



Abb. 1: Freistehende Einfriedungsmauer durch angelehnte Grabmalbauwerke schiefgestellt

Standssicherheit von Einfriedungsmauern

Massive Einfriedungen werden seit Jahrhunderten zur Sicherung und als Sichtschutz von Grundstücken genutzt. Natursteine und künstliche Steine dienen als Baumaterialien. Lose und vermörtelte Bauweisen finden dabei Anwendung. Allgemeine Erfahrungswerte und jahrzehntelanges Vorhandensein der Mauern dienen meist als »Nachweis der Standssicherheit« für die freistehenden Mauern.

Einleitung

Die Sicherheit von Bauwerken ist in den letzten Jahren aufgrund tragischer Einstürze von Gebäuden bzw. deren Bauteilen verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt.

Die Standssicherheit von Bauwerken wird überwiegend nur zum Zeitpunkt der Gebäudeerrichtung berechnet und geprüft. Die Anforderungen, die Beanspruchungen und der Zustand der Bauteile können sich im Laufe der Jahre jedoch verändern.

Prüfungen der Standssicherheit von Bauwerken im Laufe der Nutzungszeit bilden meist die Ausnahme. Untersuchungen über die Dauerhaftigkeit und das Tragverhalten alter

Baukonstruktionen erfordern i. d. R. einen hohen Aufwand, sind mit Unwägbarkeiten verbunden und können Restrisiken nicht ausschließen.

Die Standssicherheit von Bauwerken ist aus Gründen des Schutzes von Personen und Sachwerten allerdings jederzeit zu gewährleisten.

Die Musterbauordnung bekräftigt dies unter § 3 Allgemeine Anforderungen Satz (1) »Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.« Diese Maßgabe gilt nicht nur für Ingenieurbauwerke und öffentliche Gebäude, sondern für alle Bauwerke. Einfache bauliche Nebenanlagen, wie freistehende Einfriedungen, gehören dazu. Dies gilt auch für historische Mauern die seit Jahrzehnten vorhanden sind.

Einfriedungsmauern neuerer Art

Massive Einfriedungsmauern erfüllen unterschiedlichste Aufgaben und sind überall anzutreffen. Die scheibenartigen Bauwerke sind Witterungsbean-

spruchungen (z. B. Wind, Niederschlag, Umwelt-Schadstoffe) ausgesetzt.

Die Form und Gestaltung von Mauern kann sehr verschieden sein. Die baulichen Anlagen weisen meist einheitliche Dicken über den Querschnitt von 0,2 bis 0,4 m und Höhen bis zu 2,5 m auf. In der Längsachse sind oftmals alle 3 bis 4 m Pfeilervorlagen angeordnet. Als Baumaterialien finden vor allem Natursteine, Ziegel und Beton Anwendung. Auf den Mauern sind teilweise geneigte Abdeckungen mit seitlichen Abtropfüberständen vorzufinden.

Eine typische Bauweise für diese Bauwerke stellt bewehrtes Mauerwerk aus Betonformsteinen oder Ziegeln dar. In der Mauerwerksnorm DIN 1053-3 sind dazu entsprechende Berechnungsverfahren enthalten. Für die Standssicherheit der Mauern ist deren zugverankernde Verbindung mit dem Betonfundament wichtig. Mittels Anschluss-Bewehrungsseisen lässt sich dies umsetzen.

Historische Einfriedungsmauern

Historische Einfriedungen verfügen i. d. R. weder über ein armiertes Mauerwerk noch über Zugverbindun-

Beispiel 1 – Sichtschutzmauer aus künstlichen Steinen zwischen zwei Grundstücken



Abb. 2: Mauerhöhe 2,4 m; freies Mauerende; kein aussteifender Mauerpfeiler; horizontale Abdichtungsbahn bei 0,6 m über Geländeoberkante



Abb. 3: Mauerdicke 0,24 m; zu geringer Überstand der Abdeckung auf der Wandkrone; beidseitig freie Windangriffsfläche



Abb. 4: Risse im Putz zeichnen den »Mauerwerksverband« nach; großflächige Anstrich- und Putzablösungen am Mauersockel; Erdreich liegt am Mauersockel an

gen zum Fundament. Letzteres besteht oftmals aus Natursteinen oder Vollziegeln.

Das unter Gelände befindliche Rohbau-Mauerwerk ist den chemisch-biologischen Einflüssen des angefüllten Erdreiches unmittelbar ausgesetzt, weil horizontale und vertikale Abdichtungsmaßnahmen unüblich waren. Bodenfeuchte gelangt vom Erdreich ungehindert in das Mauerwerk. In Natursteinmauern erfolgt dies über die Mörtelfugen und in Mauern aus künstlichen Steinen über die Ziegel und den Mauermörtel.

Aufsteigende Mauerwerksfeuchte in den Sockelbereichen, verbunden mit Ausblühungen, Frostabplatzungen an den Bauteiloberflächen und Zermürbung des Mauermörtels sind die Folge.

In Wänden aus Natursteinmauerwerk ist eine Horizontalabdichtung bauartbedingt schwierig zu realisieren. Horizontalabdichtungen, insbesondere bahnenförmige, können eine Art »Gleitfuge« im Mauerwerk erzeugen und die Standsicherheit der freistehenden Mauern wesentlich verschlechtern. Vereinzelt sind in Mauerwerk aus künstlichen Steinen »dickere« Lagerfugen aus Zement- bzw. Sperrmörtel als »Horizontalabdichtung« anzutreffen.

Historisches Mauerwerk aus künstlichen Steinen wurde mit Kalk-Mörtel, Kalk-Zement-Mörtel oder Zementmörtel errichtet. Der Mauermör-

tel kann daher teilweise nur schwach hydraulisch sein. Die nichthydraulischen Bestandteile des Mörtels gehen im Laufe der Jahrzehnte unter dem Einfluss der Bodenfeuchtigkeit meist in Lösung. Der Mauermörtel wird mürbe und verliert als Bindeglied zwischen den Steinen seine Adhäsions- und Kohäsionseigenschaften. Frost und biologische Korrosion verringern die Festigkeitseigenschaften des Mauermörtels im Laufe der Zeit ebenfalls.

Veränderungen im Baugrund (z. B. Wasserentzug durch Vegetation, hohe Verkehrslasten unmittelbar neben dem Fundament), unzureichende Gründungstiefe gegenüber Frost, Windeinflüsse sowie handwerkliche Unzulänglichkeiten bei der Errichtung der Wand können zu einer Schiefstellung von Einfriedungsmauern führen. Mit zunehmender Ausmittigkeit des Masseschwerpunktes im Bauteilquerschnitt verschlechtert sich die Standsicherheit der Mauer rapide.

Einflussgrößen auf die Standsicherheit

Die Standsicherheit von historischen Mauern als scheibenartige Bauteile wird wesentlich bestimmt durch:

- ▶ die Schlankheit als Verhältnis von Höhe/Dicke des Bauteils,
- ▶ Pfeilervorlagen und deren Aussteifungseinfluss,

- ▶ das Kippmoment beeinflussende Verformungen (z. B. Ausbauchung/Schiefstellung),
- ▶ die Fundamenteigenschaften (Bauart/Form/Einbindetiefe) bei bewehrten Mauern,
- ▶ horizontale Verkehrslasten (z. B. Wind, seitlicher Schneedruck, Anpralllasten von Schneeräumschilden, Grabplatten),
- ▶ Eigenlasten aus der Rohdichte der Baustoffe und deren Feuchtegehalt,
- ▶ Festigkeit der Steine und des Mörtels sowie dem Haftvermögen des Mauermörtels,
- ▶ physikalische, chemische, biologische Einflüsse,
- ▶ mechanische Beschädigung (Querschnittschwächung/Oberflächenverwitterung),
- ▶ Temperaturbeanspruchung (Dehnungen/Frost Absprengungen),
- ▶ Salzeintrag aus der Umwelt (Ausblühungen Schalenbildung; Wasseranlagerung Frostgefährdung),
- ▶ Niederschlag und Bodenkontakt (Auslaugung),
- ▶ tierische Exkremente (Säurebildung),
- ▶ Mikroorganismen (Krustenbildung).

Statische Nachweisführung Lastannahmen

Das Eigengewicht der Mauer wird bestimmt durch deren Rohdichte, die Breite und Höhe sowie eventu-

Beispiel 2 – Einfriedungsmauer zwischen Wohngrundstück und Parkplatz



Abb. 5: Massiver und überstehender Mauerkopf; Ausbeulen und Schiefstellung der Mauer



Abb. 6: Abriss und Neigung der Mauer in Richtung der öffentlichen Parkplätze



Abb. 7: Korrosion bis zur halben Mauerdicke; loser Mauerwerksverband am Mauersockel

elle Verputze und Mauerkronenabdeckungen. In der Regel wurden die Wände der historischen Einfriedungsmauern mit Baustoffen der Rohdichten von 1600 bis 2200 kg/m³ errichtet. Bei Mauern aus Ziegeln sind bei Durchfeuchtungen höheren Eigengewichte vorhanden. Verputze weisen üblicherweise Dicken von 20 mm und Rohdichten um die 2000 kg/m³ auf.

Windeinflüsse sind abhängig von der Topografie und treten hauptsächlich bei freier Lage (Geländekategorie I und II) auf. Die Einwirkungen sind nach DIN 1055-4 anzusetzen. In bebauter Umgebung und bei Bauteilhöhen von < 2 m sind die Windkräfte auf die Mauern meist gering bzw. vernachlässigbar. Auf die Standsicherheit der Mauer hat ihre Schlankheit einen wesentlichen Einfluss.

Horizontale Lasteinwirkungen sind durch Windkräfte, anlehrende Grabplatten und Schilder, einseitige Schneeanhäufungen von Wehungen und Fahrzeuganpralllasten ebenfalls möglich. Die Kräfte wirken meist im unteren Drittel der Mauerhöhe. Sofern die Einwirkungen nicht stoßartig erfolgen (z. B. Anprall des Räumwagens) sind selbige keine außergewöhnlichen Lasten nach DIN 1055-9, sondern wie z. B. einseitige Anschüttungen gemäß DIN 1055-6 zu betrachten.

Berechnung

Freistehende Mauern werden durch Biegung mit Normalkraft beansprucht und müssen dabei kippsicher sein. Die Nachweisführung erfolgt auf Höhe der Geländeoberkante, sofern nicht andere Sachverhalte (z. B. Horizontalabdichtung in der Lagerfuge als ›Gleitfläche‹) maßgebend werden. Der Kippsicherheitswert (v_k) als Quotient von Kippmoment (M_k)/Standmoment (M_s) muss laut Norm DIN 1053 größer 1,5 sein.

Die Normalkraft resultiert aus der Eigenlast und die Biegung aus Verkehrslasten sowie Verformungen. Mauerwerk ist hauptsächlich für Druckkräfte geeignet. Solange die Druckkräfte dominieren und die Zugkräfte übersteigen, sind auch Biegekräfte durch die Wand aufnehmbar. Der dabei entstehende außermittige Druck im Querschnitt stellt sich als Exzentrizität (e) über das Verhältnis von Biegemoment (M) und Normalkraft (N) dar. Das Biegemoment verschiebt die Normalkraft aus dem Schwerpunkt (Kern) zu einem der Mauerränder hin. Solange im gesamten Querschnitt Druckspannungen auftreten, sind auch Biegemomente (M) durch die Wand aufnehmbar. Das Biegemoment bewirkt eine exzentrische Verschiebung der sonst mittig im Querschnitt angreifenden Normal-

kraft (N). Die Exzentrizität (e) kann über das Verhältnis von Biegemoment zu Normalkraft bestimmt werden. Je größer das angreifende Biegemoment, desto größer wird auch die Exzentrizität der Normalkraft.

Die 1. Kernweite (k) von Mauern beträgt $1/6 b$ und die 2. Kernweite ($2k$) rund $1/3$ der Wandbreite (b). Ist $e \leq k$, wird dies als kleine Exzentrizität bezeichnet. Große Exzentrizität liegt bei $k < e < 2k$ vor und führt zu einer gerissenen Zugzone im Querschnitt. Die Exzentrizität sollte nur so groß sein, dass an beiden Rändern der Mauer noch Druckkräfte vorherrschen und kein Horizontalriss bzw. keine klaffende Fuge im Mauerwerk entsteht.

Der Nachweis der Standsicherheit ist für die Lastfallkombination 1 (LFK 1, ständige Lasten) und die Lastfallkombination 2 (LFK 2, ständige und veränderliche Lasten) zu führen. Für die LFK 1 ist nachzuweisen, dass die Exzentrizität der angreifenden Normalkraft kleiner als $1/6$ der Mauerbreite ist. Damit wird sichergestellt, dass an keiner Stelle des Querschnittes Zugspannungen auftreten (keine klaffende Fuge). Dieser Nachweis wird auch als »Nachweis der 1. Kernweite« bezeichnet. Für die LFK 2 findet die »2. Kernweite« Anwendung. Die zulässigen Exzentrizitäten sind dabei größer als in der 1. Kernweite, dürfen jedoch einen Wert von $1/3$ der Mauerbreite

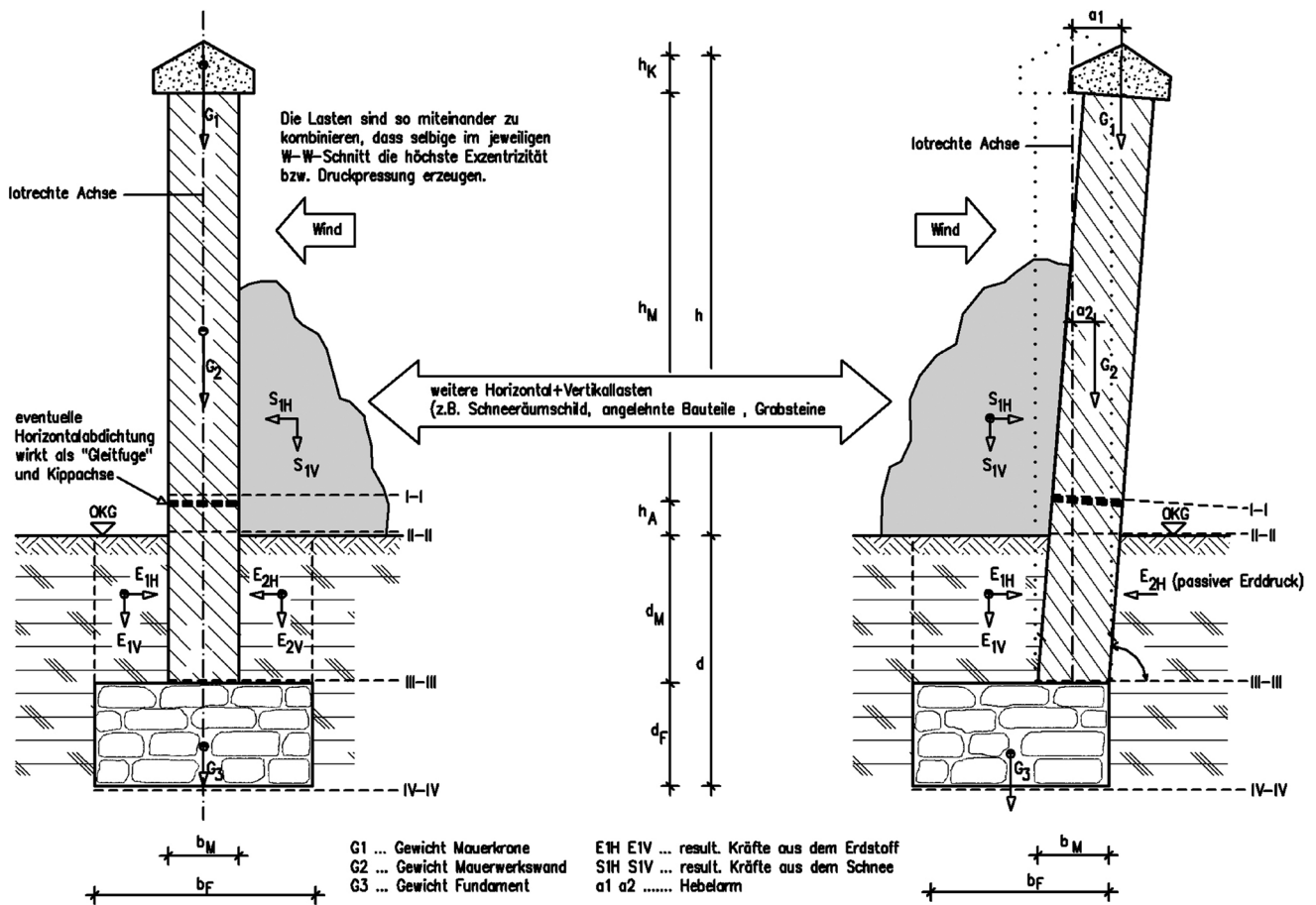


Abb. 8: Systemskizzen mit Lasteintragungen bei lotrechten und ausmittigen Mauern; Bild links: lotrecht, Bild rechts: ausmittig

nicht überschreiten. Beim Nachweis der 2. Kernweite sind Zugspannungen bis zum halben Querschnitt möglich.

Je nach Geometrie der Fundamente (z. B. Größe/einseitig oder beidseitig überstehend/abgetrepp), deren Auflasten (z. B. Erdreich/nachträgliche Anbetonage/Mauer) und den Baugrundverhältnissen (z. B. bindiger Boden) sowie der vorhandenen Ausmittigkeit oder Neigung der Einfriedungsmauer ergeben sich unterschiedliche Ansätze für die Kraftverläufe aus den Eigen- und Verkehrslasten (Abb. 8).

Nachweise in unterschiedlichen Schnittebenen gegen Kippen, Gleiten, Grundbruch und für die maximal aufnehmbaren Sohlnormalspannungen können erforderlich sein.

Ertüchtigung von Einfriedungsmauern

Der kritische und ausschlaggebende Zustand bezüglich des Kippens der Mauer besteht oftmals an der Schnittstelle zwischen Fundament und der

Lagerfuge des Mauerwerks auf Höhe des Geländes. Dieser Bereich ist bevorzugt zu ertüchtigen und so herzustellen, dass die Anforderungen an die Standsicherheit nach den geltenden Vorschriften erfüllt werden.

Neue Einfriedungsmauern werden i. d. R. aus bewehrtem Mauerwerk nach DIN 1053-3 errichtet. Diese Bauteile sind planmäßig für Zugbeanspruchungen konzipiert. Die Bewehrung des Mauerwerks kann horizontal und/oder vertikal erfolgen. Die vertikalen Bewehrungen reichen i. d. R. bis in die Fundamente. Die Einfriedungen sind statisch als im Erdreich eingespannte Bauteile zu betrachten. Die Anforderungen an die Anzahl und Größe der Bewehrung sowie deren Umhüllung mit Mörtel und Beton als Korrosionsschutz sind in der DIN 1053-3 und der DIN 1045 geregelt.

An historischen Mauern lässt sich eine derartige Verbindung zwischen Wand und Fundament nachträglich nur aufwendig herstellen. Schlagend-

vibrierende Vertikalbohrungen von oben durch das Mauerwerk der Wand und insbesondere in Natursteinfundamente für die vertikalen Bewehrungsstäbe führen zu erheblichen Erschütterungen. Das Mauerwerksgefüge wird dabei meist erheblich gestört und ein Totalverlust der Wand kann die Folge sein. Alternativ sind Kernbohrungen (Abb. 9 und 10) möglich, aber technisch sehr aufwendig. Ein fehlstellenfreies Einbringen des Mörtels rings um den gerippten Bewehrungsstab, als Voraussetzung für einen Haftverbund zur Mauer und dem Fundament, ist bei Bohrlöchern von $\varnothing < 60$ mm und Bohrlochlängen von mehr als 1,5 m schwierig. Die Bewehrung befindet sich bei der Bohrvariante in Mauermitte und nicht in den Zugzonen des Querschnittes und kann daher eine klaffende Fuge nicht verhindern.

Der beidseitige Einbau von vertikalen Bewehrungsstählen in ausgefrästen Schlitzen im randnahen Bereich der Maueroberflächen (Abb. 11 und 12) stellt zum Bohrverfahren

Ertüchtigungsvarianten – Systemskizzen mit Vertikalschnitten

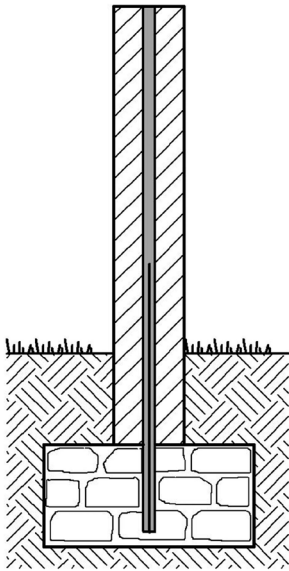


Abb. 9: Einbringen einer Bewehrung über mittige Bohrung

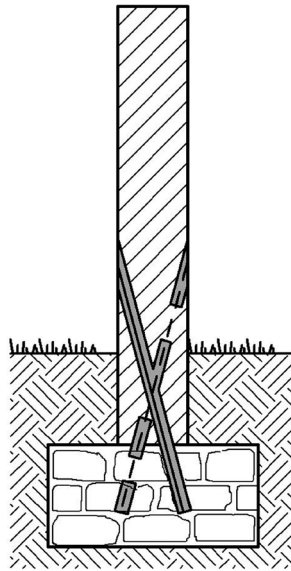


Abb. 10: Einbringen einer Bewehrung über Schrägbohrung in längsseitigem Versatz

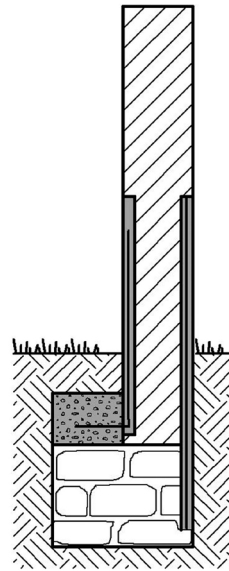


Abb. 11: Einbringen einer Bewehrung über Schrägbohrung in längsseitigem Versatz

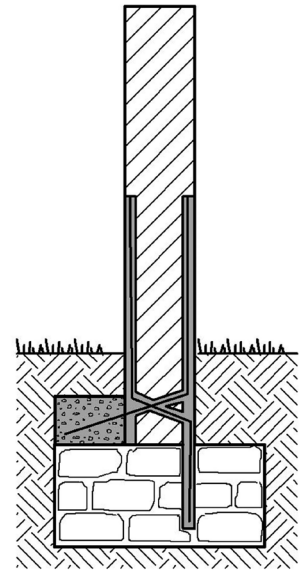


Abb. 12: wie Abb. 10, aber mit Kreuzung der Bewehrung am Fußpunkt

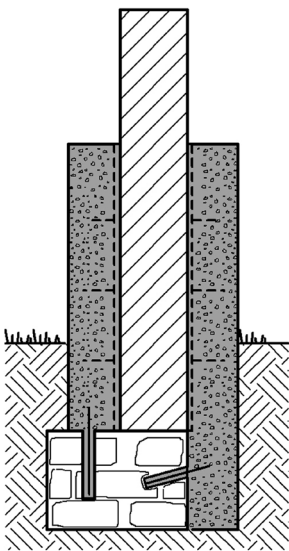


Abb. 13: Stützung über ein- oder beidseitig anbetonierte, bewehrte Pfeilvorlagen

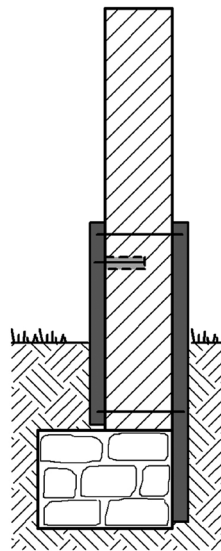


Abb. 14: Anbau von ein- oder beidseitigen Profilstählen mit Durchspindelung oder Dübeln

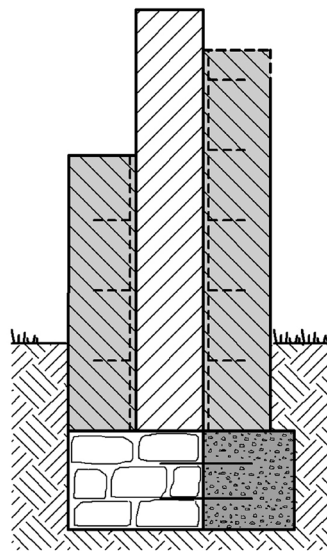


Abb. 15: Vertikalschnitt Stützung über ein- oder beidseitige Pfeilvorlagen aus Mauerwerk
a = Pfeilerabstände je nach Bauart, Beanspruchung und Schlankheit der Mauer

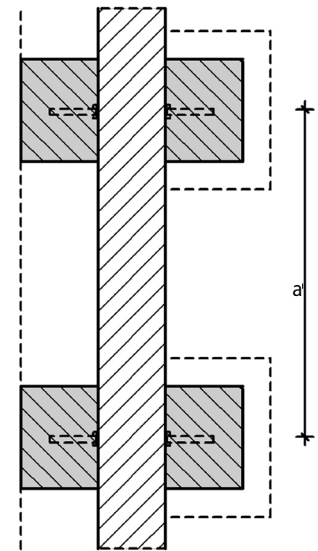


Abb. 16: Horizontalschnitt

eine Alternative dar. Gereinigte Ziegeloberflächen, Vorspritz, gerippte Stähle und allseitige Ummörtelung sind Voraussetzung für den Haftverbund zwischen Mauerwerk und Bewehrung. Der Korrosionsschutz für die Bewehrung ist bei der Auswahl des Mörtels und dessen Schichtdicke bzw. Überdeckung zu beachten. Die

Ertüchtigungsarbeiten an den Mauern lassen sich mit dem Einbau von Spiralankern, ähnlich wie bei der Rissanierung, vergleichen.

Auf stark besonten Mauerflächen können Risse entlang der Bewehrungsstäbe bei zu geringer Mörteldicke infolge thermischer Einflüsse entstehen. Bei Fundamenten aus

Natursteinen sowie bei horizontalen Versätzen zur Mauer kann sich die Anbindung der Bewehrungsstäbe schwierig gestalten. In solchen Fällen lässt sich die Bewehrung am Fundament mittels einer seitlichen Betonanblendung fixieren.

Eine weitere Möglichkeit stellen vor der Mauer errichtete Zwischen-

stützen aus Stahlbeton oder Stahlprofilen dar (Abb. 13 und 14). Die Verankerung der Stützen mit der Mauer ist über Flachanker, Dübel u. Ä. machbar. Die Befestigung am Fundament kann analog oder durch An- bzw. Einbetonage erfolgen.

Die klassische Aussteifung von Mauern mittels verankerter Pfeilervorlagen ist ebenso möglich (Abb. 15).

Die Einflussbreite von aussteifenden Pfeilern ist je nach Bauart und Schlankheit der Mauer unterschiedlich. Die Lasteintragsbreite ist über horizontale Bewehrungsseisen in den Lagerfugen, Stahlprofile oder Stahlbetonbalken vergrößerbar. Bei letzteren sind in Analogie zu Pfeilervorlagen aus Stahlbeton die Schwindverkürzungen zu beachten, um Risse am Mauerwerk zu vermeiden. Die Anwendung schwindarmer Beton- und Mörtelrezepturen kann dabei hilfreich sein.

Verbindungsmittel (z. B. Dübel, Spindeln, Anker u. Ä.) zur Altmauer sollten so angebracht werden, dass nachträgliche Verformungen (z. B. Schwinden, Setzungen, Temperaturdehnungen) der »Hilfskonstruktionen« keine Schäden verursachen. Trennflächen zwischen neuen und alten Bauteilen sowie Langlöcher in Stahlprofilen und Flachanker in Profilschienen können dies ermöglichen. Restrisiken am Bauwerk lassen sich bei Ertüchtigungsmaßnahmen nicht ausschließen.

Zusammenfassung

Tabellen mit allgemeingültigen Angaben über die zulässige Höhe von freistehenden Einfriedungsmauern, je nach Mauerdicke und Rohdichte, sind in der Fachliteratur vielfach publiziert.

Bei historischen Mauern mit einer Dicke von einem Stein (≤ 240 mm), kann bereits ab einer Bauteilhöhe von mehr als einem Meter die Standsicherheit infrage gestellt sein. Dies gilt insbesondere, wenn größere Biegemomente einwirken und weite Pfeilerabstände sowie Vorschädigungen am Mauerwerksgefüge vorhanden sind.

Im Zuge der Inspektion und Instandhaltung sowie bei Umbauten an Einfriedungsmauern sind aus Gründen der Sicherheit diese Aspekte zu beachten. Untersuchungen zu den Baustoffen und den Gründungsverhältnissen der Mauer sowie statische Nachrechnungen gehören dazu.

Literatur

- DIN 1045-1:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- DIN 1053-1:1996-11 Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung
- DIN 1053-3:1990-02 Mauerwerk; Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung
- DIN 1054:2010-12 Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- DIN 1055-1:2002-06 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen
- DIN 1055-3:2006-03 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten
- DIN 1055-4:2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten
- DIN 1055-9:2003-08 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen

WTA-Merkblatt 4-3-98/D Instandsetzung von Mauerwerk Standsicherheit und Tragfähigkeit

WTA-Merkblatt 4-5-99/D Beurteilung von Mauerwerk Mauerwerksdiagnostik

Meichsner, Heinz: Spiralanker für die Mauerwerksinstandsetzung. Berechnung und Konstruktion. Stuttgart: Fraunhofer IBR Verlag, 2009

INFO/KONTAKT



Ing. (TU)
Dustin Häbeler
M.Sc., Mestre

Masterstudien »Konstruktiver Ingenieurbau« an der BTU Cottbus sowie »Structural Analysis of Monuments and Historical Construction (SAHC)« an der TU Prag (CZ) und Universität Minho (P).

Wiss. Mitarbeiter an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fachbereich 7 – Bauwerkssicherheit

E-Mail: dustin.haessler@bam.de



Dr. Dipl.-Ing.
Dietmar Häbeler

Fachingenieur für Bautenschutz
ö.b.u.v. Sachverständiger für Holzschutz und für
Schäden an Gebäuden

Feldstraße 26
09526 Olbernhau (Erzgebirge)
Tel.: 037360 71999
Fax: 037360 72060
E-Mail: haessler-bsb@t-online.de
Internet: www.haessler-bsb.de