

2023

MAUERWERK KALENDER



Instandsetzung

Erdbeben

Lehmbau

Inhaltsverzeichnis

[Cover](#)

[Title Page](#)

[Copyright](#)

[Vorwort](#)

[Autor:innenverzeichnis](#)

[A Normen und Baustoffe](#)

[A 1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von
Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk](#)

[1 Einleitung](#)

[2 Mauersteine](#)

[3 Mauermörtel](#)

[4 Mauermörtel im Mauerwerk](#)

[5 Verbund zwischen Mauerstein und
Mauermörtel](#)

[6 Mauerwerk](#)

[Literatur](#)

[A 2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit
allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung_\(abZ\) bzw.
mit allgemeiner Bauartgenehmigung_\(aBG\).](#)

[0 Allgemeines](#)

[1 Mauerwerk mit Normaloder
Leichtmauermörtel](#)

[2 Mauerwerk mit Dünnbettmörtel](#)

[3 Mauerwerk mit Mittelbettmörtel](#)

[4 Vorgefertigte Wandtafeln](#)

[5 Schalungsstein-Bauarten](#)

6 Trockenmauerwerk

7 Mauerwerk mit PU-Kleber

8 Bewehrtes Mauerwerk

9 Ergänzungsbauteile

10 Fertigbauteile

11 Betonelemente

Literatur

A 3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (Deutsche, Europäische und Internationale Normen) (Stand 25.03.2022).

1 Vorbemerkung

2 Regelwerk

Literatur

B Gestaltung und Konstruktion (Neubau).

B 1 Grundlagen zur Bemessung druckbeanspruchten Lehm-mauerwerks

1 Einleitung

2 Experimentelle Untersuchungen an Lehm-mauerwerk

3 Tragfähigkeit von Lehm-mauerwerk

4 Bemessung druckbeanspruchten Lehm-mauerwerks auf Basis von DIN EN 1996/NA

5 Zusammenfassung und Ausblick

6 Danksagung

Literatur

B 2 Normen im Lehm-bau

1 Einleitung

2 Struktur und bauaufsichtliche Einordnung der Regelwerke im Lehm-bau

3 Ausgewählte Inhalte der Normen zum
Lehmbau

Literatur

B 3 Konservierung von mesopotamischen
Lehmsteinbauten in Uruk (Südirak), der ersten
Metropole der Menschheit

1 Einleitung

2 Kulturhistorischer Hintergrund der
Architekturreste in Uruk

3 Archäologischer Hintergrund

4 Entwicklung und Umsetzung einer
Erhaltungs- und Ausbildungsstrategie

5 Bereits durchgeführte Erhaltungsmaßnahmen

6 Ausblick

7 Danksagung

Literatur

C Konstruktive Details (Bauphysik)

C 1 Erdbebennachweis von Mauerwerksbauten
nach DIN EN 1998-1

1 Einleitung

2 Erdbebeneinwirkung: DIN EN 1998-1/NA

3 Seismisches Verhalten von
Mauerwerksbauten

4 Auslegung mit konstruktiven Regeln

5 Rechenverfahren

6 Berechnungsbeispiele

7 Zusammenfassung

Literatur

C 2 Technische Erweiterung und kulturelle
Bedeutung von Eisenbahngewölbebrücken

1 Erhalt von Gewölbebrücken - eine Verpflichtung

2 Eisenbahn(gewölbe)brücken

3 Konstruktion von Eisenbahngewölbebrücken

4 Typische Schäden bei Gewölbebrücken

5 Generalsanierung

6 Eine nachhaltige Zukunft mit Gewölbebrücken

7 Beispielbauwerke

8 Analyse zur erhöhten Lebenserwartung ausgewählter Gewölbebrücken in und um Leipzig

9 Zusammenfassung

10 Potenzial

Literatur

C 3 Brandschutzbemessung von Mauerwerkskonstruktionen nach Eurocode 6

1 Gesetzliche Grundlagen

2 Brandschutztechnische Anforderungen an die Bauteile

3 Erläuterungen der Begriffe

4 Nachweise im bauaufsichtlichen Verfahren

5 Maßgebende Nachweise bei Mauerwerkskonstruktionen

6 Brandschutztechnische Bemessung von Mauerwerk

7 Zusammenfassung

Literatur

D Mauerwerk im Bestand

D 1 Natur und Denkmal:
Mauerwerksinstandsetzung im Spannungsfeld
zwischen zwei Erhaltungszielen

1 Allgemeines

2 Fallbeispiel: Zitadelle Mainz

Literatur

E Innovationen im Mauerwerksbau

E 1 Digitale Transformation im Bauwesen -
Grundlagen zur künstlichen Intelligenz und deren
Anwendung im Wohnungsbau

Begriffsverzeichnis/Dictionary

1 Einleitung und Motivation

2 Digitale Transformation als Voraussetzung für
den Einsatz von künstlicher Intelligenz - Status
quo und aktuelle Trends im Bauwesen

3 Einführung in die künstliche Intelligenz sowie
das maschinelle und tiefe Lernen

4 Anwendungsbeispiele zum Einsatz von
künstlicher Intelligenz im Wohnungsbau

5 Potenziale und Zukunftstrends von
künstlicher Intelligenz im Mauerwerks- und
Wohnungsbau

6 Fazit und Ausblick

Literatur

F Forschung

F 1 Übersicht über laufende Forschungsvorhaben
im Mauerwerksbau

1 Laufende Forschungsvorhaben

Stichwortverzeichnis

End User License Agreement

List of Illustrations

Chapter 1

Bild 1. Zeitlicher Verlauf der Wasseraufnahme ausgewählter Mauersteine (nach [4]).

Bild 2. Fugendruckfestigkeit $\beta_{F,III}$ bezogen auf die Prismen-Druckfestigkeit β_D ; Prüfalter: 28 Tage (Werte aus [6]).

Bild 3. Bandbreite der Haftscherfestigkeitswerte nach dem DIN-Verfahren (Werte aus [7]).

Bild 4. Bandbreite der Haftscherfestigkeitswerte nach dem EN-Verfahren (Werte aus [7]).

Bild 5. Druckfestigkeit von Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit Normalmauermörtel der Mörtelklasse M5 in Abhängigkeit von der Steindruckfestigkeit

Bild 6. Bandbreite der Biegezugfestigkeitswerte senkrecht zur Lagerfuge (aus [13]).

Chapter 2

Bild 1. ZMK-Planhochlochziegel T/N, Beispiel Lochbild (Z-17.1-1166).

Bild 2. Exemplarische Lochbilddarstellung für eine Steinbreite von 240 mm nach Z-17.11-1226

Bild 3. Isometrische Darstellung (Z-17.12-1233).

Bild 4. Schnitt (Z-17.12-1233).

Bild 5. POROTON-S8-MV-A1, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1234).

Bild 6. UNIPOR WS09 SILVACOR Planziegeln mit Mehrfachzahnung, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1237).

Bild 7. POROTON-T8-A-Planziegel, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1238)

Bild 8. ThermoPlan MZ75 G, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1239)

Bild 9. POROTON-S8-A-Planziegel, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1247)

Bild 10. POROTON-FZ7,5-Objekt, Beispiel Lochbild (Z-17.21-1252)

Chapter 4

Bild 1. a) Formgeschlagener Lehmstein im Normalformat, b) stranggepresster Lehmstein im Format 3DF, c) Lehmmauermörtelprismen M2 und d) M3

Bild 2. Probekörper während der Ermittlung der Verformungskenngrößen; a) NF-Steine, b) 3DF-Steine, c) Mörtelprismen

Bild 3. Auf Standardklimakonditionen bezogene Druckfestigkeiten a) der Steine und b) Mörtel

Bild 4. Mauerwerksprobekörper und Anordnung der Messstrecken für a) NF-Steine und b) 3DF-Steine

Bild 5. Versuchsaufbau der exzentrischen Mauerwerksdruckversuche am Beispiel eines Probekörpers aus 3DF-Steinen; a) gesamter Probekörper in der Prüfmaschine, b) obere sowie c) untere Lasteinleitung mittels Halbwelle

Bild 6. Rissbilder der Mauerwerksprobekörper an Längs- und Stirnseiten für Mauerwerksprobekörper a) und b) aus 3DF-Steinen sowie c) und d) aus NF-Steinen

Bild 7. Spannungs-Dehnungs-Beziehungen der Mauerwerksprobekörper aus a) NF-Steinen und b) 3DF-Steinen, in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte

Bild 8. Auf Standardklimakonditionen bezogene a) Druckfestigkeiten und b) Elastizitätsmoduln der Mauerwerksprobekörper

Bild 9. Typisches Bruchbild eines Mauerwerksprobekörpers aus 3DF-Steinen nach Prüfung bei $e = t/4$; a) Biegezugseite mit horizontalem Riss in der Lagerfuge, b) Stirnseite mit sichtbar klaffender Fuge und c) Biegedruckseite mit großflächigen Abplatzungen der Steine im mittleren Probekörperbereich

Bild 10. Last-Verformungs-Diagramme der exzentrisch belasteten Mauerwerksprobekörper in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte und der Lastexzentrizität

Bild 11. Auf Standardklimakonditionen bezogene Normalkrafttragfähigkeit in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte

Bild 12. Verlauf der Kriechdehnungen von Lehmsteinmauerwerk aus NF-Steinen und 3DF-Steinen bei 23 °C und 50 % RLF

Bild 13. a) Geschosshoher Wandprüfkörper nach Einbau in die Prüfmaschine und b) Skizze des Versuchsaufbaus der zentrischen und exzentrischen Versuche mit Messtreckenordnung

Bild 14. Klimaverhältnisse ab Herstellung der geschosshohen Lehm-mauerwerkswände bis zur letzten Prüfung mit Eintrag der Prüfzeitpunkte gemäß Tabelle 7

Bild 15. Exemplarische Darstellung der Verformungen quer zur Wandebene für zwei zentrisch belastete und eine exzentrisch belastete Lehmmauerwerkswand

Bild 16. Wandprüfkörper ($t = 24 \text{ cm}$) nach Versuchsende; a) vertikale Risse und Abplatzungen nach zentrischer Prüfung b) sowie Verformungsfigur und c) klaffender Riss in der mittleren Lagerfuge, nach exzentrischer Prüfung

Bild 17. Qualitativer Verlauf einer nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung nach dem Materialmodell gemäß Gl. (1) aus DIN EN 1992-1-1 [26]

Bild 18. Approximation der experimentell ermittelten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Lehmmauerwerk mithilfe des gewählten Materialmodells

Bild 19. Vorder- und Seitenansicht sowie Isometrie des numerischen Modells eines RILEM-Prüfkörpers mit normalformatigen Lehmsteinen

Bild 20. Diskretisierung des Finite-Elemente-Modells

Bild 21. Gegenüberstellung der bei verschiedenen Lastexzentrizitäten und Konditionierungsklimata experimentell, numerisch und analytisch ermittelten Traglastfaktoren für die RILEM-Prüfkörper

Bild 22. Gegenüberstellung der für verschiedene Lastexzentrizitäten experimentell, numerisch und analytisch ermittelten Traglasten geschosshoher Lehmmauerwerkswände

Bild 23. Gegenüberstellung der numerisch und analytisch ermittelten Tragfähigkeit druckbeanspruchten Lehm-mauerwerks für verschiedene Lastexzentrizitäten und Wandschlankheiten

Bild 24. Gegenüberstellung des Traglastfaktors in Wandhöhenmitte gemäß DIN EN 1996-3/NA [17] mit der analytisch ermittelten Systemtragfähigkeit von Lehm-mauerwerk

Chapter 5

Bild 1. Im feuchtegeschützten Bereich können Lehm-baustoffe konventionelle Baustoffe ersetzen und sorgen nebenbei für ein hervorragendes Raumklima (© ZRS Ingenieure, Christof Ziegert)

Bild 2. Dynamische Luftfeuchtesorption (Antwortspektrum bei einer Erhöhung der RLF von 50 % auf 80 %) von Lehmputzen im Vergleich zu anderen Putzen und der für Lehmputz normativ in DIN 18947 festgelegten Einteilung in Wasserdampfsorptionsklassen WS I bis III (© ZRS Ingenieure, Grafik: Julian Reisenberger)

Bild 3. Hochwertige Lehmputzoberflächen in einem Wellnessstudio, bestehend aus braunem Lehmunterputz und einem farbigen Lehmfeinputz als Oberflächenfinish (© Foto: Claytec, Yongjoon Choi)

Bild 4. Vergleich des Gesamtenergieeinsatzes PET von Kalk-Zement- und Gipsputz mit dem ÖKOBAUDAT-Wert für Lehmputz allgemein. Rechts daneben die nach den UPDs berechneten Werte für Lehmputzmörtel (LPM) verschiedener Liefer- und Herstellungs- und Trocknungsarten [2]

Bild 5. Druck- und Biegezugfestigkeiten (jeweils linke und rechte Säule des Säulenpaares) von Lehmputzmörtel (Ori) im Vergleich zu mit Zusatzmitteln verschiedener Anteile (M.-%) modifizierten Lehmputzmörteln. Hierin bedeuten: CA = Gips, CE = Zement, CM = Methylzellulose, FP = Stärke, MC = Polymerdispersion, NH = Natürlich hydraulischer Kalk, WK = Weißkalkhydrat) [3]. CE 12, 15 und 17 zeigt bei diesen hohen Zementanteilen höhere Werte als der Ausgangslehmputz. Jedoch würden bei Verwendung von Bausand statt Baulehm noch wesentlich höhere Festigkeitswerte erreicht.

Bild 6. Abnahme der Wasserdampfadsorptionsfähigkeit aufgrund von Zusätzen (Ori = reiner Lehmputzmörtel, Zusatzmittelbezeichnungen siehe BU Bild 5) [3]

Bild 7. Die meisten Lehmsteine werden heute im Bereich der Sanierung von Sichtfachwerk (Anwendungsklasse Ia) eingesetzt (© ZRS Ingenieure, Christof Ziegert)

Bild 8. Mithilfe einer dünnen Grundierungslage kann Lehmputz direkt verfließt werden (© ZRS Ingenieure, Christof Ziegert)

Bild 9. Lehmplatten werden heute auch bei öffentlichen Bauvorhaben eingesetzt (© Claytec)

Chapter 6

Bild 1. Uruk, Rekonstruktion der Lehmstein-Monumentalbauten des Eanna-Bezirks mit Eanna-Zikkurat und Hofstrukturen (© artefacts-berlin.de; wissenschaftliches Material: Deutsches Archäologisches Institut, DAI)

Bild 2. a) Die Eanna-Zikkurat war der Göttin Inanna/Ishtar gewidmet und bestand gemäß der dokumentierten Geometrie und der vorgefundenen Lehmsteinabmessung aus ca. 11,5 Millionen Lehmsteinen. Die Rekonstruktion zeigt sie Ende des 3. Jahrtausends v. Chr. (© artefacts-berlin.de; wissenschaftliches Material: DAI); b) Zustand der Eanna-Zikkurat im Jahr 2016 in gleicher Blickrichtung wie Bild 2a. Der Hochtempel war bei den Ausgrabungsarbeiten in den 1910er-Jahren nicht mehr erhalten gewesen (© ZRSI, C. Ziegert).

Bild 3. Rekonstruktion des Stadtzentrums von Uruk in der Seleukidenzeit mit Eanna-Zikkurat im NO, Irigal im S, Anu-Zikkurat im SW und daran angrenzend Bit Resch im NW (© artefacts-berlin.de; wissenschaftliches Material: DAI).

Bild 4. Die Lorenbahn a) während den Ausgrabungsarbeiten (1923) (© DAI) und b) während des Wiederaufbaus für den Materialtransport der Konservierungsarbeiten im Jahr 2018 (© ZRSI, J. Blaschek).

Bild 5. Eanna-Zikkurat a) im Ausgrabungszustand der 1920er-Jahre (© DAI Foto W853) und b) vor der Umsetzung der Notsicherungsmaßnahmen an der Westecke in 2018 (© ZRSI, C. Ziegert).

Bild 6. a) Detail Bitumenmörtel im Terrassenbereich der Höfe des Eanna-Bezirks. Böden und Sockelmauerwerk wurden in Uruk bei zahlreichen Gebäuden mit Bitumenmörtel abgedichtet (© ZRSI, C. Ziegert). b) Reste der östlichen Seitentreppe der Eanna-Zikkurat aus Ziegeln und Bitumenmörtel (© ZRSI, J. Blaschek).

Bild 7. Eanna-Zikkurat; a) Westecke vor den Notsicherungsarbeiten (© ZRSI, J. Blaschek) und b) unverwittertes Stroh im Lehmmauermörtel des ca. 4300 Jahre alten bestehenden Lehmsteinmauerwerks (© ZRSI, C. Ziegert).

Bild 8. a) Originallehmstein an der Westecke der Eanna-Zikkurat und b) in Uruk hergestellter Konservierungslehmstein für Eanna-Zikkurat, Westecke mit den Abmessungen 24/16/8 cm (© ZRSI, J. Blaschek)

Bild 9. a) Lehmsteinproduktion für Eanna-Zikkurat im Handstrichverfahren direkt vor Ort auf dem Grabungsgelände. b) Die Lehmsteine wurden „auf Lücke“ gestapelt, um eine vollständige Trocknung zu gewährleisten. (© ZRSI, C. Ziegert).

Bild 10. Druckfestigkeit des Originallehmsteins 16106_34 verglichen mit Lehmsteinrezeptur 16106_CM5 und vor Ort produziertem Lehmstein 16106_54

Bild 11. Durchführung der Notsicherung an der Eanna-Westecke im Herbst 2018. Es wurden ca. 10 m³ Lehmsteinmauerwerk binnen nur zwei Wochen verbaut in bis zu 4 m hohen Überhängen (© ZRSI C. Ziegert und J. Blaschek).

Bild 12. Fertigstellung der Westecke nach Hinterspritzung von Senkungsrisen mit dünnem Lehmmauermörtel unter Verwendung von Zellulose als temporäres Abdichtungsmittel (© ZRSI, J. Blaschek)

Bild 13. a) Rekonstruktion der Anu-Zikkurat mit dem sog. Weißen Tempel, ca. 3500 v. Chr. und b) Schnitt durch die Zentralhalle mit Ansicht der NNO-Zentralhallenwand mit den drei

gegenständlichen Mauerpfeilern mit Pfeilervorlagen (© artefacts-berlin.de; wissenschaftliches Material: DAI)

Bild 14. a) Spuren der ersten Lehmsteinschicht der SSW-Außenwand des Weißen Tempels, eingelassen in Bitumenmörtel, ca. 3500 v. Chr. in 2017 (© ZRSI, J. Blaschek) und b) ältere Asphaltsschichten der Anu-Zikkurat in 2016 (© ZRSI, C. Ziegert)

Bild 15. a) Ausgrabungszustand des Weißen Tempels in der Kampagne 1935/36 (© DAI, W003677) und b) während der Durchführung der ersten Notsicherungsmaßnahmen im Herbst 2021 (© ZRSI, J. Blaschek)

Bild 16. a) Ausgrabungszustand der NNO-Zentralhallenwand des Weißen Tempels vor den Ausgrabungsarbeiten hinunter zum Gebäude D/E, Kampagne 1935/36 (© DAI, W003651D) und b) Zustand der NNO-Zentralhallenwand mit den drei Befunden B4, B6 und B8 (v.l.n.r.) im Jahr 2021 (© ZRSI, R. Fanton), beide Abbildungen in OSO-Blickrichtung

Bild 17. Grundriss des Weißen Tempels (in Grau) mit darunterliegendem Gebäude D/E (in Dunkelrot). Die Befunde B4, B6 und B8 bilden die Eingangsbereiche der Räume 2 bis 5. Die hellrote Markierung verdeutlicht das Ausmaß der Ausgrabungsarbeiten der 1930er-Jahre im Innenbereich des Weißen Tempels, wie auch im Außenbereich an der OSO-Seite und der SSW-Seite. Inwiefern die gegenständlichen Befunde tatsächlich in diesem Ausmaß betroffen waren, wird sich bei der Fortsetzung der Notsicherungsarbeiten im Herbst 2022 zeigen. (© [4], Abb. 201)

Bild 18. a) Minimalinvasive Untersuchung zur Einschätzung der Krustendicke und der losen Schichten bis zum soliden Kern mithilfe eines 2 mm dicken Rundstabs, b) Kartierung der Krustendicke sowie der losen Schichten am Beispiel B4 (© ZRSI, J. Blaschek).

Bild 19. Ionenchromatographische Bestimmung der Salzkontaminierung am Tiefenprofil im SSW-Flügel des Weißen Tempels: Oberflächenprobe (16106_26) bis zum soliden Mauerwerkskern (16106_30), FH Potsdam

Bild 20. Ergebnisse der Tonmineralanalyse (XRD) mit geringer Probenmenge vom Originallehmstein 16106_30 im Vergleich mit Konservierungslehmstein 16106_53 (© ARCHEA Warschau, Małgorzata Daszkiewicz und Grzegorz Kapron´).

Bild 21. In Uruk produzierter Lehmstein 16106_53 zur Notkonservierung der Reste der NNO-Zentralhallenwand des Weißen Tempels mit den gemittelten dokumentierten Abmessungen lt. [4] mit 26/12,5/7 cm (© ZRSI, J. Blaschek).

Bild 22. Prinzipiskizze der Ummantelung der Originalbefunde (in Dunkelbraun bzw. Dunkelgrün) mit Lehmsteinmauerwerk (in Hellbraun bzw. Gelb) mit Varianten der Kubaturen und Anschlüsse an Querwände je nach vorherrschender Befundlage

Bild 23. Schnittdarstellung mit Wirkungsprinzip der Entsalzung durch Ummantelung der soliden Kerne (in Dunkelgrün) mit Lehmsteinmauerwerk (in Gelb) und Restauration der Asphaltsschicht im Randbereich der Befunde (in Rot).

Bild 24. a) Dokumentierter Mauerwerksverband von B4 des Ausgräbers Heinrich (© [4] Abb. 213),
b) dessen 3D-Darstellung mit
übereinanderliegenden Stoßfugen und c)
Prinzipskizze der Einlage von Geogitterstreifen

Bild 25. a) Vergleich des Ausgrabungszustands des
Weißes Tempels (in Weiß) mit Befundlage aus dem
Jahr 2017 mit Erosionsbild nach fast 90 Jahren
offener Bewitterung sowie b) mit hypothetischer
Annahme des Notsicherungsmauerwerks für die
Befunde B4, B6 und B8; mit Darstellung der
originalen Sockelterrasse in Gelb (© ZRSI, J.
Blaschek, © SFM-Modell Anu-Zikkurat M. Haibt,
DAI)

Bild 26. Die Reste der originalen Asphaltsschicht
dienten als Richtschnur für die Oberkante des
konsolidierenden Mauerwerks im
Fundamentbereich der Pfeilerreste B4, B6 und B8
(© ZRSI, J. Blaschek, © SFM-Modell + Orthobilder
M. Issa (DAI), bearbeitet)

Bild 27. a) Konsolidierungsmaßnahme im
Fundamentbereich von B4; a) drei von vier
Pfeilervorlagen sind in Resten erhalten, b)
Anschlussbereich an die Querwand des NNO-
Flügels von B4 mit Resten der originalen
Asphaltsschicht mit darüberliegenden originalen
Lehmputzresten inkl. Kalkanstrichfragmenten (©
ZRSI, J. Blaschek)

Bild 28. a) Fertigstellung des notsichernden
Lehmsteinmauerwerks im Fundamentbereich von
B4, B6 und in Teilen bei B8 (v.l.n.r.), b) Ansicht
Richtung Süden mit Blick auf die kleinteilige
Raumstruktur des NNO-Flügels mit Raum 2 im
Vordergrund (© ZRSI, J. Blaschek)

Bild 29. a) Abdeckung der grob geputzten Flächen an Befund B4 mit Baumwolltuch und Strohhempackung, b) abschließende Wiederauffüllung bzw. Ausbildung eines Erosionskegels an allen drei Befunden (© ZRSI, J. Blaschek)

Bild 30. Draufsicht nach der Konsolidierungsmaßnahme der Fundamentbereiche der Befunde B4, B6 und in Teilen B8 (v.l.n.r.). Die linke obere Bildecke zeigt nach Norden. (© SFM-Modell + Orthobilder M. Issa (DAI))

Chapter 7

Bild 1. Räumliche Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich S_{aPR} für eine Wiederkehrperiode von $T_{NCR} = 475$ Jahre [3]

Bild 2. Schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen im Bereich der Grenzlinie von $S_{aPR} = 0,6 \text{ m/s}^2$. [3]

Bild 3. Horizontales Bemessungsspektrum nach DIN EN 1998/NA [3]

Bild 4. Abfrage der spektralen Antwortbeschleunigung für die Stadt Aachen [10]

Bild 5. Versagensformen und Last-Verformungskurven von tragenden Mauerwerkswänden [11, 12]

Bild 6. Untersuchte unbewehrte Mauerwerksgebäude in der Emilia Romagna

Bild 7. Momentenverteilungsfaktor Ψ zur Beschreibung der Deckeneinspannung

Bild 8. Wand-Decken-Interaktion in einem viergeschossigen Mehrfamilienhaus

Bild 9. Qualitative Momentenverläufe in den Wandscheiben W1-W5

Bild 10. Einspanngrade in Abhängigkeit von Wandlänge und Stockwerksanzahl [22]

Bild 11. Verformungsverhalten mit Wand-Decken-Interaktionen im Erdgeschoss des Mehrfamilienhauses für Vertikallasten und Erdbebeneinwirkung in Längsrichtung

Bild 12. Abstand der Momentennullpunkte für eine Innen- und Außenwand

Bild 13. Abstand der Momentennullpunkte für Innen- und Außenwände

Bild 14. Vereinfachtes Ersatzmodell für eine zweigeschossige Mauerwerkswand

Bild 15. Schäden an inneren Trennwänden aus Mauerwerk durch a) ein Versagen senkrecht zur Wand und b) durch Horizontallasten in Wandebene [34]

Bild 16. Starrkörpermodell mit Ausbildung der Druckstrebenkraft

Bild 17. Großflächige Schäden an Mauerwerksaußenschalen aufgrund von unzureichender Verankerung [41]

Bild 18. Verteilung der Gesamterdbebenkraft F_b über die Bauwerkshöhe; a) affin zur 1. Eigenform und b) höhenproportional

Bild 19. a) Schwingform in Längsrichtung und b) 2. Schwingform in Querrichtung

Bild 20. Ermittlung der Zielverschiebung mittels gedämpfter Spektren [11, 12]

Bild 21. Nichtlineare verformungsgesteuerte iterative Berechnung der Kapazitätskurve von Mauerwerkswänden

Bild 22. Ermittlung des Verhaltensbeiwertes q_D [51]

Bild 23. Ermittlung der Verhaltensbeiwerte q_R und q_S . [51]

Bild 24. Grundriss des Reihenhauses

Bild 25. Schnitt A-A des Reihenhauses

Bild 26. Grundriss des Mehrfamilienhauses mit Wandlängen

Bild 27. Bemessungsspektren, Untergrundkombination C-S, $q = 1,7$

Bild 28. 3D-Modell und dynamisches Ersatzsystem

Bild 29. Lasteinzugsflächen der Einzelwände

Bild 30. Grundriss des untersuchten dreigeschossigen Mehrfamilienhauses

Bild 31. Modell des dreigeschossigen Mehrfamilienhauses aus Kalksandstein

Bild 32. Momentenverteilungen der Wandscheiben 3 und 15

Bild 33. Versagende Wandscheiben (rot) für a) $q = 1,5$: Kragarmmodell und b) Modell mit Rahmentragwirkung nach Bild 32

Bild 34. Grafische Ermittlung der Verhaltensbeiwerte q_R und q_D für das Mehrfamilienhaus aus Kalksandsteinen

Chapter 8

Bild 1. Regionale Entwicklung der in den nächsten zehn Jahren zu sanierenden Gewölbebrücken (LuFV III, Stand 2021, DB Netz AG)

Bild 2. Auswertung aller Gewölbe anhand lichter Weiten und Gewölbebogenanzahl (DB Netz AG), Foto mit ältester Gewölbebrücke der DB Netz AG bei Kornhain aus dem Jahr 1838

Bild 3. Altersstruktur der Eisenbahnbrücken in Deutschland (Stand 2020)

Bild 4. Entfernung einer Gewölbebrücke und Einschub eines Rahmenbauwerks

Bild 5. Anteil der Gewölbebrücken am Gesamtbestand (Stand 2020)

Bild 6. Anzahl der Bücken, verteilt nach jeweiliger Bogenanzahl (Stand 2020)

Bild 7. Leipziger Schienenwege; a) 1897 und b) heute (eigene Bearbeitung, nach [17])

Bild 8. Verteilung der Baukonstruktion nach Baujahr im Stadtgebiet von Leipzig (Stand 2020)

Bild 9. Echtes und unechtes Gewölbe nach [20]

Bild 10. Kragsteingewölbe nach [19]

Bild 11. Vom Steinbalken zum Gewölbe nach [19]

Bild 12. Typische Gewölbeformen im Brückenbau nach [22]

Bild 13. Darstellung und Aufbau eines Eisenbahngewölbebogens nach [25]

Bild 14. Widerlagerausbildung nach [26]

Bild 15. EÜ Preußenstraße auf der Strecke 2610 von Osterath nach Dortmund Süd im Bahnkilometer 34,627 mit Ausbildung eines Granit-Kämpferbands

Bild 16. Verbandsarten für Mauerwerk nach [29]

Bild 17. Preußischer Lastenzug A von 1901 nach [7]

Bild 18. Lastenzug N der Deutschen Reichsbahngesellschaft nach [37]

Bild 19. Lastenzug S von 1950 [36]

Bild 20. Lastmodell 71 nach [38]

Bild 21. Lastmodell SW/0 und SW/2 nach [38]

Bild 22. Entwicklung der maximalen Belastungen nach [7]

Bild 23. Prozentuale Anteile weiterer Bauwerkselemente am Gesamttragverhalten einer Gewölbebrücke nach [43]

Bild 24. Schadensbilder einer Gewölbebrücke

Bild 25. Untersuchungsbereiche Schöninger Straße

Bild 26. Bohrprofile UB1 bis UB5 im Querschnitt der Schöninger Straße

Bild 27. Bohrkernaufschluss im UB 5

Bild 28. Detaillierter Längsschnitt mit Schichtenaufbau EÜ Schöninger Straße

Bild 29. EÜ Werratalbrücke, Str. 6311, km 49,622

Bild 30. EÜ Sebnitzbachbrücke, Str. 6261, km 56,4

Bild 31. EÜ Salzabrücke Str. 6296, km 21,890

Bild 32. EÜ „Forstweg/Katzgrundbach“ Str. 6311, km 4,991 (Quelle: D. Schuster)

Bild 33. EÜ Dessauer Straße, Str. 2521, km 0,538

Bild 34. Auswirkung der Kappengestaltung auf die Gesamtansicht von Gewölbebrücken [54]

Bild 35. a) Ersatzneubau, b) Teilerneuerung, c) Fahrbahnwanne (Quelle: N. Weitendorf)

Bild 36. Kostenverlauf Vollerneuerung zu Teilerneuerung (Quelle: Beschorner, Tsvyatкова)

Bild 37. Verortung der Beispielbauwerke im Streckennetz der Deutschen Bahn (eigene Bearbeitung, nach [17])

Bild 38. Steckbrief EÜ Kornhain B6, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 39. Doppelte Strebepfeiler mit über 2 m Stärke, nach DB AG, o. M.

Bild 40. Verstärkungsanker im Flügelwandbereich, nach DB AG

Bild 41. Zielführende Ertüchtigung in den Hinterfüllbereichen mit verankerter Fahrbahnplatte, nach DB AG, o. M.

Bild 42. Steckbrief EÜ Pleißebrücke, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 43. Die Pleißebrücke ohne Fahrbahnwanne 1940 (Foto: SLUB Dresden/Deutsche Fotothek/Arno Ackermann)

Bild 44. Ausbildung a) Gelenk im Scheitelbereich, b) Gelenk im Kämpferbereich, c) Detail der Fuge im Kämpfer ca. 1 cm entkoppelt

Bild 45. Konsole als Fertigteil mit Rückverankerung im Bestand, nach DB AG, o. M.

Bild 46. Detail Abdichtung Anschluss von Abdeckplatte zu Fahrbahnwanne, nach DB AG, o. M.

Bild 47. Verankerter Widerlagerbereich, nach DB AG, o. M.

Bild 48. Steckbrief Viadukt Luppe, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 49. Ertüchtigung im Jahr 1981 mit Halbfertigteilschale auf der Ostseite des Gewölbes, nach DB AG, o. M.

Bild 50. Ertüchtigung in den Unterbauten im Zuge des Fahrbahnplattenausbaus im Jahr 1992/93, nach DB AG, o. M.

Bild 51. Steckbrief EÜ Karl-Heine-Kanal, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 52. a) Randöffnung mit 5 m lichter Weite, b) Detail der Verstärkung – Injektionspunkte (runde graue Punkte im Sandstein)

Bild 53. Anschluss Fahrbahnplatte 2. BA mit Anschlussbewehrung, nach DB AG, o. M.

Bild 54. Lagerung der Fahrbahnplatte im Stirnwandbereich, nach DB AG, o. M.

Bild 55. Steckbrief EÜ An der Parthe, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 56. Bogen bindet mit Kämpfer in Werkstein ein

Bild 57. Werkstein, speziell auf die Schiefwinkligkeit des Gewölbes angepasst

Bild 58. Isolier- und Flachsichten auf dem Gewölbebrücken, Stand 1903, nach DB AG, o. M.

Bild 59. Ausbildung eines Stahlbetonstirnrings auf einer Breite von 60 cm, nach DB AG, o. M.

Bild 60. Spundwand hinter Widerlager, nach DB AG, o. M.

Bild 61. Riegel aus Fahrbahnplatte bindet in Spundwand ein, nach DB AG, o. M.

Bild 62. Steckbrief EÜ Parthe, Planmaterial nach DB AG, o. M.

Bild 63. Zusätzliche Rückenabdichtung im Jahr 1977, nach DB AG, o. M.

Bild 64. Verankerungs- und Vernadelungsbereiche im Stirnring und im Stirnwandbereich, nach DB AG, o. M.

Bild 65. Grundriss der Verankerungs- und Vernadelungsbereiche, nach DB AG, o. M.

Bild 66. Fahrbahnplatte mit Endquerträger, Filtersteinen und Grundrohr, nach DB AG, o. M.

Bild 67. Installation des Stahlbetoninnengewölbes mit neuem Widerlagerpunkt, nach DB AG, o. M.

Bild 68. Gesamtablauf zum erfolgreichen Gewölbeerhalt als Teilerneuerung

Bild 69. Vereinfachte Berechnung mit Fahrbahnplatte

Bild 70. 3D-FE-Modellierung mit Boden-Bauwerks-Interaktion, nach *Bretschneider* [72]

Chapter 9

Bild 1. Ablaufschema der Übersetzung einer bauaufsichtlichen Anforderung in eine konkrete

Feuerwiderstandsklasse

Bild 2. Leistungseigenschaft mit direktem Bezug auf das Produkt

Bild 3. Leistungseigenschaft Feuerwiderstand kann nur durch zusammenfügen der Produkte erreicht werden

Bild 4. Raumabschließendes Bauteil mit gleichwertigem Abschluss

Bild 5. Nichtraumabschließender Wandabschnitt, der als raumabschließend gilt

Bild 6. Mehrseitige Brandbeanspruchung bei Außenwandscheiben

Chapter 10

Bild 1. Typischer dreiteiliger Aufbau eines historischen Mauerquerschnitts mit Füllmauerwerk im Kern, hier am teilzerstörten Bergfried der Burgruine Wachtenburg bei Bad Dürkheim

Bild 2. Gestaffelte Folge von Stützmauern/Festungsmauern als Teil der Kulturlandschaft, hier am Rheinhang der Festung Ehrenbreitstein (Koblenz)

Bild 3. Natürlicher Zerfallsprozess an historischem Mauerwerk ohne Baupflege

Bild 4. Schadensmechanismus an historischen (Stütz-)mauern mit unsachgemäßer Neuverfugung mit diffusionsdichtem Mörtel. a) Angenommene Ausgangssituation. Diffusionsoffenes, intaktes Mauergefüge. Eindringende Feuchte kann ablüften und reichert sich nicht im Mauerquerschnitt an. b) Sukzessive Durchfeuchtung der Mauer bei Primärschädigung infolge mangelnder Baupflege.

- Stadtmauer [263](#)

Wasserdampfadsorptionsfähigkeit

- Lehmputzmörtel [116](#)

Weißer Tempel

- Ausgrabungszustand 1935/36 [141](#)

- Ausgrabungszustand 2017 [147](#)

- geplante Notsicherungsmaßnahmen [150](#)

- Grundriss [142](#)

- Konservierungsmaterialien [142](#)

- Rekonstruktion [139](#)

- Sockelterrasse [147](#)

Weltkulturerbe

- Uruk [129](#)

Werkstein

- EÜ An der Parthe [231](#)

Widerlager

- Schäden [208](#)

Widerlagerausbildung [202](#)

Widerlagerbereich

- EÜ Pleißebrücke [225](#)

Widerstand gegen mechanische

Beanspruchung

- eines Bauteils [246](#)

Wildbienen

- in Natursteinmauern [262](#)

- Mauersanierung Zitadelle Mainz [272](#)

Wirbellose

- in Natursteinmauern [262](#), [267](#)

Wirbeltiere

- in Natursteinmauern [262](#), [267](#)

Wohnungsgrundrisse

- Entwurf mit House-GAN++ [295](#)

Wurzeleinwuchs

- bei Natursteinmauern [265](#)

X

XGBoost-Prädiktion

- KI-Ersatzmodell-Kalibrierung [298](#)

Z

Z-17.1-1166 [20](#), [22](#)

Z-17.4-1246 [48](#)

Z-17.5-1229 [56](#)

Z-17.11-1226 [22](#)

Z-17.11-1230 [24](#)

Z-17.11-1231 [26](#)

Z-17.11-1232 [27](#)

Z-17.11-1235 [29](#)

Z-17.11-1236 [29](#)

Z-17.11-1243 [50](#)

Z-17.12-1233 [31](#)

Z-17.21-1228 [52](#)

Z-17.21-1234 [33](#)

Z-17.21-1237 [34](#)

Z-17.21-1238 [36](#)

Z-17.21-1239 [37](#)

Z-17.21-1241 [39](#)

Z-17.21-1242 [54](#)

Z-17.21-1244 [41](#)

Z-17.21-1247 [42](#)

Z-17.21-1252 [44](#)

Z-17.23-1204 [45](#)

zentrische Druckversuche

- RILEM-Mauerwerksprüfkörper [88](#)

zentrische und doppelt-exzentrische Wanddruckversuche

- Datenerhebung [332](#)

Zerfallsprozess

- an historischem Mauerwerk [260](#)

Ziegelmauerwerk

- gipshaltiges [317](#)

- wärmedämmendes [315](#)

Zielverschiebung

- Ermittlung [173](#)

Zitadelle Mainz [265](#)

- Fallbeispiel für Denkmal- und Naturschutz bei
Natursteinmauern [269](#)

- ökologische Mauersanierung [270](#)

- ortsfester Besatz [270](#)

ZK (Zustandskategorien)

- von Brücken [209](#)

ZMK *siehe* Planhochlochziegel Zug-Elastizitätsmodul

- Mauersteine [15](#)

Zugfestigkeit

- Mauermörtel [6](#)

- Mauerwerk [11](#)

- parallel zu Lagerfugen [12](#)

Zustandskategorien (ZK)

- von Brücken [209](#)

zweiseitig gehaltene Lehm-mauerwerkswände

- Knicklängenbeiwert [107](#)