



**ALLAN
BLOCK**
allanblock.com

Was versteht man unter dem Begriff der Inneren Verbundstabilität (ICS)?

Technisches
Datenblatt #807
SEITE 1

Bei der Gestaltung von Stützmaerbauwerken haben sich technischen Ingenieure und Statiker bislang vielfach auf die üblicherweise zu betrachtende Innere Standsicherheit, auf die Äußere Standsicherheit und auf die Untersuchungen zu Auflasten und unmittelbaren statischen Beanspruchungen beschränkt.

Ergänzend dazu ist jedoch auch eine Gesamtbetrachtung der Stabilität der örtlichen Gegebenheiten erforderlich. Diese Gesamtbetrachtung liegt im Verantwortungsbereich des Grundstückseigners und sollte durch diesen an ein geotechnisches Ingenieurbüro übertragen und beauftragt werden. Von diesem ist dann eine umfassende Gesamtbetrachtung aller örtlichen Gegebenheiten unter Berücksichtigung der statischen Auswirkungen und Wirkungsweisen von Stützmaerbauwerken auszuarbeiten.

Die Durchführung einer Analyse zur Inneren Verbundstabilität stellt sich zunehmend deutlicher als gebräuchliches Instrument zur Bewältigung immer anspruchsvoller werdender Konstruktionsanforderungen heraus. Die Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität ermitteln dabei die Sicherheitsfaktoren für mögliche Gleithorizonte, welche im Bereich unbewehrter Böden hinter der Mauerschale, im Bereich des bewehrten Erdkörpers und der Mauerschale selbst innerhalb des konstruktionsrelevanten Bereiches des Gesamtbauwerkes verlaufen.

Bei der Konstruktion von Mauern betrachten die Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität einen Bereich, der oberhalb der Fundamentierung bzw. Gründung liegt und nicht weiter als eine Distanz in der Breite aufweist, welche dem Doppelten der Höhe der Mauerkonstruktion ($2H$) oder der Summe aus der Höhe der Bauwerkskonstruktion bis Oberkante der Böschung oberhalb der Mauer und der Breite der Bewehrung des Erdkörpers ($H_e + L$) entspricht. Das jeweils höhere Ergebnis aus beiden Möglichkeiten des Rechenansatzes ist relevant und damit zu berücksichtigen.

Dieser für das Auswertungsverfahren heranzuziehende Bereich weist die Gleithorizonte aus, welche die Mauerschale statisch durchlaufen. Die Gleithorizonte durchlaufen dabei die entsprechend betroffenen Lagen der Geogitterbewehrung und bauen Schub- oder Verformungskräfte gegenüber den einzelnen Bauteilen der Mauerschale des modularen Stützmaersystems auf.

Die Anwendung der Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität bietet Planerinnen und Planern die Möglichkeit, das gesamte einflussnehmende direkte Umfeld des Mauerbauwerkes umfassend und abschließend in einer einzigen Berechnungsmethodik zu erfassen. Die Berechnungen hierzu berücksichtigen dabei die Wirkungsweisen der Widerstandskräfte von verfüllten unbewehrten Böden sowie Böden mit Bewehrung, der

Leistungsfähigkeit der individuell dimensionierten Geogitterlagen und deren vertikale Abstände zueinander. Ebenso auch die Verbundstabilität der Mauerschale des modularen Stützmaersystems und deren Widerstand gegen Verformung und damit deren Beitrag zur Stabilität des Mauerbauwerkes.

Die Unterschiede zwischen der Analyse zur Inneren Verbundstabilität und der Analyse zur Gesamtstabilität von

Bauwerken geben eine klare Abgrenzungsmöglichkeit zu den planerischen Verantwortungsbereichen vor. Der bauleitende Ingenieur oder der Planer des Mauerbauwerkes hat die Innere Verbundstabilität für den Bereich oberhalb der Fundamentierung und der Mauerschale bzw. -konstruktion innerhalb des statischen Betrachtungsbereiches jeder einzelnen Stützmaer eines Bauvorhabens zu betrachten und zu überprüfen. Für die das gesamte Bauvorhaben umfassende konstruktive Standsicherheit ist jedoch der Bauherr mit Unterstützung eines von ihm zu beauftragenden geotechnischen Ingenieurs verantwortlich. Die dabei erforderliche Betrachtung der Gesamtstabilität schliesst die Berücksichtigung der Böden unterhalb der Fundamentierung aller konstruierten Mauern und baulichen Strukturen im gesamten Bereich des Bauvorhabens mit ein.

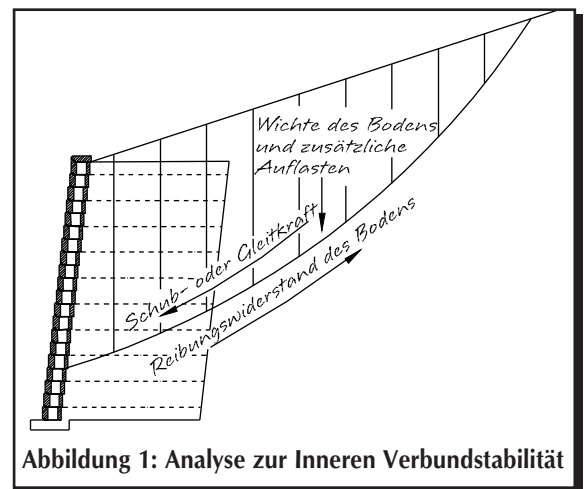


Abbildung 1: Analyse zur Inneren Verbundstabilität

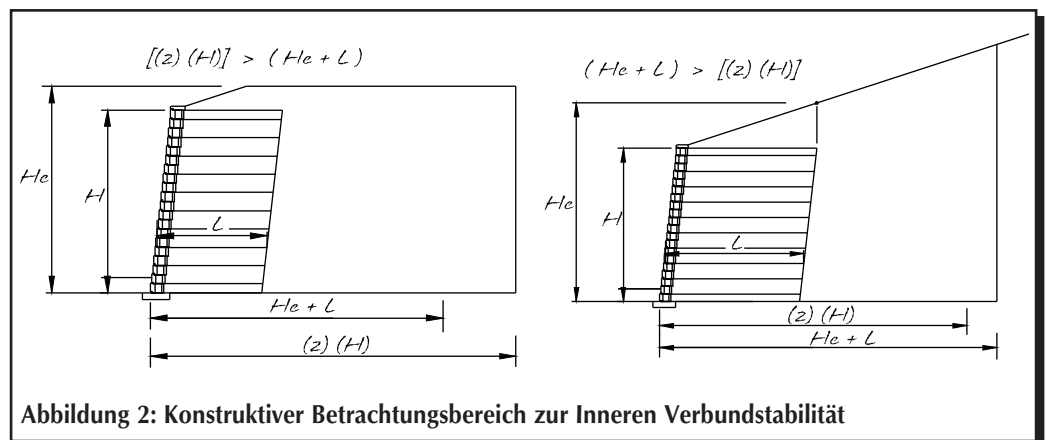


Abbildung 2: Konstruktiver Betrachtungsbereich zur Inneren Verbundstabilität

Konstruktionsmethodik

Das Vereinfachte Lamellenverfahren nach Bishop (DIN 4084 Baugrund - Geländebruchberechnungen) ist eine der am häufigsten genutzten Analysemethoden, welche bei der konstruktiven Betrachtung der Gesamtstabilität von bewehrten Böschungen und Hängen angewandt wird. Dabei wird das Volumen bzw. die Wichte des Bodens oberhalb eines Gleithorizontes rechnerisch in vertikale Abschnitte unterteilt und zur Berechnung der horizontalen Gleitkräfte, wie auch zur Berechnung des Widerstandes von Böden gegen Gleiten auf der Grundlage nichtkohäsiver Spannungsverteilung entlang des Gleithorizontes herangezogen.

Bei den Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität werden die gleichen Methodiken zur Auswertung des wechselseitigen Zusammenspiels von Bodenmaterialien genutzt.

Ergänzend dazu berücksichtigt die Analyse zur Inneren Verbundstabilität die Widerstandskräfte, die durch die die Gleithorizonte bzw. -kreise durchlaufenden Geogitterlagen der Bewehrung geschaffen werden. Dabei werden auch die statisch wirksamen Kräfte der Mauerschale der modularen Stützwandsysteme als konstruktiver Beitrag zum Gesamtbauwerk berücksichtigt.

Die derzeit verwendete Berechnungsmethodik zur Gestaltung von Böschungen unter Berücksichtigung der Standsicherheit ignoriert entweder die statische Wirksamkeit von Mauerschalen oder versucht gar, diese zu imitieren, indem eine dünne, nicht ganz vertikal ausgerichtete Schicht aus Bodenmaterial als Mauerschale simuliert wird.

Die Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität analysieren sowohl die Scherfestigkeit der Mauerschale als auch die Leistungsfähigkeit der Anbindung der Mauerschale an den rückwärtigen Erdkörper. Daraus ist ein nicht unerheblicher Beitrag der Mauerschale zur Widerstandsfähigkeit des Gesamtbauwerkes gegenüber statischen Beanspruchungen ableitbar.

Durch die Kombination der mehrfach wirksamen Schub- und Widerstandskräfte entlang eines Gleithorizontes wird die mathematische Gleichung zur Ermittlung der Sicherheitsfaktoren durch den Verhältniswert der Widerstandskräfte gegenüber den Gleit- oder Schubkräften bestimmt.

Das Endergebnis weist dann aus, ob es entlang eines bestimmten Gleithorizontes zu einem Gleichgewicht der Kräfte kommt.

Die nachfolgende Gleichung berechnet den Sicherheitsfaktor zur Inneren Verbundstabilität:

Sicherheitsfaktor der Inneren Verbundstabilität

$$= (\sum F_r + \sum \text{Mauerschale} + \sum F_{gr}) / (\sum F_s + \sum F_{dyn})$$

Wobei:	$\sum F_r$	=	Summe der Widerstandskräfte von Bodenmaterialien
	$\sum \text{Mauerschale}$	=	Summe des Beitrages der Mauerschale
	$\sum F_{gr}$	=	Summe des Beitrages des Geogitters
	$\sum F_s$	=	Summe der Schub- oder Gleitkräfte
	$\sum F_{dyn}$	=	Summe der Schub- oder Gleitkräfte aufgrund seismischer Belastung

Gleit- und Widerstandskräfte von Böden

Wie bereits erwähnt, dient das Vereinfachte Lamellenverfahren nach Bishop dazu, zunächst die Wichte des Bodens oberhalb der Gleithorizontes und anschließend die Gleit- und Widerstandskräfte auf Basis dieser Bodenmasse entlang des Gleithorizontes zu bestimmen. Abbildung 3 zeigt einen hierfür typischen Querschnitt im Bereich der Bewertungszone der Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität. Die vertikalen lamellenartigen Volumenelemente des Bodens oberhalb der Gleitkreislinie stellen die einzelnen Teilbereiche des zu analysierenden Bodens unter Berücksichtigung der Theorie nach Bishop dar.

Dabei wird die Ermittlung der Massen und Kräfte bezogen auf einen Teilbereich bzw. eine Lamelle als Beispiel angeführt. Zur vollständigen Anwendung des Vereinfachten Lamellenverfahrens nach Bishop ist diese Berechnungsmethodik seitens der Planerinnen und Planer für jedes einzelne lamellenartige Bodenvolumenelement durchzuführen. Abschließend sind die Ergebnisse zusammenzufassen. In der nach Bishop angewandten Zusammenstellung der lamellenartigen Bodenvolumenelementen können diese als individuelle Teilbereiche berechnet werden. Dies ist im Wesentlichen erst auf der Grundlage von Bishop's Annahme einer Vernachlässigung der vertikalen Reibungskräfte zwischen den lamellenartigen Volumenelementen möglich. Für die Konstruktion von

Bauwerken bedeutet dies, daß zwischen den einzelnen lamellenartigen Bodenvolumenelementen im Bereich der direkten Kontaktzone keine statischen Wechselbeziehungen berücksichtigt werden.

Aus diesem Grunde wird die Masse jedes individuellen lamellenartigen Bodenvolumenelementes (W) auf einfache Weise mittels der Multiplikation des Volumens der Bodenmasse innerhalb des Volumenelementes mit der Wichte des Bodens ermittelt. Um die Volumina der individuellen lamellenartigen Volumenelemente berechnen zu können, müssen Planerinnen und Planer zunächst die exakte Geometrie der einzelnen Mauerquerschnitte einschließlich der Gleitkreislinie ermitteln, welche betrachtet werden sollen.

Diese komplexe Geometrie verändert sich im Verlauf jeder individuellen Gleitkreislinie. Aus diesem Grunde ist die Anwendung einer manuell durchgeführten Berechnung sehr schwierig.

Grundsätzlich ist dabei anzumerken, daß die Genauigkeit der Masse des Volumens als Ergebnis der Berechnungen zunimmt, je schmäler die lamellenartigen Volumenelemente tatsächlich gewählt werden. Dies liegt darin begründet, daß die Unterseite jedes lamellenartigen Volumenelementes zur Vereinfachung der Berechnungen als gerade Kreissegmentsehne und nicht als Kreisbogen angenommen wird. Der dadurch zwangsläufig entstehende Masseverlust des Bodenvolumens generiert sich aus dem Bereich zwischen gerader Kreissegmentsehne und dem Kreisbogen. Sobald die lamellenartigen Volumenelemente schmäler dimensioniert werden, reduziert sich der Umfang des rechnerischen Masseverlustes.

Sobald die Masse der lamellenartigen Volumenelemente ermittelt ist, kann die nach vorne gerichtete Querkraft für das Gleiten (F_s) mittels der Multiplikation mit dem Sinus des Winkels unterhalb des lamellenartigen Bodenvolumenelementes (α) berechnet werden. Der Winkel α wird dabei zwischen der Horizontalen und dem Fuß der Kreissegmentsehne an der Unterseite jedes einzelnen lamellenartigen Volumenelementes gemessen. Aufgrund der relativen Lage jedes einzelnen lamellenartigen Volumenelementes entlang des Gleithorizontes ist α für jeden dieser Teilabschnitte unterschiedlich.

Schub- oder Gleitkraft:

$$F_s = (\text{Wichte des lamellenartigen Volumenelementes}) \sin(\alpha)$$

Vergleichen wir zunächst zwei unterschiedliche lamellenartige Volumenelemente. $W_1 = 14,6 \text{ kN/m}$ und $W_2 = 1,46 \text{ kN/m}$. Das erste Volumenelement (W_1) befindet sich in der Nähe des Tiefpunktes der Gleitkreislinie, dort wo der Kreisbogen im Bereich der Mauerchale endet. Die Kreissegmentsehne ist relativ flach im Verhältnis zur Horizontalen ausgebildet, der Winkel α demnach relativ klein. Er wird hier mit 10 Grad angenommen. Das andere Volumenelement (W_2) befindet sich in der Nähe des oberen Endes der Gleitkreislinie. Der Verlauf der Linie des Gleitkreises ist dort steiler ausgeprägt. Aus diesem Grunde ist auch der dortige Winkel α grösser und wird mit 60 Grad angenommen. Der Term von $\sin(\alpha)$ verhält sich als prozentuale Grösse einer nach vorne gerichteten Bewegung, d.h. je flacher der Winkel α ist, desto geringer ist der prozentuale Anteil an der Bewegungsenergie.

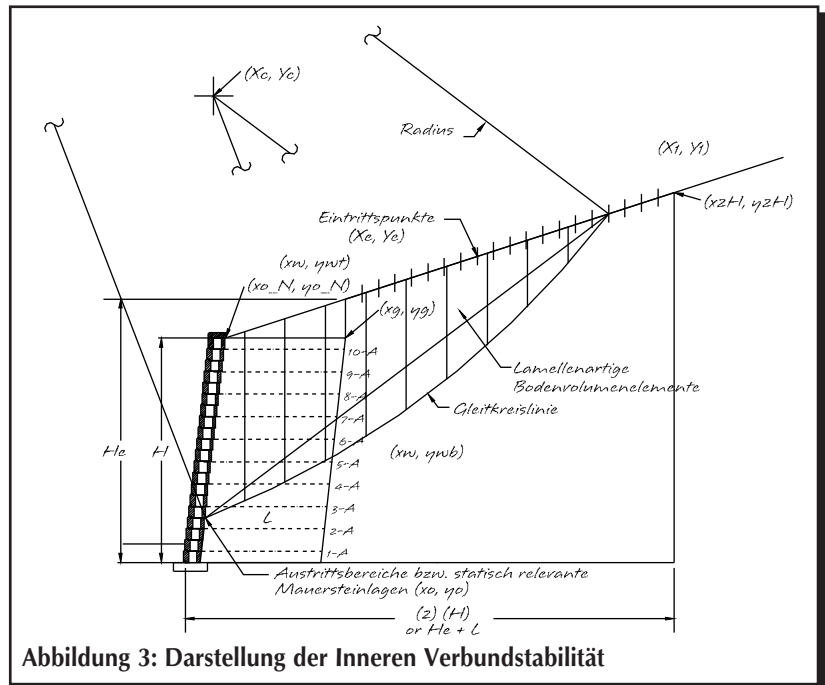


Abbildung 3: Darstellung der Inneren Verbundstabilität

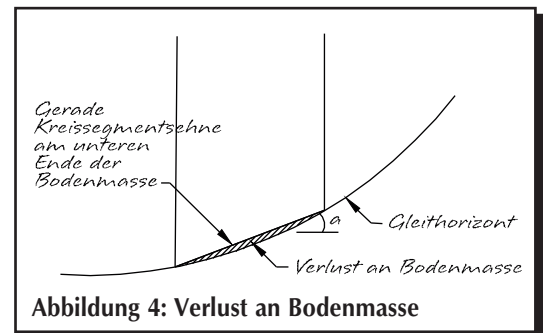


Abbildung 4: Verlust an Bodenmasse

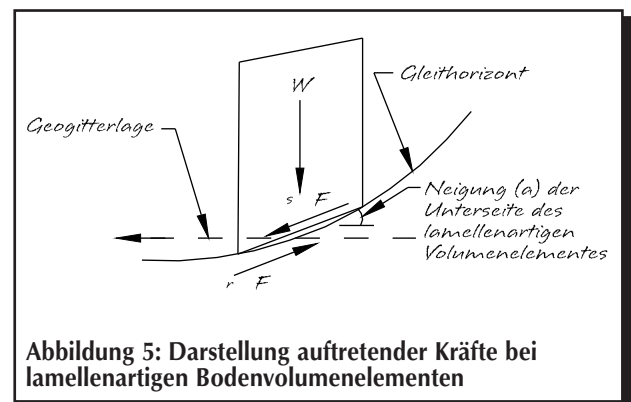


Abbildung 5: Darstellung auftretender Kräfte bei lamellenartigen Bodenvolumenelementen

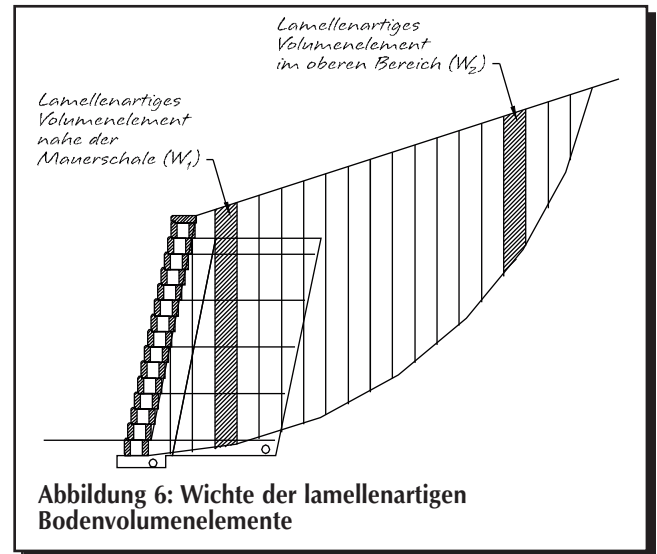
$$F_{s1} = (W_1) \sin (10 \text{ grad}) = 0,174$$

17.4% von (14,6 kNm) = 2,54 kN/m

$$F_{s2} = (W_2) \sin (60 \text{ grad}) = 0,866$$

86.6% of (1,46 kNm) = 1,26 kN/m

Die Widerstandskraft gegen Gleiten (F_r) wird mittels der Multiplikation der Masse der lamellenartigen Volumenelemente mit dem Tangens des Inneren Reibungswinkels des Bodens berechnet, der üblicherweise als beeinflussender Reibungskoeffizient des Bodens angenommen wird. Die Methode nach Bishop unterteilt diese rechnerische Grösse jedoch weiterführend nochmals mittels der geometrischen Gleichung m_α ; m_α stellt dabei das Verhältnis zwischen dem Widerstand des Bodens und dem relativen Gleitwinkelgrad (α) jedes einzelnen lamellenartigen Volumenelementes dar. Dieses Verhältnis wird nochmals wesentlich klarer in den beschreibenden Erläuterungen der Handbücher oder auch der Berechnungsprogramme zur Gesamtstabilität, wie z.B. ReSSa, einem interaktivem Programm zur Beurteilung der Stabilität von Böschungen, erläutert.



Widerstandskräfte gegen Gleiten (F_r):

$$F_r = (\text{Wichte des lamellenartigen Volumenelementes}) \tan (\phi) / m_\alpha$$

Wobei:

$$m_\alpha = \cos (\alpha) + [\sin (\alpha) \tan (\phi)] / FS_i$$

FS_i stellt dabei den ursprünglichen Sicherheitsfaktor dar, von dem zu Beginn der Wiederholungsvorgänge der Berechnung ausgegangen wird.

Im Allgemeinen kann das Vereinfachte Lamellenverfahren nach Bishop gegenüber dem Allgemeinen Lamellenverfahren als das weitaus präzisere Berechnungsverfahren angesprochen werden, erfordert jedoch, bezogen auf den Sicherheitsfaktor, eine schrittweise Annäherung nach der Versuchs- und Irrtumsmethode. Aus diesem Grunde hat die Planerin bzw. der Planer den wahrscheinlichen Sicherheitsfaktor für die letztendlich resultierenden Gleithorizont zunächst näherungsweise zu betrachten. Je näher die anfängliche Näherung an den tatsächlichen Sicherheitsfaktor heranreicht, desto geringer ist der Bedarf an Wiederholungen. Dieses Verfahren der Näherung, als eine der wesentlichen Grundlagen der Berechnungen nach Bishop, macht einmal mehr deutlich, daß von Hand durchgeführte Berechnungen grundsätzlich sehr aufwendig sind.

Auflasten und Seismische Kräfte

Auflasten und Seismische Kräfte werden im Auswertungsverfahren nach Bishop sehr ähnlich berechnet. Dauerhafte, wie auch nur vorübergehend wirksame Auflasten werden ganz einfach zur Masse der jeweiligen individuellen lamellenartigen Volumenelemente hinzuaddiert. Dazu sei angemerkt, daß es bei den Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität keine Unterscheidung zwischen dauerhaften und nur vorübergehend wirksamen Auflasten gibt. Wird dieser Grundsatz folglich umgesetzt, so erhöht sich die Masse der lamellenartigen Volumenelemente um die relative Masse der Auflast. Der so modifizierte Wert wird anschließend in den Berechnungen zu den Schub- und Gleitkräften (F_s) und zu den Widerstandskräften gegen Gleiten (F_r) berücksichtigt. Die Planerin bzw. der Planer sollten dabei sorgfältig analysieren, in welchen Bereichen die Auflasten tatsächlich anfallen, damit sie anschließend auch nur den tatsächlich betroffenen lamellenartigen Volumenelementen zugeschlagen werden.

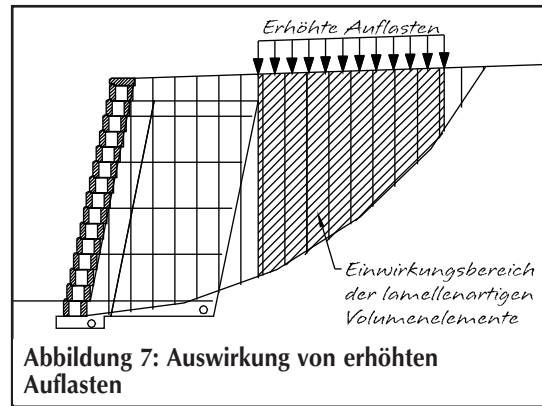


Abbildung 7: Auswirkung von erhöhten Auflasten

Aus diesem Grunde wurden die Gleichungen zu den Schub- oder Gleitkräften und den Widerstandskräften gegen Gleiten wie folgt modifiziert:

Schub- oder Gleitkraft:

$$F_s = (\text{Wichte des lamellenartigen Volumenelementes} + \text{Masse der Auflast}) \sin(\alpha)$$

Widerstandskraft gegen Gleiten:

$$F_r = (\text{Wichte des lamellenartigen Volumenelementes} + \text{Masse der Auflast}) \tan(\phi) / m_\alpha$$

Die Seismischen Kräfte (F_{dyn}) des jeweiligen Gleithorizontes werden den Schub- oder Gleitkräften (F_s) zugeschlagen und durch die Multiplikation von (F_s) mit dem horizontalen Beschleunigungskoeffizienten (k_h) berechnet; k_h wird im Kapitel 5 'Berechnungsverfahren zur Erdbebensicherheit' erläutert.

$$F_{dyn} = (F_s) (k_h) \quad \text{oder für alle lamellenartigen Volumenelemente:}$$

$$\Sigma F_{dyn} = \Sigma F_s (k_h)$$

Leistungsbeitrag des Geogitters

(F_{gr}):

Die Festigkeitseigenschaften des Geogitters erhöhen den Sicherheitsfaktor bzw. die Stabilität des Gleithorizontes, sobald die jeweilige Geogitterlage von einer Gleitkreislinie durchlaufen wird. Aus diesem Grund ist die statische Wirkungsweise des jeweiligen Geogitters (F_{gr}) den Widerstandskräften innerhalb der Gleichung zur Berechnung der statisch wirksamen Kräfte direkt zuzuschlagen. Die statische Wirkungsweise des Geogitters innerhalb dieser Berechnung wird dabei unmittelbar durch den horizontalen Abstand der Geogitterlagen zueinander bestimmt.

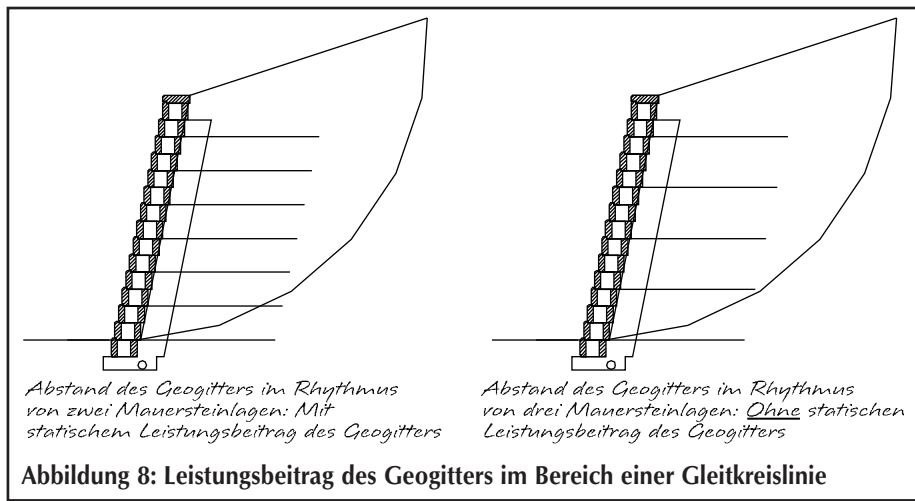


Abbildung 8: Leistungsbeitrag des Geogitters im Bereich einer Gleitkreislinie

Die statische Wirkungsweise des jeweiligen Geogitters (F_{gr}) den Widerstandskräften innerhalb der Gleichung zur Berechnung der statisch wirksamen Kräfte direkt zuzuschlagen. Die statische Wirkungsweise des Geogitters innerhalb dieser Berechnung wird dabei unmittelbar durch den horizontalen Abstand der Geogitterlagen zueinander bestimmt.

Werden die Geogitterlagen mit geringeren horizontalen Abständen zueinander eingebaut, so besteht die Wahrscheinlichkeit, daß eine erhöhte Anzahl von Geogitterlagen von Gleithorizonten durchlaufen werden. Dies steigert die statisch wirksame Wechselbeziehung

des Geogitters innerhalb des gesamten Bauwerkes. Werden jedoch die Abstände zwischen den horizontalen Geogitterlagen vergrößert, so steigt damit hingegen die Wahrscheinlichkeit, daß sich die Gleithorizonte zwischen zwei benachbarten Geogitterlagen befinden und aus diesem Grunde die Stabilität des Bereiches der betroffenen Gleithorizonte nicht wesentlich erhöhen.

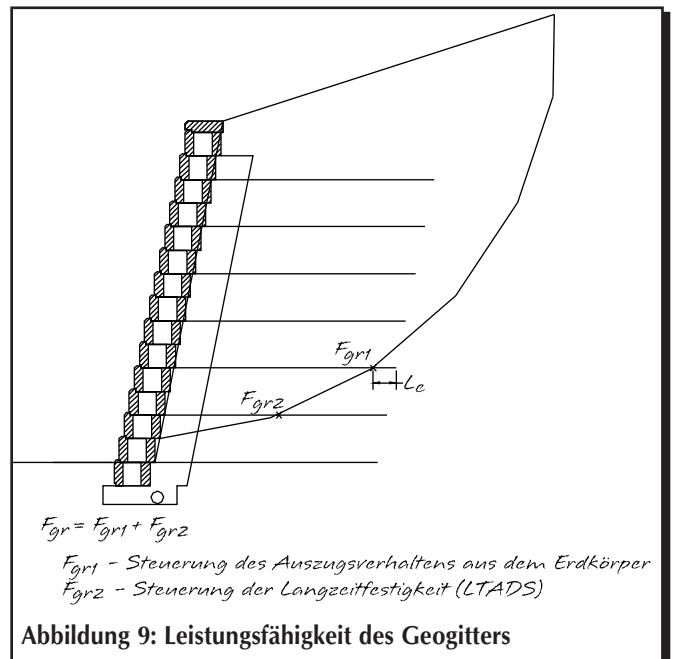
Die horizontal wirksamen Widerstandskräfte der Geogitterlagen, welche von Gleitkreislinien durchlaufen werden, werden entweder durch die wirksamen Widerstandskräfte des Geogitters gegen Auszug aus dem Boden oder der erforderlichen Langzeitfestigkeit (LTADS) des Geogitters bestimmt. Maßgebend für die Bemessung ist der jeweils geringere Leistungswert. Beide statischen Bemessungsgrundlagen werden im Kapitel 2 des Abschnittes über die Innere Standsicherheit näher erläutert. Die Eigenschaften des Geogitters gegen Auszug aus dem Boden werden berechnet, indem die Einbindetiefe (L_e) beiderseits des Gleithorizontes bestimmt und mit der anstehenden Druckspannung oder Normallast des darüber befindlichen Bodenkörpers kombiniert wird.

Bei der Berechnung des Leistungsbeitrages des Geogitters zur Stabilität des Bauwerkes sollte die Planerin bzw. der Planer grundsätzlich berücksichtigen, daß die Gleitkreislinie zwei unterschiedliche Seiten aufweist. Für den Fall, daß die Gleitkreislinie entlang des Gleithorizontes aufgrund des zu geringen Bodenwiderstandes überbeansprucht wird, werden die betroffenen Geogitterlagen statisch beansprucht. Die Geogitterlagen können nach drei unterschiedlichen Arten versagen. Die erste Möglichkeit ist der Auszug des Geogitters aus dem damit bewehrten Bodenkörper diesseits der Gleitkreislinie zwischen Mauerschale und Gleitkreislinie. Als Zweites besteht die Möglichkeit des Auszuges des Geogitters aus dem Bodenkörper jenseits der Gleitkreislinie im Bereich des daran anschließenden Bodenkörpers. In diesem Fall muss selbstverständlich berücksichtigt werden, daß die durchlaufende Geogitterlage mit der Mauerschale verbunden ist.

Somit ergibt sich der Gesamtwiderstand gegen Auszug aus dem Bodenkörper auf Seiten der potentiell gleitenden lamellenartigen Bodenvolumenelemente diesseits des Gleitkreises aus der Kombination der Leistungsfähigkeit der Verbindung der Baumaterialien untereinander, zusammen mit dem Widerstand gegen Auszug aus dem Bodenkörper. Diese Möglichkeit des Versagens des Geogitters ist sehr unwahrscheinlich, da die eben genannte Kombination meist viel leistungsfähiger ist als die Widerstandsfähigkeit des Geogitters gegen Reißen (begrenzt durch die erforderliche Langzeitfestigkeit (LTADS)). Als dritte Möglichkeit kann Geogitter durch Reißen versagen. Dies ist der Fall, wenn die auftretenden Kräfte bei Auszug des Geogitters aus dem Bodenkörper die erforderliche Langzeitfestigkeit (LTADS) des einzelnen betroffenen Geogitters überschreiten.

Im Falle einer Verformung des Bauwerkes durch Gleiten weisen die Berechnungen mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf hin, daß es beim Versagen des Geogitters durch Auszug aus dem Bodenkörper auch immer zum Reißen einiger Geogitterlagen kommt.

Die Planerin bzw. der Planer sollte jede Lage der betroffenen Geogitterbewehrung auf die genannten drei Möglichkeiten des Versagens hin untersuchen und abgrenzen. Für die jeweilig betroffene Geogitterlage ist dabei die geringste Leistungsfähigkeit gegenüber des Versagens zu ermitteln. Die Addierung dieser geringsten ermittelten Leistungswerte jeder Geogitterlage sind als $\sum F_{gr}$ -Wert für das Gesamtbauwerk zusammenzufassen.



Leistungsbeitrag der Mauerschale (Verblendung):

Ein Bestandteil der Berechnungen zur Inneren Verbundstabilität ist die Einbeziehung der Stabilität der Verblendung des Stützbauwerkes bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit des Widerstandes gegen Gleiten. Die Stabilität der Mauerschale als Verblendung wurde bislang für gewöhnlich bei der umfassenden Betrachtung des Bauwerkes ignoriert. Dies ist der Komplexität der Einpassungsoptionen und damit der statischen Berücksichtigung von modularen Stützwandsystemen in die Systematik eines Berechnungsprogrammes für Böschungs- und Geländebruchberechnungen geschuldet.

Die Stabilität der Mauerschale wird durch die Scherfestigkeit ineinandergreifender und damit verschubsicherer Blockelemente sowie der Leistungsfähigkeit der Verbindung zwischen den Mauersteinen und dem Geogitter gewährleistet. Beide Eigenschaften befinden sich in direkter Abhängigkeit zum vertikalen Abstand der Geogitterlagen und der Größe der Auflast oberhalb von infrage kommenden Bereichen.

Geringere Abstände der Bewehrungslagen zueinander erhöhen grundsätzlich die Scherfestigkeit der Mauerschale sowie auch die Leistungsfähigkeit der Verbindung zwischen Mauersteinen und Geogitter. Letztendlich erhöht sich damit die Stabilität der Verblendung des Bauwerkes. Der maximale vertikale Abstand zwischen den Geogitterlagen bei branchenüblichen Systemen beträgt um die 800 mm. Die baupraktischen Erfahrungen vergangener Jahre haben jedoch gezeigt, daß es bei Stützbauwerken mit zu grossen Abständen zwischen den eingebauten Geogitterlagen zu keinen besonders guten Ergebnissen bei der Konstruktion dieser Mauerbauwerke kommt.

In diesem Zusammenhang kann es sehr häufig zu Problemen wie dem Auftreten überdurchschnittlich starker Setzungen, Verlagerungen und Verformungen durch Ausbauchen kommen. ALLAN BLOCK hingegen empfiehlt einen vertikalen Abstand der Geogitterlagen von 400 mm oder weniger. Die Wahl engerer Abstände bei gleichzeitig geringerer Leistungsfähigkeit der Bewehrung ist eine weitaus effizientere Möglichkeit, auftretende Lasten in den bewehrten Erdkörper einzuleiten und darin zu verteilen. Diese Bauweise führt zu einer weitaus leistungsfähigeren und einheitlichen Struktur von bewehrten Bauwerken.

Zur Berechnung des Sicherheitsfaktors zur Inneren Verbundstabilität ist seitens der Planerinnen bzw. Planer sowohl die durch die Verbindung der Mauersteine und dem Geogitter hergestellte Stabilität als auch die Scherfestigkeit der Mauersteine zueinander zu beurteilen und bewerten. Der Wert mit der geringsten Leistungsfähigkeit bildet dabei die Grundlage zur Berechnung. Das technische Verständnis für das Zusammenwirken beider stabilisierender Kräfte erweist sich bei der gebrauchstauglichen Konstruktion von bewehrten modularen Stützwandsystemen als vorteilhaft.

Stabilität der Mauerschale durch die Verbindung mit Geogitter

Im Zusammenhang mit der Analyse zur Inneren Verbundstabilität können wir zuverlässig annehmen, daß die volle Leistungsfähigkeit der Verbindung des Geogitters mit der Mauerschale, und damit der Widerstand gegen Gleiten verfügbar ist und vorliegt, sobald eine Gleitkreislinie die Mauerschale im Bereich einer Geogitterlage durchläuft. Die Geogitterlagen jedoch, welche im Bereich

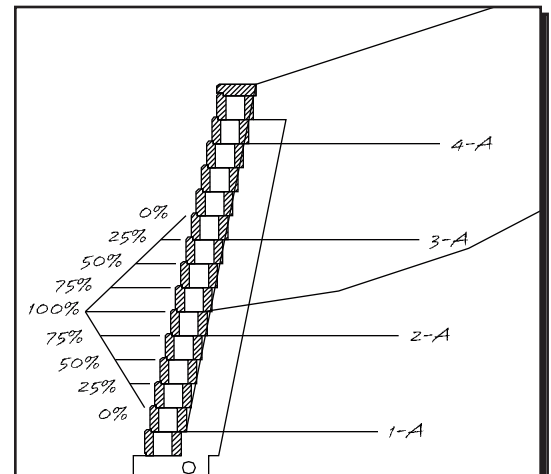


Abbildung 10: Leistungsbeitrag des Geogitters zur Mauerschale - Fall A

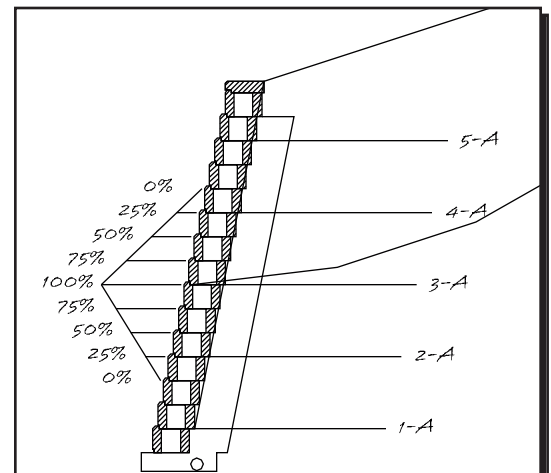


Abbildung 11: Leistungsbeitrag des Geogitters zur Mauerschale - Fall B

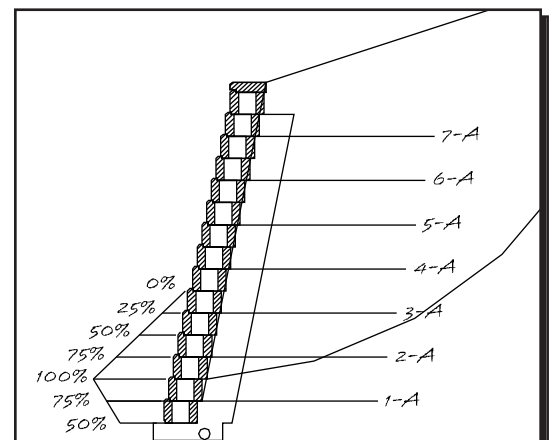


Abbildung 12: Leistungsbeitrag des Geogitters zur Mauerschale - Fall C

der Verblendung überhalb oder unterhalb der wirksamen Gleitkreislinien eingebaut sind, bieten einen geringeren statischen Widerstand gegenüber den verformenden Kräften, erhöhen aber dennoch die Stabilität. Wird die maximale Distanz des statischen Einflusses des Geogitters zur wirksamen Gleitkreislinie von 800 mm als Bewertungsgrundlage herangezogen, so zeigt sich, daß ein prozentualer Anteil der Leistungsfähigkeit der Verbindung mit dem Geogitter dazu verwendet werden kann, den Beitrag der Verbindung der Mauersteine mit dem Geogitter im Rahmen der Beurteilung der Stabilität der Mauerschale zu berechnen.

Nachfolgend einige wenige Fallbeispiele, die verschiedene vertikale Abstände zwischen den Geogitterlagen und dabei die Wirkungsweise einer exemplarischen Gleitkreislinie in verschiedenen Positionen aufzeigen.

Fall A zeigt die Gleitkreislinie direkt oberhalb einer Geogitterlage. Zwei Geogitterlagen liegen innerhalb der Einflusszone von 800 mm auf jeweils einer unterschiedlichen Seite der Gleitkreislinie. Die Verteilung der prozentualen Anteile zeigt deutlich, daß 75% der Leistungsfähigkeit der Verbundeigenschaften des Geogitters 2A und 25% der Leistungsfähigkeit der Verbundeigenschaften des Geogitters 3A im Berechnungsverfahren zur Mauerschale gewertet werden können. Dieser Berechnungsansatz basiert auf einer Bauteilhöhe der Mauersteine von 200 mm.

Fall B zeigt einen Abstand von drei Mauersteinlagen zwischen den Geogitterlagen und das Durchlaufen einer Gleitkreislinie durch die Mauerschale im unmittelbaren Bereich einer Geogitterlage. Die Leistungsfähigkeit der Verbundeigenschaften bei Geogitter 3A kann daher rechnerisch mit 100% und bei den Geogittern 2A und 4A rechnerisch mit jeweils 25% angesetzt werden.

Fall C veranschaulicht die Situation von Geogitterlagen im Grenzbereich. Die dargestellte Gleitkreislinie verdeutlicht, daß der gesamte untere Bereich der Mauerkonstruktion effektiv im unteren Bereich von deren statischer Einflusszone liegt. Die Leistungsfähigkeit der Verbundeigenschaften der Geogitter können daher rechnerisch mit 25% bei Geogitter 3A und mit 75% sowohl bei den Geogitter 1A als auch beim Geogitter 2A festgestellt werden. Ergänzend dazu können zur Bemessung weiterhin 50% des Reibungswiderstandes gegen Gleiten für den Bereich zwischen der ersten Lage der ALLAN BLOCK Mauersteine und der verdichteten Fundamentierung aus ungebundener Gesteinskörnung berücksichtigt und angesetzt werden.

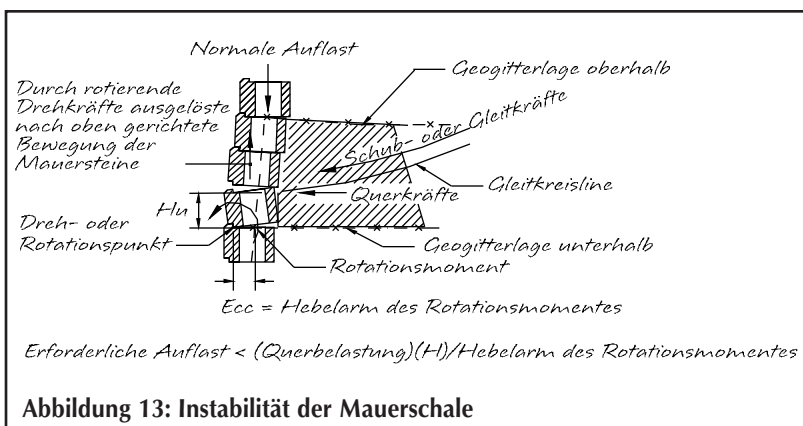
Stabilität der Mauerschale durch die Scherfestigkeit der Mauersteine

Die Wechselwirkung der Scherkräfte zwischen den einzelnen Mauersteinen kann auf einfache Weise berechnet werden. Aus technischer Sicht ist dabei zu berücksichtigen, daß die Zunahme der Auflast oberhalb einer betrachteten Lagerfuge automatisch auch eine Zunahme der Scherfestigkeit zwischen der darunter liegenden und der darauf folgenden Mauersteinlage zur Folge hat.

Jeder Hersteller modularer Stützmauersysteme stellt die berechneten und überprüften Leistungsdaten zur Scherfestigkeit seiner Bauprodukte in Form einer ASTM D6916 Prüfbescheinigung (ebenso auch bekannt unter der

Bezeichnung SRW-2) zur Verfügung. Diese testiert den Scherwiderstand der Verbindung zweier Mauersteine mit einem dazwischen horizontal angeordnetem Geogitter aber ebenso auch den Scherwiderstand zwischen zwei Mauersteinen ohne einem dazwischen horizontal angeordnetem Geogitter im Verhältnis zur Auflast oberhalb einer zu betrachtenden Lagerfuge.

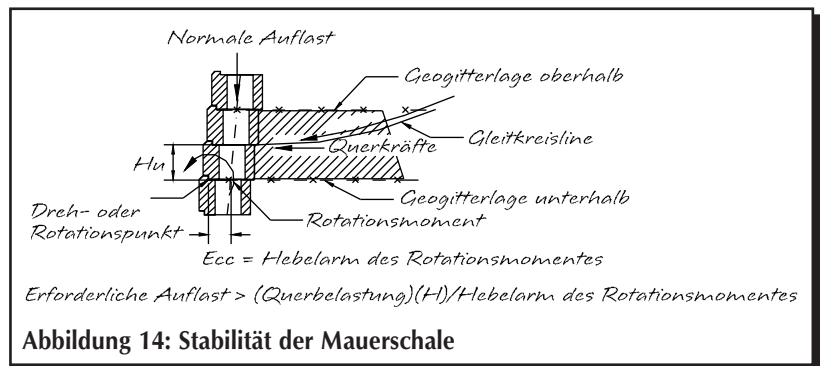
Vom Grundsatz her sollte die Planerin bzw. der Planer zunächst prüfen und feststellen, ob die vorliegende Gleitkreislinie die Mauerschale im direkten Bereich einer Geogitterlage durchläuft. Falls dies zutrifft, ist anzunehmen, daß die Leistungsfähigkeit der Verbindung der Mauerschale mit dem Geogitter mit 100% zu bewerten und anzusetzen ist. Der durch Prüfbescheinigung des Herstellers nachgewiesene Scherwiderstand der Verbindung zweier Mauersteine mit einem dazwischen horizontal angeordnetem Geogitter kann daher bei der Berechnung der Stabilität der Mauerschale für diese Lagerfuge uneingeschränkt und im vollem Umfang übernommen werden.



Falls die Gleitkreislinie die Mauerschale zwischen zwei Geogitterlagen innerhalb des bewehrten Erdkörpers durchläuft, ist festzustellen, daß sich in dieser Zwischenzone statisch wirksame Rotationskräfte einstellen. Im Bereich des unterhalb der Gleitkreislinie eingebauten Geogitters ist dazu ein Drehmoment auszumachen, der das Ausbauchen der Mauerschale potentiell begünstigt.

Durch die Zusammenfassung der statischen Kräfte dieses Drehmomentes kann die Planerin bzw. der Planer feststellen, ob die Auflast an der relevanten Lagerfuge ausreichend hoch genug ist, dem nach oben gerichteten Rotationseffekt, welcher durch die Schub- bzw. Gleitkräfte ausgelöst wird, entgegenzuwirken. Setzt die durch die Standardkonstruktion übliche Auflast dem Rotationseffekt ausreichenden Widerstand entgegen, so wird ein Ausbauchen der Mauersteine in diesem Bereich ausbleiben. Die Planerin bzw. der Planer kann daraus zielsicher ableiten, daß die volle Leistungsfähigkeit der Scherfestigkeit zwischen zwei Mauersteinlagen dem Widerstand gegen Gleiten zugeschlagen werden kann.

Für den Fall, daß die nach oben gerichteten, rotierenden Kraftmomente die übliche Auflast übersteigen, kommt es zu einer nach vorne gerichteten Drehbewegung und damit zu einem Ausbauchen der Mauerschale. Die normalerweise anzusetzende Scherfestigkeit zwischen den Mauersteinen kann den Widerstandskräften somit rechnerisch nicht mehr zugeschlagen werden. Die nach vorne gerichtete, durch Rotationskräfte ausgelöste Verformungstendenz beansprucht letztendlich auch die Leistungsfähigkeit der Verbindung des Geogitters der darüber liegenden Geogitterlage in statischer Hinsicht. Die Verformung der Mauerschale wird dadurch jedoch eingeschränkt. Können die nach oben gerichteten rotierenden Kräfte nicht ausreichend genug beschränkt werden, nehmen die Verformungstendenzen weiter zu. Es kommt, ausgehend von einer Lagerfuge, unweigerlich zu einem Ausbauchen der Mauerschale. Möglicherweise kann dies auch zu einem teilweisem Versagen der Stützwandkonstruktion führen.



Beitrag der Mauerschale

Wie eingehend bereits erwähnt, ist es bei der Zusammenfassung aller Widerstandskräfte zur Stabilität der Mauerschale nicht zulässig, die Leistungsfähigkeit der Verbindung mit dem Geogitter gleichzeitig zusammen mit der Scherfestigkeit der Mauersteine in die Bewertung einfließen lassen. Das Versagen nur einer der beiden statisch wirksamen Größen führt bereits zur Instabilität der Mauerschale. Aus diesem Grund stellt diejenige Größe mit den geringsten Widerstandskräften den maßgebenden Beitrag der Mauerschale zum Berechnungsverfahren. Nur dieser Wert wird folglich zur Berechnung des Sicherheitsfaktors zur Inneren Verbundstabilität herangezogen.

Diese Betrachtungsweise basiert auf der einfachen Theorie, daß die Verringerung der vertikalen Abstände der horizontal eingebauten Bewehrungslagen mit einer Zunahme der Stabilität der Mauerschale einhergeht. Je biegesteifer die Mauerschale mit Unterstützung des Beitrages der Leistungsfähigkeit der Verbundwirkung des Geogitters demnach hergestellt wird, desto wahrscheinlicher ist es, daß die Scherfestigkeit im Bereich der zu beurteilenden Mauersteinlage für eine Stabilität der Konstruktion ausreicht. Demzufolge wirkt sich die Vergrößerung der vertikalen Abstände der Geogitterlagen schwächend auf die Leistungsfähigkeit der Verbundwirkung des Geogitters aus. Wird derart gebaut, ist eine eingehendere Kontrolle der eigentlichen bzw. tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Verbundwirkung des Geogitters unbedingt erforderlich.

Das nachfolgende Beispiel erläutert die Auswertung zur Inneren Verbundstabilität nach vorgegebenen Bedingungen und Gegebenheiten zur Baustelle und den dabei relevanten Bodeneigenschaften.

Dazu ist anzumerken, daß die umfassende Überprüfung und Beurteilung der die gesamte Baustelle betreffenden Standfestigkeit durch den Bauherrn einzuholen ist. Die Berechnungsvorgänge hierzu erfordern bereits mehrere hunderttausend Wiederholungsschritte um allein mehrere zehntausende Gleitkreislinien auswerten zu können.

Beispiel 6-1:

Folgende Grundlagendaten wurden bei der Darstellung des Beispiels 6-1 berücksichtigt:

$$\beta = 78^\circ$$

$$\phi_i = 30^\circ$$

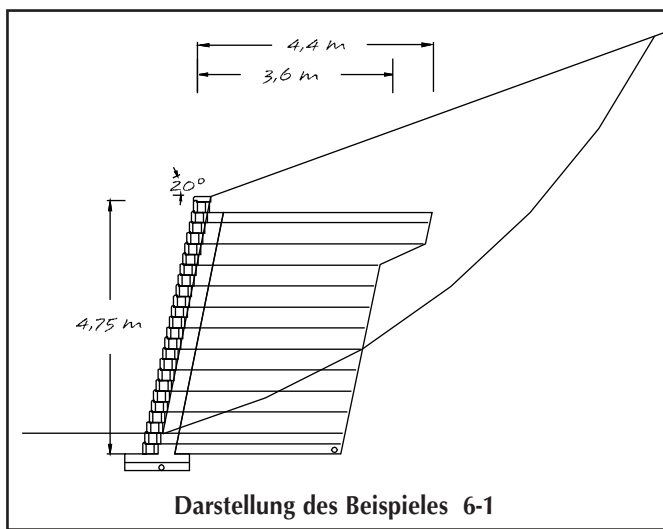
$$\phi_r = 28^\circ$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$A_0 = 0,25$$

Die Geogitterlagen sind in regelmäßigem Abstand von zwei Mauersteinlagen und einer Mindestlänge von 3,60 m eingebaut. Die erforderliche Langzeitfestigkeit für dieses Beispiel beträgt in etwa 14,7 kN/m.

Im Rahmen der Bewertung der umfassenden Analyse zur Inneren Verbundstabilität wurde ermittelt, daß der Mindestsicherheitsfaktor zur Inneren Verbundstabilität zwischen der zweiten und dritten Lage der Mauersteine zu lokalisieren ist.



Nachfolgend werden die Resultate zu der Gleitkreislinie zusammengefasst, welche die Mindestanforderungen an den Sicherheitsfaktor zur Inneren Verbundstabilität erfüllt:

$$\Sigma F_r = \text{Summe der Widerstandskräfte von Bodenmaterialien} = 265 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma \text{ Mauerschale} = \text{Summe des Beitrages der Mauerschale (entweder Verbundstabilität durch Geogitter oder Scherfestigkeit)}$$

$$\Sigma V_u = \text{Summe des Beitrages der Scherfestigkeit der Mauersteine im Verband} = 59,6 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma \text{ Conn} = \text{Summe des Beitrages zur Verbundstabilität} = 70,4 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma \text{ Mauerschale} = 59,6 \text{ kN/m (Minimum an Scherfestigkeit und Verbundstabilität)}$$

$$\Sigma F_{gr} = \text{Summe des Beitrages des Geogitters} = 40,7 \text{ kN/m}$$

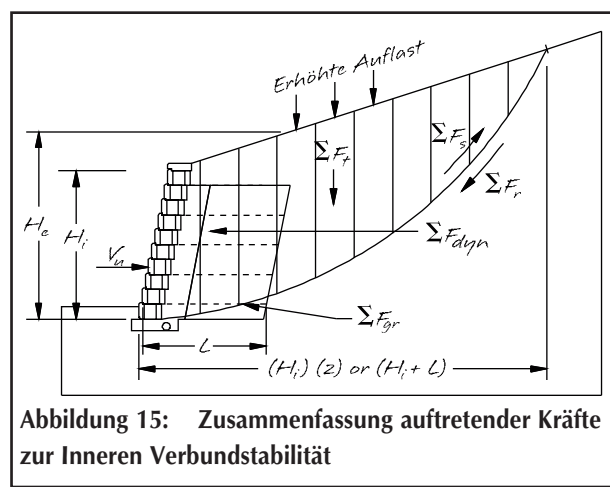
$$\Sigma F_s = \text{Summe der Schub- oder Gleitkräfte} = 257 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_{dyn} = \text{Summe der Schub- oder Gleitkräfte aufgrund seismischer Belastung} = 23,1 \text{ kN/m}$$

Sicherheitsfaktor der Inneren Verbundstabilität

$$= (\Sigma F_r + \Sigma \text{ Facing} + \Sigma F_{gr}) / (\Sigma F_s + \Sigma F_{dyn})$$

$$= \frac{(265 \text{ kN/m} + 59,6 \text{ kN/m} + 40,7 \text{ kN/m})}{(257 \text{ kN/m} + 23,1 \text{ kN/m})} = 1,304$$



Sicherheitsfaktoren und Konstruktionsansätze

Der Mindestsicherheitsfaktor für die Inneren Verbundstabilität beträgt nach statischen Bedingungen 1,3 und nach seismischen Bedingungen 1,1. Falls das Ergebnis der durchgeführten Analyse ergibt, daß diese festgelegten Standards zu den Sicherheitsfaktoren nicht erreicht werden, ist die Konstruktion der Stützmauer in jedem Falle zu überarbeiten und statisch zu verbessern. Bei der dann eher konservativ anzusetzenden Nachprüfung der mit Geogitter bewehrten Stützwandkonstruktion ist zu beachten, daß die Kohäsion von Böden in der Anwendung der aktuellen Berechnungsmethodik zur Analysierung der Inneren Verbundstabilität keine Berücksichtigung findet. Die meisten computergestützten Berechnungsprogramme zur Beurteilung der Stabilität des gesamten Baumgriffes erfordern jedoch die Eingabe eines Wertes für die Kohäsion durch den Anwender bzw. planenden Ingenieur. Dies führt jedoch zu einer erheblichen Abweichung der letztendlichen Bewertungsergebnisse.

Darüber hinaus bieten die meisten Berechnungsprogramme zur Beurteilung der Stabilität des gesamten Baumgriffes keine Möglichkeit zu detaillierten Betrachtungsweise der zur Stabilität beitragenden Faktoren der Mauerchale. Die exakten Ergebnisse der Berechnungsvorgänge sind daher nur unzureichend übertragbar, möchte man eine vergleichende Betrachtung mittels eines dafür verwendbaren handelsüblichen Berechnungsprogrammes durchführen.

Nachfolgend werden einige Optionen zur Konstruktion von Stützmauern erläutert, die zur Erhöhung der Sicherheitsfaktoren zur Inneren Verbundstabilität beitragen:

1. Nutzung ausgewählter Hinterfüllmaterialien: Bestens dokumentierte Erfahrungen aus der Baupraxis haben gezeigt, daß die Nutzung gebrauchstauglicher kornabgestufter Böden mit höheren Standfestigkeitseigenschaften im Verfüllbereich zu einer statisch günstigeren Stützmauerkonstruktion mit erhöhter Stabilität und Leistungsfähigkeit führen. Die erhöhten Anforderungen an Böden in diesem Bereich unterscheiden sich daher von denen des daran rückwärtig anschließenden Hinterfüllbereiches unter Umständen erheblich. Diese grundsätzlich als erstes auszusprechende Empfehlung zur statischen Aufwertung von Stützwandkonstruktionen führt darüber hinaus zu einer Verbesserung der Inneren Verbundstabilität.
2. Zusätzliche Bewehrungslagen mit Geogitter: Die Verringerung der vertikalen Abstände zwischen den Bewehrungslagen steigert die Anzahl der Durchkreuzungspunkte der Gleitkreislinien durch die horizontal eingebauten Geogitterlagen. Dadurch erhöht sich der Wert des Sicherheitsfaktors. Die Stabilität der Mauerchale wird dadurch ebenso verbessert. Weiterhin ergibt sich dadurch auch ein direkter positiver Effekt hinsichtlich des Ergebnisses der Analyse zur Inneren Verbundstabilität.
3. Verlängerung der Bewehrungslagen mit Geogitter: Die Verlängerung des Geogitters erhöht nicht nur die Anzahl der Durchkreuzungspunkte der Gleitkreislinien durch die die horizontal eingebauten Geogitterlagen, sondern rückt die Gleitkreislinien räumlich auch zentraler in den im Berechnungsverfahren zu betrachtenden Bereich. Die Verlängerung der Bewehrungslagen erfordert jedoch zusätzliche Bauleistungen zu Erdarbeiten. Von den drei bisher hier genannten Möglichkeiten zur Optimierung der Baukonstruktion ist diese damit erwartungsgemäß die teuerste Option.
4. Zusätzliche Bewehrungslagen mit Geogitter im Bereich der Böschung oberhalb der Mauerkonstruktion: Die Ergänzung zusätzlicher Bewehrungslagen mit Geogitter im Bereich der Böschung oberhalb der Mauerkonstruktion kann die Innere Verbundstabilität des Bauwerkes verbessern. Die Dimensionierung der Länge und der vertikalen Abstände zusätzlicher horizontal eingebauten Geogitter zueinander ist abhängig von den örtlichen Bedingungen der Baumaßnahme und sollte vorab unbedingt mit dem verantwortlichen geotechnischen Ingenieur abgestimmt werden.

allanblock.com

Die hier gezeigten Informationen sind nur für die Verwendung mit Allan Block Produkten bestimmt.



ALLAN
BLOCK
allanblock.com

© 2018 Allan Block Corporation, Bloomington, MN Phone 952-835-5309 Fax 952-835-0013, DOC. #R054-G