DIN 1053	31
Teilsicherheitsbeiwerte	32
Tragsicherheitsnachweis bei einschaligem Mauerwerk	33
Das ›Vereinfachte Berechnungsverfahren‹ der DIN 1053-1	33
Das ›Genauere Berechnungsverfahren‹ der DIN 1053-1	34
Abschätzung des unteren Grenzwertes der Druckfestigkeit von Ziegelmauerwerk	35
Tragsicherheitsnachweis mit Bruchmodellen	35
Ermittlung der Bruchfestigkeit mit elastischen Ansätzen 35	Ermittlung der Bruchfestigkeit mit Teilflächenpressung 36
Ermittlung der Bruchfestigkeit mit kombiniertem Bruchmodell 37	
Tragsicherheitsnachweis nach der Methode der Fugenbohrkerne	37
Tragsicherheitsnachweis durch direkte Bestimmung der Mauerwerksdruckfestigkeit	39
Einfluß der Lastausmittigkeit	39

Tragsicherheitsnachweise bei mehrschaligem Mauerwerk	40
Mauerwerk mit kohäsiver Innenfüllung	41
Tragfähigkeit der Außenschalen 41	
Tragfähigkeit einer mehrschaligen Mauerwerkswand 42	
Mauerwerk mit kohäsionsloser Innenfüllung	42
Einfluß der Lastausmittigkeit	44
<b>Instandsetzen</b>	45
<b>Injizieren, Vernadeln und Vorspannen von altem Mauerwerk aus denkmalpflegerischer Sicht</b>	47
Zum Denkmalwert von Bauten und ihrem Mauerwerk 48	
Zur Bau- und Schadensgeschichte von Mauerwerk 50	
Sechs denkmalpflegerische Konzepte 53	
Injizieren 56	
Vernadeln 58	
Vorspannen 60	
Denkmalgerechte Planung 62	
Denkmalpflegerische Bewertung der Verfahren 64	
Denkmalgerechte Ausführung 66	
<b>Neuverfugung und Rißbehandlung</b>	69
<b>Bohrarbeiten</b>	73
Bohrlöcher für das Injizieren	74
Bohrlöcher für das Vernadeln und Vorspannen	75
Bohrlöcher für Nadelanker 76	
Bohrlöcher für Spannanker 77	
<b>Vernadeln</b>	81
Anwendungsbereiche und Entwurf	82
Nadelherstellung	82
Ankerstab	82
Verpreßgut	85
Ankereinbau	87
Korrosionsschutz	88
Bewehrungsführung	89
Sicherung gerissener Bauteile	89
Sicherung mehrschaligen Mauerwerks	90
Tragfähigkeitssteigerung bei mehrschaligem Mauerwerk	91
Nadelbemessung	92
Bemessungsbeispiele	95
Ankerzugkraft in monolithischem Postaer Sandstein 95	
Instandsetzung von Bruchsteinmauerwerk aus Granit 95	
Abdeckung von Schub und Zug im Ziegelmauerwerk 96	
Beurteilung der Verbundfestigkeit durch In-situ-Versuche	97
<b>Vorspannen</b>	99
Spannanker	100
Werkstoffe	100
Ausführung	100
Bemessungsgrundlagen	104
Vorspannarten	104
Spannpressen	104
Vorspannung mit nachträglichem Verbund	104
Vorspannung ohne Verbund	105
Spanngliedführung	105
Zulässige Spannungen	106

Spannkraftverluste	106
Spannkraftverluste durch thermische Einwirkung	106
Spannkraftverluste durch Kriechen	107
Spontane plastische Verformungen	107
Konstruktive Ribeschrnkung	108
Verankerung und Kraffteinleitungszone	108
Ankerkrper aus Stahlbeton	109
Ankerkrper aus Stahl	110
Teilflchenpressungen rechtwinklig zur Wandebene	110
Teilflchenpressungen parallel zur Lagerfuge	110
Teilflächenpressung senkrecht zur Lagerfuge	111
Abdeckung der Spaltzugkrfte	111
Mindestauflast	111
Endverankerung durch Verbund	113
Stabilitätsfragen	115
<b>Injizieren</b>	117
Kenngren des Mauerwerks	118
Anomalien, Hohlräumanteil 118 Feuchtegehalte, Salzgehalte, Bindemittelart und Bindemittelanteil des alten Mrtels, Mauersteine 119	
Injektionsgut	120
Anforderungen	120
Flexibilität, Verarbeitbarkeit, Injizierbarkeit, Verträglichkeit, Mechanische Eigenschaften, Korrosionsschutz, Beständigkeit 120 Kosten 121	
Bindemittel	121
Portlandzement (PZ), Eisenportlandzement (EPZ) und Hochofenzement (HOZ), Trazement (TrZ) 121 Portlandlschieferzement (PZ), Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zemente), Sonderzemente, Putz- und Mauerbinder, Hochhydraulische Kalke 122	
Zuschläge	123
Zusatzmittel	123
Wasser-Feststoff-Verhältnis	124
Korngefüge des Injektionsgutes	126
Aufbereitung und Transport des Injektionsgutes	126
Verpretechnik	127
Temperatureinfluß	131
Begleitende Maßnahmen	131
Injektionsergebnis	132
Treibmineralbildung und Ausblühungen	133
<b>Planung und Ausführung</b>	137
Tragwerksplanung	137
Objektüberwachung und Dokumentation	139
Bauleitung	139
Nachuntersuchungen	140
Periodische Kontrollen	140
Dokumentation	140
Erfahrungen aus bisherigen Instandsetzungen	141
Bewehrungsführung	141
Sichern lokaler Risse, Verbindung von Außenschalen, Spannanker 142	

Kostenschätzung	143
Kosten der Neuverfugung und Rißbehandlung	143
Kosten der Bohrarbeiten	145
Bohrkosten für reine Injektions- und kurze Nadelankerbohrungen	146
Bohrkosten für zielgerichtete Bohrungen zum Einbau von Spannankern und langen Nadelankern	147
Bohrkosten für Bohrlochaufweitungen.	
Bohrkosten für das Wiederaufbohren zwischenverpreßter Bohrlöcher	148
Kosten der Bewehrung	148
Nadelanker. Spannanker	149
Kosten der Injektionsarbeiten	151
Beispiel 1: Mehrschaliges Mauerwerk mit einem Hohlraumvolumen von 10 %	153
Beispiel 2: Einschaliges Mauerwerk mit einem Hohlraumvolumen von 2,5 %	153
Ausschreibung und Vergabe	155
Besondere Hinweise in den Ausschreibungstexten	156
Beschreibung der Ausführungsarten und -techniken	156
Bohrarbeiten. Injizieren	157
Vernadeln und Vorspannen. Fugenschluß und Rißbehandlung	158
Ausschreibungsverfahren	158
Prüfung und Wertung der Angebote	159
Auftragsvergabe	160
<b>Muster eines Leistungsverzeichnisses</b>	161
1. Baustelleneinrichtungs- und Vorhaltungskosten	161
2. Gerüstarbeiten	162
3. Instandsetzung der Mauerwerkssichtflächen. Fugenschluß und Rißbehandlung	163
4. Bohrarbeiten	168
5. Stemm- und Abbrucharbeiten	174
6. Stahlbeton- und Maurerarbeiten	174
7. Vernadelungs- und Vorspannarbeiten	176
8. Injektionsarbeiten	180
9. Sonstige Arbeiten	183
Zusammenstellung	184
<b>Fallbeispiele</b>	185
<b>Konventgebäude</b>	187
Untersuchungen	188
Einschätzung der Tragfähigkeit	190
Nachweis einschalige Wand aus Ziegel im EG, keine Horizontallasten aus Gewölben	190
Nachweis einschalige Wand aus Ziegel im EG mit Horizontallasten aus Gewölben	191
Nachweis mehrschalige Wand im EG, keine Horizontallasten aus Gewölben	191
Nachweis der Natursteinwand im EG, keine Horizontallasten aus Gewölben	192
<b>Kirchengebäude</b>	195
Untersuchungen	195
Riß- und Schadensaufnahme	195
Gefügeerkundung	196
Baugrunduntersuchungen	198
Schwingungsgutachten	198
Mineralogisches Gutachten	198

Zustandsanalyse und Konzeption der Instandsetzung	198
Kirchenschiff	198
Turm	199
Instandsetzungsplanung	199
Maßnahmen am Kirchenschiff	200
Spannanker	200
Nadelanker in Wandachse	201
Nadelanker senkrecht zur Wandebene am Chor	201
Spaltzugnadeln	201
Vertikale Nadeln an der Mauerkrone	201
Injektionsmaßnahmen	203
Maßnahmen am Turm	204
Massenermittlung und Kostenschätzung	207
Leistungsverzeichnis Vorbemerkungen	229
A. Planungsunterlagen. B. Beschreibung der Baumaßnahme 229	
C. Bauausführung 130	
Leistungsverzeichnis	237
Literatur	259
Abbildungsnachweis	268
Anschrift der Autoren	268
Publikationen des SFB 315	269