

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner
em. Universitätsprofessor für Massivbau
und Prüflingenieur für Baustatik

Ingenieurbüro Graubner&Partner
Sachsen Spiegelstr. 7
80995 München
Tel.: +49 174 3131888
email: graubner@gup-ingenieure.de

Machbarkeitsstudie

zur Verwendung von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in tragendem Mauerwerk

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

Auftrag Nr.: AG 23-02

Seiten: Dieses Dokument umfasst die Seiten 1 bis 26

München, den 20. Juli 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	3
2	Literatur	4
3	Produktbeschreibung	6
3.1	Ausgangsmaterialien und Herstellung	6
3.2	Materialeigenschaften	6
4	Einsatzgebiete von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen	7
4.1	Ausgangssituation.....	7
4.2	Abschätzung der Mauerwerkstragfähigkeit unter Druckbeanspruchung	8
5	Bauphysikalische Anforderungen	10
5.1	Feuchteschutz.....	10
5.2	Schallschutz.....	10
5.3	Wärmeschutz.....	10
5.4	Brandschutz.....	11
6	Anforderungen an die Materialeigenschaften	12
6.1	Materialzusammensetzung der Steine	12
6.2	Bauphysikalische Materialeigenschaften.....	12
6.3	Materialeigenschaften im Brandfall	13
6.4	Mechanische Materialeigenschaften der Steine und des Mörtels	14
6.5	Mechanische Mauerwerkseigenschaften.....	15
7	Bemessung von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ..	17
7.1	Grundlagen	17
7.2	Tragfähigkeit unter Druckbeanspruchung.....	18
7.3	Tragfähigkeit unter Querkraftbeanspruchung	19
7.4	Punktuelle Lasteinleitung	19
8	Konstruktive Randbedingungen	20
8.1	Lager- und Stoßfugenausbildung, Mauerwerksverband	20
8.2	Teilaufliegende Decken.....	20
8.3	Anschluss an angrenzende Bauteile	20
8.4	Ausbildung des Wandfußes	21
8.5	Schlitze und Aussparungen.....	21
9	Überwachung und werkseigene Produktionskontrolle	22
10	Einschränkende Randbedingungen	23
10.1	Dauerhaftigkeit der Materialeigenschaften	23
10.2	Feuchteinfluss auf die Materialeigenschaften.....	23
10.3	Nachweis der erforderlichen Mindestauflast.....	23
10.4	Fenster- und Türöffnungen, Flachstürze	24
10.5	Befestigungsmittel.....	24
11	Fazit	25

1 Veranlassung

Im Sinne eines nachhaltigeren Bauens werden aktuell vermehrt alternative Mauersteine aus mineralischen Naturbaustoffen wie z. B. Lehm oder Kalk in Verbindung mit organischen und nachwachsenden Zusatzstoffen wie z. B. Hanf, Stroh oder Holz entwickelt. Um diese Mauersteine auch in tragenden Mauerwerkskonstruktionen einsetzen zu können, muss – da normative Regelungen nicht zur Verfügung stehen - für das jeweilige Bauprodukt eine bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erwirkt werden. Um den Zulassungsprozess zukünftig zu standardisieren, sollen in dieser technischen Stellungnahme sowohl die Möglichkeiten zur Verwendung von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in tragendem Mauerwerk untersucht werden als auch auf die materialspezifischen Besonderheiten und statischen Erfordernisse hingewiesen werden, welche im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung beachtet werden sollten.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden zunächst die wesentlichen Randbedingungen und Voraussetzungen für den Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in tragendem Mauerwerk identifiziert und erläutert. Hierzu sind die grundlegenden Anforderungen an die bauphysikalischen und mechanischen Materialeigenschaften der Mauersteine sowie des daraus hergestellten tragenden Mauerwerks zu definieren. Daraus lassen sich dann die zukünftig notwendigen Materialprüfungen ableiten, welche für eine bauaufsichtliche Zulassung von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen für tragendes Mauerwerk erforderlich werden. In diesem Zusammenhang sind die maßgebenden Kriterien für die erforderliche Überwachung und Qualitätskontrolle der Materialeigenschaften der Mauersteine zu thematisieren.

Des Weiteren ist zu prüfen, inwieweit die für tragendes Mauerwerk aus üblichen Steinen geltenden Bemessungsgrundlagen auf Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen übertragen werden können und an welcher Stelle Ergänzungs- bzw. Anpassungsbedarf bestehen könnte. In diesem Kontext ist auch darauf einzugehen, welche Sicherheitselemente (z.B. Teilsicherheitsbeiwerte) notwendig sind, um die gemäß den anerkannten Regeln der Technik geforderte Tragwerkszuverlässigkeit zu gewährleisten und welche konstruktiven Anforderungen für die Errichtung von schadensfreien Tragstrukturen aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu beachten sind. Zudem sollen Randbedingungen identifiziert werden, welche den Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in tragenden Mauerwerksstrukturen gegebenenfalls einschränken könnten.

2 Literatur

- [1] DIN EN 1996-3/NA (2019): Nationaler Anhang - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten.
- [2] DIN EN 1052-1 (1998): Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.
- [3] DIN EN 1996-1-1 (2013): Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
- [4] DIN EN 1996-3 (2010): Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten.
- [5] DIN 4108-3 (2018): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [6] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau.
- [7] DIN 4108-2 (2013): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [8] DIN EN 1996-1-2 (2011): Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [9] DIN 4109-2 (2018): Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen.
- [10] DIN EN ISO 717-1 (2021): Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung.
- [11] DIN EN ISO 6946 (2018): Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren.
- [12] DIN 4102-1 (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.
- [13] DIN EN 13501-1 (2019): Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.
- [14] DIN EN 772-1 (2016): Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.
- [15] DIN EN 772-14 (2002): Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 14: Bestimmung der feuchtebedingten Formänderung von Mauersteinen aus Beton und Betonwerksteinen.
- [16] DIN EN 1996-1-1/NA (2019): Nationaler Anhang - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk.
- [17] DIN EN 998-2 (2017): Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel.
- [18] DIN EN 1052-1 (1998): Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.
- [19] DIN EN 1990 (2010): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

[20] DIN EN 1052-2 (1999): Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 2: Bestimmung der Biegezugfestigkeit.

[21] DIN EN 1052-3 (2007): Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit).

[22] DIN EN 1990/NA (2010): Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

[23] DIN EN 1996-2/NA (2012): Nationaler Anhang - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk.

[24] DIN EN 772-6 (2002): Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 6: Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauersteinen aus Beton.

[25] DIN EN 772-13 (2000): Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohddichte von Mauersteinen (außer Natursteinen).

[26] DIN EN ISO 10456 (2010): Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte.

[27] DIN EN ISO 12572 (2017): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit - Verfahren mit einem Prüfgefäß.

[28] DIN EN ISO 15148 (2018): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen.

[29] DIN 4109-4 (2016): Schallschutz im Hochbau – Teil 4: Bauakustische Prüfungen.

3 Produktbeschreibung

3.1 Ausgangsmaterialien und Herstellung

Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen werden in der Regel aus einem mineralischen Grundmaterial in Verbindung mit pflanzlichen Faserstoffen hergestellt. Aus ökologischen Gründen sollte als Grundmaterial ein Naturbaustoff gewählt werden, welcher nach Möglichkeit keinen energieintensiven Brenn- oder Erhärtungsprozess durchlaufen muss und somit nur geringe Treibhausgasemissionen verursacht. In diesem Kontext könnte ein geeignetes mineralisches Grundmaterial für Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen beispielsweise Lehm sein. Lehmstoffe erreichen den Zusammenhalt ihres Materialgefüges durch die Bindekräfte der enthaltenen Tonminerale, weshalb hierbei auf die Zugabe hydraulischer Bindemittel sowie aufwändige Brennprozesse vollständig verzichtet werden kann. Ebenso ist die Verwendung von Baukalken als Grundmaterial für Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen denkbar. Hinsichtlich der Tragfähigkeit des daraus hergestellten Mauerwerks ist jedoch prinzipiell darauf zu achten, dass das verwendete mineralische Grundmaterial ausreichende und dauerhafte Bindekräfte aufweist. Bei der Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels, wie z. B. Lehm oder Luftkalk, ist der Mauerstein während der Bau- und Nutzungsphase zuverlässig vor erhöhter Feuchtebeanspruchung zu schützen und eine etwaige Feuchteabhängigkeit der mechanischen Materialeigenschaften im Zuge der Bemessung zu berücksichtigen.

Als organische Zusatzstoffe sind zugfeste und schnell nachwachsende Rohstoffe, wie z. B. Hanf- oder Strohfasern, aber auch Holz bzw. Holzfasern prädestiniert. Organische Faserstoffe bewirken während der Nutzungsdauer einen Armierungseffekt innerhalb des Materialgefüges und können so zu einer Steigerung der Tragfähigkeit des Mauerwerks beitragen. Am Ende der Nutzungsdauer der Mauersteine sollten die verwendeten organischen Zusatzstoffe rückstandslos biologisch abbaubar sein. Des Weiteren sollte bei der Wahl der organischen Zusatzstoffe auf eine ausreichende Verfügbarkeit sowie einen nachhaltigen Anbau- und Herstellungsprozess geachtet werden.

3.2 Materialeigenschaften

Auf Grund der porösen Zusammensetzung in Kombination mit den enthaltenen organischen Bestandteilen weisen Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen meist eine geringe Rohdichte auf. Daraus ergeben sich sehr gute Wärmedämmeigenschaften, welche vergleichbar zu einem Hochlochziegel mit Dämmstofffüllung sein können. Eine geringe Rohdichte wirkt sich jedoch nachteilig auf die resultierende Druckfestigkeit aus. Auf Grund der eingesetzten mineralischen Grundmaterialien ist bei Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen eine mindestens gleichwertige Wärmespeicherkapazität wie bei herkömmlichen Massivbaustoffen zu erwarten. Hierdurch sollten Temperaturschwankungen effektiv ausgeglichen werden können, was zu einem konstanten und behaglichen Innenraumklima führen dürfte.

Für den Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in tragendem Mauerwerk sind im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung verschiedene Baustoffeigenschaften zu bestimmen und es müssen die daraus resultierenden mechanischen Mauerwerkeigenschaften ermittelt werden (s. Kap. 6 dieser Stellungnahme). Hierbei sind insbesondere die Druckfestigkeit und der Elastizitätsmodul relevant. Weitere Ausführungen zu den Anforderungen an die mechanischen Materialeigenschaften enthält Kapitel 6.4.

4 Einsatzgebiete von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen

4.1 Ausgangssituation

Die Verwendung tragender Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen ist prinzipiell in vielfältigen Einsatzgebieten denkbar. Auf Grund der zu erwartenden vorteilhaften bauphysikalischen Eigenschaften von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen, wie z. B. einer geringen Wärmeleitfähigkeit, bietet sich zunächst der Einsatz in niedrigen Wohn- und Bürogebäuden an. Hierbei könnten sowohl tragende Außen- als auch Innenwände aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen errichtet werden. Der Anwendungsbereich erschließt ebenfalls geringgeschossige Sonderbauten, wie beispielsweise Schulen oder Kindergärten. Darüber hinaus ist die Verwendung tragender Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen ebenfalls für den Bau von Nichtwohngebäuden, wie z. B. Lagerhallen oder Garagen, denkbar.

Aufgrund der zu erwartenden duktilen Materialeigenschaften und des geringen spezifischen Gewichts ist tragendes Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen prinzipiell auch für den Einsatz in Erdbebengebieten geeignet. Allerdings sind für diesen Anwendungsfall spezifische Untersuchungen zur horizontalen Tragfähigkeit in Scheiben- und in Plattenrichtung erforderlich (s. Kap. 7.3).

Mauersteine mit wasserlöslichem Bindemittel sollten nicht für den Bau von Kelleraußenwänden oder sonstigen erdberührten Bauteilen empfohlen werden, da hierbei neben den hohen Horizontallasten in Plattenrichtung auch ein erhöhtes Risiko von unplanmäßigen Feuchteintritten besteht. Darüber hinaus sollte Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels nicht als außenliegendes Sichtmauerwerk ausgeführt werden. Auch die Verwendung als freistehende Wand ist auf Grund der prinzipiell geringen vertikalen Biegezugfestigkeit von Mauerwerk in Verbindung mit dem oftmals geringen Eigengewicht von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen vermutlich nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Neben dem Einsatz als Tragstruktur für den vertikalen Lastabtrag kann Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zudem für den Abtrag von horizontalen Windlasten verwendet werden. Hierbei ist die Anwendung zur Herstellung von Ausfachungsflächen oder Verblendschalen in zweischaligen Wandkonstruktionen möglich. Innerhalb dieses Einsatzfeldes ist jedoch immer eine ergänzende Trag- bzw. Rahmenstruktur erforderlich, welche die Horizontallasten aus dem Mauerwerk abtragen bzw. weiterleiten kann. Darüber hinaus könnten nichttragende Innenwände aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen hergestellt werden, welche leichten Konsol- oder Anpralllasten standhalten müssen.

Die dargestellte Ausgangssituation legt nahe, tragendes Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen im Regelfall nur im Anwendungsbereich der vereinfachten Berechnungsmethoden nach DIN EN 1996-3/NA [1] zu verwenden. Damit ergeben sich deutlich geringere Anforderungen an Art und Umfang der für die Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung oder einer vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung erforderlichen experimentellen Untersuchungen. Darüber hinaus beschränken sich die rechnerischen Analysen im Wesentlichen auf die Sicherstellung einer hinreichenden vertikalen Tragfähigkeit des Mauerwerks.

4.2 Abschätzung der Mauerwerkstragfähigkeit unter Druckbeanspruchung

Um die Eignung von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen für den Einsatz in tragenden Mauerwerksstrukturen abschätzen zu können, wird nachfolgend eine überschlägige Ermittlung der zu erwartenden Normalkrafttragfähigkeit für verschiedene praxisrelevante Wanddicken durchgeführt. Hierzu wird vereinfachend angenommen, dass die mittlere Mauerwerksdruckfestigkeit f ungefähr der mittleren Steindruckfestigkeit f_{st} entspricht.

Da zu erwarten ist, dass die Druckfestigkeit von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen oftmals vergleichsweise gering ist, ist bei Verwendung von Mauermörtel der Festigkeitsklasse M 2,5 oder größer davon auszugehen, dass die Mauerwerksdruckfestigkeit im Wesentlichen durch die Steindruckfestigkeit determiniert wird und dieser weitestgehend entspricht. Die Umrechnung des Mittelwerts der Steindruckfestigkeit in die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit erfolgt entsprechend DIN 1052-1 [2] vereinfachend mit $f_k = f_{st}/1,2$. Gemäß DIN EN 1996-1-1 [3] wird zunächst der für herkömmliches Mauerwerk geltende Dauerstandfaktor von $\zeta = 0,85$ sowie der materialeitige Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,5$ übernommen. Als Traglastfaktor wird pauschal $\Phi = 0,6$ angesetzt. Dieser ergibt sich nach den vereinfachten Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerkswände DIN EN 1996-3 [4] für eine Außenwand mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von $f_k < 1,8 \text{ N/mm}^2$ sowie vollauflegender Geschossdecke mit einer Spannweite von $l = 5 \text{ m}$. Da die Steifigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen gegebenenfalls geringer als bei herkömmlichen Mauerwerksbaustoffen ausfallen könnte, ist diese Abschätzung des Traglastfaktors ebenfalls für den Knicksicherheitsnachweis in Wandhöhenmitte realistisch. In Abbildung 1 ist der daraus resultierende Bemessungswert der aufnehmbaren Normalkraft pro Meter Wandlänge für unterschiedliche Wanddicken ($0,20 \text{ m} \leq t \leq 0,49 \text{ m}$) dargestellt. Die Berechnungen werden zudem für zwei praxisnahe Werte der mittleren Druckfestigkeit von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen durchgeführt ($f = 0,6 \text{ N/mm}^2$ und $f = 1,0 \text{ N/mm}^2$). Unter den gegebenen Randbedingungen wird deutlich, dass beispielsweise bei Außenwänden mit Wandstärken $t \geq 36,5 \text{ cm}$ eine Normalkraft größer als 60 kN/m bzw. 100 kN/m aufgenommen werden könnte.

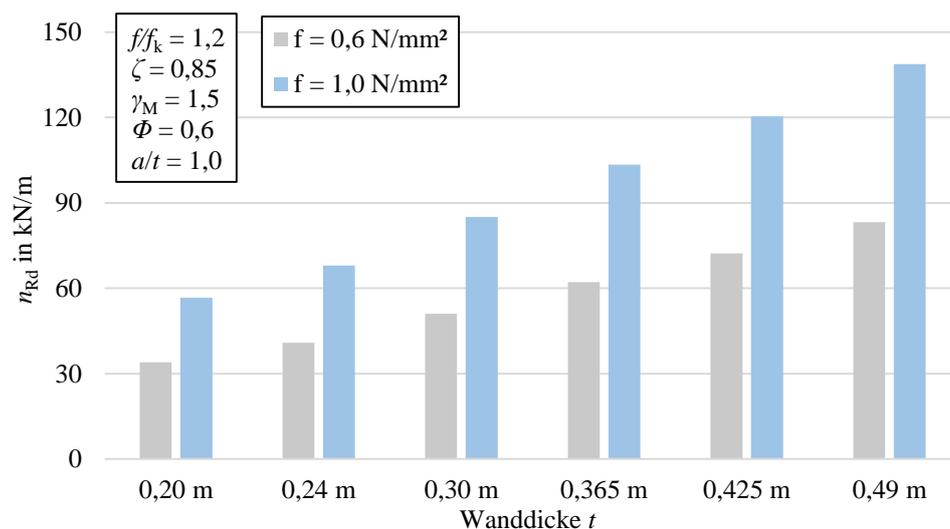


Abbildung 1: Abschätzung des möglichen Bemessungswerts der aufnehmbaren Normalkraft pro Meter Wandlänge

Um eine Aussage bezüglich der umsetzbaren Geschossanzahl bei Mauerwerksgebäuden aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen treffen zu können, ist zudem der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft n_{Ed} pro Geschoss abzuschätzen. Hierzu wird eine Wohn- oder Büronutzung unterstellt, sowie die konservative Annahme einer Stahlbetondecke mit einer Spannweite von $l_f = 5$ m getroffen. Die Wichte des Mauerwerks aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen wird mit $\rho_{Wand} \approx 3$ kN/m³ angenommen. Überschlägig können folgende Einwirkungen angenommen werden:

Verkehrslast (Bürogebäude)	q_k	= 2,0 kN/m ²
Eigengewicht Mauerwerk	$g_{k,Wand}$	= $h \cdot t \cdot \rho_{Wand} = 2,75 \text{ m} \cdot 0,49 \text{ m} \cdot 3 \text{ kN/m}^3$ = 4,0 kN/m
Eigengewicht Stahlbetondecke	$g_{k,Decke}$	= $d \cdot \rho_{Decke} = 0,20 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3$ = 5,0 kN/m ²
Lasteinzugsfläche Außenwand	$L_{Außen}$	= $0,5 \cdot l_f = 0,5 \cdot 5,0 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$
Lasteinzugsfläche Innenwand	L_{Innen}	= $1,2 \cdot l_f = 1,2 \cdot 5,0 \text{ m} = 6,0 \text{ m}$

Der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft pro Geschoss ergibt sich daraus wie folgt:

Außenwand	$n_{Ed,Außen} \approx 30$ kN/m pro Geschoss
Innenwand	$n_{Ed,Innen} \approx 65$ kN/m pro Geschoss

Wie aus der Lastermittlung deutlich wird, können sich auf Grund des oftmals geringen Eigengewichts von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen selbst bei einer großen Wanddicke von $t = 0,49$ m niedrigere einwirkende Normalkräfte als bei herkömmlichem Mauerwerk ergeben.

Der Vergleich mit der Abschätzung des Bemessungswerts der aufnehmbaren Normalkraft aus Abbildung 1 zeigt, dass der tragende Einsatz von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen als Außenwand bei einer mittleren Steindruckfestigkeit von $f \geq 0,6$ N/mm² in eingeschossigen Gebäuden bereits ab einer Wanddicke von ungefähr $t \geq 0,20$ m und in zweigeschossigen Gebäuden ab einer Wanddicke von ungefähr $t \geq 0,365$ m möglich sein könnte. Die erforderlichen Wanddicken von Außenwänden werden sich bei Anordnung einer teilaufliegenden Decke jedoch erhöhen. Gleiches gilt bei der Berücksichtigung von Fenster- und Türöffnungen (s. Kap. 10.4).

Für den Einsatz als tragende Innenwand mit erhöhter Lasteinzugsfläche ist davon auszugehen, dass bei der gewählten Deckenspannweite von $l_f = 5$ m Wanddicken von $t \geq 0,30$ m für eingeschossige und $t \geq 0,49$ m für zweigeschossige Gebäude erforderlich werden könnten.

5 Bauphysikalische Anforderungen

5.1 Feuchteschutz

Für den Einsatz von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen muss der Baustoff diverse bauphysikalische Anforderungen erfüllen. Bei allen Konstruktionen muss ein an den jeweiligen Einsatzzweck angepasster Feuchteschutz des Mauerwerks vorhanden sein. Insbesondere bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels ist ein ausreichender Schutz gegenüber Schlagregenbeanspruchungen zu gewährleisten. Dieser kann in Gebieten mit niedriger Schlagregenbeanspruchung ggfs. bereits durch konstruktive Maßnahmen wie einem verlängerten Dachüberstand gewährleistet werden. In der Regel sollte jedoch ein wasserabweisender Außenputz gemäß DIN 4108-3 [5] zur Sicherstellung des Schlagregenschutzes vorgesehen werden. Des Weiteren sollte Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen vor aufsteigender Feuchtigkeit durch geeignete Sperrschichten effektiv geschützt werden. Auch in Spritzwasserbereichen ist ein ausreichender Feuchteschutz vorzusehen.

5.2 Schallschutz

Insbesondere in Gebäuden mit mehreren Wohneinheiten müssen Anforderungen an den Luftschallschutz erfüllt werden. Hierbei muss sowohl der Schallübertrag zwischen den jeweiligen Wohneinheiten als auch zwischen den Wohneinheiten und gemeinschaftlich genutzten Verkehrsflächen wie z. B. Fluren oder Treppenhäusern auf ein zulässiges Maß begrenzt werden. Des Weiteren müssen Außenwände eine an den individuell vorherrschenden äußeren Geräuschpegel angepasste Luftschalldämmung aufweisen. Detaillierte Informationen zum Schallschutznachweis im Hochbau sind in der Normenreihe DIN 4109 [6] zu finden. Bei diesem Nachweis ist die möglicherweise geringe Rohdichte von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen adäquat zu berücksichtigen.

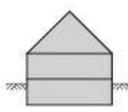
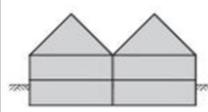
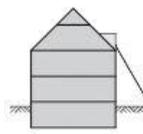
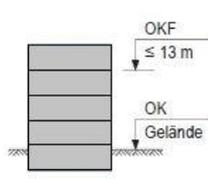
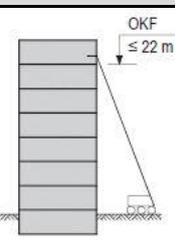
5.3 Wärmeschutz

Zur Gewährleistung der erforderlichen Energieeffizienz eines Gebäudes müssen dessen Außenbauteile gewisse Mindestanforderungen an den Wärmeschutz erfüllen. Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) verweist hierfür auf DIN 4108-2 [7], welche für Wände beheizter Räume mit einer flächenbezogenen Masse von $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$ einen Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstands von $R \geq 1,2 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ vorschreibt. Bei einer flächenbezogenen Masse von $m' < 100 \text{ kg/m}^2$ erhöht sich dieser Wert auf $R \geq 1,75 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Des Weiteren gibt das Gebäudeenergiegesetz einen Referenzwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Außenwände von Wohngebäuden von $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ vor. Dieser Wert stellt gleichzeitig den zulässigen Höchstwert bei Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperaturen von $\geq 19 \text{ °C}$ im Heizfall dar.

5.4 Brandschutz

Um die Standsicherheit auch im Brandfall gewährleisten sowie die Brandausbreitung verhindern zu können, sind von tragenden Bauteilen in Abhängigkeit der vorliegenden Gebäudeklasse bauaufsichtliche Anforderungen an den baulichen Brandschutz zu erfüllen. Tragende Mauerwerkswände müssen hierzu in der Regel die in DIN EN 1996-1-2 [8] definierten Kriterien der Tragfähigkeit (R), des Raumabschlusses (E) und der Isolation (I) für eine gewisse Zeit gewährleisten. Bei einer Brandwand zur Trennung zweier Brandabschnitte ist zudem der Widerstand gegenüber einer Stoßbelastung (M) nachzuweisen. In Tabelle 1 sind die Gebäudeklassen gemäß der deutschen Musterbauordnung dargestellt und den bauaufsichtlichen Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer für tragende Wände und Stützen in Erd- und Obergeschossen sowie Kellergeschossen zugeordnet.

Tabelle 1: Gebäudeklassen gemäß Musterbauordnung (MBO)

Gebäudeklasse				
1	2	3	4	5
				
z. B. Einfamilienhaus	z. B. Doppelhaushälfte	z. B. Mehrfamilienhaus, Bürogebäude	z. B. Mehrfamilienhaus, Bürogebäude	z. B. Mehrfamilienhaus, Bürogebäude
freistehende Gebäude, Höhe ≤ 7 m, maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²	nicht freistehende Gebäude, Höhe ≤ 7 m, maximal zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²	Höhe ≤ 7 m	Höhe ≤ 13 m Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m ²	Höhe ≤ 22 m inkl. unterirdische Gebäude
Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit				
Tragende und aussteifende Wände in Erd- und Obergeschossen				
keine Anforderungen	Feuerhemmend (REI 30)	Feuerhemmend (REI 30)	Hochfeuerhemmend (REI 60)	Feuerbeständig (REI 90)
Tragende und aussteifende Wände in Kellergeschossen				
Feuerhemmend (REI 30)	Feuerhemmend (REI 30)	Feuerbeständig (REI 90)	Feuerbeständig (REI 90)	Feuerbeständig (REI 90)

Wird das Einsatzgebiet von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen auf die Gebäudeklassen 1 bis 3, wobei in Gebäudeklasse 3 die Kellergeschosse auszunehmen sind, begrenzt, wäre somit eine Feuerwiderstandsfähigkeit REI 30 ausreichend.

6 Anforderungen an die Materialeigenschaften

6.1 Materialzusammensetzung der Steine

Für den tragenden Einsatz müssen die verwendeten Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen ausreichende Festigkeits- und Verformungseigenschaften aufweisen. Relevante Materialparameter für den Abtrag von Vertikalkräften sind hierbei insbesondere die Druckfestigkeit und der Elastizitätsmodul. Im Fall einer Querkraftbeanspruchung sind die Steinzugfestigkeit, der Reibungsbeiwert sowie die Haftscherfestigkeit zwischen Mauerstein und -mörtel die maßgebenden Eingangsgrößen.

Um die erforderliche Tragfähigkeit zu erreichen, muss das innerhalb eines Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen verwendete Bindemittel eine ausreichende Bindewirkung aufweisen und somit das Materialgefüge stabilisieren. Der Zusammenhalt zwischen dem Bindemittel und den organischen Bestandteilen muss dabei für übliche Belastungsniveaus des geplanten Einsatzgebiets durchgehend sichergestellt sein. Eine etwaige Feuchteabhängigkeit der Bindkräfte würde die Tragfähigkeit des Mauerwerks in Abhängigkeit des vorherrschenden Umgebungsklimas beeinflussen und ist gegebenenfalls im Rahmen der Bemessung zu berücksichtigen.

Die zugesetzten organischen Bestandteile können innerhalb des Mauersteins einen Bewehrungseffekt hervorrufen. Hierdurch kann die Zugfestigkeit des Baustoffs erhöht sowie die auftretenden Querdehnungen reduziert werden. Dieser Effekt wirkt sich sowohl bei Normkraft- als auch bei Querkraftbeanspruchung positiv auf die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen aus. Um den beschriebenen Armierungseffekt bestmöglich auszunutzen, sollten die verwendeten organischen Bestandteile möglichst zugfest sein und eine hohe Dehnsteifigkeit aufweisen. Zudem ist auf einen ausreichenden Verbund zwischen den organischen Zusatzstoffen und dem Bindemittel zu achten. Bezüglich der Dauerhaftigkeit des Mauersteins muss außerdem sichergestellt sein, dass die enthaltenen organischen Bestandteile innerhalb der Nutzungsphase des Baustoffs ausreichend konserviert sind und sich nicht durch Umwelteinflüsse zersetzen oder anderweitigen Festigkeitsreduktionen unterliegen.

6.2 Bauphysikalische Materialeigenschaften

Für eine detaillierte feuchtetechnische Analyse des Wandaufbaus und die Berücksichtigung des Feuchteinflusses auf die dauerhaft aufnehmbare Druckbelastung kann insbesondere bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels die Bestimmung bauphysikalischer Materialparameter wie der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl oder des Wasseraufnahmekoeffizienten erforderlich werden.

Um den Nachweis des erforderlichen Luftschallschutzes mit Hilfe des Verfahrens nach DIN 4109-2 [9] erbringen zu können, muss das bewertete Schalldämmmaß R_w des Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen experimentell ermittelt und dem Planer zur Verfügung gestellt werden. Dies kann gemäß DIN EN ISO 717-1 [10] erfolgen.

Für den Nachweis des Wärmeschutzes ist die Wärmeleitfähigkeit von zentraler Bedeutung. Weist ein Mauerstein mit organischen Zusatzstoffen eine geringe Rohdichte auf, könnte damit die Errichtung von monolithischen Wandaufbauten ohne zusätzliches Wärmedämmverbundsystem möglich sein. Zur Veranschaulichung der Wärmedämmfähigkeit eines solchen Mauersteins ist in Abbildung 2 der Wärmedurchgangskoeffizient U exemplarisch für verschiedene

Wanddicken gemäß DIN EN ISO 6946 [11] berechnet und gegenübergestellt. Bei der Berechnung wird ausschließlich die Dämmwirkung des Mauersteins mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,07 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ unter Vernachlässigung eventuell vorhandener Putzschichten betrachtet. Der nach DIN 4108-2 [7] erforderliche Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstands R wird dabei bei allen Wandstärken erreicht.

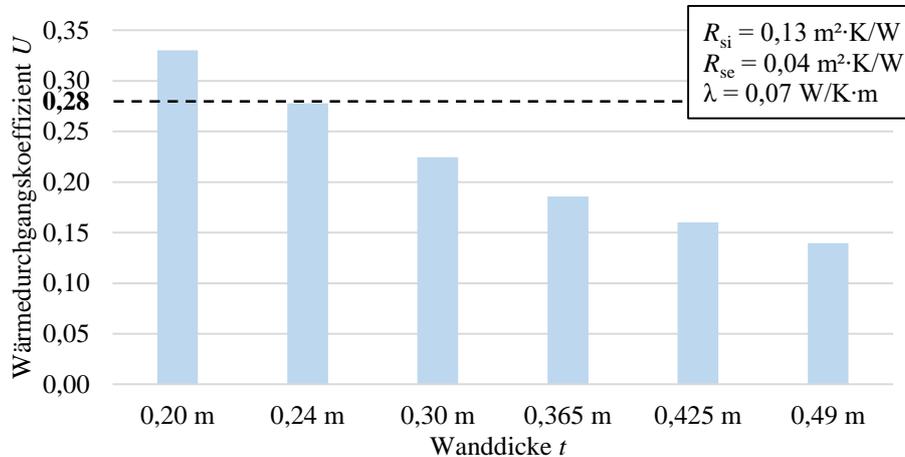


Abbildung 2: Wärmedurchgangskoeffizient von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,07 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ für unterschiedliche Wanddicken

Wie in der Gegenüberstellung der Wärmedurchgangskoeffizienten zu erkennen ist, kann der durch das Gebäudeenergiegesetz definierte Referenzwert für Wohngebäude bzw. beheizte Nichtwohngebäude von $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ unter den gewählten Randbedingungen ab einer Wandstärke von $t \geq 0,24 \text{ m}$ ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen erreicht werden. Bei einer in der Praxis üblichen Wandstärke von Außenwänden von $t = 36,5 \text{ cm}$ ergibt sich ein deutlich verbesserter Wärmedurchgangskoeffizient von $U < 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Bei großen Wanddicken von $t = 0,49 \text{ m}$ sind Wärmedurchgangskoeffizienten von $U \approx 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ realisierbar. Um keine Wärmebrücke in den Lager- und Stoßfugen zu erzeugen und somit den Wärmedurchgangskoeffizienten des Wandaufbaus zu erhöhen, sollte bei der Wahl des zu verwendenden Mauer Mörtels ebenfalls auf eine geringe Wärmeleitfähigkeit geachtet werden. Angesichts der oftmals ohnehin geringen Druckfestigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen bietet sich daher die Verwendung von Leichtmauermörtel an.

6.3 Materialeigenschaften im Brandfall

Für den Nachweis im Brandfall ist die Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu ermitteln. Gemäß der Traglastabschätzung aus Kapitel 4.2 sind ein- bis zweigeschossige Bauwerke realistisch umsetzbar, weshalb unter den dort angenommenen Randbedingungen maximal Gebäudeklasse 3 entsprechend der Musterbauordnung erreicht werden kann. Für den Einsatz in Erd- und Obergeschossen müssen in Gebäudeklasse 1 keine Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer erfüllt werden, wohingegen in Gebäudeklassen 2 und 3 die Tragfähigkeit, der Raumabschluss sowie die Isolation für 30 Minuten gewährleistet sein müssen (REI 30) und durch entsprechende experimentelle Untersuchungen nachzuweisen sind. Diese Anforderungen gelten für Gebäudeklassen 1 und 2 analog für tragende Innenwände in Kellergeschossen. In Gebäudeklasse 3 muss für den tragenden Einsatz in Kellergeschossen dagegen eine 90-minütige Feuerwiderstandsdauer erreicht werden und der Wandbaustoff darf nicht brennbar sein (Baustoffklasse A).

Da sich innerhalb des Mauersteins brennbare organische Bestandteile befinden, gilt es für den Einsatz als tragende Kellerinnenwand zu prüfen, ob Baustoffklasse A2 gemäß DIN 4102-1 [12] bzw. DIN EN 13501-1 [13] erreicht werden kann.

6.4 Mechanische Materialeigenschaften der Steine und des Mörtels

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen müssen wesentliche mechanische Materialparameter bekannt sein. Von den Mauersteinen muss hierfür insbesondere die Druck- und Zugfestigkeit sowie die Rohdichte bestimmt werden. Die Prüfung der Druckfestigkeit sollte dabei an das Prüfverfahren für herkömmliche Mauersteine gemäß DIN EN 772-1 [14] angelehnt sein.

Um eine mögliche Feuchteabhängigkeit der Materialeigenschaften des Mauersteins feststellen zu können, sollten insbesondere bei Verwendung von wasserlöslichen Bindemitteln zudem Tastversuche bei unterschiedlichen Umgebungsklimata durchgeführt werden. Hierfür sind Probekörper bei konstanter Temperatur und mindestens zwei verschiedenen Luftfeuchten bis zur Massekonstanz zu konditionieren und anschließend zu prüfen. Geeignete Konditionierungsklimata wären z. B. 20 °C und eine relative Luftfeuchte von 65 % und 90 %. Sollte sich hieraus eine signifikante Feuchteabhängigkeit der Steindruckfestigkeit ergeben, ist diese bei der Bemessung zu berücksichtigen.

Zudem könnten erhöhte Schwind- und Quellverformungen von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu verstärkter Rissbildung und damit zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit oder sogar zu einer Verminderung der Tragfähigkeit führen. Des Weiteren sind feuchteabhängige Dehnungen infolge von Schwinden oder Quellen für die Überprüfung der Verformungsverträglichkeit zwischen Mauerwerkswänden aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen und angrenzenden Bauteilen aus anderen Materialien relevant. Aus diesen Gründen ist es empfehlenswert die feuchtebedingte Formänderung von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu überprüfen (z. B. in Anlehnung an das Verfahren gemäß DIN EN 772-14 [15]) und gegebenenfalls auf einen zulässigen Maximalwert zu begrenzen.

Die Zugfestigkeit der Mauersteine mit organischen Zusatzstoffen ist für den Nachweis von Mauerwerkswänden unter Querkraftbeanspruchung in Scheibenrichtung und somit insbesondere für Aussteifungswände relevant. Gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [16] unterscheidet man bei der Ermittlung der aufnehmbaren Querkraft einer in Scheibenrichtung beanspruchten Mauerwerkswand in der Regel zwischen Reibungs- und Steinzugversagen. Infolge des Armierungseffekts der enthaltenen organischen Bestandteile ist zunächst davon auszugehen, dass die Steinzugfestigkeit von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ausreichend für den Abtrag üblicher Querkraftbeanspruchungen sein dürfte.

Weiterhin sollte die Druckfestigkeit des verwendeten Mauermörtels gemäß DIN EN 998-2 [17] bekannt sein. Da tragende Mauermörtel in der Regel eine höhere Druckfestigkeit als ein Mauerstein mit organischen Zusatzstoffen aufweisen ($\geq M 2,5$) dürften, ist davon auszugehen, dass der Mörtel keinen negativen Einfluss auf die Mauerwerkstragfähigkeit hat. Bei der Wahl eines geeigneten Mauermörtels sollte jedoch dessen Querdehnungsverhalten beachtet und auf das der Mauersteine abgestimmt werden. Treten unter Normalkraftbeanspruchung innerhalb der horizontalen Mörtelfugen höhere Querdehnungen als in den angrenzenden Mauersteinen auf, entstehen dort zusätzliche Querkzugspannungen, welche sich negativ auf die Mauerwerkdruckfestigkeit und somit auch auf die Wandtragfähigkeit auswirken. Optimaler Weise sollte daher ein Mauermörtel verwendet werden, welcher bei gleichem Lastniveau identische oder sogar geringere Querdehnungen als der Mauerstein mit organischen Zusatzstoffen aufweist.

Die Ermittlung der Rohdichte des Mauersteins ist vorrangig für die Bestimmung des Eigengewichts des Mauerwerksverbunds erforderlich. Da die Mauersteine den volumetrischen Hauptbestandteil von Mauerwerksbauteilen darstellen, ist deren Rohdichte entscheidend für das in der Bemessung anzusetzende Wandeigengewicht. Wie bereits im Zuge der Traglastabschätzung in Kapitel 4.2 ersichtlich wurde, können sich durch die oftmals geringe Rohdichte von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen auch bei großen Wanddicken vergleichsweise niedrige einwirkende Normalkräfte ergeben. Infolge der dadurch reduzierten Lastniveaus können trotz der ggfs. geringen Druckfestigkeit praxistaugliche Tragstrukturen aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen realisiert werden.

6.5 Mechanische Mauerwerkseigenschaften

Neben den Materialeigenschaften der Einzelkomponenten müssen zudem die Mauerwerkseigenschaften ermittelt werden. Für die Bemessung unter Normalkraftbeanspruchung ist insbesondere die Mauerwerksdruckfestigkeit und der Elastizitätsmodul des Mauerwerks relevant. Die versuchstechnische Ermittlung dieser Materialeigenschaften kann in Anlehnung an DIN 1052-1 [18] erfolgen. Die Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Mauerwerks aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen sollte während des Prüfablaufs aufgezeichnet werden, da sie einen relevanten Eingangsparameter für eine wirklichkeitsnahe Traglastberechnung darstellt. Hieraus lässt sich unter anderem die Form (Völligkeit) der Arbeitslinie herleiten, welche wesentlichen Einfluss auf die Berechnung der Querschnitts- und Systemtragfähigkeit einer druckbeanspruchten Mauerwerkswand hat. Durch eine realitätsnahe Modellierung der Spannungs-Dehnungs-Linie kann in weiterführenden Analysen die Wandtragfähigkeit unter expliziter Berücksichtigung physikalischer Nichtlinearitäten sowie Effekten nach Theorie II. Ordnung ermittelt werden, was wiederum die Grundlage zur Entwicklung eines konsistenten und wirtschaftlichen Bemessungskonzepts darstellt. Zudem ist die Beurteilung der Duktilität von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zur Sicherstellung einer hinreichenden Versagensankündigung notwendig. Darüber hinaus würde sich ein ausgeprägter Entfestigungsbereich der Spannungs-Dehnungs-Linie ebenfalls positiv auf das Lastumlagerungsvermögen von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen auswirken und somit deren Resilienz gegenüber Verarbeitungsungenauigkeiten oder Materialfehlern erhöhen. Zudem steigert duktiler Materialverhalten die Querschnittstragfähigkeit druckbeanspruchter Mauerwerkswände und würde somit unterstützende Argumente für den mauerwerkstypischen Ansatz einer starr-plastischen Materialmodellierung im Rahmen der Nachweisführung liefern. Die Ergebnisse der Kurzzeitversuche an den Mauerwerksprobekörpern sind im Anschluss zuverlässigkeitstheoretisch nach DIN EN 1990 [19] auszuwerten, um den materialeitigen Teilsicherheitsbeiwert für Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen festlegen zu können. Zur Begrenzung der statistischen Unsicherheit sollte der Stichprobenumfang bei der Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit daher in ausreichender Größe gewählt werden ($n \geq 10$).

Des Weiteren müssen Einflüsse aus einer dauerhaften Beanspruchung betrachtet werden. Hierzu zählt einerseits die zeitabhängige Verformungszunahme infolge Kriechen als auch festigkeitsmindernde Einflüsse unter Dauerlast. Die zeitabhängige Verformungszunahme wird im Zuge der Bemessung durch die Endkriechzahl berücksichtigt, welche für das Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen experimentell zu bestimmen ist. In diesem Kontext sind gegebenenfalls die vereinfachten Bemessungsansätze zu adjustieren.

Hinsichtlich festigkeitsmindernder Einflüsse unter Dauerlast ist der sogenannte Dauerstandfaktor zu bestimmen. Hierbei ist es aufgrund der neuartigen Materialkomponenten zwingend

erforderlich die Übertragbarkeit des in Deutschland gültigen normativen Dauerstandfaktors von $\zeta = 0,85$ auf Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen versuchstechnisch abzusichern. Hierzu sind entsprechende Lastniveaus der versuchstechnisch zu berücksichtigenden andauernden Lastbeanspruchung zu definieren.

Im Fall einer überwiegend horizontalen Beanspruchung in Plattenrichtung (z. B. bei Ausfachungsflächen) ist die Biegezugfestigkeit des Mauerwerks von entscheidender Bedeutung. Die Prüfung dieser Materialeigenschaft ist normativ in DIN 1052-2 [20] geregelt. Für den Abtrag von Vertikallasten ist die Biegezugfestigkeit von Mauerwerkswänden dagegen von untergeordneter Relevanz und wird bei der Bemessung in der Regel vernachlässigt.

Für den Querkraftnachweis von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen unter horizontaler Beanspruchung in Scheibenrichtung (z. B. bei Aussteifungswänden) muss die Haftscherfestigkeit des Mauerwerkverbunds sowie der zugehörige Reibungsbeiwert experimentell ermittelt werden. Die Prüfung kann hierbei analog zu herkömmlichen Mauerwerk an Dreisteinprobekörpern gemäß DIN EN 1052-3 [21] durchgeführt werden.

7 Bemessung von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen

7.1 Grundlagen

Zur einfachen und praxistauglichen Bemessung tragenden Mauerwerks aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen stellen die vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] eine geeignete Grundlage dar. Das dort definierte Nachweiskonzept ermöglicht eine unkomplizierte Bemessung und deckt gleichzeitig die überwiegende Mehrheit aller möglichen Anwendungsfälle tragenden Mauerwerks aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ab. Die relevantesten Anwendungsvoraussetzungen von DIN EN 1996-3/NA [1] sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Maßgebende Anwendungsvoraussetzungen von DIN EN 1996-3/NA [1]

Anwendungsvoraussetzung		DIN EN 1996-3/NA
Wanddicke	Innenwand	$t \geq 11,5 \text{ cm}$
	Außenwand	$t \geq 17,5 \text{ cm}^*$
Wandquerschnitt		$A \geq 400 \text{ cm}^2$
Geschosshöhe	Innenwand	$h \leq 2,75 \text{ m}$ für $t < 24 \text{ cm}$ k. E. für $t \geq 24 \text{ cm}$
	Außenwand	$h \leq 2,75 \text{ m}$ für $t < 24 \text{ cm}$ $h \leq 12 \cdot t$ für $t \geq 24 \text{ cm}$
Geschossanzahl		keine Einschränkungen
Gebäudehöhe		$H \leq 20 \text{ m}$
Stützweite der Geschossdecke		$l \leq 6 \text{ m}$
Charakteristische Nutzlast		$q_k \leq 5 \text{ kN/m}^2$
Überbindemaß		$l_{bl} \geq \max(0,4 \cdot h_u; 45 \text{ mm})$
Deckenauflagertiefe		$a \geq \max(0,5 \cdot t; 100 \text{ mm})$ für $t < 36,5 \text{ cm}$ $a \geq 0,45 \cdot t$ für $t \geq 36,5 \text{ cm}$
* Für Bauwerke, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind		

7.2 Tragfähigkeit unter Druckbeanspruchung

Der Nachweis hinreichender Tragfähigkeit unter Druckbeanspruchung stellt bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen von DIN EN 1996-3/NA [1] den zentralen Nachweisschwerpunkt dar. Daher muss die Übertragbarkeit der vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] auf die Bemessung von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen überprüft und durch weiterführende Untersuchungen abgesichert werden. Die wesentliche Datengrundlage für die erforderlichen Betrachtungen liefern die in Kapitel 6.4 und 6.5 erläuterten experimentellen Untersuchungen hinsichtlich des mechanischen Kurz- und Langzeitverhaltens des Mauerwerks. Im Zuge weiterer Analysen gilt es beispielsweise zu überprüfen, wie die Mauerwerksdruckfestigkeit für die Nachweisführung zu ermitteln ist und ob der in DIN EN 1996-3/NA [1] enthaltene Dauerstandfaktor von $\zeta = 0,85$ unverändert übernommen werden kann. Sollte sich aus den durchgeführten Versuchsreihen eine Feuchteabhängigkeit der Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Mauersteins ergeben, ist diese ergänzend in den Nachweis zu integrieren.

Des Weiteren ist die Anwendbarkeit der in DIN EN 1996-3/NA [1] angegebenen Formeln zur Ermittlung der Traglastfaktoren am Wand-Decken-Knoten zu validieren. Um die vorliegenden Steifigkeitsverhältnisse und die daraus resultierenden Momentenverteilungen an der Schnittstelle zwischen dem Mauerwerk und der aufliegenden Geschossdecke in die Betrachtungen explizit einbeziehen zu können, sind gegebenenfalls weiterführende Vergleichsrechnung anhand der allgemeinen Bemessungsregeln nach DIN EN 1996-1-1/NA [16] erforderlich.

Darüber hinaus ist die Gleichung zur Ermittlung des Traglastfaktors in Wandhöhenmitte nach DIN EN 1996-3/NA [1] zu validieren. Für eine Übertragbarkeit der in DIN EN 1996-3/NA [1] angegebenen Nachweisgleichung zur Berechnung der Tragfähigkeit in Wandhöhenmitte (Knickformel) ist zu belegen, dass der Elastizitätsmodul sowie die Endkriechzahl von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen eine vergleichbare Größenordnung wie bei herkömmlichem Mauerwerk aufweisen. Falls diese Materialparameter deutlich von den Werten anderer Mauerwerksbaustoffe abweichen, wäre eine individuelle Nachweisgleichung auf Grundlage einer wirklichkeitsnahen Traglastermittlung herzuleiten und in das Bemessungsverfahren aufzunehmen.

Mit Hilfe zuverlässigkeitstheoretischer Analysen ist zudem zu determinieren, welcher materialseitige Teilsicherheitsbeiwert zur Anwendung kommen muss, um die in DIN EN 1990 [19] definierte Versagenswahrscheinlichkeit nicht zu überschreiten. Aufgrund möglicherweise größerer Streuungen der Materialkenngrößen der Mauersteinkomponenten sowie des Einflusses der organischen Zusatzstoffe auf die Druckfestigkeit könnte ein höherer Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite erforderlich sein. Diesbezüglich ist eine umfassende statistische Auswertung der in Kapitel 6.5 beschriebenen Druckversuche an Mauerwerksprüfkörpern durchzuführen.

7.3 Tragfähigkeit unter Querkraftbeanspruchung

Bei Einhaltung der Anwendungsbedingungen gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] ist bei herkömmlichem Mauerwerk in der Regel kein expliziter Querkraft- oder Aussteifungsnachweis des Bauwerks erforderlich. Vielmehr obliegt es dem Tragwerksplaner eine offensichtlich ausreichende Gebäudeaussteifung zu erkennen und auf einen rechnerischen Nachweis zu verzichten. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass die Geschossdecken als steife Scheiben ausgebildet sind bzw. statisch nachgewiesene, ausreichend steife Ringbalken vorliegen. Außerdem müssen in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden sein, die ohne größere Schwächungen und ohne Versprünge bis auf die Fundamente geführt sind. Es muss evaluiert werden, ob diese vereinfachende Annahme auch bei Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zutreffend ist. Hierfür muss die Querkrafttragfähigkeit des Mauerwerks auf Basis der maßgebenden und gemäß Kapitel 6.4 und 6.5 zu ermittelnden Materialeigenschaften (Steinzugfestigkeit, Reibungsbeiwert und Haftscherfestigkeit) bewertet werden. Zudem sind ggfs. ergänzende Vergleichsrechnungen mit Hilfe der allgemeinen Bemessungsregeln für Mauerwerkswände gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [16] erforderlich. Hierdurch lässt sich die Querkrafttragfähigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen für kritische Anwendungsfälle innerhalb des festgelegten Einsatzgebiets ermitteln und somit die Übertragbarkeit der vereinfachten Regelungen gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] validieren.

Soll der Anwendungsbereich von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen - insbesondere hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit in Scheibenrichtung - auf die Bemessungsregeln nach DIN EN 1996-1-1/NA [16] erweitert werden, so müssen sicherlich eingehendere experimentelle Untersuchungen und umfangreichere technische Analysen die Anwendbarkeit des genaueren Nachweisverfahrens sicherstellen. Dies könnte auch erforderlich werden, wenn tragendes Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in Erdbebengebieten zum Einsatz kommen soll. Auch ist zu überprüfen, welcher Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite hinreichende Tragfähigkeit entsprechend DIN EN 1990/NA [22] sicherstellt.

7.4 Punktuelle Lasteinleitung

In Bereichen punktueller Lasteinleitung, z. B. an den Auflagern von Tür- und Fensterstürzen aber auch im Bereich des Auflagers von Holzbalkendecken, wäre zudem der Ansatz einer erhöhten Materialfestigkeit infolge der dort auftretenden Teilflächenpressung vorteilhaft. Insbesondere auf Grund der oftmals geringen Festigkeiten von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ist die Berücksichtigung einer erhöhten Teilflächenpressung essentiell für den Abtrag von Einzellasten. Da die vereinfachten Berechnungsmethoden hierfür keinen Nachweis beinhalten, sollte in diesem Fall das Nachweisverfahren gemäß der allgemeinen Bemessungsregeln nach DIN EN 1996-1-1/NA [16] zur Anwendung kommen. Hierbei ist die Übertragbarkeit der dort verankerten Regelungen ggfs. im Rahmen einzelner Tastversuche an Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen unter Einzellastbeanspruchung zu bestätigen.

8 Konstruktive Randbedingungen

Die Planung und Ausführung von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen sollte sich prinzipiell an den normativen Regelungen für herkömmliches Mauerwerk gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [16] bzw. DIN EN 1996-2/NA [23] orientieren bzw. diese einhalten. Einige für die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen besonders relevante konstruktive Randbedingungen werden nachfolgend detaillierter erläutert.

8.1 Lager- und Stoßfugenausbildung, Mauerwerksverband

Die Lager- und Stoßfugen von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen sollten gemäß DIN EN 1996-1-1/NA Kapitel 8.1.5 [16] ausgeführt werden. Um eventuelle Unebenheiten eines Mauersteins ausgleichen zu können, ist für die Ausbildung der Lagerfugen die Verwendung von Normalmauermörtel mit einer Dicke von ca. 12 mm zu empfehlen. Um die Wärmedämmwirkung des Mauerwerks durch die Mörtelfugen nicht negativ zu beeinträchtigen, wäre die Verwendung von Leichtmauermörtel vorteilhaft. Die Stoßfugen sollten für einen optimalen Abtrag von Querkraftbeanspruchungen in Scheibenrichtung sowie zur Sicherstellung der Luftdichtheit vollflächig vermörtelt werden. Die vermörtelten Stoßfugen sollten in Anlehnung an DIN EN 1996-1-1/NA [16] eine Dicke von ungefähr 10 mm aufweisen. Falls sich aus den weiterführenden Untersuchungen ergeben sollte, dass eine Stoßfugenvermörtelung aus statischer Sicht nicht zwingend erforderlich ist, könnte die Luftdichtheit alternativ auch über ein Nut- und Federsystem an den Stirnflächen der Mauersteine gewährleistet werden.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Lastverteilung innerhalb des Mauerwerks sollten zudem die Verbandsregeln des herkömmlichen Mauerwerksbaus sowie das in DIN EN 1996-3/NA [1] vorgeschriebene Überbindemaß (siehe auch Tabelle 2) eingehalten werden.

8.2 Teilaufliegende Decken

Um Wärmebrücken durch die Einbindung von Stahlbetondecken in die äußeren Wandkonstruktionen zu vermeiden, sollten diese nur teilweise auf den Außenwänden aufgelagert werden. Die Stahlbetondecken können hierbei mit Hilfe einer außenliegenden Randdämmung isoliert werden. Um einen homogenen Putzgrund an der Wandaußenseite zu erhalten, wäre es sinnvoll die verwendete Randdämmung falls möglich aus dem Material der Mauersteine herzustellen. Eine teilaufliegende Geschossdecke wirkt sich jedoch auf Grund der exzentrischen Lasteinleitung sowie der verringerten Lasteinleitungsfläche negativ auf die Tragfähigkeit der betrachteten Außenwand aus. Es sollte daher analysiert werden, welche Mindeststärke die außenliegende Dämmschicht zur effektiven Vermeidung der Wärmebrücke aufweisen muss, um auf dieser Grundlage prüfen zu können, welche Traglastminderungen der Wand sich durch die teilaufliegende Decke ergeben. Gegebenenfalls sollte geprüft werden inwieweit der notwendige Wärmeschutz durch andere konstruktive Maßnahmen (z. B. innenliegende Dämmung der Deckenunterseite) erreicht werden kann, um teilaufliegende Decken zu vermeiden.

8.3 Anschluss an angrenzende Bauteile

Der Anschluss zwischen Mauerwerkswänden aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen und angrenzenden Bauteilen muss durch geeignete Maßnahmen kraftschlüssig hergestellt werden. Die Einleitung von Horizontallasten aus Deckenscheiben in aussteifende Wände aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ist durch Ringanker oder Ringbalken (z. B. aus Stahlbeton oder Holz) sicherzustellen. Zudem müssen die Wände an Wandkreuzungen durch den Mauerwerksverband oder geeignete Anker miteinander verbunden werden, sodass ein

Lastübertrag gewährleistet ist. Inwieweit diesbezüglich die Stumpfstoßtechnik zum Einsatz kommen kann, muss überprüft werden.

Bei Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen in Kombination mit anderen Wandbaustoffen ist auf die Verformungsverträglichkeit der verwendeten Materialien zu achten, um Bauschäden im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit an Verbindungsstellen vorzubeugen. Hierbei sind sowohl Verformungen unter kurzzeitiger Beanspruchung als auch Langzeitverformungen z. B. infolge von Kriechen und Schwinden zu beachten.

8.4 Ausbildung des Wandfußes

Um den Wandfuß vor erhöhter Feuchteeinwirkung durch unplanmäßige Wasseransammlungen auf den Geschossdecken (z. B. infolge eines Wasserschadens oder Rohrbruchs) zu schützen, sollten tragende Wände aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels immer auf einer Kimmschicht aus wasserfesten Baustoffen errichtet werden. Zur Herstellung der Kimmschicht sind hydraulisch gebundene oder gebrannte Materialien wie Beton oder herkömmliche Mauerwerksbaustoffe geeignet, sofern sie mindestens die Druckfestigkeit des Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen aufweisen.

8.5 Schlitze und Aussparungen

Die für übliches Mauerwerk geltenden normativen Anforderungen an die Anordnung von Schlitzen und Aussparungen sind auch bei tragenden Wänden aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zwingend einzuhalten. Aufgrund der gegenüber üblichem Mauerwerk zu erwartenden deutlich höheren Materialausnutzung ist zu validieren, ob für tragendes Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen verschärfte Anforderungen an die Anordnung von Schlitzen und Aussparungen zu stellen sind. Sollten durch Schlitze oder Aussparungen größere Querschnittsschwächungen auftreten als gemäß DIN EN 1996-1-1/NA [16] ohne statischen Nachweis zulässig sind, dürfen die jeweiligen Wände ausschließlich unter Ansatz des verbleibenden Restquerschnitts bemessen werden.

9 Überwachung und werkseigene Produktionskontrolle

Die für den tragenden Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen maßgebenden Materialeigenschaften sind durch kontinuierliche Maßnahmen der Qualitätssicherung zu überwachen. Hierzu zählt einerseits eine regelmäßige werkseigene Produktionskontrolle (WPK) sowie die Fremdüberwachung (FÜ) durch eine externe und zertifizierte Prüfstelle.

Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle sind sowohl die Eigenschaften der Ausgangsstoffe sowie des Endprodukts durch den Hersteller regelmäßig zu überwachen. Auch die im Herstellungsprozess verwendeten Gerätschaften müssen regelmäßig kontrolliert und gewartet werden, sodass Anwendung, Verschleiß oder Fehler keine Unregelmäßigkeiten im Herstellungsprozess verursachen. Für die Sicherstellung der kontinuierlichen Produktqualität sind während der Herstellung Produktionsparameter in festgelegten Abständen zu kontrollieren und dokumentieren. Art und Umfang der Kontrollen sind vom Hersteller so festzulegen, dass sie an die Gegebenheiten der Produktion angepasst sind.

Zusätzlich ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine externe Fremdüberwachung zu ergänzen. Zu überprüfende Parameter eines Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen sind insbesondere die Maßhaltigkeit, die Materialzusammensetzung bzw. der Gehalt an organischen Zusatzstoffen, die Rohdichte, die Druckfestigkeit sowie ggfs. das Brandverhalten. Hinsichtlich der Maßtoleranzen, der Ebenheit und der Planparallelität der Lasteinleitungsflächen sind vorab zulässige Abweichungen zu definieren und deren Einhaltung ist mit einer entsprechenden Produktionskontrolle zu überprüfen.

10 Einschränkende Randbedingungen

Auf Grund der individuellen materialspezifischen Besonderheiten von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen kann es gegebenenfalls zu Einschränkungen in der Verwendung als tragender Wandbaustoff kommen. Im Folgenden werden eventuell einschränkende Randbedingungen thematisiert.

10.1 Dauerhaftigkeit der Materialeigenschaften

Grundsätzlich ist die Dauerhaftigkeit der verwendeten Materialien sicherzustellen. Hierzu muss das verwendete mineralische Grundmaterial über die gesamte Nutzungsphase des Gebäudes seine bindende Wirkung innerhalb des Materialgefüges erhalten. Gleichzeitig müssen die innerhalb des Grundmaterials eingebundenen organischen Zusatzstoffe effektiv konserviert und von schädigenden Feuchtigkeits- und sonstigen Umwelteinflüssen geschützt werden. Es muss auch nach langjähriger Verwendung eines Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen sichergestellt sein, dass die enthaltenen organischen Bestandteile eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweisen und sich nicht zersetzen oder ihre mechanischen Eigenschaften – insbesondere ihre Zugfestigkeit und Dehnsteifigkeit – verlieren. Die hinreichende Dauerhaftigkeit der eingesetzten Materialien ist durch entsprechende Materialuntersuchungen zu verifizieren.

10.2 Feuchteinfluss auf die Materialeigenschaften

Einschränkungen der zur Verfügung stehenden Einsatzmöglichkeiten könnten sich durch den erforderlichen Schlagregenschutz ergeben. Im Außenbereich sollten hierfür in der Regel wasserabweisende Putze verwendet werden, welche einen ausreichenden Schlagregenschutz gewährleisten und das Mauerwerk vor erhöhter Feuchteexposition schützen können. Bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels ist in Gebieten mit besonders hoher Schlagregenbeanspruchung jedoch kritisch zu hinterfragen, ob der Außenputz die erforderliche Schutzwirkung über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes uneingeschränkt gewährleisten kann. Im Fall von größeren Rissen oder Abplatzungen der äußeren Putzschicht wäre das Mauerwerk in diesen Gebieten einer erhöhten Feuchtebeanspruchung ausgesetzt, welche die Tragfähigkeit der betroffenen Wände bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels signifikant beeinträchtigen könnte.

10.3 Nachweis der erforderlichen Mindestauflast

Gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] muss bei Wänden, die als Endauflager für Decken oder Dächer dienen und eine Horizontalbeanspruchung durch Wind erfahren, ein Nachweis der Mindestauflast geführt werden. Dieser Nachweis wird in der Regel im obersten Geschoss geführt und basiert auf einem Bogenmodell. Hierdurch wird sichergestellt, dass die horizontalen Windlasten durch die einwirkende Normalkraft derart kompensiert werden können, dass kein Biege- oder Querkraftversagen in Plattenrichtung eintritt. Dabei erhöhen größere Windlasten und teilaufliegende Decken die erforderliche Mindestauflast. Auf Grund des oftmals geringen Eigengewichts von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen könnte die Einhaltung dieses Nachweises bei niedrigen Auflasten (z. B. durch Holzdecken oder leichten Dachaufbauten) in seltenen Fällen problematisch sein. Gegebenenfalls sind an dieser Stelle neuartige Nachweiskonzepte unter Berücksichtigung der sich einstellenden Membrantragwirkung zu entwickeln und in der Bauartgenehmigung zu verankern.

10.4 Fenster- und Türöffnungen, Flachstürze

Die in Kap. 4.2 erfolgte Abschätzung der Wandtragfähigkeit und die sich daraus ergebende mögliche Geschoßzahl erfolgte für den ungestörten und ungeschwächten Wandquerschnitt. Fenster- und Türöffnungen verringern den für den vertikalen Lastabtrag zur Verfügung stehenden Querschnitt und erhöhen die Beanspruchung des verbleibenden Restquerschnitts entsprechend. Bei Außenwänden mit Wandstärken $t \geq 36,5$ cm und einem Mittelwert der Steindruckfestigkeit von $f_{st} \geq 0,8$ N/mm² sollten baupraktisch übliche Fenster- und Türgrößen realisierbar sein. In diesem Kontext ist zu beachten, dass die Bemessungsdruckfestigkeit von Mauerwerkspfählen mit einer geringen Querschnittsfläche von $A \leq 0,1$ m² analog zu herkömmlichen Mauerwerksbaustoffen zusätzlich abzumindern ist. Im Rahmen einer Bauartgenehmigung könnte eine Obergrenze der zulässigen Fenster- und Türflächen innerhalb einer tragenden Mauerwerkswand aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen definiert werden.

Prinzipiell können die für übliches Mauerwerk geeigneten Ergänzungsbauteile auch bei Einsatz von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen verwendet werden. Es ist jedoch zu prüfen, ob für die über Öffnungen gegebenenfalls anzuordnenden Flachstürze spezifische Bauartgenehmigungen zu erwirken sind, falls es nicht gelingen sollte, herkömmliche, für andere Steinarten entwickelte Flachstürze zur Anwendung zuzulassen.

10.5 Befestigungsmittel

Infolge der oftmals geringen Materialfestigkeit von Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ist die Tragfähigkeit üblicher Befestigungsmittel kritisch zu hinterfragen. Hierbei handelt es sich zwar nur um sekundäre Tragstrukturen, welche im Versagensfall die Gesamttragfähigkeit eines Gebäudes nicht nachteilig beeinflussen – nichtsdestotrotz sind tragfähige Befestigungen für viele Bereiche eines Bauwerks relevant. Eine zuverlässige Befestigungstechnik wird beispielsweise für die Montage von Hängeschränken oder die Montage von Leitungen der technischen Gebäudeausrüstung benötigt. Dementsprechend ist es für den Einsatz von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen erforderlich, dass die in der Bau Praxis verwendeten Befestigungsmittel (insbesondere Dübel) mit entsprechender bauaufsichtlicher Zulassung zur Verfügung stehen und auch die zugehörigen Nachweisverfahren für Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen geeignet sind.

11 Fazit

Basierend auf den Erkenntnissen der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist die Verwendung von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen für die Errichtung tragender Wandkonstruktionen grundsätzlich denkbar. In Abhängigkeit der bauvorhabenbezogenen und materialspezifischen Randbedingungen sollten selbst bei vergleichsweise geringer Mauerwerksfestigkeit ein- bis zweigeschossige Gebäude realistisch umsetzbar sein. Um eine finale Aussage über die tatsächliche Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen treffen zu können, sind jedoch individuelle Materialuntersuchungen und ergänzende theoretische Betrachtungen erforderlich, welche im Zuge eines bauaufsichtlichen Zulassungsverfahrens durchzuführen sind. Die wesentlichsten Erkenntnisse werden nachfolgend nochmals zusammengefasst.

Für eine bauaufsichtliche Zulassung und die zugehörige Entwicklung eines konkreten Nachweiskonzepts für tragendes Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen müssen wichtige Festigkeits- und Verformungseigenschaften, wie z. B. die Mauerwerksdruckfestigkeit und der Mauerwerkselastizitätsmodul, experimentell bestimmt werden. Um eine zuverlässigkeitstheoretische Auswertung der Versuchsergebnisse zu ermöglichen, ist dabei auf einen statistisch signifikanten Versuchsumfang zu achten. Im Rahmen der Versuchsdurchführung sollte insbesondere bei Verwendung eines wasserlöslichen Bindemittels eine eventuell vorhandene Feuchteabhängigkeit der bemessungsrelevanten Materialeigenschaften stichprobenartig analysiert werden. Der derzeit bei der Mauerwerksbemessung verwendete Dauerstandfaktor ist experimentell zu verifizieren.

Des Weiteren sind Brandversuche zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen erforderlich. Für nahezu alle relevanten Anwendungsbereiche ist dabei REI 30 nachzuweisen. Um tragende Kellerinnenwände aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu realisieren, muss im Fall von Gebäudeklasse 3 bis 5 zudem die Nichtbrennbarkeit des Baustoffs nachgewiesen und eine Feuerwiderstandsdauer von REI 90 erreicht werden.

In Tabelle 3 sind die im Rahmen eines Zulassungsprozesses zu beurteilenden und experimentell zu ermittelnden mechanischen und bauphysikalischen Materialeigenschaften eines Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen zusammengefasst. Außerdem sind für die einzelnen Materialkennwerte bestehende Prüfnormen aus dem Bereich des Mauerwerksbaus als Orientierungshilfe für die Versuchskonzeptionierung angegeben.

Tabelle 3: Relevante mechanische und bauphysikalische Materialeigenschaften eines Mauersteins mit organischen Zusatzstoffen

Mechanische Materialeigenschaften			
Mauerstein	Druckfestigkeit	f_{st}	DIN EN 772-1 [14]
	Zugfestigkeit	$f_{t,st}$	DIN EN 772-6 [24]
	Rohdichte	ρ	DIN EN 772-13 [25]
	Quell- und Schwinddehnung	ϵ_s	DIN EN 772-14 [15]
	Querdehnzahl	ν	-
	Dauerhaftigkeit	-	-
	Witterungsbeständigkeit	-	-
Mauerwerk	Druckfestigkeit	f	DIN EN 1052-1 [2]
	Elastizitätsmodul	E	DIN EN 1052-1 [2]
	Biegezugfestigkeit	f_x	DIN EN 1052-2 [20]
	Spannungs-Dehnungs-Linie	σ - ϵ	DIN EN 1052-1 [2]
	Haftscherfestigkeit	f_{vk0}	DIN EN 1052-3 [21]
	Reibungsbeiwert	μ	DIN EN 1052-3 [21]
	Endkriechzahl	ϕ_∞	-
	Dauerstandfaktor	ζ	-
	Materialeitiger Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	DIN EN 1990/NA [22]
Bauphysikalische Materialeigenschaften			
Mauerstein	Wärmeleitfähigkeit	λ	DIN EN ISO 10456 [26]
	Wärmespeicherkapazität	c	DIN EN ISO 10456 [26]
	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	μ	DIN EN ISO 12572 [27]
	Wasseraufnahmekoeffizient	A_w	DIN EN ISO 15148 [28]
	Bewertetes Schalldämmmaß	R_w	DIN 4109-4 [29]
	Brandverhalten (Baustoffklasse)	-	DIN 4102-1 [12]
Mauerwerk	Feuerwiderstandsdauer (REI)	-	DIN EN 13501-1 [13]

Auf Grundlage der experimentell generierten Datengrundlage kann mit Hilfe weiterführender theoretischer Untersuchungen im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung von tragendem Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen ein konsistentes und individuell auf die Materialeigenschaften abgestimmtes Bemessungskonzept erarbeitet werden, welches dessen zuverlässigen und wirtschaftlichen Einsatz in tragenden Strukturen ermöglicht. Als Ausgangsbasis können die vereinfachten Berechnungsmethoden gemäß DIN EN 1996-3/NA [1] genutzt werden, welche jedoch hinsichtlich der materialspezifischen Besonderheiten von Mauerwerk aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen zu adjustieren sind. Zur Entwicklung eines geeigneten Nachweisverfahrens sind eine detaillierte Auswertung der durchzuführenden experimentellen Untersuchungen sowie darauf aufbauende theoretische Überlegungen und Vergleichsrechnungen erforderlich. Zudem sind für den schadensfreien Einsatz tragenden Mauerwerks aus Mauersteinen mit organischen Zusatzstoffen angepasste Konstruktions- und Ausführungsregeln zu formulieren.

München, den 20.7.2023