

1

Sicherheits- und Nachweiskonzept

1.1 Grundlagen des Sicherheits- und Nachweiskonzepts für Ufereinfassungen

1.1.1 Allgemeines

Das Versagen eines Bauwerks kann sowohl durch Überschreiten des Grenzzustandes der Tragfähigkeit („ultimate limit state – ULS“, Bruch im Boden oder in der Konstruktion, Verlust der Lagesicherheit) als auch des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit („serviceability limit state – SLS“, zu große Verformungen) eintreten.

1.1.2 Normative Regelungen für Ufereinfassungen

Die grundsätzlichen Sicherheitsanforderungen für Bauwerke sind in den harmonisierten europäischen Normen festgelegt. Im Einzelnen sind dies für die verschiedenen Fachbereiche die folgenden Normen:

DIN EN 1990:	Grundlagen der Tragwerksplanung („EC 0“)
DIN EN 1991, EC 1:	Einwirkungen auf Tragwerke
DIN EN 1992, EC 2:	Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken
DIN EN 1993, EC 3:	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
DIN EN 1994, EC 4:	Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton
DIN EN 1995, EC 5:	Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
DIN EN 1996, EC 6:	Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
DIN EN 1997, EC 7:	Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
DIN EN 1998, EC 8:	Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
DIN EN 1999, EC 9:	Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken

Die Basis der europäischen Baunormen bilden die Eurocodes „Grundlagen der Tragwerksplanung“ (DIN EN 1990) und „Einwirkungen auf Bauwerke“ (DIN EN 1991) mit mehreren Teilen und Anhängen. Sie sind Grundlage für die Bemessung im gesamten Bauwesen Europas. Auf diese beiden Grundnormen beziehen sich alle anderen acht Eurocodes mit ihren jeweiligen Teilen.

Sicherheitsnachweise sind grundsätzlich nach den europäischen Normen zu führen. Diese werden um nationale Regelungen und Normen, wie z. B. die Zahlenwerte der Teil-

2 | 1 Sicherheits- und Nachweiskonzept

sicherheitsbeiwerte, ergänzt. Die nationalen Regelungen und Normen dürfen den Regelungen in den europäischen Normen nicht widersprechen.

Für Standsicherheitsnachweise nach EAU sind DIN EN 1990; DIN EN 1991; DIN EN 1992; DIN EN 1993; DIN EN 1994; DIN EN 1995; DIN EN 1996; DIN EN 1997; DIN EN 1998; DIN EN 1999, insbesondere aber DIN EN 1997 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –, von Bedeutung. Im ersten Teil (DIN EN 1997-1) werden Begriffe definiert und die zu führenden Grenzzustandsnachweise beschrieben und festgelegt. Ferner sind in informativen Anhängen erdstatische Berechnungsmodelle für Standsicherheitsberechnungen angegeben. Als Besonderheit werden europaweit drei Nachsverfahren mit dem Teilsicherheitskonzept zur Wahl gestellt.

Mit der DIN 1054:2010-12 werden die besonderen deutschen Erfahrungen dazu ergänzt und Sicherheitsbeiwerte für die Anwendung der DIN EN 1997-1 in Deutschland festgelegt. DIN 1054:2010-12, DIN EN 1997-1:2010-12 und der nationale Anhang (DIN EN 1997-1/NA:2010-12) sind zum Handbuch EC7-1 (2015) zusammengefasst worden.

Aufgrund der langjährigen Erfahrungen mit den spezifischen Randbedingungen von Ufereinfassungen (z. B. größere Verformungstoleranz gegenüber anderen Ingenieurbauwerken) werden in den EAU einige besondere Festlegungen für die Bemessung von Ufereinfassungen getroffen, die auch von DIN EN 1997-1 und DIN 1054 abweichen können.

Besondere Festlegungen sind z. B.:

- fallweise niedrigere Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen sowie Widerstände im Grenzzustand des Versagens (Abschn. 1.2.4, Tab. 1.1 und 1.3),
- Ermittlung eines charakteristischen resultierenden Wasserdrucks durch Verrechnung günstig und ungünstig wirkender Wasserdrücke, sofern physikalisch sinnvoll (siehe Abschn. 3.3.1),
- vereinfachte Ansätze des Wasserdrucks (siehe Abschn. 3.3.2) und
- Erddruckumlagerungen abhängig vom Herstellverfahren für Spundwände (siehe Abschn. 8.2.3.2).
- Erhöhung der rechnerischen Ankerkraft um 15 % zur robusten Ausführung von Spundwand-Bauteilen (s. Abschn. 9.2).

Im zweiten Teil der DIN EN 1997-2 werden Planung, Durchführung und Auswertung von Baugrunderkundungen geregelt. Wie für Teil 1 wurde diese Norm zusammen mit DIN 4020:2010-12 und dem nationalen Anwendungsdokument im Handbuch EC7-2 veröffentlicht.

Die Ausführung von Arbeiten des Spezialtiefbaus ist in europäischen Ausführungsnormen geregelt. Diese werden auf nationaler Ebene durch DIN SPEC konkretisiert.

Die Bemessungen für tiefreichende Bodenstabilisierungen (z. B. Düsenstrahlverfahren, Injektionen) sind auf deutscher Ebene in der DIN 4093 festgelegt.

Soweit in den Empfehlungen Normen zitiert sind, gilt deren aktuelle Fassung. Bei Abweichungen wird das Ausgabejahr angegeben. Die zitierten Normen sind am Ende des Kapitels angegeben.

1.1.3 Geotechnische Kategorien

Die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität geotechnischer Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen werden nach EC 7 in drei geotechnischen Kategorien beschrieben, die eine geringe (Kategorie 1), eine normale (Kategorie 2)

und eine hohe (Kategorie 3) geotechnische Schwierigkeit bezeichnen. Sie sind in DIN 1054, A 2.1.2 wiedergegeben. Ufereinfassungen sind grundsätzlich in die Kategorie 2, bei schwierigen Baugrundverhältnissen in die Kategorie 3 einzuordnen. Ein Fachplaner für Geotechnik ist stets einzubeziehen.

1.1.4 Bemessungssituationen

Für den Nachweis der Standsicherheit und die Zuordnung der Teilsicherheitsbeiwerte werden in DIN 1054, Abs. 6.3.3. Lastfälle definiert. Diese ergeben sich aus den Einwirkungskombinationen in Verbindung mit den Sicherheitsklassen bei den Widerständen. Für Ufereinfassungen gelten dabei folgende Einstufungen.

1.1.4.1 Bemessungssituation (BS-P)

Belastungen aus Erddruck (bei nicht konsolidierten, bindigen Böden getrennt für den Anfangs- und Endzustand) und aus Wasserüberdruck bei häufig auftretenden ungünstigen Außen- und Innenwasserständen (siehe Abschn. 3.3.2), Erddruckeinflüsse aus den normalen Nutzlasten, aus normalen Kranlasten und Pfahllasten, unmittelbar einwirkende Auflasten aus Eigengewicht und normaler Nutzlast.

1.1.4.2 Bemessungssituation (BS-T)

Vorübergehende Situationen (transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen, werden der Bemessungssituation BS-T zugeordnet, z. B. im Bauzustand oder bei der Instandsetzung; im Wasserbau neben den ständigen und während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretenden veränderlichen Einwirkungen der BS-P, z. B. begrenzte Kolkbildung durch Strömung oder Schiffsschrauben, Wasserüberdruck bei selten auftretenden ungünstigen Außen- und Innenwasserständen (siehe Abschn. 3.3.2) oder Wellenlasten gemäß Abschn. 4.3.

1.1.4.3 Bemessungssituation (BS-A)

Wie Bemessungssituation BS-T, jedoch mit außergewöhnlichen Bemessungssituationen wie außerplanmäßigen Auflasten auf größerer Fläche, eine ungewöhnlich große Abflachung einer Unterwasserböschung vor einem Spundwandfuß, eine ungewöhnliche Kolkbildung durch Strömung oder Schiffsschrauben, Wasserüberdrücke nach extremen Wasserständen (siehe Abschn. 3.3.2 bzw. 6.2), Wasserüberdruck nach einer außergewöhnlichen Überflutung der Ufereinfassung, Kombinationen von Erd- und Wasserdrücken mit Wellenlasten aus selten auftretenden Wellen (siehe Abschn. 4.3), Kombination von Erd- und Wasserdrücken mit Treibgutstoß gemäß Abschn. 6.2.5, alle Lastkombinationen in Verbindung mit Eisgang bzw. Eisdruck.

1.1.4.4 Extremfall

Beim Zusammentreffen äußerst unwahrscheinlicher Einwirkungskombinationen können nach DIN 1054, Abschn. A 2.4.7.6.1 A(4) und A 2.4.7.6.3 A(5) die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände $\gamma_F = \gamma_R = 1,0$ gesetzt werden. Die Kombinationsbeiwerte werden nach Abschn. 1.2.4 zu $\psi = 1,0$ gesetzt.

Beispiele hierfür sind das Zusammentreffen extremer Wasserstände bei gleichzeitigen extremen Wellenlasten aus Sturzbrechern gemäß Abschn. 4.3.6, extreme Wasserstände bei gleichzeitigem restlosen Ausfall einer Entwässerung/Dränage (vgl. Abschn. 6.2), Kombinationen aus drei gleichzeitig wirkenden kurzfristigen Ereignissen, wie z. B.

4 | 1 Sicherheits- und Nachweiskonzept

Hochwasser (HHT_{hw}, vgl. Abschn. 6.2), selten auftretenden Wellen (vgl. Abschn. 4.3) und Treibgutstoß (vgl. Abschn. 6.2).

1.2 Nachweise für Ufereinfassungen

1.2.1 Grundlagen für die Nachweisführung

Der Standsicherheitsnachweis einer Ufereinfassung muss insbesondere enthalten:

- Angaben zur Nutzung der Anlage,
- zeichnerische Darstellung des Bauwerks mit allen wichtigen geplanten Bauwerksabmessungen,
- kurze Beschreibung des Bauwerks, insbesondere mit allen Angaben, die aus den Zeichnungen nicht klar erkennbar sind,
- Entwurfswert der Sohlentiefe,
- charakteristische Werte aller Einwirkungen,
- Bodenschichtung und zugehörige charakteristische Werte der Bodenkenngrößen,
- maßgebende freie Wasserstände, bezogen auf NHN (Normalhöhennull, früher NN: Normalnull) oder ein örtliches Pegelnul, sowie zugehörige Grundwasserstände (Hochwasserfreiheit, Überflutungsfreiheit),
- Einwirkungskombinationen bzw. Lastfälle,
- geforderte bzw. eingeführte Teilsicherheitsbeiwerte,
- vorgesehene Baustoffe und deren Festigkeiten bzw. Widerstände,
- alle Daten über Bauzeiten und Art der Baudurchführung mit den maßgebenden Bauzuständen,
- Darstellung und Begründung des vorgesehenen Gangs der Nachweise,
- Angabe des verwendeten Schrifttums und sonstiger Berechnungshilfsmittel.

1.2.2 Nachweisverfahren

1.2.2.1 Analytische Verfahren

Für die geotechnischen Nachweise nach den einschlägigen Normen finden im Regelfall analytische Modelle unter Ansatz von Bruchmechanismen Anwendung. Die maßgeblichen Gleitfugen im Baugrund werden dabei vorgegeben bzw. in Variationsuntersuchungen ermittelt. Die nachzuweisende Sicherheit soll die Unsicherheiten des erdstatischen Nachweises, der Baugrunderkundung und der Bauausführung abdecken. Häufig ist darin auch sekundär eine Verformungsbegrenzung enthalten.

1.2.2.2 Numerische Simulationen

Für Berechnungen des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen) haben sich inzwischen numerische Methoden wie z. B. die Finite-Elemente-Methode (FEM) etabliert. Ein Beispiel für eine umfassende numerische Simulation der Verformung einer Kaikonstruktion infolge der Hinterfüllung ist in Mardfeld (2005) zu finden. Der Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit kann für Erdbauwerke mithilfe der sogenannten φ' - c' -Reduktion nachgewiesen werden. Die FEM hat gegenüber den konventionellen Ansätzen wie dem Gleitkreisverfahren den Vorteil, dass die Scherfuge sich frei einstellen kann und damit zutreffendere Ergebnisse als mittels angenommener ebener oder gekrümmter Bruchkörper Geometrien vorgeben kann. Für die Nachweise

der Tragfähigkeit von Struktur-Boden-Interaktionsproblemen bietet sich die Methode Z^* an, bei der die Beanspruchungen der Bauteile im Gebrauchszustand ermittelt und dann in eine konventionelle Nachweisführung eingesetzt werden. Eine allein FEM-basierte Nachweisführung des Grenzzustandes ist derzeit umstritten. Hinsichtlich der Abbildung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Einführung der Sicherheitsbeiwerte gibt es noch keine allgemein verbindlichen Festlegungen. Numerische Simulationen erfordern eine Modellbildung unter Beachtung eines korrekten Spannungs- und Verformungszustandes, eines ausreichend großen Untergrundausschnitts, der Drainagebedingungen des Bodens und vor allem Stoffmodelle für die anstehenden Bodenarten, die die für das Bauwerk relevanten Phänomene des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens abbilden. Siehe hierzu u. a. die Empfehlungen des Arbeitskreises „Numerik in der Geotechnik“ (EANG, 2014).

1.2.2.3 Beobachtungsmethode

Für komplexe Bauwerke, bei denen das Tragverhalten nicht mit ausreichender Sicherheit in Modellen abgebildet werden kann, sollte die Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1 eingesetzt werden. Dabei werden Messungen am Bauwerk oder im Baugrund durchgeführt und mit Prognose- bzw. Alarmwerten verglichen. Die bei Überschreitung von Alarmwerten durchzuführenden Gegen- und Sicherungsmaßnahmen sind fester Bestandteil der Beobachtungsmethode. Als Grundlage für die Bewertung der gemessenen Größen bieten sich Verformungen und Kräfte aus der numerischen Simulation an.

1.2.2.4 Versuche

Mit Versuchen kann das Tragverhalten sowohl einzelner geotechnischer Elemente als auch komplexer geotechnischer Tragwerke ermittelt werden. Sie können als Großversuch im Maßstab 1:1 (z. B. Probelastungen an Pfählen oder Ausziehversuche an Ankern) oder als skalierte Modellversuche ausgeführt werden. Skalierte Modellversuche erfordern die Einhaltung der sich aus der Ähnlichkeitstheorie ergebenden Modellgesetze, wenn die Versuchsbeobachtungen am Modell auf die Natur übertragen werden sollen. Die unterschiedlichen Gesetzmäßigkeiten der verschiedenen physikalischen Größen schränken die Übertragbarkeit ein. Dies gilt besonders für die Geotechnik, in der der Spannungszustand im Baugrund das Spannungs-Verformungs-Verhalten zwar entscheidend beeinflusst, dieser aber nur schwer abbildbar ist. Hier können Modellversuche in einer geotechnischen Zentrifuge durchgeführt werden, bei denen der Boden unter einem realistischen Spannungsniveau steht und so das druckabhängige Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Bodens korrekt abgebildet wird. Für Details zu Zentrifugenversuchen wird auf das Technical Committee TC 104 „Physical Modelling in Geotechnics“ der International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) verwiesen.

1.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Verformungsnachweise sind für alle Bauteile vorzunehmen, deren Funktion durch Verformungen beeinträchtigt oder aufgehoben werden kann. Die Verformungen werden mit den charakteristischen Werten der Einwirkungen und Bodenreaktionen berechnet und müssen geringer als die für eine einwandfreie Funktion des Bauteils oder Gesamt-

6 | 1 Sicherheits- und Nachweiskonzept

bauwerks zulässigen Verformungen sein. Gegebenenfalls ist mit oberen und unteren Grenzwerten der charakteristischen Werte zu rechnen.

Insbesondere bei den Verformungsnachweisen ist der zeitliche Verlauf der Einwirkungen zu berücksichtigen, um auch kritische Verformungszustände während verschiedener Betriebs- und Bauzustände zu erfassen. Zur Abschätzung der im Gebrauchszustand zu erwartenden Verformungen eignen sich insbesondere numerische Methoden.

1.2.4 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der rechnerische Nachweis der Tragfähigkeit erfolgt üblicherweise anhand analytischer Verfahren für die Grenzzustände STR und GEO-2 mithilfe von Bemessungswerten (Index d) für Einwirkungen oder für Beanspruchungen und Widerstände, für den Grenzzustand GEO-3 mithilfe von Bemessungswerten für Einwirkungen oder für Beanspruchungen und Bodenkennwerte.

Der Sicherheitsnachweis wird nach folgender Grundgleichung geführt:

$$E_d \leq R_d$$

E_d Bemessungswert der Summe der Einwirkungen oder Beanspruchungen,

R_d Bemessungswert der Widerstände, der sich aus der Summe der Widerstände des Bodens oder konstruktiver Elemente ergibt

Für Nachweise des Grenzzustandes des Verlustes der Lagesicherheit (EQU) oder des Versagens durch hydraulischen Grundbruch (HYD) oder Auftrieb (UPL) werden die Bemessungswerte der günstig und ungünstig oder stabilisierend und destabilisierend wirkenden Einwirkungen einander gegenübergestellt und die Einhaltung der jeweiligen Grenzzustandsbedingung nachgewiesen. Widerstände treten bei diesen Nachweisen nicht auf.

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Tragfähigkeit werden sechs Fälle unterschieden:

Verlust der Lagesicherheit/Kippen	EQU
Aufschwimmen	UPL
Hydraulischer Grundbruch	HYD
Versagen oder große Verformungen des Tragwerks oder seiner Teile	STR
Versagen oder sehr große Verformung des Baugrunds	GEO-2
Grenzzustand des Verlusts der Gesamtstand-sicherheit	GEO-3

DIN EN 1997-1 lässt drei Möglichkeiten der Führung der Sicherheitsnachweise zu. Diese sind mit dem Begriff „Nachweisverfahren 1–3“ bezeichnet. Bei Verfahren 1 werden zwei Gruppen von Beiwerten betrachtet, die auf zwei getrennte Nachweise angewendet werden. Bei den Verfahren 2 und 3 ist ein Nachweis mit einer Gruppe von Beiwerten maßgeblich.

Bei den Verfahren 1 und 2 werden die Beiwerte grundsätzlich entweder auf Einwirkungen oder Beanspruchungen und auf Widerstände angewendet. DIN 1054 legt jedoch

fest, dass zunächst die charakteristischen bzw. repräsentativen Beanspruchungen $E_{G_{k,i}}$ bzw. $E_{Q_{rep,i}}$ (z. B. Querkräfte, Auflagerkräfte, Biegemomente, Spannungen in den maßgebenden Schnitten durch das Bauwerk und in Berührungsflächen zwischen Bauwerk und Baugrund) ermittelt werden und darauf die Beiwerte anzuwenden sind. Dieses Verfahren wird auch Verfahren 2* genannt.

Bei Verfahren 3 werden Beiwerte auf nicht baugrundbedingte Einwirkungen oder Beanspruchungen und auf die Bodenkenngößen angewendet. Durch den Baugrund bedingte Einwirkungen oder Beanspruchungen werden aus mit Beiwerten beaufschlagten Bodenkenngößen ermittelt.

Nach DIN 1054 ist für geotechnische Nachweise der Grenzzustände STR und GEO-2 das Nachweisverfahren 2 (2*), für Nachweise des Grenzzustandes GEO-3 das Nachweisverfahren 3 anzuwenden.

Die in DIN 1054 festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte sind in den Tab. 1.1–1.3 für die verschiedenen Bemessungssituationen (siehe Abschn. 1.1.4) wiedergegeben.

Anmerkungen:

- Im Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit GEO-3 sind die Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherfestigkeit Tab. 1.2 zu entnehmen, Herausziehungswiderstände werden mit Teilsicherheitsbeiwerten nach STR und GEO-2 beaufschlagt.
- Der Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand des Stahlzugglieds aus Spannstahl und Betonstahl ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in DIN EN 1992-1-1 mit $\gamma_M = 1,15$ angegeben.
- Der Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand von flexiblen Bewehrungselementen ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in EBGEO (2010) angegeben.

Sofern größere Verschiebungen und Verformungen des Bauwerks die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks nicht beeinträchtigen, wie es bei Ufereinfassungen, Häfen und Wasserstraßen der Fall sein kann, darf in begründeten Fällen der Teilsicherheitsbeiwert γ_G im Fall des Erd- und Wasserdruckes herabgesetzt werden (DIN 1054, A 2.4.7.6.1 A(3)). In den EAU wird davon in Form der Beiwerte $\gamma_{G,red}$ (Tab. 1.1) und $\gamma_{R,e,red}$ (Tab. 1.3) Gebrauch gemacht. Ferner werden für Beanspruchungen aus ständigen und ungünstigen veränderlichen Einwirkungen in der Bemessungssituation BS-A die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = \gamma_Q = 1,00$ gesetzt.

Bei der Bestimmung eines Bemessungswertes von Einwirkungen (F_d) nach DIN EN 1990 muss dieser entweder direkt festgelegt oder aus repräsentativen Werten abgeleitet werden:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}$$

mit

$$F_{rep} = \psi \cdot F_k$$

γ_F Teilsicherheitsbeiwert
 ψ Kombinationsbeiwert

Für ständige Einwirkungen und für die Leiteinwirkung der veränderlichen Einwirkungen gilt:

$$F_{rep} = F_k$$

8 | 1 Sicherheits- und Nachweiskonzept

Tab. 1.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen (nach DIN 1054:2010-12, Tab. A 2.1 mit Ergänzungen) für Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Destabilisierende ständige Einwirkungen ^{a)}	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,90	1,90	1,45
EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit				
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,25	1,00
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^{a)}	γ_G	1,35	1,20	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen für die Bemessung der Verankerung ^{b)}	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^{c)}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	$\gamma_{G,EO}$	1,20	1,10	1,00
Wasserdruck bei bestimmten Randbedingungen ^{d)}	$\gamma_{G,red}$	1,20	1,10	1,00
Wasserdruck bei bestimmten Randbedingungen für die Bemessung der Verankerung ^{b)}	$\gamma_{G,red}$	1,20	1,10	1,10
Beanspruchung aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen ^{e)}	γ_Q	1,50	1,30	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen ^{f)} für die Bemessung der Verankerung ^{b)}	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchung aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
$\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
$\gamma_Q = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				

- a) Die ständigen Einwirkungen verstehen sich einschließlich ständigen und veränderlichen Wasserdrucks. In BS-A gilt abweichend von DIN 1054:2010-12 $\gamma_G = 1,00$, außer für die Nachweise der Verankerung.
- b) Die Bemessung der Verankerung (Verpressanker, Mikropfähle, Zugpfähle) umfasst bei verankerten Stützbauwerken auch den Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge (Abschn. 9.3).
- c) Wenn bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Zugbeanspruchung eine gleichzeitig wirkende charakteristische Druckbeanspruchung aus günstigen ständigen Einwirkungen angesetzt wird, ist diese mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,inf}$ zu berücksichtigen (DIN 1054, 7.6.3.1 A(2)).
- d) Bei Ufereinfassungen, bei denen größere Verschiebungen schadlos aufgenommen werden können, dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{G,red}$ für den Wasserdruck verwendet werden, wenn die Voraussetzungen nach Abschn. 8.2.1.3 gegeben sind (DIN 1054, A 2.4.7.6.1 A(3)).
- e) In BS-A gilt abweichend von DIN 1054:2010-12 $\gamma_Q = 1,00$, außer für die Nachweise der Verankerung.
- f) Die ständigen Einwirkungen verstehen sich einschließlich ständigen und veränderlichen Wasserdrucks.

Tab. 1.2 Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Kenngrößen (DIN 1054:2010-12, Tab. A 2.2).

Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10

Tab. 1.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände (nach DIN 1054:2010-12, Tab. A 2.3 mit Ergänzungen).

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Bodenwiderstände				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}, \gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
Erdwiderstand bei der Ermittlung des Biegemomentes ^{a)}	$\gamma_{R,e,red}$	1,20	1,15	1,10
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen				
Fußwiderstand	γ_b	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50
Herauszieh Widerstände				
Boden- bzw. Felsnägel	γ_a	1,40	1,30	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	γ_a	1,10	1,10	1,10
Flexible Bewehrungselemente	γ_a	1,40	1,30	1,20

a) Abminderung ausschließlich bei der Ermittlung des Biegemomentes. Bei Ufereinfassungen, bei denen größere Verschiebungen schadlos aufgenommen werden können, dürfen die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{R,e,red}$ für den Erdwiderstand verwendet werden, wenn die Voraussetzungen nach Abschn. 8.2.1.2 gegeben sind (DIN 1054, A 2.4.7.6.1A(3)).

10 | 1 Sicherheits- und Nachweiskonzept

Für Uferbauwerke werden im Regelfall die Kombinationsbeiwerte $\psi = 1,00$ gesetzt. Beim Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen (UPL) und der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (HYD) sind die Bemessungswerte F_d grundsätzlich ohne Berücksichtigung von Kombinationsbeiwerten zu ermitteln.

Literatur

- Andrews, J.D. und Moss, T.R. (1993). *Reliability and Risk Assessment*. Burnt Mill: Longman Scientific & Technical.
- EANG (2014). *Empfehlungen des AK Numerik in der Geotechnik*, (Hrsg. DGTT). Berlin: Ernst & Sohn.
- EBGEO (2010). *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO)*, (Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.), 2. Aufl., 327 Seiten. Berlin: Ernst & Sohn.
- Heibaum, M. und Herten, M. (2007). Finite-Element-Methode für geotechnische Nachweise nach neuer Normung? *Bautechnik* 84 (9): 627–635.
- Mardfeldt B. (2005). Zum Tragverhalten von Kaikonstruktionen im Gebrauchszustand. Dissertation. Veröffentlichungen des Arbeitsbereichs Geotechnik und Baubetrieb der TU Hamburg-Harburg, Heft 11.
- Richwien, W. und Lesny, K. (2003). Risikobewertung als Schlüssel des Sicherheitskonzepts – Ein probabilistisches Nachweiskonzept für die Gründung von Offshore-Windenergieanlagen. *Erneuerbare Energien* 13 (2): 30–35.
- Schwab, R. und Kayser, J. (2002). Continuous model validation for large navigable lock. International Symposium on Identification and Determination of Soil and Rock Parameters, PARAM 2002, Paris.
- Schweiger, H.F. (2017). *Numerik in der geotechnischen Nachweisführung*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 101. Karlsruhe: Eigenverlag.
- Schuëller, G.I. (1981). *Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken*. Berlin: Ernst & Sohn.

Normen und Vorschriften

- DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1.
- DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2.
- DIN 4093 (2015). Bemessung verfestigter Bodenkörper – Hergestellt im Düsenstrahl-, Deep Mixing- oder Injektionsverfahren.
- DIN EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- DIN EN 1991 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.
- DIN EN 1992 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.
- DIN EN 1993 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.
- DIN EN 1994 Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton.
- DIN EN 1995 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.
- DIN EN 1996 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten.

- DIN EN 1997 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik.
DIN EN 1998 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.
DIN EN 1999 Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken.
Handbuch EC7-1 (2015). *Handbuch Eurocode 7*, Geotechnische Bemessung Band 1. Allgemeine Regeln.
Handbuch EC7-2 (2011). *Handbuch Eurocode 7*, Geotechnische Bemessung Band 2. Erkundung und Untersuchung.

