

1 | Die Naturstein-Schwergewichtsmauer ist in der Schweiz ein häufiger Mauertyp. Er ist robust und ohne Mörtelinsatz äusserst langlebig.



WORKSHOP BAUTECHNIK

Statik im Mauerbau

Mauern sind nicht nur ein Gestaltungselement, sondern übernehmen auch eine wichtige Stützfunktion. Im Garten- und Landschaftsbau werden Hangsicherungssysteme aber oft ohne grosse statische Kenntnisse eingesetzt. Frei Beton AG aus Grabs SG lud zu einem Workshop ein und machte mit vielen Beispielen unsichtbare Kräfte sichtbar.

Text und Bilder: Stephan Lenzinger, Landschaftsarchitekt HTL/FH, Oberwil

Welche Mauertypen gibt es? Wo sind ihre Schwachstellen und welches sind die Zerfallerscheinungen? Welche Kräfte wirken auf Mauern und wie lassen sie sich bemessen? Welche Faktoren beeinflussen den Erddruck? Wie können Hangsicherungssysteme ohne Einsatz von Beton gebaut werden und welche statischen Regeln müssen bei terrasierten Mauern berücksichtigt werden? All diesen Fragen ging Michael Frei, dipl. Bauingenieur ETH und Geschäftsleiter der Frei Beton AG, am Workshop nach.

Theorie- und Praxisblock fanden direkt im Betonwerk in Grabs SG statt.

Schweizer Mauer Geschichte(n)

Die häufigsten Mauertypen in der Schweiz sind die Naturstein-Schwergewichtsmauern und die Winkelstützmauern aus Stahlbeton entlang von Bahn und Strasse. Erbaut wurden Erstere ab 1850, Letztere ab 1950. Naturstein-Schwergewichtsmauern wurden von unseren Vorfahren in Mischbauweise erstellt, als Natursteinmauerwerk mit

unbewehrtem Beton im Verbund oder später als Winkelstützmauer mit Natursteinvormauerung. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass unsere Urahren einen Topjob gemacht haben, denn ihre Baukunst hält bereits rund 150 Jahre.

Der Zerfallsprozess ist heute jedoch klar sichtbar. Die Ursachen sind Nässe, der Frost-Tau-Wechsel, Salzeinwirkungen sowie der Mörtelzerfall aufgrund seiner Porosität. Fehlende Mauerabdeckungen und Erdberührungen beschleunigen den Prozess. Durch den Mörtelzerfall wird der innere Verbund gestört, Steine verlieren ihr Gleichgewicht und die Mauer beginnt in immer grösser werdenden Teilbereichen einzustürzen. Durch blosse Fugensanierungen können solche Mauern nicht gerettet werden. Verformungen in Mauern seien Zeichen von fortgeschrittenem Zerfall und/oder Überlastung. Sie dürften nicht bagatelisiert werden, wusste Frei. Spontaneinstürze hätten ein grosses Folgeschadenrisiko. Schwergewichtsmauern haben sich aber bewährt. Sie sind robust und langlebig. Wird auf den Einsatz von Mörtel für den inneren Formverbund verzichtet, könnten mehrere 100 Jahre Nutzungsdauer erwartet werden, wusste der Bauingenieur.

Hingegen sind Winkelstützmauern aus Stahlbeton verletzlicher als erwartet. Bereits nach 40 bis 50 Jahren zeigen sich Schäden. Hier ist die Einspannbewehrung am Übergang vom hinteren Teil des Winkelfusses zur Tragkonstruktion (Arbeitsfuge) die Achillessehne. Genau an diesem Punkt der grössten Krafteinwirkung zersetzt sich das Eisen, sein Querschnitt wird dünner. Wie bei einem «Gümmeli» konzentriert sich die ganze Spannung an der beschädigten, dünnen Stelle und kann zu einem Bruchversagen mit Kettenreaktion führen. Ursache ist der poröse Beton an der untersten Stelle der Mauer, die Lage der Arbeitsfuge und die geringe Bewehrungsüberdeckung. Abhilfe verschaffen könnten eine gute Entwässerung, Schwarzanstriche und Abdichtungsbänder auf der Rückseite der Mauer und nicht rostender Bewehrungsstahl.

Gleichgewicht der Kräfte

«Stellen Sie sich vor, die Mauer bewegt sich vom Hang weg, der von ihr gestützt wird», forderte der Referent die Anwesenden auf. Das helfe, zu verstehen, welche Kräfte hinter der Mauer entstehen.



Bild: Beton Frei AG

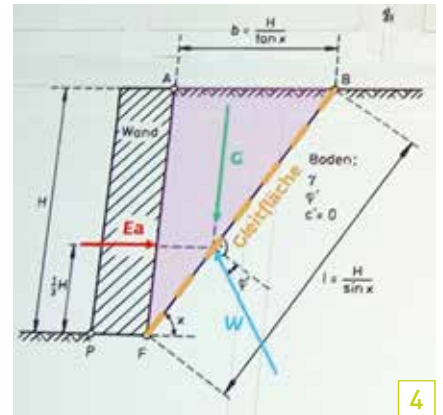
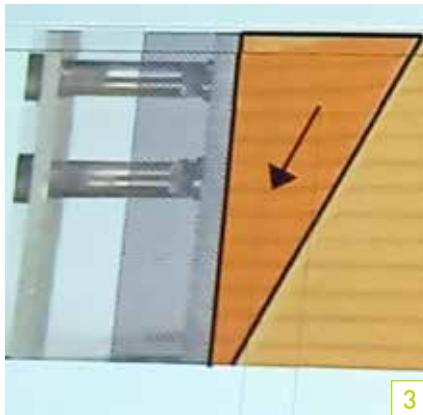


Bild: Beton Frei AG



Es entsteht Bewegung im Baugrund. Man erkennt einen dreiecksförmigen Gleitkeil (aktiver Gleitkeil), der sich entlang einer geraden Gleitfläche nach unten verschiebt. Der aktive Gleitkeil übt den sogenannten «aktiven Erddruck» auf die Stützmauer aus. Die Stützmauer stützt den aktiven Gleitkeil, der sich bewegen möchte, resp. stemmt sich gegen den aktiven Erddruck. Ist die Stützmauer richtig dimensioniert, bewegt sich der Gleitkeil nicht. Das heisst, das Eigengewicht des Gleitkeils, die Widerstandskraft der Gleitfläche und die Stützkraft der Mauer auf den Gleitkeil ergeben in der Summe Null – alle Kräfte sind im Gleichgewicht oder anders ausgedrückt: Wenn man das Verhältnis der Kräfte kennt und richtig aufeinander abstimmt, ist das Mauerwerk im Gleichgewicht.

2 | Saubere Kiese haben einen grossen inneren Reibungswinkel (ϕ) und können steiler geschüttet werden.

3 | Falls sich die Mauer vom Hang entfernt, bewegt sich der Baugrund. Ein dreiecksförmiger Gleitkeil verschiebt sich entlang der Gleitfläche und erzeugt aktiven Erddruck.

4 | Sind das Eigengewicht des Gleitkeils G , die Widerstandskraft der Gleitfläche W und die Stützkraft der Mauer E_a im Gleichgewicht, hält die Mauer stand.

5 | Im praktischen Teil des Workshops konnten Mauerfertigelemente zusammengebaut werden.

Weshalb aber ist der aktive Erddruck nicht bei jedem Baugrund gleich gross? Eine Schüttung aus gebrochenem Kies ist steiler als mit Ton, weil die Widerstandskraft der Gleitfläche grösser ist. Dadurch ergibt sich ein grösserer innerer Reibungswinkel (ϕ). Bei Tonen beträgt er bloss 27°, bei sauberen Kiesen 36°. Je grösser also der Reibungswinkel, umso kleiner wird der Gleitkeil und somit auch sein Gewicht. Die auf die Mauer einwirkenden Kräfte sind geringer und die Mauer muss weniger massiv gebaut werden. Bei nassem Baugrund belastet Wasser die Stützmauer aber um ein Mehrfaches.

«Aufgepasst bei tonigen Böden», mahnte Frei. Sie können im feuchten Zustand fast vertikal angeböscht werden. Das verleite dazu, bei Baugruben oder Arbeitsgräben unvorsichtig zu sein. Kaum trocknen sie ab, werden die Böden instabil und gleiten weg. Der Bauingenieur erklärte das Phänomen als «Sandburgenteneffekt». Jedes Kind könne am Strand mit feuchtem Sand eine wunderschöne Burg bauen, weil kapillare Saugspannungen feinkörnige Böden wie Silte, Tone und Sande zusammenziehen und die Scherfestigkeit erhöhen. In trockenem oder nassem Zustand wirken diese Kräfte nicht – die Burg bricht in sich zu-



6



7



6 | Michael Frei, dipl. Bauingenieur ETH und Geschäftsleiter der Frei Beton AG, demonstriert: Ohne Geogittereinlagen zerfällt der Sandzylinder.

7 | Mit Geogittereinlagen hält der Sandzylinder.

Weitere Einflussfaktoren auf den Erddruck



Wandneigung (α), Geländeneigung (β), Mauerhöhe (h) und Auflast (q) sind weitere Faktoren, die den Erddruck beeinflussen. Je mehr sich die erdberührte Mauerseite zum Hanganschnitt neigt, desto kleiner wird der Gleitkeil resp. der aktive Erddruck. Umgekehrt erhöht sich der Erddruck, wenn das Gelände oberhalb der Mauerkrone geböscht ist. Je steiler das Gelände, umso grösser sind die einwirkenden Kräfte, da der

Gleitkeil sich bei grösserem Neigungswinkel ausweitet. Die Mauerhöhe hat den gleichen Effekt.

Dass Auflasten oberhalb der Mauer den Erddruck erhöhen, versteht sich von selbst. Dabei sind nicht nur Fahrzeuge in Betracht zu ziehen, sondern auch Häuser, Swimmingpools, Menschenansammlungen, Terrassierungen und nicht zu vergessen Baumaschinen und Schüttmaterial während der Bauzeit. Je grösser die Krafteinwirkung, desto schwerer und breiter muss die Schwergewichtsmauer werden resp. desto länger der (Fundament-)Fuss bei Winkelstützmauern.

St. Lenzinger

sammen. Deshalb bezeichnet Freikiesige Böden als «ehrlichere» Böden, da ihr Verhalten vom Wassergehalt nicht so stark beeinflusst wird.

Erstaunliches Geogitter

Die Idee ist nicht neu, sie kommt heute nur moderner daher. Bereits die Sumerer bauten ihre Tempel mittels im Boden eingelegter Schilfmatten. Auch die Grosse Mauer der Han-Dynastie in China wurde in Teilen mit Matten aus Ästen bewehrt. Durch die Erdbewehrung werden Zugspannungen aufgenommen und der innere Scherwiderstand vergrößert. Sie wirkt hemmend auf die Scher-

Terrassierte Mauern richtig bauen

Bei Terrassierungen sollten sich die Mauern statisch nicht gegenseitig beeinflussen. Die obere Mauer belastet die untere nicht, wenn diese (H1) höher ist als die obere (H2). Zudem sollte der Abstand zwischen beiden Mauern mindestens dem Doppelten der Höhe der unteren Mauer ($2 \times H1$) entsprechen.

Ist es möglich, die Terrassierung enger zu planen? «Ja», sagte Frei, «aber bestimmte Regeln müssen beachtet werden.» Er verdeutlichte dies mit einem Gedankenspiel: Man stelle sich vor, der obere Mauerteil würde über den unteren



8



9

Bild: Beton Frei AG

kräfte, ähnlich einer Reibung, die in der Lage ist, einen Körper auf einer schiefen Ebene an der Bewegung zu hindern.

Es gibt einaxial gestreckte Geogitter aus PP mit einer Zugkraft von 20–50 kN/m und biaxial gestreckte aus HDPE mit 40–200 kN/m Zugkraft. Bei einaxial gestreckten Geogittern ist die korrekte Verlegerichtung entscheidend. Der Starkbund sollte vertikal verlaufen und nicht parallel zum Hangsicherungssystem. Eine Geogitterlänge von mindestens 60 % der Mauerhöhe gilt laut Bauingenieur als sinnvoll. Die Geogitter werden lagenweise auf die jeweils verdichtete Hinterfüllungsebene der nächsthöheren Schicht verlegt. Unter Verkehrsflächen oder Zaunanlagen empfiehlt es sich, die oberste Geogitterlage um 1 m gegenüber den darunterliegenden Lagen zu verlängern.

gesetzt. Die obere Terrassierung kann um maximal 60 % der resultierenden Gesamthöhe zurückversetzt werden – jedoch nur hinter die Geogitter des unteren Mauerteils auf gewachsenem Terrain. Steht die Blockfassade des oberen Mauerteils jedoch auf einer Auffüllung, muss diese bis auf das gewachsene Terrain der unteren Mauer fundiert werden. Eine alternative Methode besteht darin, den unteren Mauerteil mit einer 35 % der Gesamthöhe der Terrassierung entsprechenden Tiefe zu hinterbetonieren. Dabei ist zu beachten, dass die eingelegten Geogitter betonresistent sein müssen, da Beton sehr sauer ist.

Nach dem Theorieblock durften die Teilnehmer Hand anlegen und mit den bereitgestellten Werkzeugen und Maschinen die Recon-Schwergewichtsstützmauer und die Allan-Block-Kleinmauerstein-Stützmauer der Firma Frei Beton AG bauen. |

8 | Die Achillessehne von Naturstein-(Schwer-)Gewichtsmauern sind die Mörtelfugen. Durch den Mörtelzerfall wird der innere Verbund gestört. Die Steine verlieren ihr Gleichgewicht und die Mauer beginnt einzustürzen.

9 | Geogitter müssen zu mindestens 60 % der Mauer Gesamthöhe in die Hinterfüllung eingebaut werden.