

2026

MAUERWERK KALENDER



Nachhaltigkeit und
Bestandserhaltung

2026

MAUERWERK KALENDER

Nachhaltigkeit und
Bestandserhaltung

Herausgegeben von
Detteff Schermer, Regensburg
Eric Brehm, Karlsruhe

51. Jahrgang

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser, wir freuen uns sehr, Ihnen die neueste Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders vorlegen zu dürfen. Die letztjährige Ausgabe des Mauerwerk-Kalenders beschäftigte sich im Schwerpunkt mit dem Nachhaltigen Bauen. Auch dieses Mal ist das Nachhaltige Bauen, insbesondere das klimaeffiziente Bauen, wieder ein Fokus. Dies liegt in der Natur der Sache – der Klimawandel und seine Folgen sind das wichtigste Thema unserer Zeit. Daher wird dieses Thema auch in den zukünftigen Ausgaben ein fester Bestandteil des Inhalts bleiben. Zum Nachhaltigen Bauen gehört auch der Erhalt unserer gebauten Infrastruktur. Die Beiträge von Pelka et al. sowie Schlegel und Kunz befassen sich mit dem Erhalt von gemauerten Brücken und liefern wertvolle Informationen für die Bewertung ihrer Standsicherheit sowie Lösungsansätze zur Verstärkung. Der Mauerwerk-Kalender ist das etablierte Nachschlage- und Referenzwerk für alle die erfolgreiche Bauweise Mauerwerk betreffenden Themen, und dies immer vor allem für die Praxis. Aus diesem Grund ist auch das Thema Befestigungen eines der wiederkehrenden, gesetzten Schwerpunkte. Die Beiträge von Küenzlen, Bügler und Scheller sowie von Scheller, Küenzlen und Becker geben anschaulich den Stand der Technik zur Verankerung von Fassadengerüsten sowie zu Befestigungen in der Fensterlaibung mithilfe von Abstandsmontageschrauben wieder. Ergänzt wird diese Ausgabe durch Beiträge, die die Gebäudehülle und Fassade behandeln. Im Beitrag

von Vaupel und Häußler wird die Herstellung und Anwendung von hinterlüfteten Fassaden mit Keramikelementen erläutert, während sich der Beitrag von Nisse mit der Fassadengestaltung durch Riemchen und Sparverblender befasst.

Des Weiteren dokumentiert auch dieser Mauerwerk-Kalender als Jahrbuch wieder den aktuellen Stand der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und Bauartgenehmigungen sowie laufende Forschungsprojekte. Aktuelle normative Entwicklungen werden zudem anschaulich dargelegt.

Wir sind überzeugt, ein spannendes und interessantes Jahrbuch gestaltet zu haben, das insbesondere den Praktikern, aber auch den mehr forschungsaffinen Leserinnen und Lesern eine bereichernde Lektüre bietet. Unser herzlicher Dank gilt allen Mitwirkenden an diesem Band, insbesondere wieder Dr.-Ing. Dirk Jesse von Ernst & Sohn, für die große Unterstützung. Wir wünschen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, eine ansprechende Lektüre und hoffen, dass die Ausgabe Ihnen neue Impulse für Ihre Herangehensweise an die Lösung der kommenden Fragestellungen liefert. Packen wir's an.

Herzliche Grüße

Darmstadt und Regensburg im August 2025,

Prof. Dr.-Ing. Eric Brehm
Prof. Dr.-Ing. Detleff Schermer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XV

A Normen und Baustoffe 1

A1 Eigenschaften und Eigenschaftswerte von Mauersteinen, Mauermörtel und Mauerwerk 1
Ulf Schmidt

1	Einleitung	3	4.1	Allgemeines	10
2	Mauersteine	3	4.2	Haftscherfestigkeit	10
2.1	Festigkeitseigenschaften	3	4.3	Haftzug- und Biegehaftzugfestigkeit	13
2.1.1	Druckfestigkeit in Richtung Steinhöhe	3	5	Mauerwerk	13
2.1.2	Druckfestigkeit in Richtung Steinlänge und Steinbreite	3	5.1	Allgemeines	13
2.1.3	Zug-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeit	4	5.2	Druckbeanspruchung senkrecht zur Lagerfuge	13
2.2	Verformungseigenschaften	5	5.2.1	Druckfestigkeit	13
2.2.1	Elastizitätsmodul	5	5.2.2	Verformungseigenschaften	15
2.2.2	Querdehnungsmodul, Querdehnzahl	5	5.3	Druckbeanspruchung parallel zur Lagerfuge	16
2.3	Kapillare Wasseraufnahme	6	5.3.1	Längsdruckfestigkeit	16
3	Mauermörtel	7	5.3.2	Druck-E-Modul (parallel zu den Lagerfugen)	16
3.1	Allgemeines	7	5.4	Zug- und Biegezugbeanspruchung	18
3.2	Festigkeitseigenschaften	7	5.4.1	Zugfestigkeit	18
3.2.1	Prismendruckfestigkeit	7	5.4.2	Zug-E-Modul (Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen)	19
3.2.2	Fugendruckfestigkeit	7	5.4.3	Biegezugfestigkeit	20
3.2.3	Zugfestigkeit	8	5.5	Schubbeanspruchung	20
3.3	Verformungseigenschaften	8	5.6	Feuchtedehnung, Kriechen, Wärmedehnung	21
3.3.1	Längsdehnungsmodul (E-Modul)	8		Literatur	21
3.3.2	Querdehnungsmodul	8			
3.3.3	Feuchtedehnung (Schwinden)	10			
4	Verbund zwischen Mauerstein und Mauermörtel	10			

A2 Neuentwicklungen im Mauerwerksbau mit allgemeiner Bauartgenehmigung 23
Matthias Bauer, Marvin Christmann und Martin Wilfinger

	Vorbemerkung	25	2	Mauermörtel und Klebstoffe	33
0	Allgemeines	26	3	Mauertafeln	33
0.1	Gesonderte Regelungen zu Vertikalschlitz	26	4	Mauerwerk aus Mauersteinen mit CE-Kennzeichnung	35
0.2	Gesonderte Regelungen zu Horizontalschlitz und schrägen Schlitz	26	5	Sonstiges Mauerwerk	45
1	Ergänzungsbauteile und Zubehör für Mauerwerk	26		Literatur	68

A3 Geltende Technische Regeln für den Mauerwerksbau (deutsche, europäische und internationale Normen), Stand 28.02.2025 71
Valentin Förster

1	Vorbemerkung	73		Literatur	90
2	Regelwerk	73			

A4	Bauaufsichtliche Regelungen im Mauerwerksbau	91		
	Gernot Rodehack und Richard Zander			
1	Rechtlicher Rahmen	93	2.3.2	Europäisches Bewertungsdokument (EAD) und Europäische Technische Bewertung (ETA) 96
1.1	Nationale und europäische Bauprodukte in der bisherigen Verwaltungspraxis	93	2.3.3	Nationale Normen (DIN) 96
1.2	Konsequenzen aus dem Urteil des Europäischen Gerichtshofs in der Rechtssache C-100/13	93	2.3.4	Ungeregelte Bauprodukte 96
1.2.1	Musterbauordnung	93	2.4	Übereinstimmungserklärung 97
1.2.2	Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmung	94	2.5	Anwendungsnorm als Bindeglied zwischen Bauart und Bauprodukt 97
2	Regelungen für Bauprodukte und Bauarten	94	2.6	Neue Bauprodukte und Bauarten 97
2.1	Begriffe	94	2.7	Praktische Umsetzung 97
2.2	Bauart	94	3	Weg eines Bauprodukts zur Verwendung 99
2.2.1	Eurocodes	94	3.1	Harmonisierte Norm – ja oder nein 99
2.2.2	Nationale Normen	94	3.2	Europäisch oder national 99
2.2.3	Ungeregelte Bauart	95	3.3	Verwendbarkeit in Deutschland 99
2.3	Bauprodukt	95	3.4	Anwendungsregel 99
2.3.1	Harmonisierte Norm (hEN)	95	4	Neue Baustoffe und Bauprodukte 101
			5	Zusammenfassung 101
				Literatur 102
B	Gestaltung und Konstruktion (Neubau)			
B1	Klimaoptimiertes Bauen und Konstruieren mit Mauerwerk	103		
	Eric Brehm, Matthias Erlenkötter und Marvin Christmann			
1	Einleitung	105	5.6	Zweischalige Außenwände 110
2	Grundlagen des nachhaltigen Bauens	105	5.7	Anwendung zementfreier Mauerwerkssysteme 110
3	Nachhaltigkeit von Mauerwerk	106	6	Bauphysikalische Aspekte und konstruktive Optimierung 111
4	Klimaneutrales Bauen	107	6.1	Wärmeschutz und Energieeffizienz 111
5	Strategien für nachhaltiges Mauerwerk	108	6.2	Feuchteschutz und Diffusionsoffenheit 111
5.1	Verwendung von Recyclingmaterialien	108	6.3	Schalldämmung und Wohnkomfort 112
5.2	Lehmmauerwerk	109	7	Ausblick 112
5.3	Innovative Produkte	109		Literatur 112
5.4	Selektiver Rückbau	110		
5.5	Zirkuläres Bauen / Urban Mining	110		
B2	Normen im Lehmbau	115		
	Christof Ziegert und Ulrich Röhlen			
1	Einleitung	117	3.3	DIN 18945:2024-03 Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung 120
2	Struktur und bauaufsichtliche Einordnung der Regelwerke im Lehmbau	118	3.4	DIN 18946:2024-03 Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung 122
3	Ausgewählte Inhalte der Normen zum Lehmbau	119	3.5	DIN 18947:2024-03 Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung 123
3.1	DIN 18942-1:2024-03 Lehm- und Lehmputzbauprodukte – Teil 1: Begriffe	119	3.6	DIN 18948:2024-03 Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung 124
3.2	DIN 18942-100:2018-12 Lehm- und Lehmputzbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis	120		

3.7	DIN 18940:2023-06 Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Konstruktion, Bemessung und Ausführung 125	5	Ausblick 128 Danksagung 128 Literatur 128
4	Konventionelles Mauerwerk mit Lehmdünnbettmörtel 127		
C Konstruktive Details (Bauphysik) 131			
C1 Technisches Know-how für die Fassadengestaltung mit Riemchen und Sparverblendern 131 Juliane Nisse			
1	Danksagung 133	4	Außenwandkonstruktionen mit Riemchen 141
2	Einleitung und Motivation 133	4.1	Abgrenzung zwischen keramischen Riemchen und Fliesen nach DIN EN 14411 142
3	Außenwandkonstruktionen mit Sparverblendern 134	4.2	Allgemeines 142
3.1	Stand der Normung 134	4.3	Ökologie 146
3.2	Anwendungstechnische Besonderheiten 134	4.4	Ökonomie 147
3.3	Ökologie 135	5	Fazit und Ausblick 147
3.4	Ökonomie 137		Literatur 148
3.4.1	Herstellungs- bzw. Baukosten 137		
3.4.2	Lebenszykluskosten 138		
D Mauerwerk im Bestand			
D1 Erhaltung von Mauerwerksgewölbebrücken der Bahn 151 Conrad Pelka, Eugen Brühwiler, Thomas Bösche, Enrico Lorenz, Peter Kilian, Stefan Wolf, Rüdiger Burkhardt und Steffen Marx			
1	Einleitung 153	4	Konstruktiver Entwurf von Fahrbahnplatten 180
2	Instandsetzungsplanung für die Weiternutzung von Gewölbebrücken 154	4.1	Fahrbahnplattenausbildung 180
2.1	Einfluss der Geometrie 154	4.2	Fugenausbildung 181
2.2	Einfluss der Einwirkungen 159	4.3	Fahrbahnwannen aus UHFB 182
2.3	Sanierungsmöglichkeiten 162	4.3.1	Einleitung 182
2.3.1	Mauerwerksinstandsetzung 164	4.3.2	Eigenschaften von UHFB und Stahl-UHFB 183
2.3.2	Verankerungen und Vernadelungen 164	4.3.2.1	UHFB 183
2.3.3	Innenabdichtung und Innentragschalen 164	4.3.2.2	Stahl-UHFB 183
2.3.4	Rückenabdichtungen 165	4.3.3	Grundsätze des Entwurfs 184
2.3.5	Fahrbahnplattenausbildung 166	4.3.4	Ausführung von UHFB-Arbeiten 184
2.4	Fahrbahnplattenbau als häufigste Sanierungsform zur Weiternutzung von Gewölbebrücken 166	4.3.5	Anwendung 1: UHFB-Auskleidung der Betonwanne auf Mauerwerksviadukten 184
2.4.1	Geschichtliche Entwicklung 166	4.3.6	Anwendung 2: UHFB-Wanne auf kurzen Mauerwerksgewölben 186
2.4.2	Feuchte- und Risschäden in Abhängigkeit vom FBP-Bau sowie begleitende Sanierungsmaßnahmen 168	4.3.7	Anwendung 3: UHFB-Trogträger zwischen zwei Widerlagern aus Mauerwerk 187
2.4.3	Details des modernen FBP-Baus 169	4.3.8	Anwendung 4: neuer UHFB-Beton- Verbundtrog auf Mauerwerksviadukten mit hohen baukulturellen Werten 189
3	Arbeitsvorbereitung beim Bauen im Bestand 174	4.3.9	Zusammenfassung und Ausblick 190
3.1	Zuwegungen 174	5	Baubegleitende Maßnahmen 191
3.2	Baustelleneinrichtungsfläche 175	5.1	Bauüberwachung 191
3.3	Rüsten 176	5.1.1	Neubau Fahrbahnplatte 191
3.4	Rückbau der Bogenübermauerung 177	5.1.2	Instandsetzung der Unterbauten 193
3.5	Betriebliche Einschränkungen 177		
3.6	Gleislängsverbau 178		

5.1.2.1	Instandsetzung Ziegelmauerwerk	194	6	Baustellenräumung und Weiternutzung der Bestandsbrücke	205
5.1.2.2	Instandsetzung Natursteinmauerwerk	196	6.1	Befahranlagen zur Instandhaltung	205
5.1.2.3	Instandsetzung Stahlbetonbögen	196	6.2	Instandhaltungsplanung	205
5.2	Wasserhaltung während der Bauausführung	199	6.2.1	Digitale Instandhaltungsplanung am Beispiel	207
5.3	Leit- und Sicherungstechnik, Kommunikationstechnik	200	6.2.2	Sensitivitätsanalyse und Maßnahmenempfehlung	208
5.3.1	Grundlagen	200	6.2.3	Bewertungskonzept	210
5.3.2	Leit- und Sicherungstechnik (LST)	201	6.2.4	Bezug zu weiteren Gewölbebrücken	210
5.3.2.1	Weichen	201	7	Zusammenfassung und Ausblick	211
5.3.2.2	Signale	202		Literatur	212
5.3.2.3	Kabelanlage	203			
5.3.3	Telekommunikationsanlagen (TK-Anlagen)	204			
5.4	Feste Absperrung	205			
D2	Rechnerische Bewertung bestehender Gewölbebrücken unter Schiffsanprall	215			
	Roger Schlegel und Claus Kunz				
1	Einleitung	217	4.3.3	Weitere Materialmodelle	229
2	Einwirkungen	218	5	Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gegenüber Verkehrslasten	229
2.1	Ständige Einwirkungen	218	6	Dynamische Analyse zum Nachweis gegenüber den Beanspruchungen aus Schiffsstoß	230
2.2	Einwirkungen aus Verkehr	218	6.1	Modalanalyse	231
2.3	Temperatureinwirkungen	218	6.2	Nichtlineare, transient-dynamische Analyse	231
2.4	Einwirkungen aus Schiffsstoß	218	7	Möglichkeiten variationsbasierter und stochastischer Untersuchungen	235
2.4.1	Einführung/Problematik	218	7.1	Grenztraglastuntersuchungen	235
2.4.2	Schiffsstoßkraft-Ermittlung	219	7.2	Parametrische Modellierung	236
2.4.3	Spezielle Schiffsstoßbelastungen für Gewölbebrücken am Main	220	7.2.1	Streuungen der Material- bzw. Widerstandskennwerte und der Einwirkungen aus Schiffsstoß	238
3	Numerische Modellierung von Gewölbebrücken	221	7.2.2	Sensitivitätsanalyse	239
4	Nichtlineare Berechnung	221	7.3	Zuverlässigkeitsanalyse zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit gegenüber Schiffsstoß	241
4.1	Sicherheitsformat und nichtlineare Lastgeschichteberechnung	221	8	Zusammenfassung	243
4.2	Nichtlineare Lastgeschichteberechnung	224		Literatur	243
4.3	Nichtlineare Materialmodelle	224			
4.3.1	Elasto-plastisches Materialmodell für Beton	224			
4.3.1.1	Nichtlineares Verformungsverhalten bei Druckbeanspruchung	224			
4.3.1.2	Nichtlineares Verformungsverhalten bei Zug-Rissbildungen	225			
4.3.2	Elasto-plastisches Materialmodell für Mauerwerk	225			
D3	Verankerung von Fassadengerüsten	245			
	Jürgen H. R. Künzlen, Christoph-Ludwig Bügler und Eckehard Scheller				
1	Lasten und Mechanismen für Fassadengerüste	247	1.5	Horizontale Beanspruchungen der Fassadengerüste und Ankerkräfte	250
1.1	Grundsätzliches	247	1.6	Verankerung von Gerüsten an Fassaden mit nicht tragfähigen Aufbauten	250
1.2	Konstruktive Besonderheiten des Gerüstbaus	247	2	Verankerung im Untergrund im Detail	252
1.3	Baurechtliche Konsequenzen – Regelausführungen	248	2.1	Allgemeines	252
1.4	Ankerraster und Ausbildung der Gerüsthälter	249	2.2	Regelungen	252

2.2.1	DIN EN 12811-1: Temporäre Konstruktionen für Bauwerke – Teil 1: Arbeitsgerüste 252	2.3	Temporäre bzw. dauerhafte Verankerung 256
2.2.2	DIN 4426: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen 252	2.4	Einleitung von Druckkräften 257
2.2.3	Zulassungen für Fassadengerüste 253	2.5	Montage und Auswahl von Dübeln 257
2.2.4	DGUV Information 201-011: Verwendung von Arbeits-, Schutz- und Montagegerüsten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung 253	2.5.1	Bohren 257
2.2.5	Fachinformation Gerüste für Arbeiten an Fassaden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) 254	2.5.2	Kunststoffdübel 258
		2.5.3	Injektionsdübel 260
		3	Fazit 260
			Literatur 261
D4	Querlast-Versuche am Bauwerk mit Abstandmontageschrauben in der Fensterlaibung 263		
	Eckehard Scheller, Jürgen H. R. Künzlen und Rainer Becker		
1	Einleitung 265	5.4.1	Charakteristische Tragfähigkeit 272
2	Ausgangssituation 265	5.4.2	Achs- und Randabstände 272
3	Grundlage und Geltungsbereich 266	5.4.3	Teilsicherheitsbeiwert 272
4	Erteilung der „Zulassung“ abZ/aBG AMO-Y/IV (2024) 267	5.4.4	Fugeneinfluss 272
4.1	Allgemeines 267	5.5	Zusammenfassung 272
4.2	Charakteristische Widerstände einer einzelnen Abstandmontageschraube unter Querbelastung 267	6	Praxisbeispiel: Querlast-Versuche am Bauwerk in der Fensterlaibung mit der Abstandmontageschraube AMO-IV Ø 11,5 mm in Leichtbeton-Vollsteinen 273
4.2.1	Unterscheidung 267	6.1	Einleitung und allgemeine Hinweise 273
4.2.2	Nachweis der Tragfähigkeit 267	6.2	Durchführung und zugehörige Dokumentation der Versuche am Bauwerk 273
4.2.3	Nachweis bei Personenanprall 267	6.2.1	Allgemeine Informationen zum Bauvorhaben 273
4.2.4	Konsequenzen für das Konzept Versuche am Bauwerk 268	6.2.2	Ort der Prüfungen 273
4.3	Randabstände, Fugenabstände, Achsabstände, Bauteildicke 268	6.2.3	Prüfvorrichtung 274
4.4	Verschiebungen 268	6.2.4	Art der zu befestigenden Konstruktion 275
4.5	Fazit aus den Erkenntnissen im Zulassungsverfahren 268	6.2.5	Verankerungsgrund 275
5	Querlast-Versuche am Bauwerk für die Abstandmontageschrauben AMO-Y Ø 11,5 mm und AMO-IV Ø 11,5 mm 269	6.2.6	Name des Produkts 276
5.1	Anwendungsbereich 269	6.2.7	Montage 276
5.1.1	Allgemeines 269	6.2.8	Versuchsergebnisse 277
5.1.2	Begriffe/Verteilung der Verantwortlichkeiten 269	6.2.9	Bemerkungen und Hinweise 279
5.1.3	Anwendungsbedingungen 269	6.3	Zwischenfazit: Aufgabentrennung 279
5.2	Versuche 269	6.4	Auswertung der Versuchsergebnisse 279
5.2.1	Vorbereitung der Versuche 269	6.4.1	Allgemeines 279
5.2.2	Durchführung der Versuche 270	6.4.2	Grundlagen für Querlast-Versuche am Rand 280
5.2.3	Versuchsbericht 271	6.4.3	Ergänzende Fallunterscheidung 280
5.3	Auswertung der Versuche 272	6.4.3.1	Fall 1 280
5.3.1	Bruchversuche bzw. Probebelastungen mit der Abstandmontageschraube AMO-Y bzw. AMO-IV Ø 11,5 mm für Nachweis der Tragfähigkeit 272	6.4.3.2	Fall 2 280
5.3.2	Bruchversuche bzw. Probebelastungen für Nachweis der Tragfähigkeit bei absturzsichernder Funktion 272	6.4.3.3	Fall 3 281
5.4	Auswertung der Versuche 272	6.4.4	Festlegung des Referenzsteins 281
		6.4.5	Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeit $V_{Rk1, Bst}$ aus mindestens fünf Baustellenversuchen (hier $n = 6$ Versuche) 282
		6.4.5.1	Auswertung für Nachweis der Tragfähigkeit 283
		6.4.5.2	Auswertung für Nachweis bei Personenanprall 283

6.4.6	Bestimmung der maßgebenden Tragfähigkeiten für die Bemessung	283	7	Zusammenfassung/Fazit	285
6.4.6.1	Nachweis der Tragfähigkeit	285		Literatur	286
6.4.6.2	Nachweis bei Personenanprall	285			

E Innovationen im Mauerwerksbau

E1 Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden mit Keramikelementen – Systemkomponenten, Herstellung und Anwendung 289

Gerd Vaupel und Wolfgang Häußler

1	Vorwort	291	6.6	Brennprozess	299
2	Das System VHF	291	6.7	Vorteile und Möglichkeiten des Extrusionsverfahrens für Fassadenelemente	299
2.1	Aufbau	291	6.8	Fazit und Ausblick auf technologische Entwicklungen	299
2.2	Die Komponenten der VHF	291	7	Trocken gepresste Keramikelemente	300
2.2.1	Fassadenbekleidung	291	7.1	Herstellungsprozess	300
2.2.2	Hinterlüftung	291	7.2	Materialeigenschaften	300
2.2.3	Dämmung	292	7.3	Vorteile des Trockenpressens	300
2.2.4	Unterkonstruktion	292	7.4	Typische Anwendungsbereiche	300
2.2.5	Befestigung	292	7.5	Herausforderungen	300
2.3	Merkmale der VHF	292	8	Riemchen	301
2.3.1	Kälte- und Wärmeschutz	292	8.1	Herstellungsverfahren	301
2.3.2	Regenschutz	292	8.2	Klinkerformate	301
2.3.3	Feuchte- und Tauwasserschutz	293	9	Großflächenkeramik als Fassadenbaustoff	302
2.3.4	Brandschutz	293	10	Stranggepresste Keramikformteile	303
2.3.5	Blitzschutz	293	11	Befestigungsvarianten für die Verwendung von Baukeramiken in der VHF	306
2.3.6	Schallschutz	293	11.1	Befestigungsmethoden	306
3	Geschichte der Fassadenkeramik	293	11.2	Systemgrafiken	307
4	Überblick über die relevanten Normen und Regelwerke für die Verwendung von Baukeramiken in Fassadenanwendungen	294	11.2.1	Handgeformte Fassadenziegel	307
4.1	Allgemeine Verarbeitung in der hinterlüfteten Fassade	294	11.2.2	Stranggepresste Keramikformteile (Variante 1)	307
4.2	Produktnormen	294	11.2.3	Stranggepresste Keramikformteile (Variante 2)	307
4.3	Regelungen der Bauart	295	11.2.4	Stranggepresste Keramikformteile (Variante 3)	307
4.4	Fazit	295	11.2.5	Trocken gepresste Keramikelemente	307
5	Handgeformte Fassadenziegel	295	11.2.6	Riemchen (Variante 1)	307
6	Extrusion – Fertigungsprozess, Möglichkeiten und Vorteile	297	11.2.7	Riemchen (Variante 2)	307
6.1	Einführung in das Extrusionsverfahren für keramische Fassadenelemente	297	12	VHF als Wegbereiter der Klimawende	308
6.2	Rohstoffaufbereitung und Massevorbereitung	297		Literatur	312
6.3	Formgebung durch Extrusion	297			
6.4	Trocknungsprozess	298			
6.5	Glasur und Oberflächenveredelung	298			

F Forschung

F1 Übersicht über abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben im Mauerwerksbau 315

Franziska Amberger und Philipp Hofmann

Vorbemerkung	317	1	Laufende Forschungsvorhaben	318
Forschungsstellen (F) und Forschungszentren (FZ)	317	1.1	Übersicht der Forschungsvorhaben	318
		1.2	Kurzberichte	318

1.2.1	Untersuchung des Schub-Druck-Tragverhaltens von Mauerwerk aus kleinformigen Ziegelsteinen mit der Einheitszellenmethode	318	2.3.2	Ermittlung von Grundlagen zur Produktion von nachhaltigen Kalksandsteinen mit minimierter CO ₂ -Last	329
1.2.2	Mixed Massive – Konzeption, Konstruktion und Erprobung von Mischmauerwerken aus Lehmstein und Ziegel	321	2.3.3	Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen bei der Autoklavierung von Kalksandsteinen	329
2	Abgeschlossene und laufende Forschungsvorhaben in der Kalksandsteinindustrie	324	2.3.4	Beschleunigte Recarbonatisierung von Kalksandsteinen zur schnellstmöglichen Dekarbonisierung der Kalksandsteinproduktion	330
2.1	Übersicht der Forschungsergebnisse zur Dekarbonisierung der Kalksandsteinindustrie	324	2.3.5	Dekarbonisierung der KS-Produktion durch Erzeugung von CSH-Bindemittelphasen mit geringem CO ₂ -Footprint – Absenkung der Härtetemperatur – Einsatz der In-situ-Röntgendiffraktometrie während der Autoklavierung	332
2.2	Beispiele abgeschlossener Forschungsvorhaben	325	3	Flüssiglehm – Neue Perspektiven für einen traditionellen Baustoff	332
2.2.1	Einsatz natürlicher mineralischer Füller für die Optimierung der Eigenschaften von Kalksandsteinen – Reduzierung der Produktionskosten, des Energieverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen	325	3.1	Einführung	332
2.2.2	Einsatz von Füllern aus Kalksandstein-Recycling-Material als Upcycling für Kalksandstein-, Beton- und Asphaltprodukte	326	3.2	Hintergrund	333
2.2.3	Kosteneinsparung und Steigerung der Ressourceneffizienz von Kalksandsteinen durch Ansatz von Druckhaltestufen bei der Hydrothermahlärtung – sog. „Treppenkurven“	326	3.2.1	Historische Entwicklung	333
2.2.4	Eignung von Sägeschlämmen aus der Fertigung von Kalksandstein-Planelementsystemen als Optimierungszusatz für die Kalksandsteinproduktion	327	3.2.2	Stand der Technik	333
2.2.5	Reduzierung treibhausrelevanter Emissionen bei der Kalksandsteinproduktion durch Ersatz von CO ₂ -intensivem Branntkalk durch Zemente	328	3.2.3	Übertragbares Wissen aus zementbasierten Systemen	335
2.2.6	Produktion von CO ₂ -armen Oko-Mauersteinen durch bindemittelfreie Autoklavierung von RC-Brechsanden	328	3.3	Methodik	336
2.3	Beispiele laufender Forschungsvorhaben	329	3.3.1	Ausbreitmaß	336
2.3.1	Einsatz von calciniertem Ton zur Nutzung bislang ungeeigneter Sande für die Kalksandsteinproduktion – Alkalifänger	329	3.3.2	Druckfestigkeit	337
			3.3.3	Umweltauswirkung	337
			3.3.4	Rezyklierbarkeit	337
			3.4	Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen	337
			3.4.1	Referenzprobe	337
			3.4.2	Melasse, Essigessenz, Metakaolin	337
			3.4.3	Tannin, Natriumhydroxid, Eisen(III)-citrat	339
			3.4.4	Natriumcarbonat	340
			3.5	Praktische Implementierung	340
			3.5.1	Transport	342
			3.5.2	Entladen	342
			3.5.3	Verdichten	342
			3.5.4	Nachbehandlung	343
			3.5.5	Anforderungen an Pumpbarkeit	343
			3.5.6	Gestaltung	343
			3.6	Zusammenfassung und Ausblick	344
			3.6.1	Zusammenfassung	344
			3.6.2	Ausblick	346
				Literatur	346

B Gestaltung und Konstruktion (Neubau)

B1 Klimaaoptimiertes Bauen und Konstruieren mit Mauerwerk

Eric Brehm, Matthias Erlenkötter und Marvin Christmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	105		
2	Grundlagen des nachhaltigen Bauens	105		
3	Nachhaltigkeit von Mauerwerk	106		
4	Klimaneutrales Bauen	107		
5	Strategien für nachhaltiges Mauerwerk	108		
5.1	Verwendung von Recyclingmaterialien	108		
5.2	Lehmmauerwerk	109		
5.3	Innovative Produkte	109		
5.4	Selektiver Rückbau	110		
5.5	Zirkuläres Bauen / Urban Mining	110		
5.6	Zweischalige Außenwände	110		
5.7	Anwendung zementfreier Mauerwerkssysteme	110		
6	Bauphysikalische Aspekte und konstruktive Optimierung	111		
6.1	Wärmeschutz und Energieeffizienz	111		
6.2	Feuchteschutz und Diffusionsoffenheit	111		
6.3	Schalldämmung und Wohnkomfort	112		
7	Ausblick	112		
	Literatur	112		

1 Einleitung

Nachhaltigkeit ist zu einem zentralen Leitprinzip in der Bauindustrie geworden. Angesichts des Klimawandels und knapper werdender Ressourcen rückt die Wahl der Bauweise zunehmend in den Fokus. Mauerwerk, das sich seit Jahrhunderten als Bauweise bewährt hat, bietet in diesem Zusammenhang zahlreiche ökologische, wirtschaftliche und soziale Vorteile.

Ein nachhaltiges Bauwesen erfordert Baustoffe und Bauweisen, die nicht nur langlebig und energieeffizient sind, sondern auch eine geringe Umweltbelastung über ihren gesamten Lebenszyklus aufweisen. Mauerwerk erfüllt diese Kriterien in mehrfacher Hinsicht: Es besteht aus natürlichen Rohstoffen, die regional verfügbar sind, und überzeugt durch Dauerhaftigkeit, geringe Wartungsanforderungen und eine hervorragende thermische Speichereffizienz, die den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden reduziert.

Auch die Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit von Mauerwerksmaterialien spielen eine wesentliche Rolle für die Nachhaltigkeit. Rückgebautes Mauerwerk kann beispielsweise als Recyclingbaustoff in neuen Bauvorhaben genutzt oder als Zuschlagstoff im Straßenbau eingesetzt werden. Dadurch wird die Ressourceneffizienz im Bauwesen gefördert und der Verbrauch neuer Ressourcen reduziert.

In diesem Beitrag wird die nachhaltige Bauweise mit Mauerwerk detailliert betrachtet. Es werden sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte analysiert und Möglichkeiten zur weiteren Optimierung dieser Bauweise aufgezeigt. Ziel ist es, die Potenziale von Mauerwerk als nachhaltige Bauweise zu verdeutlichen und Wege aufzuzeigen, wie durch gezielte Maßnahmen die Nachhaltigkeit von Mauerwerk weiter optimiert werden kann.

2 Grundlagen des nachhaltigen Bauens

Nachhaltiges Bauen ist eine integrative, zukunftsorientierte Designphilosophie, welche darauf abzielt, den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu optimieren – von der Planung über die Errichtung bis hin zum Betrieb und Rückbau. Dieser Ansatz berücksichtigt nicht nur ökologische Aspekte, sondern auch ökonomische und soziale Dimensionen, um die Umweltbelastung zu minimieren, die Ressourcennutzung zu optimieren und ein gesundes, effizientes und lebenswertes Umfeld zu schaffen. Im Fokus des nachhaltigen Bauens steht die Entwicklung von Gebäuden, die sowohl den aktuellen Anforderungen als auch den Bedürfnissen zukünftiger Generationen gerecht werden. Ein zentraler Bestandteil des nachhaltigen Bauens ist die ökologische Nachhaltigkeit, die auf den schonenden Umgang mit natürlichen Ressourcen, die Reduzierung von CO₂-Emissionen und die Verbesserung

der Energieeffizienz von Gebäuden abzielt. Der ökologische Fußabdruck eines Bauwerks hängt dabei maßgeblich von den verwendeten Baustoffen und den durchgeführten Bauprozessen ab. Materialien wie Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton, die in Mauerwerk verwendet werden, zeichnen sich durch ihre Umweltfreundlichkeit aus. Sie bestehen aus natürlichen Rohstoffen wie Ton, Kalk und Sand, die größtenteils regional verfügbar sind. Dies führt zu einer Reduktion der Transportwege und einer damit verbundenen Senkung der CO₂-Emissionen, die durch den Transport der Baustoffe entstehen.

Darüber hinaus spielt die thermische Masse von Mauerwerkskonstruktionen eine entscheidende Rolle bei der Energieeffizienz eines Gebäudes. Mauerwerk hat aufgrund seiner Masse die Fähigkeit, Wärme zu speichern und über einen längeren Zeitraum wieder abzugeben. Dieser Effekt, auch als thermische Trägheit bezeichnet, ermöglicht es, die Temperatur innerhalb eines Gebäudes zu stabilisieren, indem in der Nacht gewonnene Kühle in den nächsten Tag übertragen wird und Wärme des Tages für die Nacht genutzt werden kann. Dies reduziert den Bedarf an aktiven Heiz- und Kühlsystemen, was zu einer signifikanten Einsparung an Primärenergie führt. Insbesondere in Zeiten steigender Energiekosten und angesichts der globalen Bemühungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen spielt dieser Aspekt eine zentrale Rolle im Kontext des nachhaltigen Bauens.

Ein weiterer wesentlicher ökologischer Vorteil von Mauerwerksmaterialien ist ihre hohe Recyclingfähigkeit. Rückgebautes Mauerwerk kann in vielen Fällen als Sekundärrohstoff wiederverwendet werden, wodurch der Bedarf an neuen Materialien gesenkt wird und wertvolle Ressourcen im Kreislaufsystem des Bauens verbleiben. Viele Mauerwerksmaterialien wie Ziegel und Kalksandstein können nach der Demontage zermahlen und beispielsweise als Zuschlagstoff im Straßenbau oder für die Herstellung neuer Baustoffe genutzt werden. Dies verringert die Umweltbelastung, die mit der Gewinnung und Herstellung neuer Rohstoffe verbunden ist.

Des Weiteren karbonisiert Mauerwerk. Dies bedeutet, dass ein Teil des bei der Produktion emittierten CO₂ über die Lebensdauer zurückgebunden wird. Die umfassende Studie „Potenziale im Mauerwerksbau“ des Fraunhofer Instituts für Bauphysik sowie der TU München zeigt, dass ungefähr die Hälfte der CO₂-Emissionen des Mauerwerks zurückgebunden werden kann [1]. Auf Ebene des Gesamtgebäudes (untersucht wurden typische Wohngebäude) bedeutet dies immer noch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um rund 7%.

Neben der ökologischen Nachhaltigkeit ist die ökonomische Nachhaltigkeit ein entscheidender Faktor für das nachhaltige Bauen. Hierbei geht es nicht nur um die Minimierung der Betriebskosten eines Gebäudes, sondern auch um die Maximierung der langfristigen Rentabilität und Wertbeständigkeit des Bauwerks. Mauerwerksbauten bieten durch ihre Langlebigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungseinflüssen und mechanischer Belastung signifikante öko-

nomische Vorteile. Die Bauweise führt zu einer Reduzierung der Instandhaltungs- und Renovierungskosten. Darüber hinaus kann die Energieeffizienz von Mauerwerk zu erheblichen Einsparungen bei den Betriebskosten führen. Durch die optimierte Wärmespeicherung und -abgabe müssen weniger Heiz- und Kühlsysteme betrieben werden, was den Energieverbrauch und damit die Kosten für Heizung, Kühlung und Strom reduziert. Diese langfristigen Einsparungen erhöhen den wirtschaftlichen Wert eines Gebäudes und tragen dazu bei, die Rentabilität von Investitionen in nachhaltige Bauweisen zu steigern.

Die soziale Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Auswirkungen eines Bauwerks auf das Wohlbefinden der Menschen, die es nutzen. Ein nachhaltiges Gebäude sollte nicht nur umweltfreundlich und ökonomisch rentabel sein, sondern auch ein gesundes und komfortables Umfeld für seine Bewohner bieten. Mauerwerk trägt zu einem gesunden Raumklima bei, da die massiven Wände die Luftfeuchtigkeit regulieren, Schadstoffe absorbieren und einen hohen Schallschutz bieten.

3 Nachhaltigkeit von Mauerwerk

Mauerwerk besteht aus natürlichen, recycelbaren Ausgangsstoffen und besitzt eine hohe Wärmespeicherka-

pazität, die Temperaturschwankungen ausgleicht und den Heiz- sowie Kühlbedarf senkt. Die Kombination mit mineralischen Dämmstoffen ermöglicht zudem eine weitere Optimierung der energetischen Standards. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Mauerwerk nicht nur zu den kosteneffizientesten Bauweisen im Wohnungsbau zählt, sondern auch eine ökologisch sehr vorteilhafte Alternative zu anderen Baustoffen darstellt [2]. Eine Studie der TU Darmstadt ergab beispielsweise, dass Ein- und Zweifamilienhäuser aus Mauerwerk über einen Zeitraum von 50 Jahren eine ähnlich gute Ökobilanz aufweisen wie Häuser aus Holz. Darüber hinaus liegen die Errichtungskosten von Mauerwerksbauten rund 4% unter denen vergleichbarer Holzbauten [2]. Die Ergebnisse zeigen, dass Mauerwerksbauten besonders durch ihre Dauerhaftigkeit und einen geringen Wartungsaufwand punkten. Während Holzbauten durch die CO₂-Speicherung während des Wachstums der Bäume zunächst eine vorteilhafte Umweltbilanz aufweisen, müssen sie in der Nutzungsphase häufiger gewartet und geschützt werden, beispielsweise vor Feuchtigkeit oder Schädlingsbefall. Dies führt zu höheren Instandhaltungskosten und zu einem teilweise erhöhten Materialverbrauch über die Lebensdauer des Gebäudes hinweg. Zudem zeigt die Studie, dass die höhere Dichte von Mauerwerk für eine bessere Wärmespeicherung sorgt, was langfristig den Energieverbrauch für Heizung und Kühlung reduziert [2].

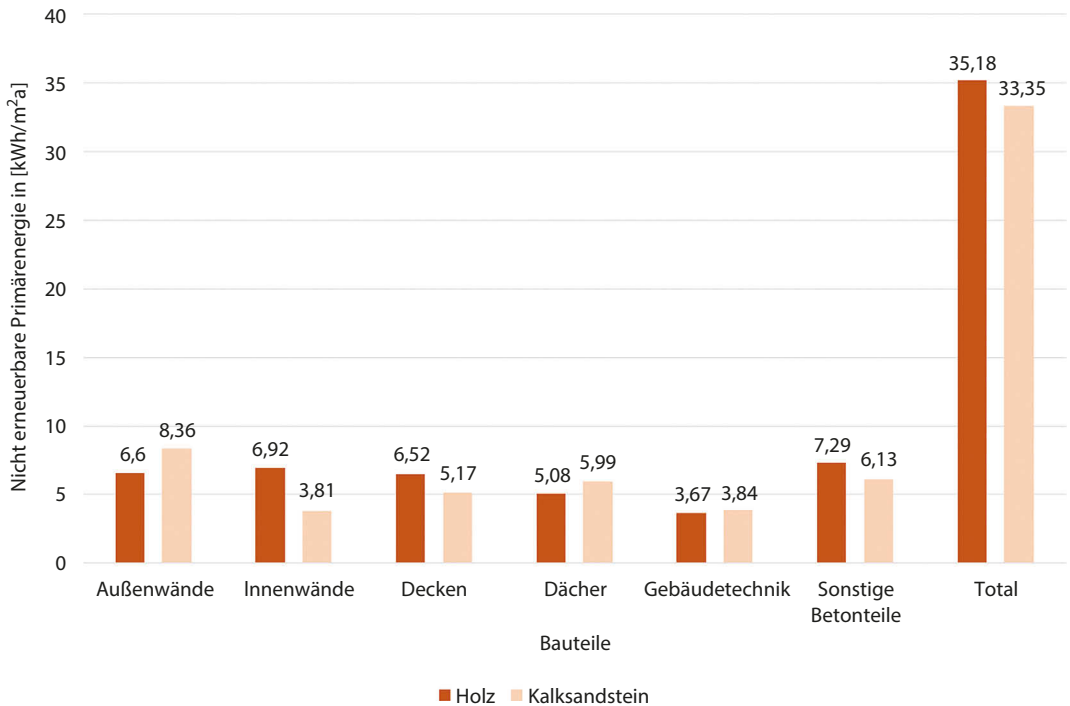


Bild 1. Nicht erneuerbare Primärenergie (PE_{NRT}) nach Bauteilen für Mehrfamilienhaus (Lebenszyklus 50 Jahre, NRF), angelehnt an [3]

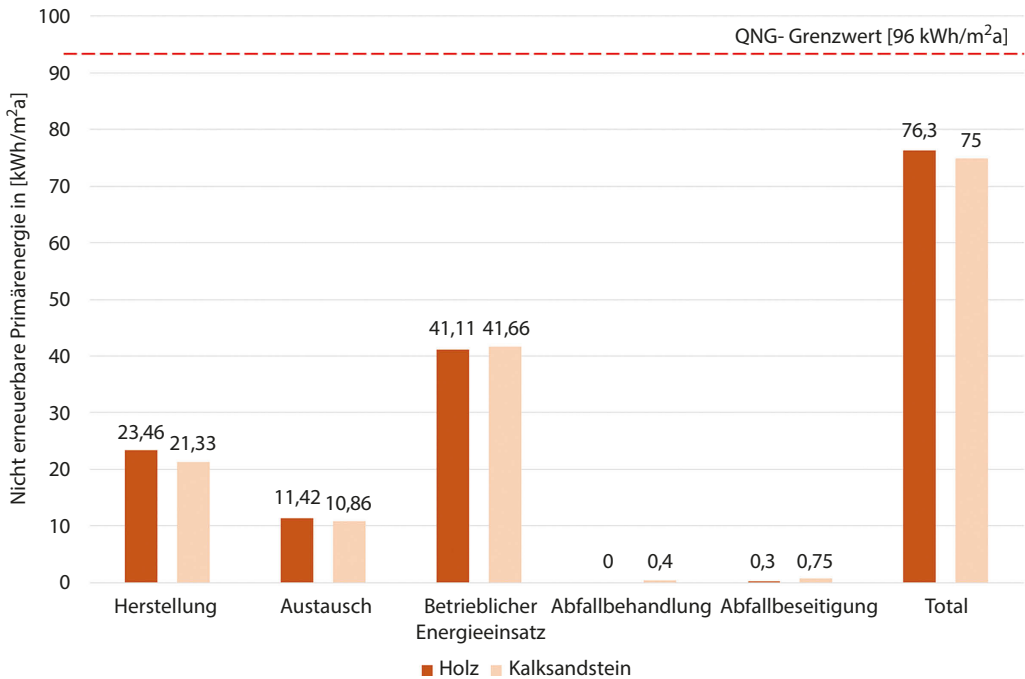


Bild 2. Nicht erneuerbare Primärenergie (PE_{NRT}) nach Lebenszyklusphasen für Mehrfamilienhaus (Lebenszyklus 50 Jahre, NRF) mit QNG-Grenzwert, angelehnt an [3]

In einer aktuellen Studie des Bundesverbands Kalksandsteinindustrie e. V. wurde eine ökobilanzielle Bewertung eines Mehrfamilienhauses in Massivbauweise aus Kalksandstein im Vergleich zur Holztafelbauweise durchgeführt [3]. Ziel war es, die ökologischen Auswirkungen beider Bauweisen im Hinblick auf die Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) sowie öffentlicher Förderprogramme wie das Förderprogramm Klimafreundlicher Neubau (KFN) zu analysieren. Dabei wurden der Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes bewertet [3]. Die Ergebnisse zeigten, dass das untersuchte Mehrfamilienhaus aus Kalksandstein die Anforderungen des QNG sowohl in Bezug auf das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) als auch auf die nicht erneuerbare Primärenergie (PE_{NRT}) erfüllt – und damit auch die Anforderungen der hier maßgeblichen Förderprogramme Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und KFN in Bezug auf die genannten Umweltindikatoren. Ebenso wird gezeigt, dass Mauerwerk aus Kalksandstein teilweise sogar eine bessere Ökobilanz als vergleichbare Holzbauweisen aufweist. So ist beispielsweise die PE_{NRT} für die Bauteile des Mehrfamilienhauses über den gesamten Lebenszyklus von 50 Jahren pro m^2 NRF und Jahr leicht geringer [3] (siehe Bild 1).

Im Vergleich der gesamten CO_2 -Emissionen und der nicht erneuerbaren Primärenergie auf Gebäudeebene liegen die Kalksandstein- und die Holzvariante über

den gesamten Lebenszyklus hinweg in nahezu identischen Größenordnungen [3] (siehe Bild 2).

4 Klimaneutrales Bauen

Die Klimaneutralität des Bauwesens bis 2045 stellt eine der zentralen Herausforderungen des Bauwesens dar. Ein entscheidendes strategisches Instrument zur Realisierung dieses Ziels ist die „Roadmap 2045: Der Weg zu einem klimaneutralen Gebäudesektor“ [4], die auf nationaler Ebene konzipiert wurde. Diese Roadmap bietet einen fundierten, systematischen Fahrplan zur Reduktion von CO_2 -Emissionen und betont die Schlüsselrolle nachhaltiger Baustoffe und ressourcenschonender Bauweisen.

Die „Roadmap 2045“ basiert auf fünf grundlegenden Prinzipien, die als Leitlinien für die Transformation des Gebäudesektors dienen [5]:

1. Gesamtgesellschaftliche Verantwortung

Der Klimaschutz im Bauwesen muss als gesamtgesellschaftliche Aufgabe verstanden und von allen relevanten Akteuren getragen werden – von der Politik über die Industrie bis hin zu den Bürgern.

2. Verknüpfung von Klimaschutz und Sozialverträglichkeit

Es ist entscheidend, dass die Klimaschutzmaßnahmen mit sozial gerechten Lösungen kombiniert werden. Dies umfasst insbesondere die Gewährleis-

tung von bezahlbarem Wohnraum, der den Anforderungen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit entspricht.

3. Realistische Einschätzung der Kapazitäten der Bau- und Wohnungswirtschaft

Der Erfolg der Umstellung auf klimaneutrales Bauen hängt maßgeblich von der praktischen Durchführbarkeit der Maßnahmen ab. Die Bauwirtschaft muss in der Lage sein, den erforderlichen Transformationsprozess effektiv umzusetzen.

4. Langfristige Verlässlichkeit bis 2045

Ein klarer, langfristig tragfähiger rechtlicher und planerischer Rahmen ist unerlässlich, um die notwendigen Investitionen und Anpassungen zu ermöglichen.

5. Vereinfachung und Entbürokratisierung

Die Transformation des Bauwesens muss von bürokratischen Hürden befreit werden, um eine schnelle und effiziente Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen zu gewährleisten.

Diese Prinzipien bilden die Grundlage für eine nachhaltige und langfristig realisierbare Transformation des Gebäudesektors. Sie berücksichtigen sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Aspekte und bieten einen integrativen Ansatz für die notwendige Umgestaltung des Sektors.

Neben den übergeordneten Prinzipien enthält die Roadmap sieben konkrete Empfehlungen, die die praktische Umsetzung der Klimaneutralität im Gebäudesektor bis 2045 fokussieren:

1. Festlegung von klaren Zielen für den Gebäudesektor
Die Definition konkreter Klimaziele für den Gebäudesektor ist entscheidend, um eine zielgerichtete und messbare Umsetzung der Klimaschutzstrategien zu ermöglichen.
2. „Efficiency first“
Effizienzsteigerungen im Gebäudebestand bieten das größte CO₂-Einsparpotenzial und müssen daher höchste Priorität erhalten. Neubauten sollen als EH55-Standard mit CO₂-freien Heizungssystemen und Photovoltaik-Pflicht ausgestattet werden.
3. Förderung verbrauchsnahe Energieerzeugung
Der Fokus liegt auf der dezentralen Energieerzeugung, um die CO₂-Emissionen von Gebäuden während ihres Betriebs signifikant zu reduzieren.
4. Integration der CO₂-Bilanzen im Lebenszyklus
Die Roadmap empfiehlt die Einführung einheitlicher Standards zur Berechnung der CO₂-Emissionen von Gebäuden über ihren gesamten Lebenszyklus, einschließlich der Nutzung von Recyclingmaterialien und der Förderung einer Kreislaufwirtschaft.
5. Förderanreize zur schnellen CO₂-Reduktion
Es sollen gezielte Förderprogramme entwickelt werden, die schnelle und wirksame CO₂-Reduktionsmaßnahmen anregen.
6. Einführung von Sanierungsfahrplänen mit gesetzlicher Erfüllungspflicht (GEG 2.0)
Ein zentraler Bestandteil dieser Empfehlung ist die gesetzliche Verpflichtung zur Erstellung von Sanie-

rungsfahrplänen für Bestandsgebäude, um die Klimaneutralität des Gebäudebestands zu gewährleisten.

7. Weitere flankierende Maßnahmen

Hierzu gehören u. a. die Förderung von Forschungsinitiativen, die Entwicklung neuer Bau- und Dämmmaterialien sowie die Verbesserung der Gebäudeinfrastruktur im Hinblick auf die Klimaneutralität.

Ein hervorzuhebender Aspekt der Roadmap ist die Bedeutung der Baustoffwahl für die Umweltbilanz von Gebäuden. Mauerwerk, das aus natürlichen, regional verfügbaren Rohstoffen wie Ton, Sand, Kalk und Wasser besteht, wird dabei als besonders nachhaltig bewertet. Diese Materialien zeichnen sich nicht nur durch ihre hohe Langlebigkeit, sondern auch durch ihre hohe Recyclingfähigkeit aus, was die Ressourcenschonung und die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks maßgeblich fördert. Darüber hinaus kann Mauerwerk, insbesondere in Verbindung mit modernen Dämmtechniken und innovativen Bauweisen, einen signifikanten Beitrag zur Energieeffizienz und damit zur Reduktion von CO₂-Emissionen leisten.

Insgesamt stellt die „Roadmap 2045“ einen umfassenden Plan dar, um den deutschen Gebäudesektor bis 2045 klimaneutral zu gestalten. Sie bietet einen Handlungsrahmen und fördert die Implementierung innovativer und ressourcenschonender Verfahren und Praktiken.

Neben den ökologischen Vorteilen hebt die Roadmap auch die wirtschaftlichen Potenziale von Mauerwerkskonstruktionen hervor. Durch ihre hohe Beständigkeit und den geringen Wartungsaufwand tragen sie dazu bei, die Lebenszykluskosten von Gebäuden langfristig zu senken. Die Roadmap empfiehlt daher, bei der Planung und Umsetzung von Bauprojekten verstärkt auf nachhaltige Bauweisen wie Mauerwerk zu setzen. Durch die Umsetzung der in der Roadmap dargelegten Maßnahmen kann Mauerwerk einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung des Bauwesens und zur Erreichung der Klimaneutralität leisten [5].

5 Strategien für nachhaltiges Mauerwerk

In diesem Abschnitt werden aktuelle Stoßrichtungen erläutert, um den Einsatz von Mauerwerk zukünftig noch weiter hinsichtlich der Nachhaltigkeit zu optimieren.

5.1 Verwendung von Recyclingmaterialien

Es gibt bereits einige Ansätze, um Mauerwerk nachhaltiger zu gestalten. Die Verwendung von Recyclingmaterialien ist hierbei ein zentraler Aspekt und stellt einen bedeutenden Schritt hin zu nachhaltigem Bauen dar. Durch die Wiederverwendung von Baustoffen können natürliche Ressourcen geschont, Abfallmengen reduziert und die Umweltbelastung minimiert werden. Verschiedene Studien und Praxisbeispiele verdeutlichen das Potenzial und die Herausforderun-

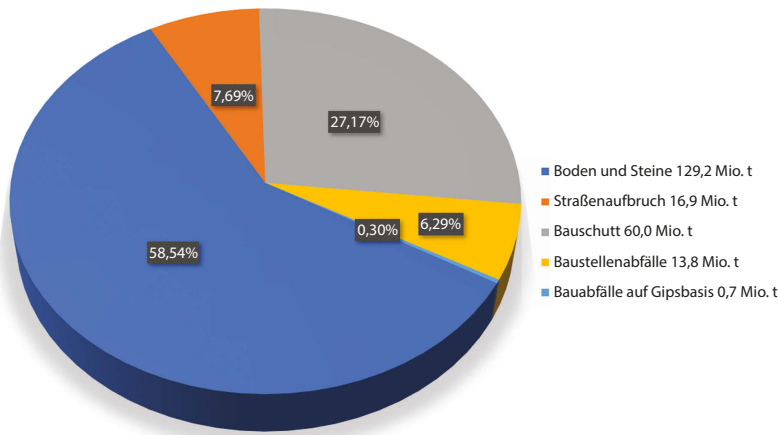


Bild 3. Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2020, basierend auf [6]

gen dieses Ansatzes. In Deutschland fallen jährlich erhebliche Mengen an mineralischen Bauabfällen an, zu denen auch Mauerwerksziegel gehören. Laut dem Bericht des Deutschen Bundestags (Drucksache 20/10700) wurden im Jahr 2020 insgesamt 220,6 Mio. t mineralische Bauabfälle verzeichnet (Bild 3). Davon entfielen 60,0 Mio. t auf Bauschutt, der Materialien wie Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik umfasst. Die Verwertungsquote für mineralische Bauabfälle lag bei etwa 90%, wobei der Großteil dieser Materialien im Straßen- und Landschaftsbau verwendet wird [6].

5.2 Lehm-mauerwerk

Lehm zählt zu den ältesten bekannten Baustoffen der Menschheit und wird heute im Zuge der Nachhaltigkeitsdebatte neu bewertet und technologisch weiterentwickelt. Durch moderne Aufbereitungstechniken, präzisere Mischverhältnisse, verbesserte Trocknungsverfahren und digitale Planungstools lässt sich Lehm heute standardisiert, effizient und in hoher Qualität im Mauerwerksbau einsetzen.

Die Verwendung von ungebrannten Lehmsteinen reduziert nicht nur den Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen erheblich, sondern ermöglicht auch eine vollständige Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Bauteile. Durch den Einsatz von Lehmörtel kann auf zementhaltige Bindemittel verzichtet werden, was die Rückbaubarkeit von Mauerwerk wesentlich erleichtert und die Grundlage für zirkuläre Baustoffkreisläufe schafft. Erste, zugelassene Produkte liegen bereits vor und erlauben sogar die Kombination von Lehmörtel mit traditionellen Mauersteinen [7]. Zusätzlich leisten die feuchteregulierenden Eigenschaften des Lehms einen Beitrag zur Innenraumhygiene und zum thermischen Komfort.

Mit DIN 18940 kann die Bemessung und Ausführung von tragendem Lehm-mauerwerk mittlerweile auf normativer Grundlage erfolgen [8]. Die Bemessung orientiert sich dabei nah an der etablierten DIN EN 1996-3 [9], was die Anwendung stark vereinfacht.

tiert sich dabei nah an der etablierten DIN EN 1996-3 [9], was die Anwendung stark vereinfacht.

5.3 Innovative Produkte

Mauerwerk ist eine produktgetriebene Bauweise. Die Innovation erfolgt daher meist auf Produktebene.

Ein hochinteressantes, innovatives Produkt sind z. B. Kaltziegel. Diese zeichnen sich durch ihren Herstellungsprozess aus, der im Gegensatz zu traditionellen Ziegeln ohne den energieintensiven Brennprozess auskommt. Herkömmliche Ziegel werden bei Temperaturen von über 1000 °C gebrannt, was einen hohen Energieaufwand erfordert und zu einem erheblichen CO₂-Ausstoß führt. Kaltziegel hingegen werden aus einer Mischung von natürlichen Rohstoffen wie Ton, Lehm, Sand und anderen mineralischen Zuschlägen geformt und ohne hohen Energieaufwand an der Luft getrocknet. Dieser Verzicht auf das Brennen führt zu einer signifikanten Reduzierung des Energieverbrauchs und trägt maßgeblich zur Minimierung des CO₂-Ausstoßes im Produktionsprozess bei. Der Prozess ist zudem ressourcenschonender, da er weniger energieintensiv ist und die Herstellungskosten reduziert werden, was zu einer insgesamt ökologischeren und kostengünstigeren Lösung führt.

Ein weiterer entscheidender Vorteil von Kaltziegeln ist ihre Ökobilanz. Die verwendeten Rohstoffe sind in der Regel lokal verfügbar, was den Transportaufwand und damit auch die mit dem Transport verbundenen CO₂-Emissionen erheblich verringert. Dies macht Kaltziegel zu einer besonders nachhaltigen Option im Hinblick auf den gesamten Lebenszyklus des Materials – von der Herstellung bis zur Entsorgung.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Kaltziegeln sind vielfältig. Sie können für nicht tragende Wände, Verblendungen und als Wärmedämmmaterial eingesetzt werden. Besonders in modernen, energieeffizienten Neubauten und Passivhäusern finden Kaltziegel zunehmend Verwendung, da sie zur Optimierung der

C Konstruktive Details (Bauphysik)

C1 Technisches Know-how für die Fassadengestaltung mit Riemchen und Sparverblendern

Juliane Nisse

Inhaltsverzeichnis

1	Danksagung	133	4	Außenwandkonstruktionen mit Riemchen	141
2	Einleitung und Motivation	133	4.1	Abgrenzung zwischen keramischen Riemchen und Fliesen nach DIN EN 14411	142
3	Außenwandkonstruktionen mit Sparverblendern	134	4.2	Allgemeines	142
3.1	Stand der Normung	134	4.3	Ökologie	146
3.2	Anwendungstechnische Besonderheiten	134	4.4	Ökonomie	147
3.3	Ökologie	135	5	Fazit und Ausblick	147
3.4	Ökonomie	137		Literatur	148
3.4.1	Herstellungs- bzw. Baukosten	137			
3.4.2	Lebenszykluskosten	138			

1 Danksagung

Ein besonderer Dank soll an dieser Stelle an die aktiven Mitglieder des Vormauerziegel- und Klinkerausschusses im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. gehen, welche im Zuge einer kontinuierlichen Zusammenarbeit mit viel Fleiß und Extraaufwand die wichtigsten technischen Besonderheiten für keramische Riemchen und schmale Verblendziegel zusammengestellt und verschriftlicht haben.

2 Einleitung und Motivation

Das Bauen mit Ziegelprodukten folgt im Bereich von Wandkonstruktionen einer langen Tradition und erfüllt wie kaum eine andere Bauweise vielfältige Anforderungen an Funktionalität, Innovation und Ästhetik. In den aktuellen Zeiten, in denen zusätzliche Ansprüche im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Klimawirksamkeit und Zukunftsfähigkeit eine nahezu gleichbedeutende Rolle spielen wie technische oder bauphysikalische Baustoffeigenschaften, stehen (Fach-)Planer, Bauausführende und Hersteller von Bauprodukten vor ganz neuen Heraus-

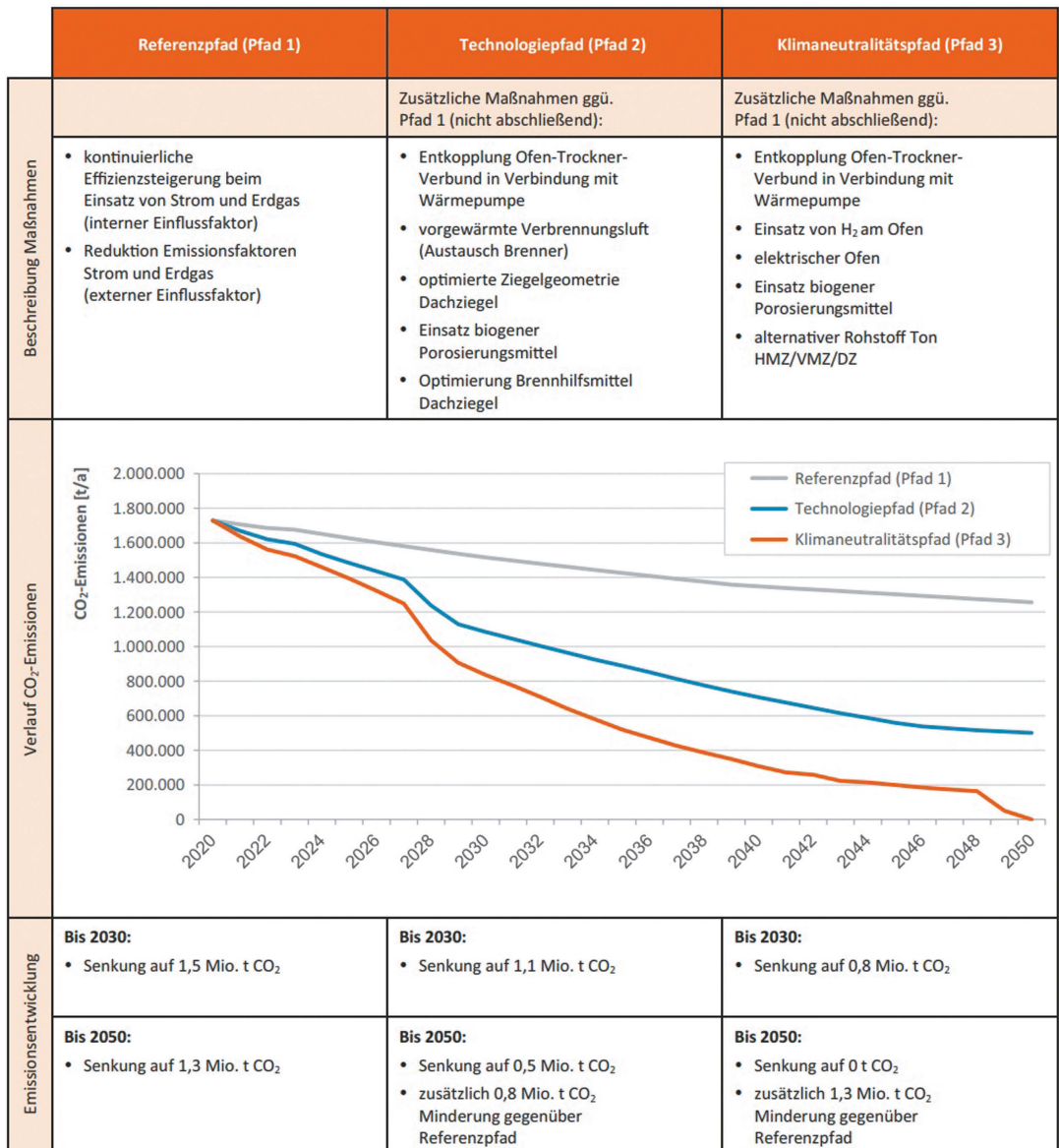


Bild 1. Transformationspfade Ziegelindustrie – Relevante Maßnahmen und Verlauf der CO₂-Emissionen (Abbildung: BV Ziegel [1])

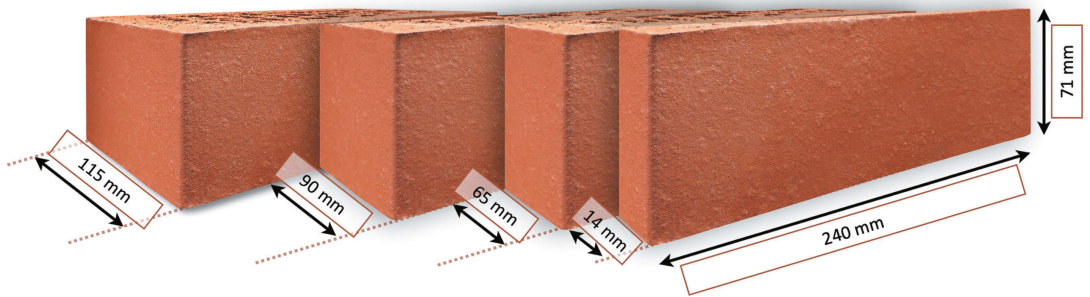


Bild 2. Geometrische Unterschiede zwischen konventionellen Vormauerziegeln, Sparverblendern, dünnen Verblendziegeln und keramischen Riemchen im Normalformat (Abbildung: Wienerberger GmbH & BV Ziegel)

forderungen. So müssen Planer beispielsweise Entwürfe und Vorschläge bezüglich des Ressourcenverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bilanzieren und hin zu einer möglichst geringen Klimawirkung optimieren. Hersteller von Baustoffen müssen Transformationspfade aufzeigen und ihre Produkte und deren Wirkung auf die lokale und globale Umwelt (d. h. zum Beispiel im Hinblick auf Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen) weiterentwickeln. Viele Industrien – so auch die Ziegelindustrie – haben daher eine Roadmap [1] erarbeitet, welche entsprechende Pfade für eine treibhausgasneutrale Produktion aufzeigt und mit Blick auf das Jahr 2045 erforderliche Maßnahmen für eine erfolgversprechende Umsetzung vorschlägt (s. Bild 1).

Neben einer Effizienzsteigerung der Herstellungsprozesse und dem Einsatz von treibhausgasneutralen und erneuerbaren Energieträgern spielt bei massiven Baustoffen wie dem Ziegel das Gewicht eine wichtige Rolle. Daher lassen sich v. a. im Bereich von Mauerziegelprodukten signifikante Einsparungen von Energie und Treibhausgasemissionen im Produktionsprozess durch die Verringerung von Rohdichten und/oder Wandstärken erreichen. Für eine zweischalige Bauweise mit steinsichtiger Optik, im Allgemeinen bestehend aus einer statisch relevanten Tragschale (Hintermauerziegel) und einer Witterungsschicht (Verblendziegel) mit Dämmung im Schalenzwischenraum, lassen sich diese Einsparpotenziale durch die Verwendung von sogenannten Sparverblendern, dünnen Verblendziegeln oder Riemchen erzielen (s. Bild 2).

Auf die Besonderheiten, die baukonstruktiv bei der Anwendung von Sparverblendern und Riemchen eine wichtige Rolle spielen, wird im weiteren Verlauf dieses Abschnitts näher eingegangen. Ebenso werden die ökologischen, ökonomischen und bauphysikalischen Aspekte eingehend betrachtet und der klassischen Bauweise mit Verblendmauerwerk gegenübergestellt.

3 Außenwandkonstruktionen mit Sparverblendern

3.1 Stand der Normung

Unter einem Sparverblender versteht man einen in der Dicke reduzierten Vormauerziegel bzw. -klinker nach

DIN EN 771-1 [2] und nach DIN 20000-401 [3]. In diesen Normen werden minimale Dicken von 90 mm geregelt, d. h. ein Produkt mit einer Dicke, die 90 mm unterschreitet, ist nicht mehr „genormt“.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die aktuell in der DIN EN 1996-2/NA [4] normativ abgebildeten Anforderungen an zweischalige Außenwandkonstruktionen. Im Zuge einer energie- und ressourcenschonenderen Bauweise gewinnt jedoch Verblendmauerwerk mit Dicken < 90 mm mehr und mehr an Bedeutung. Deshalb existieren für diese Fälle mittlerweile zwei allgemeine Bauartgenehmigungen für Verblendziegel mit einer Dicke von ≥ 65 mm (s. Tabelle 2).

3.2 Anwendungstechnische Besonderheiten

Für die Herstellung von Verblendmauerwerk existieren derzeit grundsätzlich zwei gängige Verfahren gemäß DIN EN 1996-2/NA [4]: das Verfahren der nachträglichen Verfugung und das Verfahren des Fugenglattstrichs. Beide Verfahren stellen die gängige Baupraxis seit vielen Jahrzehnten dar, wobei bei einer Ausschreibung von bautechnischen Leistungen nach der VOB Teil C [5] grundsätzlich immer das Verfahren des Fugenglattstrichs empfohlen wird. Bei planmäßiger Anwendung des Verfahrens der nachträglichen Verfugung ist dies gesondert vertraglich zu vereinbaren.

Aufgrund der reduzierten Steindicke ist die Errichtung von Verblendmauerwerk mit einer Dicke von ≥ 65 mm mit dem Verfahren der nachträglichen Verfugung aus baupraktischer Sicht ohnehin nicht möglich. Grund dafür ist, dass bei diesem Verfahren die Fugen flankensauber und in einer Mindesttiefe von 15 mm ausgekratzt werden müssen, um eine präzise Ausfugung zu ermöglichen. Dünnere Verblendmauerwerk muss also zwingend mit dem Verfahren des Fugenglattstrichs ausgeführt werden. Dabei erfolgt das Mauern und Verfugen in einem einzigen Arbeitsgang und die Fugen müssen lückenlos mit Mörtel gefüllt werden, um anschließend bündig und glatt mit der Mauerwerksoberfläche abschließen zu können. Entscheidend ist hierbei, dass der eingesetzte Mörtel über eine ausgezeichnete Verformbarkeit verfügt.

Weitere anwendungstechnische Besonderheiten sind den aktuellen allgemeinen Bauartgenehmigungen für

Tabelle 1. Anforderungen an zweischalige Außenwandkonstruktionen nach DIN EN 1996-2/NA

Zeile	Dicke der Vormauerschale	max. Höhe	Abfangungen	max. Überstand der Steine	Fugenausbildung
1	≥ 115 mm	unbegrenzt	ca. alle 12 m	25 mm	i. d. R. Fugenglattstrich, bei nachträglicher Verfugung 15 mm tief auskratzen
2			max. 2 Geschosse oder Abfangung ≤ 2 Geschosse	38 mm	
3	t ≥ 105 mm und t ≤ 115 mm	25 m	alle 6 m	15 mm	muss in Fugenglattstrich ausgeführt werden
4			Nicht bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen. Hier darf zusätzlich ein Giebeldreieck bis 4 m ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden.		
5	t ≥ 90 mm und t ≤ 105 mm	20 m	alle 6 m	15 mm	soll in Fugenglattstrich ausgeführt werden, damit auch nachträgliche Verfugung möglich (15 mm tief auskratzen)
6			Nicht bei Gebäuden mit bis zu 2 Vollgeschossen. Hier darf zusätzlich ein Giebeldreieck bis 4 m ohne zusätzliche Abfangung ausgeführt werden.		

Tabelle 2. Vergleich bautechnischer Parameter für die Anwendung von Verblendmauerwerk ≥ 65 mm

Kriterium	Z-17.5-1225 (Neubescheid)	Z-17.5-1290
Gültigkeit	19.05.2023–23.02.2026	27.08.2024–27.08.2029
Antragsteller	Wienerberger GmbH	Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V.
Produktbeschreibung	Vormauerziegel und -klinker „Terca Eco-brick“	Vormauervollziegel und -vollklinker „ÖKOZIEGEL“
Regelungsgegenstand	zweischalige Außenwände mit einer nichttragenden Außenschale mit reduzierter Wanddicke $d \geq 65$ mm	
Material und Leistungserklärung	Verwendung von Vormauerziegeln gemäß EN 771-1, Standardwerte im Hinblick auf die Druckfestigkeit (alle DFK 4–28 möglich)	Verwendung von Vormauer(voll)ziegeln differenziert nach Druckfestigkeitsklassen (z. B. DFK 16, 20, 28)
Schalenabstand	Vorgabe eines Schalenabstands von 90–210 mm (pauschal), abhängig von Gebäudehöhe und Ankertyp	gleiche Spannweite (90–210 mm), jedoch mit teils detaillierterer Abstimmung in den Bemessungstabellen
Höhenbegrenzung	Ausführung des Mauerwerks pauschal bis max. 20 m (in Windzone 1 und 2 sowie 3 Binnenland) bzw. bis 10 m in höheren Windlastzonen; Anwendung gemäß Landesbauordnungen	vergleichbare Höhenbegrenzungen mit klar definierten, tabellierten Vorgaben für verschiedene Windzonen in Abhängigkeit vom verwendeten Mauermörtel
Verarbeitung mit ...	Normalmauermörtel M5 oder M10 (nicht empfohlen)	
Verankerung mit ...	Drahtanker ZV Welle $D = 4$ mm nach Zulassung Z-17.1-825, -1062 oder -1138 Dübelanker ZV Welle $D = 4$ mm nach Zulassung Z-21.2-1009 oder -1546	
Anker-Einbindelänge	40–60 mm (Spiel = 20 mm)	50–60 mm (Spiel = 10 mm)

65 mm dickes Verblendmauerwerk zu entnehmen. Ein kurzer Überblick über die Inhalte der besagten Zulassungen Z-17.5-1225 (Terca Eco-brick) [6] und Z-17.5-1290 (ÖKOZIEGEL) [7], der wesentliche Aspekte hinsichtlich bau- und anwendungstechnischer Parameter sowie möglicher Einschränkungen gegenübergestellt, wird in Tabelle 2 gegeben. Die konkrete Anwendung ist im Einzelfall immer im Hinblick auf eine vorliegende Planung zu prüfen.

3.3 Ökologie

Moderne Gebäude müssen heutzutage vielfältige Anforderungen erfüllen. Neben den statischen und bauphysikalischen Anforderungen kommen zusätzlich Anforderungen im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Energie- und Ressourceneffizienz sowie Klimaschutz hinzu. Neue Gebäude müssen also mehr denn je ressourcenschonend und klimafreundlich errichtet

werden und sollten heute schon auch in Bezug auf die zu erwartenden Emissionen und den Ressourcenverbrauch im weiteren Verlauf sowie am Ende des Gebäudelebenszyklus optimiert werden.

Die zweischalige Bauweise hat sich über viele Jahrzehnte, ja sogar Jahrhunderte als robuste und resiliente Bauweise etabliert, die einen hohen ästhetischen Wert in vielen nordeuropäischen Ländern darstellt und die deutsche Baukultur wie keine andere Bauweise maßgeblich beeinflusst hat. Jedoch werden diese durchweg positiven Eigenschaften und Werte zugunsten des Klimaschutzes in Frage gestellt. Immer häufiger werden Nachweise für den Ausstoß von Treibhausgasemissionen für zweischalige Gebäude verlangt und mit anderen Bauweisen und Materialien verglichen. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren verschiedene Studien in Auftrag gegeben, die alle zum Ziel haben, auf Bauteilebene (s. [11]) sowie auf Gebäudeebene (s. [12]) in dieser Hinsicht für Klarheit zu sorgen. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass mit der zweischaligen Bauweise nach heutigen Maßstäben und Bewertungskriterien klimafreundlich gebaut werden kann.

Der Einfluss der reduzierten Dicke des Verblendziegels bei der zweischaligen Bauweise lässt sich im Hinblick auf den wirksamen Klimaschutz (also die Einsparung von grauer Energie und Treibhausgasemissionen) auf verschiedene Arten darstellen. Eine überaus häufige Darstellung erfolgt auf Bauteilebene und stellt für Planende häufig das Mittel der Wahl dar. Die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA), welche sich in diesen Fällen auf einen Quadratmeter Bauteilfläche (m^2_{BTF}) bezieht, kann vergleichsweise einfach erfolgen und Einspartendenzen lassen sich gut und nachvollziehbar aufzeigen. Jedoch wird bei dieser Form der Darstellung das tatsächlich realisierbare Einsparpotenzial in Bezug auf das fertige Gebäude häufig stark überschätzt. Eine Ökobilanz auf Gebäudeebene ist dahingegen deutlich aufwendiger, da sie nicht nur den vollständigen Lebenszyklus eines Gebäudes umfasst, sondern auch alle fest im Gebäude verbauten Materialien und anlagentechnische Komponenten beinhaltet. Für die aktuell in der Neubauförderung durch das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) geforderte Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (im Allgemeinen auch als CO_2 -Emissionen bezeichnet) werden Bilanzierungsmethodik, Rechenregeln [8] sowie zu verwendende Ökobilanzdaten [9] detailliert vorgegeben. So lässt sich eine Vergleichbarkeit von Projekten und eine Konformität mit den aktuell existierenden Grenzwerten für die monetären Vorteile einer Förderung sicherstellen. Der aktuelle Benchmark für den gebäudebezogenen GWP-Wert (Global Warming Potential) beträgt für Wohngebäude $24 \text{ kg CO}_2\text{-Äq}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$, s. [10].

Tabelle 3 gibt einen Überblick über ausgewählte Ökobilanzergebnisse auf Bauteil- und Gebäudeebene für verschiedene Außenwandkonstruktionen (AW) und veranschaulicht den jeweiligen kontextbezogenen CO_2 -Einspareffekt im Vergleich zu einem normalen

Tabelle 3. Ökobilanzieller Vergleich von verschiedenen dicken Verblendsteinen auf Bauteil- und Gebäudeebene

Bauteil – Konstruktion 50 a	AW-Dicke [m]	Wandstärke-Einsparung [%]	GWP ^{a)} [kg CO_2 -Äq/ m^2_{BTF}]	Einsparung CO_2 [%]
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 11,5er	0,490		76,46	
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 9,0er	0,465	5	69,55	9
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 6,5er	0,440	10	62,63	18
Gebäude – Bsp. EFH ^{b)} 50 a	Herstellung AW [kg CO_2 -Äq/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}} \text{ a})$]	gesamt AW-Einsparung [%]	gesamt GWP [kg CO_2 -Äq/ $(\text{m}^2_{\text{NRF}} \text{ a})$]	Einsparung CO_2 [%]
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 11,5er	1,63 ^{c)}		17,6 ^{c)}	
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 9,0er	1,47	10	17,3	2
Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 6,5er	1,32	19	17,1	3

a) Ökobilanzwerte auf Konstruktionsebene stammen aus [11].

b) Für die Berechnung der Einspareffekte auf Gebäudeebene wurde zusätzlich der Zugewinn an NRF für das Beispielgebäude Bsp. EFH berücksichtigt. Im Bereich von Einfamilienwohnhäusern können durch die Verwendung eines dünnen Verblendsteins (6,5 cm) anstelle eines herkömmlichen Verblendsteins (11,5 cm) je nach Gebäudegeometrie ca. 2–3 m^2 Wohnfläche dazugewonnen werden. Dies entspricht einem Flächengewinn von ca. 1,5 %. Eine größere Nettoraumfläche (NRF) bewirkt bei gebäudebezogenen Ökobilanzen einen niedrigeren GWP-Wert und erhöht die Mieteinnahmen bzw. den Verkaufswert des Gebäudes.

c) Für die Berechnung der CO_2 -Einsparungen wurde auf die Ergebnisse von [12] zurückgegriffen.

Verblendziegel mit einer Dicke von 11,5 cm. In der Kurzbezeichnung der Varianten in Tabelle 3 beziehen sich die Zahlenangaben am Ende auf die jeweilige Dicke des Verblendziegels. Somit versteht man beispielsweise unter der Variante in der ersten Zeile „Ziegel (ungefüllt) + 20 cm Dä. + 11,5“ einen Außenwandaufbau, bestehend aus einer Ziegeltragschale (ohne Dämmstofffüllung), einer außenliegenden Dämmschicht mit 20 cm Dicke und einem Verblendziegel der Dicke 11,5 cm (inkl. Fingerspalt Luft zw. Dämmung und Verblendziegel).

3.4 Ökonomie

Der Bau bzw. die Errichtung eines (Wohn-)Gebäudes stellt für die meisten Menschen die größte Investition ihres Lebens dar. Die Baukosten machen diesbezüglich denjenigen Anteil der Kosten aus, der als Gesamtsumme nach Fertigstellung zu entrichten ist. Für Gebäude spielen jedoch die Kosten während des gesamten Lebenszyklus eine gleichermaßen wichtige Rolle. Gebäude, die hohe laufende Kosten für beispielsweise Wartung und Instandhaltung aufweisen, werden über einen längeren Zeitraum gesehen höhere auf den Startzeitpunkt bezogene Gesamtkosten verursachen. Es ist also neben der kostenoptimierten Errichtung eines Neubaus mindestens genauso wichtig, die Folgekosten bereits zu Beginn im Blick zu haben. Es lohnt sich daher immer – auch wenn nicht gerade ein Zertifikat für nachhaltiges Bauen angestrebt wird –, die regelmäßigen, jährlich anfallenden Kosten für Reinigung, Betrieb, Instandhaltung, Wartung und Inspektion in der Planung zu erfassen und zu optimieren.

Da gerade die Baukosten starken Preisschwankungen unterliegen (s. Bild 3 und Bild 4), ist es empfehlenswert, Bauweisen und -konstruktionen auszuwählen, die eine hohe technische Nutzungsdauer aufweisen und

daher im Verlauf des Gebäudelebenszyklus nur selten oder gar nicht ausgetauscht werden müssen. Langlebige Bauweisen, wie z. B. die monolithische oder zweischalige Bauweise mit Ziegeln, stellen den Grundpfeiler des deutschen Wohngebäudebestands dar (s. [13]). Sie liefern bezüglich der Lebenszykluskosten von Gebäuden die Planungssicherheit für den Investor/Besitzer/Bauherrn und sorgen für eine gewisse Unabhängigkeit von sich dynamisch entwickelnden Baukosten in der Zukunft.

Die Auswertung der BKI-Baukosten für den Neubau im Jahr 2024 [15] gibt einen Überblick über in 2024 realisierte Projekte im Bereich von Ein- und Zweifamilienwohnhäusern mit (s. Bild 5) und ohne Keller (s. Bild 6). Hier ist zusätzlich die Umsetzung von Massiv- und Holz-Bauweisen vergleichend dargestellt. Es zeigt sich – sowohl mit als auch ohne Keller – ein signifikanter Unterschied in der fertiggestellten Anzahl an Gebäuden sowie eine gemittelte Bandbreite im Massivbau von 1.918 bis 2.063 €/m²_{BGF}, in der Holzbauweise dagegen von 2.225 bis 2.604 €/m²_{BGF}, jeweils mit und ohne Keller.

3.4.1 Herstellungs- bzw. Baukosten

Um einen Kostenvergleich der verschiedenen Bekleidungsarten mit Sparverblendern und Riemchen im Vergleich zu Konstruktionen mit verputzten Wärmedämmverbundsystemen durchzuführen, wurden die aktuellen BKI-Baukosten für Elemente im Neubau herangezogen. Als tragende Schicht wurde mit Dämmstoff gefülltes bzw. ungefülltes Hochlochziegelmauerwerk in Ansatz gebracht, welches zusätzlich auf der Innenseite mit einem mineralischen Putz versehen ist. Bild 7 zeigt einen Vergleich der in Tabelle 4 dargestellten Wandaufbauten hinsichtlich ihrer Herstellungskosten auf Bauteilebene.

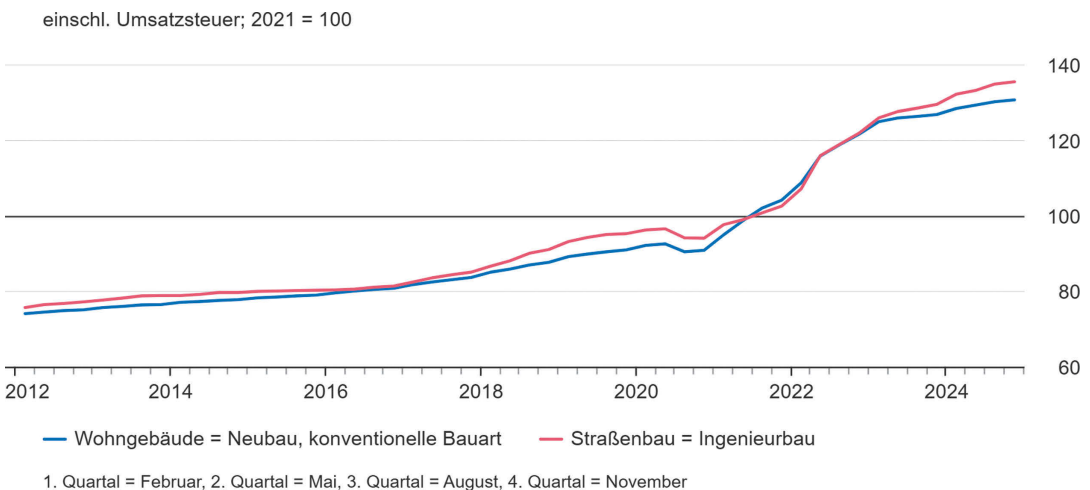


Bild 3. Baupreisindizes für Wohngebäude und Straßenbau (einschl. Umsatzsteuer) (Abbildung: Destatis [14])

D Mauerwerk im Bestand

D3 Verankerung von Fassadengerüsten

Jürgen H. R. Künzlen, Christoph-Ludwig Bügler und Eckehard Scheller

Inhalt

1	Lasten und Mechanismen für Fassadengerüste	247		
1.1	Grundsätzliches	247		
1.2	Konstruktive Besonderheiten des Gerüstbaus	247		
1.3	Baurechtliche Konsequenzen – Regelausführungen	248		
1.4	Ankerraster und Ausbildung der Gerüsthälter	249		
1.5	Horizontale Beanspruchungen der Fassadengerüste und Ankerkräfte	250		
1.6	Verankerung von Gerüsten an Fassaden mit nicht tragfähigen Aufbauten	250		
2	Verankerung im Untergrund im Detail	252		
2.1	Allgemeines	252		
2.2	Regelungen	252		
2.2.1	DIN EN 12811-1: Temporäre Konstruktionen für Bauwerke – Teil 1: Arbeitsgerüste	252		
2.2.2	DIN 4426: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen	252		
2.2.3	Zulassungen für Fassadengerüste	253		
2.2.4	DGUV Information 201-011: Verwendung von Arbeits-, Schutz- und Montagegerüsten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung	253		
2.2.5	Fachinformation Gerüste für Arbeiten an Fassaden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)	254		
2.3	Temporäre bzw. dauerhafte Verankerung	256		
2.4	Einleitung von Druckkräften	257		
2.5	Montage und Auswahl von Dübeln	257		
2.5.1	Bohren	257		
2.5.2	Kunststoffdübel	258		
2.5.3	Injektionsdübel	260		
3	Fazit	260		
	Literatur	261		

1 Lasten und Mechanismen für Fassadengerüste

1.1 Grundsätzliches

Gerüste sind temporäre Konstruktionen, die in der Regel an ihrem Verwendungsort aus vorgefertigten Bauteilen zusammengesetzt und nach erfolgter Nutzung wieder demontiert werden. Entsprechend ihrem jeweiligen Einsatzzweck wird unterschieden in:

- Arbeitsgerüste gemäß DIN EN 12811-1 [1], die einen hochgelegenen Arbeitsplatz bieten samt den Flächen für Lagerung der für die auszuführenden Arbeiten erforderlichen Werkzeuge und Baustoffe sowie die notwendigen Zugänge zu diesen Arbeitsplätzen,
- Schutzgerüste gemäß DIN 4420-1 [2], die Menschen vor dem tiefen Absturz oder Menschen, Geräte und Einrichtungen vor herabfallenden Gegenständen schützen sollen und
- Traggerüste gemäß DIN EN 12812 [3], die Konstruktionen im Bauzustand unterstützen, bis diese eine ausreichende Tragfähigkeit erlangt haben, oder auf denen Maschinen, Baustelleneinrichtungen und Ähnliches abgesetzt werden können.

Im Folgenden wird auf die beiden erstgenannten Gerüstarten eingegangen, die in der Praxis als Arbeits- und Schutzgerüste häufig beiden Verwendungszwecken gleichermaßen dienen.

Hinsichtlich ihres Tragverhaltens werden Arbeits- und Schutzgerüste unterschieden in:

- Standgerüste (vgl. Bild 1), welche ihre Vertikallasten direkt über druckbeanspruchte Stäbe in den Baugrund oder tragfähige Unterkonstruktionen ableiten (siehe hierzu [4]) und
- Hängegerüste (vgl. Bild 2), welche ihre Vertikallasten über zugbeanspruchte Hängestäbe in Primärkonstruktionen ableiten (siehe hierzu [5]).



Bild 1. Rahmengerüst als Standgerüst mit längenorientierten Gerüstlagen, Fassadengerüst (Foto: Bügler)



Bild 2. Hängegerüst mit flächenorientierten Gerüstlagen (Foto: Bügler)



Bild 3. Raumgerüst als Standgerüst mit flächenorientierten Gerüstlagen (Foto: Bügler)

Abhängig von der Geometrie der Belagflächen wird differenziert in:

- Gerüste mit längenorientierten Belagebenen (Fassadengerüste, vgl. Bild 1) und
- Gerüste mit flächenorientierten Belagebenen (Raumgerüste, vgl. Bild 3).

Die anschließenden Ausführungen behandeln ausschließlich die Bauart des Standgerüsts mit längenorientierten Belagebenen (vgl. Bild 1), und zwar solche, die das Bauwerk zur Abstützung benötigen, d. h. an diesem verankert werden.

1.2 Konstruktive Besonderheiten des Gerüstbaus

Bedingt durch den temporären Einsatz der Konstruktionen an wechselnden Aufbauorten und die Notwendigkeit ihrer flexiblen Anpassung an unterschiedlichste Primärkonstruktionen ergeben sich zwingend konstruktive Besonderheiten, die den Gerüstbau prägen.

Um manuellen Horizontal- und Vertikaltransport und manuelle Montage zu ermöglichen, unterliegen die verwendeten, meist konfektionierten Bauteile, die gewissermaßen einem „Baukastensystem“ entsprechen, einer Gewichtsbeschränkung. Dies führt zu aufgelösten, schlanken Querschnitten (meist Rundrohren), die durch sorgfältige konstruktive Maßnahmen gegen Stabilitätsversagen gesichert werden müssen. Gerüstkonstruktionen, die aus vorgefertigten Bauteilen bestehen, deren Systemmaße durch die an ihnen angebrachten Verbindungsmöglichkeiten vorgegeben sind, werden als Systemgerüste bezeichnet. Die überwiegende Anzahl der in Deutschland errichteten Fassadengerüste wird aus Systemgerüstmaterial erstellt.

Systemgerüste sind entweder Rahmengerüste (Bild 1), bei denen meist die vertikalen Tragglieder als geschlossene Rahmen hergestellt werden, oder Modulgerüste (Bild 4), bei denen die Ständerrohre in vorgegebenen modularen Abständen (in der Regel 0,50 m) mit festen Anschlussmöglichkeiten für weitere Gerüstbauteile ausgestattet sind. Als Fassadengerüste werden hauptsächlich Rahmengerüstsysteme eingesetzt, weshalb die folgenden Ausführungen sich auf diese konzentrieren. Da der Monteur die Verbindungen der Systemteile schnell und einfach herstellen und auch wieder lösen können muss, werden überwiegend Steck- und Klemmverbindungen eingesetzt. Steckverbindungen, z. B. zwischen Ständerrohr und Stoßverbinder, haben in der Regel ein Spiel (sogenannte Lose) im Bereich von drei bis vier Millimetern je Verbindung. Klemmverbindungen (vgl. Bild 5) dienen zur Verbindung von zueinander geneigten oder parallelen Rohren und werden überwiegend mittels Schraubkupplungen gemäß DIN EN 74-1 [6] hergestellt. Durch das Vorspannen der Hammerkopfschraube der Kupplung wird ein Anpressdruck zwischen Sattel und Überwurfbügel der Kupplung einerseits und der Rohrwandung andererseits



Bild 4. Modulgerüst (Foto: Bügler)



Bild 5. Verbindung zweier Rohre mit einer Normalkupplung (Foto: Bügler)

erzeugt, mittels dessen eine kontrollierte Reibung erzeugt wird. Als Versagen wird das Rutschen der Kupplung betrachtet.

Diese speziellen Verbindungstechniken haben zur Folge, dass aus Systembauteilen zusammengesetzte Konfigurationen zunächst – je nach Fabrikat – spezifische Verformungswege zurücklegen müssen, bevor sie einer auf sie einwirkenden Last planmäßigen Widerstand entgegensetzen. Diese typischen, systemabhängigen Federsteifigkeiten können nur durch Versuche ermittelt werden.

1.3 Baurechtliche Konsequenzen – Regelausführungen

Konstruktionen, deren Standsicherheit und Tragfähigkeit nicht auf der Grundlage bauaufsichtlich eingeführter technischer Baubestimmungen nachgewiesen werden können, bedürfen in der Bundesrepublik Deutschland einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung/allgemeinen Bauartgenehmigung (abZ/aBG) oder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Da wesentliche Parameter ihres Tragverhaltens nur durch Versuche ermittelt werden können, trifft dies auf Systemgerüste zu. Sämtliche Systemgerüste, die in Deutschland verwendet werden sollen, benötigen eine abZ/aBG.

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) werden für vorgegebene Ausstattungsvarianten die erforderlichen Federkennwerte ermittelt und rechnerisch – ebenfalls vorgegebene – Aufbaukonfigurationen untersucht.

Produktfestlegungen, Bemessungsverfahren, Versuchsanforderungen, Ausstattungsvarianten und Aufbaukonfigurationen sind in den Normen DIN EN 12810-1 [7], DIN EN 12810-2 [8], DIN EN 12811-3 [9] und in den Zulassungsgrundsätzen für Arbeits- und Schutzgerüste des DIBt festgelegt.

Die zu untersuchenden Konfigurationen der Systemgerüste umfassen Aufbauvarianten für am Bauwerk verankerte Fassadengerüste bis zu einer Höhe der obersten Arbeitslage von 24,0 m. Sie beinhalten alle wesentlichen, für den Einsatz als Arbeits- und Schutzgerüst erforderlichen Bauteile. Diese im Rahmen des Zulassungsverfahrens berechneten Konfigurationen werden als Regelausführungen bezeichnet und in den Aufbau- und Verwendungsanleitungen, die der Hersteller dem Anwender zur Verfügung stellen muss, dargestellt und beschrieben. Standsicherheit und Tragfähigkeit der Regelausführung gelten als nachgewiesen.

Die Regelausführung beinhaltet sowohl die unbleidete Ausführung des Gerüsts als auch bekleidete Aufbauvarianten mit Gerüstschutznetzen oder Planen, jeweils vor offener und geschlossener Fassade, abhängig vom Öffnungsanteil des Bauwerks. In der Baustellenpraxis werden die meisten Fassadengerüste – sofern sie nicht gravierend und signifikant von den Vorgaben des Zulassungsbescheids und der Aufbau- und Verwendungsanleitung abweichen – als Umsetzung der Regelausführung betrachtet, wobei kleinere Abweichungen stillschweigend hingenommen werden. Für Gerüste, die keiner Regelausführung entsprechen, muss ein Standsicherheits- und Festigkeitsnachweis im Einzelfall erbracht werden.

1.4 Ankerraster und Ausbildung der Gerüsthalter

Die Regelausführung eines Rahmengerüstsystems sieht grundsätzlich drei Verankerungsraster vor (weitere, vom Fabrikat abhängige Ankerraster sind möglich):

- Verankerung eines jeden Rahmenstrangs im Höhenabstand von 8,00 m, wobei die Anker benachbarter Rahmenstränge um 4,00 m versetzt sind. Diese Ausführung kann eingesetzt werden für unbleidete Gerüste und für mit Netzen bekleidete Gerüste vor geschlossener Fassade.
- Verankerung eines jeden Rahmenstrangs im Höhenabstand von 4,00 m. Diese Ausführung kann auch für mit Netzen bekleidete Gerüste vor offener Fassade eingesetzt werden.
- Verankerung eines jeden Rahmenstrangs im Höhenabstand von 2,00 m. Diese Ausführung kann auch für mit Planen bekleidete Gerüste eingesetzt werden.

Das Gerüstbauteil, mit dem Ankerkräfte aus dem Gerüst in die Verankerung am Bauwerk eingeleitet werden, ist der Gerüsthalter, ein Rohr, an dessen vom Gerüst abliegenden Ende sich ein angeschweißter Haken befindet, der in der Regel in eine Ringöschenschraube eingehakt wird. Diese Ringöschenschraube wird im Regelfall mit einem Dübel in der Fassade verankert. Am anderen Ende werden die Gerüsthalter mit Kupplungen in Knotennähe an den Ständerrohren des Gerüsts angeschlossen (vgl. Bild 6). Die Ausführung der Verankerung von Fassadengerüsten im Verankerungsgrund wird in Abschnitt 2 dieses Beitrags detailliert beschrieben.



Bild 6. Verankerung eines Fassadengerüsts mit kurzem Gerüsthalter und Ringöschenschraube (Foto: BIZWA Bernau)

Die horizontal auf das Gerüst wirkenden Kräfte rufen sowohl rechtwinklig als auch parallel zur Fassade wirkende Beanspruchungen hervor. Um ausschließlich rechtwinklig zur Fassade wirkende Kräfte in den Verankerungsgrund einzuleiten, reicht es aus, einen rechtwinklig zur Fassade ausgerichteten sogenannten „kurzen“ Gerüsthalter mit einer Kupplung am inneren Ständer des Gerüstrahmens zu befestigen (Bild 6). Dabei ist sowohl die Stelle des Einhakens des Gerüsthalters in die Ringöschenschraube als auch der Kupplungsanschluss am Gerüst wegen seiner geringen rechnerischen Torsionssteifigkeit als Gelenk zu betrachten. Das statische System dieses „kurzen“ Gerüsthalters ist ein beiderseits gelenkig angeschlossener Stab.

Sollen parallel zur Fassade wirkende Lasten übertragen werden, so muss eine Verdrehbarkeit des Gerüsthalters um den Innenständer ausgeschlossen werden. Dabei muss das Ankerrohr als sogenannter „langer“ Gerüsthalter ausgeführt und sowohl am Außen- als auch am Innenständer des Gerüstrahmens angeschlossen werden, um einen biegesteifen Anschluss an das Gerüst zu erzeugen. Die gleiche Wirkung wird durch einen sogenannten „Dreieckshalter“ oder „V-Anker“ (vgl. Bild 7) erzielt, der aus zwei unter 90° zueinander geneigten „kurzen“ Gerüsthaltern besteht, die an den Innenständer angeschlossen werden. Auch dieser „Dreieck“ verhindert eine Verdrehung. Beide Mechanismen sind geeignet, zusätzlich zu den rechtwinklig angreifenden auch parallel zur Fassade wirkende Ankerkräfte zu übertragen.

Die erforderliche Anzahl der einzubauenden „langen“ Gerüsthalter oder „Dreieckshalter“ ist abhängig vom Fabrikat und der Ausführungsvariante des Fassadengerüsts. Für unbleidete Gerüste kann als überschlägliche Faustregel gelten, dass etwa jeder dritte Anker derart auszubilden ist. Genauere Angaben können der Aufbau- und Verwendungsanleitung des jeweiligen Gerüstherstellers entnommen werden.

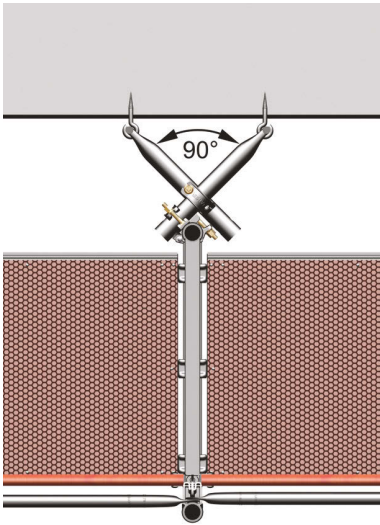


Bild 7. Schematische Darstellung eines V-Ankers zur Übertragung von Lasten parallel zur Fassade (Quelle: Wilhelm Layher GmbH & Co. KG)

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass sich an dem der Fassade zugewandten Ende des Gerüsthalters stets ein Gelenk befindet (vgl. Grafiken Tabelle 1).

1.5 Horizontale Beanspruchungen der Fassadengerüste und Ankerkräfte

Die in die Verankerung des Gerüsts einzuleitenden Lasten speisen sich aus drei Einflüssen:

- Windlasten, die auf das Gerüst wirken,
- unvermeidbare Schiefstellung der Ständerrohre gegeneinander an ihren Stoßstellen und
- Vorkrümmungen der einzelnen Tragglieder.

Der aus den Windlasten resultierende Anteil ist der quantitativ größte und insofern der maßgebliche Einfluss. Vereinfacht wird nur dieser in den folgenden Überlegungen betrachtet.

Für die Regelausführung, die einen wesentlichen Anteil der Einsatzfälle abdecken soll, sind die rechnerisch anzusetzenden Windlasten – gemessen an den tatsächlichen Einsatzfällen z. B. im innerstädtischen Raum – verhältnismäßig ungünstig.

Die anzusetzenden Bemessungsstaudrücke sind in DIN EN 12810-1 [7] zwingend vorgegeben. Sie verlaufen – unabhängig vom Aufstellort – linear von $0,8 \text{ kN/m}^2$ am Stellgrund des Gerüsts bis zu $1,1 \text{ kN/m}^2$ in $24,00 \text{ m}$ Aufbauhöhe. Diese Staudrücke sind deutlich höher als die nach nationaler Windlastnorm anzusetzenden Werte für dicht besiedeltes Binnenland (siehe hierzu DIN EN 1991-1-4 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten“ [10] mit dem nationalen Anhang DIN EN 1991-1-4/NA „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Ein-

wirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten“ [11]).

Die aus diesen Bemessungsstaudrücken resultierenden Ankerkräfte werden von den jeweiligen Herstellern der Systemgerüste in den zugehörigen Aufbau- und Verwendungsanleitungen angegeben. Sie betragen – abhängig von Fabrikat, Aufbauvariante, Bekleidung und Öffnungsanteil der Fassade – zwischen $1,0 \text{ kN}$ und $6,0 \text{ kN}$ je Anker rechtwinklig zur Fassade und zwischen $3,5 \text{ kN}$ und $6,0 \text{ kN}$ je „langem“ Gerüsthalter oder „Dreieckshalter“ parallel zur Fassade.

Wenngleich die meisten Fassadengerüste stillschweigend als „Regelausführung“ betrachtet und somit ohne expliziten Standsicherheits- und Tragfähigkeitsnachweis im Einzelfall errichtet werden, so besagt dies nicht zwingend, dass die oben angegebenen Ankerkräfte auch real auftreten. Um diesen Sachverhalt zu veranschaulichen, werden beispielhaft die parallel zur Fassade wirkenden Ankerkräfte eines mit Netzen bekleideten Fassadengerüsts betrachtet.

Bei einem vertikalen Abstand der Ankerlagen von $4,00 \text{ m}$, einer Aufbauhöhe des Gerüsts von $20,0 \text{ m}$ und Windlastannahmen gemäß DIN EN 12810-1 [7] ergäben sich für eine solche Konfiguration Parallellasten von ca. $0,66 \text{ kN/m}$ Fassadenlänge.

Betrachtet man die gleiche Konstruktion im Rahmen eines Nachweises im Einzelfall und ermittelt die Windlast nach nationalen Vorgaben für Windzone WZ 2 (Binnenland), Geländekategorie III (Vorstädte, Industrie- und Gewerbegebiete) unter Annahme eines Qualitätsnetzes mit Prüfzeugnis und eines aerodynamischen Beiwerts von $c_{q||} = 0,14$ (dies ist üblicher Standard, vergleiche [12]), so ergibt sich nur noch eine Parallellast von ca. $0,23 \text{ kN/m}$ Fassadenlänge. Die rechnerische Ankerkraft sinkt also auf fast ein Drittel des Werts der Regelausführung. Für den innerstädtischen Bereich sind die Ergebnisse einer Berechnung im Einzelfall also erheblich günstiger als die Werte der Regelausführung.

Andererseits können die Werte der Regelausführung aber auch erheblich überschritten werden: Unter Annahme der Windzone WZ 4 (Deutsche Bucht), Geländekategorie I (Küste) steigt die rechnerische Parallellast für die beschriebene Gerüstkonfiguration auf ca. $1,05 \text{ kN/m}$ Fassadenlänge. Dies zeigt, dass die in den Regelausführungen dargestellten Gerüstkonfigurationen durchaus geeignet sind, die Einsatzbedingungen in den meisten Regionen Deutschlands auch in unterschiedlichstem Gelände abzudecken, dass jedoch an Aufstellorten mit extremen Windlasten eine statische Untersuchung im Einzelfall und entsprechende Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich sind.

1.6 Verankerung von Gerüsten an Fassaden mit nicht tragfähigen Aufbauten

Werden Fassaden mit Aufbauten versehen, die nicht in der Lage sind, Verankerungskräfte temporärer



Bild 8. Dauerhafte Einrichtung zur Verankerung von Fassadengerüsten mit Gerüsthalter (Foto: Jakubeit)

Konstruktionen aufzunehmen (z. B. Natursteinfassaden, Vorhangfassaden, zweischaliges Mauerwerk, Wärmedämm-Verbundsysteme etc.), kann der unter Abschnitt 1.4 beschriebene Verankerungsmechanismus nicht mehr ausgeführt werden, es sei denn, der Gerüsthalter würde die nicht tragenden Schichten durchdringen. Da dies zu Schäden oder Fehlstellen in der Fassadenbekleidung führen würde, muss dies in den allermeisten Fällen ausgeschlossen werden. Um eine Beschädigung der Fassadenaufbauten – auch und insbesondere in Hinblick auf künftige Einrüstungen – zu vermeiden, müssen dauerhafte Verankerungskonstruktionen in das Fassadensystem integriert werden, die in der Lage sind, die Verankerungskräfte eines Fassadengerüsts aufzunehmen. Diese sogenannten „Daueranker“ sind Bestandteil der Fassade und somit des Bauwerks, sie sind kein Bestandteil des Gerüsts.

Bei Naturstein oder Vorhangfassaden ist der Einbau derartiger Daueranker gängige Praxis. Es handelt sich hierbei um Bauteile, die biegesteif an die Fassade angeschlossen werden, meist entweder in Form eines an tragfähige Bauteile angedübelten „Dreibocks“ (Bild 8) oder als in tragfähige Bauteile eingespannte Kragkonstruktion. Ein biegesteifer Anschluss an das Bauwerk ist zwingend erforderlich. Da der Gerüsthalter – wie bereits erläutert – mit einem Gelenk endet, würde ein gelenkiger Anschluss des Dauerankers an die Fassade zu einer kinematischen Kette führen.

Die dauerhaften Ankerkonstruktionen sind mit demontierbaren Endstücken ausgestattet, welche die Fassade in den Fugen der Bekleidung durchdringen und in denen sich Ösen für die Haken der Gerüsthalter befinden.

Bei der Montage des Gerüsts werden zunächst an tragenden Bauteilen die gerüstbautypischen temporären Verankerungen mit kurzen Ringöschenschrauben und Kunststoffdübeln eingebaut. Nachdem der Fassadenbauer die Daueranker gesetzt hat, verankert der Gerüstbauer das Gerüst an diesen und entfernt die ursprünglichen temporären Anker. Im Zuge der Demontage des Gerüsts werden die Endstücke der

Daueranker ausgebaut. Der verbleibende Daueranker ist Bestandteil des Bauwerks und muss dementsprechend auch alle für das Bauwerk geltenden baurechtlichen Anforderungen erfüllen, auch hinsichtlich der Dauerhaftigkeit. Dies setzt sowohl einen ausreichenden Korrosionsschutz als auch die Verwendung entsprechender Befestigungsmittel voraus. Eine detaillierte Betrachtung der Befestigung einer dauerhaften Gerüstverankerung im Vergleich zu einer temporären Verankerung enthält Abschnitt 2.3.

Problematischer als bei den genannten Naturstein- und Vorhangfassaden stellt sich die Situation bei Fassaden dar, die mit Wärmedämm-Verbundsystemen bekleidet werden. Als die Entwicklung dieser Fassadendämmsysteme in den 1980er Jahren einsetzte, waren die Schichtdicken noch relativ gering. Meist konnte die Verankerung der Fassadengerüste noch unter Ausnutzung einer kurzen Ringöschenschraube realisiert werden. Auf zunehmende Dämmstoffdicken (aufgrund immer höherer Anforderungen der Energieeinsparverordnung bzw. seit 2020 des Gebäudeenergiegesetzes) reagierte man mit Einbau immer längerer Ringöschenschrauben; eine Praxis, die einen rechnerisch kaum als standischer nachweisbaren Zustand erzeugte (vgl. Abschnitt 2.2.5).

Mittlerweile erreichen die Aufbauten der Wärmedämm-Verbundsysteme Dämmstoffdicken von über 20 mm. Es bedarf keiner weiteren Erläuterung, dass normale Schraubenschäfte (in der Regel $\Phi = 12$ mm) bei einer Kraglänge von 25 bis 30 mm kaum noch Druckkräfte rechtwinklig zur Fassade, geschweige denn Biegung erzeugende Lasten parallel zur Fassade aufnehmen können. Eine temporäre Verankerung mit den oben beschriebenen üblichen Mitteln des Gerüstbaus ist praktisch nicht mehr möglich. Auf die Problematik der Verankerung von Fassadengerüsten mit Wärmedämm-Verbundsystem geht Abschnitt 2.2.5 im Detail ein. Ohne Einbau von Dauerankern ist die Einhaltung des in den technischen Regelwerken geforderten Sicherheitsniveaus technisch nur dann möglich, wenn spezielle Wärmedämmverbundsystem(WDVS)-Verankerungen verwendet werden (z. B. Bild 12) oder das Gerüst durch entsprechende Konstruktionen zur Aufnahme der parallel zur Fassade wirkenden Lasten ertüchtigt wird, z. B. durch

- Umleitung der Kräfte parallel zur Fassade über fachwerkartige Rohr-Kupplungskonstruktionen unter den Belagebenen im Eckbereich des Gerüsts in Anker, die lotrecht zur betrachteten Fassade eingebaut sind;
- stirnseitige Verankerung des Gerüsts in Erkern, Balkonen oder
- Stützung des Gerüsts durch Aussteifungskonstruktionen usw.

Diese Zusatzkonstruktionen sind aber mit erheblichem Aufwand und Zusatzkosten verbunden und bieten für künftige Einrüstungen keine Lösung.

2 Verankerung im Untergrund im Detail

2.1 Allgemeines

In verschiedenen Literaturquellen wird im Detail auf die Grundlagen und Regelungen der allgemeinen Dübeltechnik in Mauerwerk eingegangen (vgl. [13], [14] usw.). Diese Veröffentlichungen beschäftigen sich im Schwerpunkt mit den geltenden Zulassungen bzw. dem Zulassungsverfahren und den entsprechenden Bemessungsregeln. Dass es für die Verwendung bestimmter Bauprodukte allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen gibt, zeigt, dass es sich für den dort beschriebenen Anwendungsfall um nicht geregelte Bauprodukte im Sinne von §17 Abs. 3 Satz 1 der Musterbauordnung (MBO) handelt. Wesentliche Abweichungen von den in den Zulassungen der Befestigungsmittel getroffenen Bestimmungen verursachen im Geltungsbereich der Landesbauordnungen im Allgemeinen die Notwendigkeit eines neuen bzw. erweiterten Verwendbarkeitsnachweises (z. B. einer Zustimmung im Einzelfall, einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung oder einer erweiterten Zulassung).

Bei der Befestigung von Fassadengerüsten wird in der Praxis dennoch oftmals ohne entsprechenden neuen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis wesentlich von den Zulassungen abgewichen.

Dieses Vorgehen ist dann baurechtlich nicht zu beanstanden, wenn die in den nachfolgenden Abschnitten geschilderte Vorgehensweise eingehalten wird, da es sich hierbei aus Sicht der Autoren um anerkannte Regeln der Technik im Sinne von §17 Abs. 3 Satz 1 der MBO handelt, es sich also um Regeln bzw. Regelwerke handelt, die in der Praxis bekannt sind und entsprechend angewendet werden, weil sich diese Regelungen im praktischen Baualltag bewährt haben. Diese Regelwerke, z. B. die DGUV Information 201-011 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung [15], sollen nachfolgend vorgestellt werden.

Da die Regelungen bzw. Zulassungen für Fassadengerüste von einer maximalen Standzeit von zwei Jahren ausgehen, sind die derzeit gültigen Sicherheitskonzepte für die allgemeine Dübeltechnik, die von einer Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren ausgehen, im Bereich der Fassadengerüste nicht immer anwendbar. Eine direkte Anwendung dieser Regelungen (vgl. [13], [14] usw.) führt für die Dübel zu zulässigen Lasten, mit denen die beispielsweise in den Zulassungen der Gerüstersteller angegebenen (und für die Fassadengerüste notwendigen) Befestigungsanforderungen nicht erreicht werden können (vgl. Abschnitt 1.5). Vor allem bei Fassadengerüsten, die – wie in Bild 9 dargestellt – mit einem engmaschigen Netz bzw. einer Plane verhängt werden, können auf der Einwirkungsseite charakteristische Zuglasten im Bereich von über 5 kN pro Befestigungsstelle auftreten.

Nachfolgend werden nur die wichtigsten vorhandenen Regelungen im direkten Bereich der Fassadengerüste im direkten Bezug zur Verankerung am Bauwerk kurz



Bild 9. Fassadengerüst mit engmaschigem Netz (Foto: Küenzlen)

dargestellt, ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht jedoch nicht.

2.2 Regelungen

2.2.1 DIN EN 12811-1: Temporäre Konstruktionen für Bauwerke – Teil 1: Arbeitsgerüste

Im Anwendungsbereich zu dieser Norm heißt es wie folgt (vgl. [1], S. 4):

„Diese Europäische Norm legt die Leistungsanforderungen sowie Verfahren für Entwurf, Konstruktion und Bemessung von Arbeitsgerüsten fest. Die Anforderungen gelten für Arbeitsgerüste, die das angrenzende Bauwerk zur Standsicherheit benötigen.“

Damit betreffen die Anforderungen dieser Norm auch die Dübeltechnik, da die Verbindung zwischen Bauwerk und Arbeitsgerüst in den meisten Fällen über ein Befestigungsmittel erfolgt. In der Norm finden sich beispielsweise Angaben zur Ermittlung der Windbelastung. Detaillierte Angaben zur Ausführung der Verankerung am Bauwerk werden aber in der Norm nicht gemacht, es werden lediglich die entsprechenden Einwirkungen auf das Gerüst betrachtet, die dann natürlich – über Befestigungsmittel – in den Verankerungsgrund eingeleitet werden müssen.

2.2.2 DIN 4426: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen

Die Anforderungen an dauerhafte Gerüstverankerungen, wenn tragende Bauteile einer Außenwand mit Platten bekleidet oder Vorhangfassaden angebracht werden, sind in DIN 4426 geregelt. Die im Januar 2017 veröffentlichte DIN 4426 schreibt vor (vgl. [16], S. 13):

„Werden die tragenden Bauteile einer Außenwand mit Fassadenkonstruktionen (Vorhangfassaden, Wärmedämmverbundsysteme, zweischaliges Mauerwerk) versehen, die keine Verankerungskräfte temporärer Arbeitsplätze

aufnehmen können, sind dauerhafte Vorrichtungen für die Verankerungen temporärer Arbeitsplätze für zukünftige Arbeiten an der Fassade vorzusehen.“

Dabei sind diese in DIN 4426 geforderten „Vorrichtungen“ wie folgt auszubilden:

- Der vertikale Abstand zwischen den Verankerungsebenen darf 4,0m nicht überschreiten.
- Die Verankerungen sind mindestens für folgende charakteristische Einwirkungen zu bemessen:
 - rechtwinklig zur Fassade 2,25 kN je Meter Fassadenlänge,
 - parallel zur Fassade 0,75 kN je Meter Fassadenlänge.
- Beträgt der vertikale Abstand weniger als 4,0m, dürfen die Kräfte proportional abgemindert werden. An Gebäudekanten (z. B. Traufkanten, Gebäudeecken) sind die angegebenen Kräfte zu verdoppeln.

Auf die genannten Verankerungsvorrichtungen darf nur dann verzichtet werden, wenn Fassadenbefahranlagen vorhanden sind oder die Traufhöhe des Gebäudes 8 m nicht überschreitet.

Die in der Norm genannten Lasten, für die dauerhafte Gerüstverankerungen (Daueranker) auszulegen sind, entsprechen in etwa dem für Gerüste der Regelausführung zu berücksichtigenden Lastspektrum. Die Kräfte parallel zur Fassade von 0,75 kN entsprechen ungefähr der Größenordnung eines mit Netzen bekleideten Fassadengerüsts mit den aus den Windlasten nach DIN EN 12810-1 [7] ermittelten Parallellasten von ca. 0,66 kN/m Fassadenlänge. An einem für die in DIN 4426 [16] geforderten Lasten bemessenen „Daueranker“ können also problemlos Gerüste der Regelausführung verankert werden. Dies ist auch sinnvoll, denn ein konfektionierter Daueranker kann durchaus an beliebigen Orten in Deutschland eingesetzt werden. Die zur Verankerung in DIN 4426 genannten Lasten sind in Betonbauteilen in der Regel problemlos möglich. Soll jedoch in weniger tragfähigem Mauerwerk verankert werden, kann es durchaus sinnvoll sein, für die Bemessung der Dübel nicht die in DIN 4426 geforderten – der Regelausführung entsprechenden – Werte anzunehmen, sondern die Ankerkräfte für das ungünstigste zu erwartende Gerüstsystem mit den möglicherweise wesentlich günstigeren örtlich anzunehmenden Staudrücken entsprechend DIN EN 1991-1-4 [10] zu ermitteln. Wie in Abschnitt 1.5 dargestellt, kann dies zu wesentlich günstigeren (und realistischeren) Ergebnissen führen und damit zu geringeren Lasten, die mittels Dübeln verankert werden müssen.

2.2.3 Zulassungen für Fassadengerüste

In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der für den Aufbau von Fassadengerüsten eingesetzten Systemgerüste (vgl. z. B. [17], S. 28) ist ganz klar dargelegt:

„Die Verankerungen der Gerüsthalter an der Fassade oder an anderer Stelle am Bauwerk sind nicht Gegenstand dieser Zulassung. Der Anwender hat dafür Sorge zu tragen, dass diese die Kräfte aus den Gerüsthaltern

sicher aufnehmen und ableiten können. Vertikalkräfte dürfen dabei nicht übertragen werden.“

Damit erfolgen in den Zulassungen der Fassadengerüste selbst keine Regelungen zu den Befestigungen der Gerüste am Verankerungsgrund, es werden allein die verankernden Lasten angegeben (vgl. Abschnitt 1.5).

2.2.4 DGUV Information 201-011: Verwendung von Arbeits-, Schutz- und Montagegerüsten der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Dem Umstand, dass die vorher genannten Normen ebenso wie die Gerüstzulassungen die Verankerung an der Fassade nicht im Detail einschließen, nimmt sich die „DGUV Information 201-011: Verwendung von Arbeits-, Schutz- und Montagegerüsten“ [15] an. In dieser DGUV-Information ist das Thema Verankerungen mit einem eigenen Sicherheitskonzept dargestellt. Dabei sind die Lasten, die der Dübel aufnehmen muss, den Aufbau- und Verwendungsanleitungen, den Montageanleitungen oder den statischen Berechnungen zu entnehmen. Die Verankerungen müssen außerdem fortlaufend mit dem Gerüstaufbau eingebaut werden. Die Dübel müssen für die Verankerung von Fassadengerüsten in ausreichend tragfähigem Untergrund eingebaut werden. Dazu gehören beispielsweise Stahlbeton-Decken, Wände oder Stützen nach DIN 1045 (Bestandsbau) bzw. DIN EN 1992 (Neubau) und tragendes Mauerwerk nach DIN 1053 (Bestandsbau) bzw. DIN EN 1996 (Neubau). Nicht geeignet sind beispielsweise Befestigungen an Schneefangittern, Blitzableitern, Fallrohren, Fensterrahmen usw. (vgl. Bild 10). Weiter heißt es in [15] (S. 29):



Bild 10. Unzulässige Sicherung eines Fassadengerüsts mittels Spanngurt zur Ladungssicherung (Foto: Küenzlen)

„Für den Nachweis der Verankerungskräfte muss die Tragfähigkeit der Befestigungsmittel (z. B. Dübel und Schraube) zwischen Gerüsthalter und Verankerungsgrund nachgewiesen werden durch

- die Bauartzulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin,
- statische Berechnung
- oder
- Probelastungen nach 4.9.3.“

Die Bezeichnung „Bauartzulassung“ im Zitat zuvor ist unzureichend, da es diese so nicht gibt. Aus Sicht der Autoren bedeutet die Aussage, dass die Tragfähigkeit der Dübel durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/allgemeine Bauartgenehmigung oder durch eine Europäische Technische Bewertung (ETA) des Dübels ausgewiesen werden kann. Auf Grundlage einer solchen „Zulassung“ kann dann eine Bemessung der Gerüstverankerung durchgeführt werden (vgl. z. B. [14]).

Für Metall-Injektionsanker zur Verankerung im Mauerwerk und Kunststoffdübel mit ETA können für unbekanntes Mauerwerk, das nicht in der ETA definiert ist, unter bestimmten Voraussetzungen auch sogenannte „(Dübel-)Versuche am Bauwerk“ durchgeführt werden, um die Tragfähigkeiten dieser Dübel-Systeme im tatsächlich vorhandenen sogenannten „Baustellen-Verankerungsgrund“ zu bestimmen (vgl. [18]). Dieses Verfahren ist durch das vorhandene Regelwerk abgedeckt und ermöglicht es, in den Grenzen der ETA eine Bemessung der Gerüstverankerung durchzuführen, *ohne* dass dafür gesonderte Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweise (z. B. Zustimmung im Einzelfall oder vorhabenbezogene Bauartgenehmigung) erforderlich werden.

Für den Untergrund Beton gibt es verschiedene Dübel-Systeme, die die erforderlichen Lasten nach den Regelungen der Europäischen Technischen Bewertungen (ETA) in den Verankerungsgrund einleiten können. Dazu gehören beispielsweise Bolzenanker, Betonschrauben oder auch Injektionssysteme für gerissenen Beton.

Hinweis

Für Verankerungen im Naturstein gibt es bisher keine Dübel-Systeme mit „Zulassung“. Sollen an Wänden aus Naturstein Gerüste verankert werden, sind aus Sicht der Autoren gesonderte Beurteilungen erforderlich.

In Mauerwerk ist es derzeit in der Regel kaum möglich, die erforderlichen Lasten mit einem Kunststoffdübel oder einem Injektionssystem über eine ETA abzudecken. Hinweise zu Befestigungslösungen für Mauerwerk enthält Abschnitt 2.5 dieses Beitrages.

Da die Lasten im Rahmen des Sicherheitskonzepts einer ETA (vgl. z. B. [19]) für Kunststoff-Rahmendübel für die Gerüstbefestigungen oft nicht ausreichen, müssen die aufnehmbaren Lasten für die Befestigung von Fassadengerüsten nach der DGUV-Information ermittelt werden. Dazu sind Probelastungen direkt auf der Baustelle auszuführen. Diese Probelastungen müssen mit dafür geeigneten Prüfgeräten (z. B. Bild 11)



Bild 11. Prüfgerät zur Prüfung eines Kunststoffdübels mit Ringöschraube direkt am Bauwerk (Foto: Würth)

durchgeführt werden. Die zu prüfenden Dübel müssen dafür von einer dafür befähigten Person festgelegt werden.

Die Prüflast wird in der DGUV-Information dabei auf das 1,2fache der für die Gerüstbefestigung erforderlichen Last festgelegt. In Beton müssen, sofern keine zugelassenen Dübel mit entsprechenden zulässigen Lasten verwendet werden (z. B. einfache Gerüstdübel aus Kunststoff), mindestens 10% aller verwendeten Dübel geprüft werden. In Mauerwerk streuen die Dübelauszugslasten deutlich stärker, beispielsweise durch Fugen oder unterschiedliche Steinarten bei verputztem Mauerwerk im Altbaubereich. Aus diesem Grund sind hier mindestens 30% der Dübel vor Ort zu prüfen. Dabei ist zu beachten, dass immer ein Minimum von fünf Dübeln geprüft werden muss.

Können die erforderlichen Lasten nicht erreicht werden, ist die Ursache zu ermitteln und eine Ersatzbefestigung einzubauen. Gegebenenfalls kann es auch erforderlich werden, den Prüfumfang zu erhöhen. Über die gesamten Prüfungen ist eine schriftliche Dokumentation zum Nachweis der durchgeführten Prüfungen anzufertigen (Muster siehe [15]). Diese Dokumentation muss mindestens über die Standzeit des Gerüsts aufbewahrt werden.

2.2.5 Fachinformation Gerüste für Arbeiten an Fassaden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)

Die Fachinformation „Gerüste für Arbeiten an Fassaden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)“ ([20], S. 6) beschreibt



Bild 12. Befestigung eines Arbeitsgerüsts mit langen Ringöschenschrauben bei Montage eines WDVS-Systems (Foto: Küenzlen)

„[...] Anforderungen für die Erstellung von Arbeits- und Schutzgerüsten an ein- und zweischaligen massiven Wandbildnern, an denen erstmalig ein WDVS erstellt wird, sowie bei der Instandhaltung/-setzung bestehender WDVS einschließlich der Aufdopplung.“

Hinweise zur Befestigung von Fassadengerüsten im Anwendungsbereich der Fachinformation finden sich in ([20], S. 17):

„In der Praxis des Gerüstbauer-Handwerks hat sich daher ein maximaler Abstand von ca. 7 mm zwischen Ringöse und Ankergrund als Grenzwert (0,5 kN parallel zur Fassade) herausgestellt. [...] Bei größeren Schaftlängen geht die Tragfähigkeit der Ringöschenschraube – für Kräfte parallel zur Fassade – gegen Null.“

Die Befestigung eines Fassadengerüsts mit langen Ringöschenschrauben (Bild 12) ist gemäß der Fachinformation für WDVS-Arbeiten nicht geeignet, da

- die Standsicherheit des Gerüsts nicht gegeben ist und
- sich bei Verwendung langer Ringöschenschrauben das Gerüst unter der Windbelastung bewegt, was wiederum zu Schäden am WDVS führt.

Lange Ringöschenschrauben können zwar bei ausreichend tragfähigem Untergrund die auftretenden Zuglasten übertragen, nicht jedoch die Querlasten parallel zur Fassade (d. h. in Längsrichtung der Belageebene). Bild 13 zeigt dazu typische Last-Verformungskurven unter Querbeanspruchung einer Ringöschenschraube mit einem Abstand von der Öse zur Wand von rund

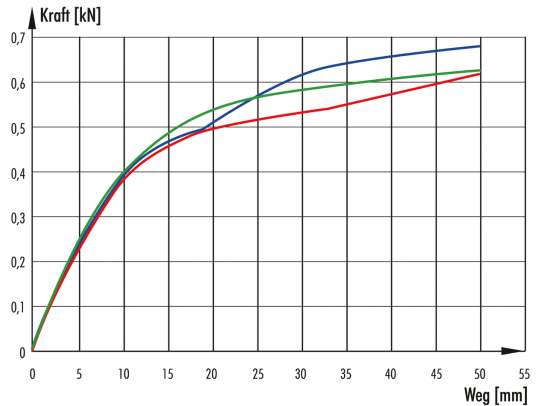


Bild 13. Typische Last-Verformungskurven unter Querbeanspruchung einer Ringöschenschraube mit einem Abstand von der Öse zur Wand mit ca. 180 mm (Grafik: Würth)

180 mm. Man erkennt deutlich, dass selbst bei großen Verformungen von rund 20 mm nur eine Last von ca. 0,5 kN parallel zur Fassade übertragen werden kann. Diese nach [20] übertragbare Last (0,5 kN) reicht in der Regel für die Anforderungen bei der Befestigung eines Arbeitsgerüsts nicht aus.

Die zeichnerischen Darstellungen der Anker in den Aufbau- und Verwendungsanleitungen der Gerüsthersteller bilden die Ringöschenschraube so ab, dass sie gänzlich in den tragfähigen Verankerungsgrund eingedreht wird. Diese rein theoretische Vorgabe ist allerdings praktisch nicht umsetzbar. Sowohl die Schaftausbildung der Ringöschenschraube als auch die Tatsache, dass sich auf dem tragfähigen Verankerungsgrund in der Regel mindestens Putz befindet, haben zur Folge, dass unvermeidbar ein Abstand zwischen Vorderkante des tragfähigen Verankerungsgrunds und der Achse der Ringöse besteht.

In der Baustellenpraxis hat sich deshalb als handwerkliche Regel durchgesetzt, dass der Abstand zwischen der Achse der Ringöse und der Vorderkante des Verankerungsgrunds so kurz wie möglich zu halten ist und 7 mm nicht überschreiten soll (vgl. auch Darstellung in [21]). Die Einhaltung dieser pragmatischen Regel hat bislang zu keinerlei bekannten nachteiligen Auswirkungen oder gar Schäden geführt.

Hierzu führt die Fachinformation ergänzend Folgendes aus ([20], S. 17):

„Ein an langen Ringöschenschrauben befestigtes Gerüst ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen in der Gerüstkonstruktion muss sich – ungeachtet der Tatsache, dass eine solche Ausführung nicht standsicher ist – unter Einwirkung von Windlasten zwangsläufig bewegen. Die Verformung der Ankerschraube verursacht Schäden in der Wärmedämmung. Die durch die verformten Anker entstehenden trichterförmigen Schadstellen führen zu bauphysikalischen, technischen und optischen Beeinträchtigungen. Diese Schäden können nur dann vermieden werden, wenn

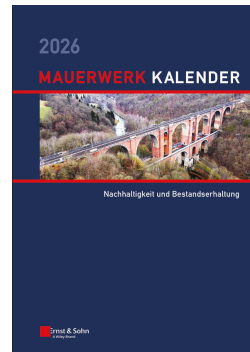
Detleff Schermer, Eric Brehm(Hrsg.)

Mauerwerk-Kalender 2026

**Schwerpunkte:
Nachhaltigkeit und Bestandserhaltung**

- **Nachhaltig bauen – klimaoptimierte Mauerwerkslösungen und aktuelle Lehmnormen effizient nutzen**
- **Fassaden optimieren – langlebige Lösungen von Riemchen bis Keramik für ästhetische und funktionale Bauten**
- **Bestand sichern – bewährte Strategien zur Sanierung von Gewölbebrücken und Anpassung an moderne Belastungen**

Der Mauerwerk-Kalender 2026 erscheint im 51. Jahrgang und liefert mit Beiträgen zu klimaoptimiertem Bauen, Lehmnormen und Fassadentechnik Impulse für den Neubau, während Forschung zu Gewölbebrücken und Verankerungstechnik den Erhalt bestehender Bauwerke stärkt.



2026 · 384 Seiten ·
200 Abbildungen · 170 Tabellen

Hardcover
ISBN 978-3-433-03470-5 € 159*
Fortsetzungspreis € 139*

**Das Nachschlagewerk und Praxis-
kompendium für den Mauerwerks-
bau mit Vorsprung durch Aktualität**



JETZT BESTELLEN
www.ernst-und-sohn.de/3470