

1 Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen

Anmerkung: Nachfolgende Absätze sind teilweise aus EAB (2006) bzw. EA-Pfähle (2007) entnommen bzw. in Anlehnung daran formuliert.

1.1 Nationale und internationale Vorschriften

In Deutschland werden Berechnung und Bemessung sowie die Festlegung des Sicherheitsniveaus von bewehrten Schüttkörpern in DIN 1054 und den mitgelieferten Normen geregelt. Die vorliegenden Empfehlungen beruhen auf der Fassung von DIN 1054:2005-01 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ mit den Nachweisen nach dem Teilsicherheitskonzept. Zusätzlich liegt die Europäische Bemessungsnorm DIN EN 1997-1 (EC 7-1) „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ vor, die ebenfalls bewehrte Konstruktionen behandelt. Zur formalen und bauaufsichtlichen Anwendung dieser beiden Normen gibt Kapitel 1.2 Auskunft.

Für die einzelnen Bewehrungssysteme existiert folgende Herstellungsnorm:

- DIN EN 14475: „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bewehrte Schüttkörper“.

Für die Qualitätssicherung existieren folgende Normen und Regelwerke:

- DIN EN 13251: „Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erd und Grundbau sowie in Stützbauwerken“,
- DIN EN 13249: „Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Bau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen“,
- Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus, M-Geok E 05, FGSV 535, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
- Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus, TL Geok E-StB 05, FGSV 549, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
- Leitfaden für die Bestimmung der Langzeit-Festigkeit von Geokunststoffen zur Bodenbewehrung, Englische Fassung ISO/TR 20432.

Soweit in diesen Empfehlungen nichts anderes angegeben wird, sind die einschlägigen technischen Regelwerke (z. B. Normen, Richtlinien, Merkblätter und Empfehlungen) in ihrer jeweils letzten gültigen Fassung zu berücksichtigen. Sie werden in den entsprechenden Kapiteln genannt.

Eine Zusammenstellung findet sich in: <http://www.gb.bv.tum.de/fachsektion/index.htm>.

Normenbezüge erfolgen im Weiteren ohne Angabe des Ausgabedatums. Wird unmittelbar auf einen bestimmten Absatz Bezug genommen, wird die zugehörige Ausgabe angegeben.

Weiterführende Literaturangaben sind jeweils den entsprechenden Kapiteln zugeordnet.

1.2 Nachweisformen und Grenzzustände nach dem Teilsicherheitskonzept

1.2.1 Neue Normengeneration und Übergangsregelungen

Laut Beschluss der Europäischen Kommission ist vorgesehen, die maßgeblichen nationalen Bemessungs- und Ausführungsnormen im Bauwesen durch Europäische Normen zu ersetzen. Dazu liegen zwischenzeitlich zahlreiche Europäische Bemessungs- und Ausführungsnormen für den Spezialtiefbau vor.

Die für die Herstellung von bewehrten Schüttkörpern maßgebliche Europäische Ausführungs norm ist in Kapitel 1.1 aufgeführt.

Die Berechnung und Bemessung von bewehrten Schüttkörpern wird für Europa in EN 1997-1: „Entwurf, Bemessung und Berechnung in der Geotechnik“ (Eurocode EC 7-1) behandelt. Die deutsche Fassung ist als DIN EN 1997-1:2005-10 veröffentlicht, womit eine Frist begann, innerhalb der aufgrund europäischer Vereinbarungen ein Nationaler Anhang zum Eurocode EC 7-1 zu erstellen ist. Der Nationale Anhang (NA DIN EN 1997-1) wird nationale Festlegungen zu den im Eurocode EC 7-1 dafür vorgesehenen Abschnitten enthalten. Gleichzeitig begann eine Frist, bis zu deren Ablauf der Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang bauaufsichtlich eingeführt werden soll und alle widersprechenden nationalen Regelungen außer Kraft gesetzt werden sollen. Eine bis 2010 zu erarbeitende Ergänzungsnorm DIN 1054:neu darf dann nur noch widerspruchsfreie Ergänzungen zum Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang enthalten. Der Nationale Anhang und die Ergänzungsnorm DIN 1054:neu wurden inzwischen im NA 005-05-01-01 erarbeitet und sollen 2010 als Gelbdruck erscheinen. Um die drei parallel geltenden Normen handhabbar zu machen, werden sie in einem Normenhandbuch zu DIN EN 1997-1:2005 und DIN 1054:2009 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ gemeinsam veröffentlicht. Dabei sind die Regelungen des Nationalen Anhangs und der Ergänzungsnorm bei besonderer Kennzeichnung in den Text des EC 7-1 eingefügt.

Als Übergangslösung bis zur Einführung der Eurocodes dient eine nationale Normengeneration nach dem Teilsicherheitskonzept für alle Gebiete des konstruktiven Ingenieurbaus.

Für mit Geokunststoffen bewehrte Konstruktionen sind insbesondere folgende Regelwerke maßgebend:

- DIN 1055: „Einwirkungen auf Tragwerke“, in Verbindung mit DIN Fachbericht 101,
- DIN 1054:2005-01: „Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“.

1.2.2 Beanspruchungen und Widerstände

Grundlage für Standsicherheitsberechnungen sind die charakteristischen Werte für Einwirkungen und Widerstände. Der charakteristische Wert, gekennzeichnet durch den Index „k“, ist ein Wert, von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum, unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerkes oder der entsprechenden Bemessungssituation, nicht über- oder unterschritten wird. In der Regel werden charakteristische Werte aufgrund von Versuchen, Messungen, Rechnungen und/oder Erfahrungen festgelegt.

Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert, die charakteristischen Werte der Widerstände durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert. Die so erhaltenen Größen werden als Bemessungswerte der Beanspruchungen bzw. der Widerstände bezeichnet und durch den Index „d“ gekennzeichnet. Beim Nachweis der Standsicherheit werden unterschiedliche Grenzzustände unterschieden.

1.2.3 Grenzzustände

Im Sinne des Teilsicherheitskonzeptes werden folgende Grenzzustände unterschieden:

- Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Zustand des Tragwerkes, dessen Überschreitung unmittelbar zu einem rechnerischen Einsturz oder einer anderen Form des Versagens führt. Er wird in DIN 1054 als Grenzzustand GZ 1 bezeichnet. Dabei werden beim Grenzzustand GZ 1 drei Fälle unterschieden.
- Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist ein Zustand des Tragwerkes, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Er wird in DIN 1054 als Grenzzustand GZ 2 bezeichnet.

Der Grenzzustand GZ 1A beschreibt den Verlust der Lagesicherheit. Dazu gehören:

- der Nachweis der Sicherheit gegen Kippen,
- der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen oder Abheben,
- der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.

Beim Grenzzustand GZ 1A gibt es nur günstige und ungünstige Einwirkungen, aber keine Widerstände.

Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$F_d = F_k \cdot \gamma_{dst} \leq G_k \cdot \gamma_{stb} = G_d, \quad \text{Gl. (1.1)}$$

d. h., die destabilisierenden Einwirkungen F_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{dst} > 1,0$, dürfen höchstens so groß werden wie die stabilisierende Einwirkung G_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{stb} < 1,0$.

Der Grenzzustand GZ 1B beschreibt das Versagen von Bauwerken und Bauteilen bzw. das Versagen des Baugrundes. Dazu gehören:

- der Nachweis der Tragfähigkeit von Bauwerken und von Bauteilen, die durch den Baugrund belastet bzw. durch den Baugrund gestützt werden,
- der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes, z. B. in Form von Erdwiderstand oder Grundbruchwiderstand, nicht überschritten wird.

Dabei wird der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes nicht überschritten wird, genauso geführt wie bei jedem anderen Baumaterial. Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung:

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq R_d, \quad \text{Gl. (1.2)}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}, \quad \text{Gl. (1.3)}$$

d. h., die charakteristische Einwirkung bzw. Beanspruchung E_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F , darf höchstens so groß werden wie der charakteristische Widerstand R_k , dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_R . Kennzeichnend für den Grenzzustand GZ 1B ist, dass die Beanspruchungen und Widerstände zunächst mit charakteristischen Größen ermittelt werden. Die Teilsicherheitsbeiwerte kommen erst bei Anwendung der Grenzzustandsgleichung ins Spiel.

Der Grenzzustand GZ 1C ist eine Besonderheit des Erd- und Grundbaus. Er beschreibt den Verlust der Gesamtstandsicherheit. Dazu gehören:

- der Nachweis der Standsicherheit gegen Böschungsbruch,
- der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch.

Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$E_d \leq R_d, \quad \text{Gl. (1.4)}$$

d. h., der Bemessungswert E_d der Beanspruchungen darf höchstens so groß werden wie der Bemessungswert R_d des Widerandes. Hierbei werden die geotechnischen Einwirkungen und Widerstände mit den Bemessungswerten

$$\tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'_k}{\gamma_\varphi} \quad \text{und} \quad c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_c} \quad \text{Gl. (1.5)}$$

bzw.

$$\tan \varphi_{u,d} = \frac{\tan \varphi_{u,k}}{\gamma_{\varphi u}} \quad \text{und} \quad c_{u,d} = \frac{c_{u,k}}{\gamma_{cu}} \quad \text{Gl. (1.6)}$$

der Scherfestigkeiten ermittelt, d. h., die in die Berechnung einzusetzenden Werte für die Reibung $\tan \varphi$ und die Kohäsion c werden von vornherein mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_φ , $\gamma_{\varphi u}$, γ_c und γ_{cu} abgemindert. Eine analoge Vorgehensweise gilt für den Kontaktreibungswinkel und die Adhäsion.

Der Grenzzustand GZ 2 beschreibt den Zustand des Bauwerkes oder Bauteiles, bei dem die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, ohne dass seine Tragfähigkeit verloren geht. Er liegt dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zugrunde, d. h., dass die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen mit dem Zweck des Bauwerkes vereinbar sind. Die Berechnung erfolgt mit charakteristischen Werten, wobei alle Teilsicherheitsbeiwerte in der Regel 1,0 sind.

1.2.4 Anwendung der EBGEO im Zusammenhang mit DIN EN 1997-1

Die vorliegende Fassung der EBGEO beruht auf den Festlegungen von DIN 1054. Diese wiederum entstand in enger Abstimmung mit DIN EN 1997-1, Eurocode EC 7-1. DIN 1054 ist nicht in allen Einzelheiten identisch mit Eurocode EC 7-1. Beim Übergang auf den Eurocode EC 7-1/NA EC 7-1 (siehe 1.2.1) wird DIN 1054:2005-01 durch die Ergänzungsnorm DIN 1054:neu ersetzt. Die damit verbundenen Folgen für die Anwendung der vorliegenden Fassung der Empfehlung werden nachfolgend, soweit in der Vorschau möglich, dargestellt.

Rechtsverbindliche Regelungen im Hinblick auf die Gültigkeit der einzelnen Regelwerke werden von den jeweils zuständigen Aufsichtsbehörden festgelegt. Als Aufsichtsbehörden zuständig sind:

- die Bauaufsichtsbehörden der Bundesländer für Baumaßnahmen, die der jeweiligen Landesbauordnung unterliegen. Die obersten Bauaufsichtsbehörden der Bundesländer veröffentlichen in regelmäßigen Abständen die für das jeweilige Bundesland gültige Liste der Technischen Baubestimmungen.
- die für Wasserstraßen, Bundesstraßen und Straßenbrücken zuständigen Referate des Bundesverkehrministeriums sowie das für den Schienenverkehr zuständige Eisenbahn-Bundesamt.

Im Hinblick auf die Nachweise der Sicherheit im Grenzzustand GZ 1B nach Kapitel 1.2.3 bietet der Eurocode EC 7-1 drei Möglichkeiten an. DIN 1054 stützt sich dabei auf das Nachweisverfahren 2 nach Eurocode EC 7-1 in der Form, dass die Teilsicherheitsbeiwerte sowohl auf die Beanspruchungen als auch auf die Widerstände angewendet werden. Zur Unterscheidung zu der ebenfalls zugelassenen Variante, bei der die Teilsicherheitsbeiwerte nicht auf die Beanspruchungen, sondern auf die Einwirkungen angewendet werden, wird dieses Verfahren im Kommentar zu Eurocode EC 7-1 als Nachweisverfahren 2* bezeichnet.

Der Nationale Anhang ist das Bindeglied zwischen dem Eurocode EC 7-1 und dem nationalen Normenwerk. In diesem Nationalen Anhang wird angegeben, welches der zur Auswahl gestellten Nachweisverfahren und welche Teilsicherheitsbeiwerte im nationalen Bereich maßgebend sind. Nicht zulässig sind Anmerkungen, Erklärungen oder Ergänzungen zum Eurocode EC 7-1. Es darf aber angegeben werden, welche nationalen Regelwerke ergänzend anzuwenden sind. Die ergänzenden nationalen Regelungen dürfen dem Eurocode EC 7-1 allerdings nicht widersprechen. Darüber hinaus darf der Nationale Anhang keine Angaben wiederholen, die bereits in Eurocode EC 7-1 enthalten sind.

An erster Stelle der ergänzenden nationalen Regelungen wird eine überarbeitete DIN 1054 stehen, die unter der Arbeitsbezeichnung „DIN 1054:neu“ als Anwendungsregel zum Eurocode EC 7-1 erarbeitet wird.

Soweit sich darin enthaltene Ergänzungen, Verbesserungen und Änderungen auf die Regelungen der EBGEO auswirken, sind sie zu beachten, sofern die jeweilige geokunststoffbewehrte Konstruktion auf der Grundlage des Eurocode EC 7-1 erarbeitet wird. Sie dürfen aber sinngemäß auch übernommen werden, wenn der Entwurf DIN 1054 zur Grundlage hat.

Eurocode EC 7-1 definiert in der maßgebenden Fassung anstelle der Grenzzustände GZ 1A, GZ 1B und GZ 1C nach DIN 1054 folgende Grenzzustände:

- EQU: Gleichgewichtsverlust des als starren Körpers angesehenen Tragwerkes oder des Baugrundes. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „equilibrium“ (Gleichgewicht).
- STR: inneres Versagen oder sehr große Verformungen des Tragwerkes oder seiner Bauteile, wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „structure failure“.
- GEO: Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerkes oder des Baugrundes, wobei die Festigkeit des Bodens oder des Gesteins für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „geotechnic failure“.
- UPL: Gleichgewichtsverlust des Bauwerkes oder Baugrundes infolge von Auftrieb oder Wasserdruk. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „uplift“.
- HYD: Hydraulischer Grundbruch, innere Erosion oder „Piping“ im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „hydraulic failure“.

Für die Übertragung der Grenzzustände GZ 1B und GZ 1C aus DIN 1054 in die Terminologie des Eurocodes EC 7-1 muss der Grenzzustand GEO aufgeteilt werden in GEO-2 und GEO-3:

- GEO-2: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit der Ermittlung der Schnittgrößen und der Abmessungen, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Erdwiderstand oder beim Grundbruchwiderstand. Der Grenzzustand GEO-2 beinhaltet das Nachweisverfahren 2* nach Eurocode EC 7-1.

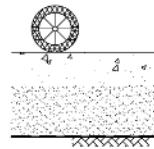
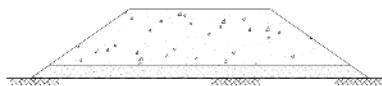
- GEO-3: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch sowie in der Regel beim Nachweis der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen, auch unter Berücksichtigung konstruktiver Elemente. Der Grenzzustand GEO-3 beinhaltet das Nachweisverfahren 3 nach Eurocode EC 7-1.

Die bisherigen Grenzzustände werden wie folgt ersetzt:

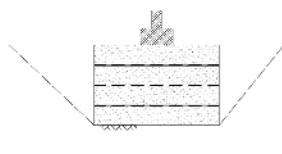
- Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1A nach DIN 1054 entsprechen ohne Einschränkung die Grenzzustände EQU, UPL und HYD nach Eurocode EC 7-1.
- Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1B nach DIN 1054 entspricht ohne Einschränkung der Grenzzustand STR nach Eurocode EC 7-1. Hinzu kommt der Grenzzustand GEO-2 nach Eurocode EC 7-1 im Zusammenhang mit der Bemessung der Abmessungen der Gründungselemente.
- Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1C nach DIN 1054 entspricht der Grenzzustand GEO-3 nach Eurocode EC 7-1 im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit.

Die Nachweise der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen sind in jedem Fall dem Grenzzustand GEO zuzuordnen. Dabei können sie, je nach konstruktiver Ausbildung und Funktion (siehe DIN 1054), nach den Angaben des bisherigen Grenzzustandes GZ 1B bzw. des Grenzzustandes GEO-2 oder nach den Angaben des bisherigen Grenzzustandes GZ 1C bzw. des Grenzzustandes GEO-3 behandelt werden. Die Materialbemessung der Geokunststoffe ist nach STR durchzuführen.

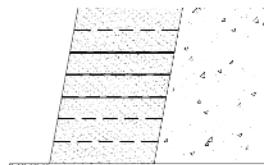
1.3 Beispiele für bewehrte Erdkörper



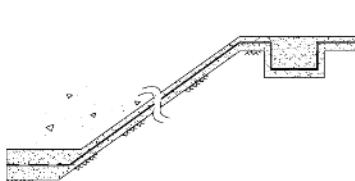
Dämme auf wenig tragfähigem Untergrund Verkehrswege



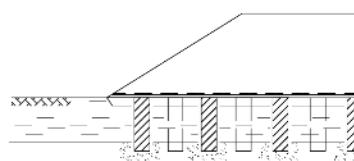
Bewehrte Gründungspolster



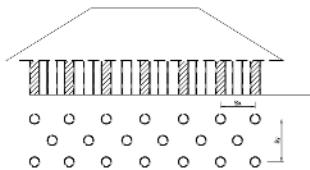
Stützkonstruktionen



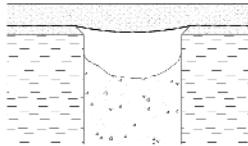
Deponiebau



Bewehrte Erdkörper auf
punkt- oder linienförmigen Traggliedern



Geokunststoffummantelte Säulen



Überbrückung von Erdeinbrüchen

Bild 1.1 Beispiele für bewehrte Erdkörper

1.4 Allgemeine Begriffe

Bewehrte Schüttkörper bzw. bewehrte Erdkörper sind ingenieurmäßig hergestellte Erdbauwerke, deren Tragfähigkeit durch die Einlage von Geokunststoffen erhöht wird.

Bewehrungen in Erdkörpern im Sinne dieser Empfehlung sind gerichtete, lagenweise eingebaute Geokunststoffe, die vollflächig oder gitterförmig sein können. Bei isotropen Geokunststoffen sind Dehnsteifigkeit, Grenzdehnung und Zugfestigkeit in beiden Richtungen (Produktions- und Querrichtung) gleich, bei anisotropen Geokunststoffen unterschiedlich.

Füllboden ist der Boden innerhalb des bewehrten Erdkörpers.

Frontausbildung ist die Verblendung der Ansichtsfläche eines bewehrten Erdkörpers, die das Schüttmaterial zwischen den Bewehrungslagen zurückhält und gegen Erosion schützt.

Hinterfüllbereich ist der außerhalb des bewehrten Erdkörpers liegende Teil des Bodens bis zur Oberkante dieses Körpers.

Überschüttbereich ist der oberhalb des bewehrten Erdkörpers liegende Teil eines Bodens.

