

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Schuppener, Bernd

Zuverlässigkeit und Sicherheit bei der geotechnischen Bemessung in Deutschland

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100856>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schuppener, Bernd (2012): Zuverlässigkeit und Sicherheit bei der geotechnischen Bemessung in Deutschland. In: 8. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', 17. und 18. Januar 2012 in Ostfildern/Stuttgart. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen. S. 405-412.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Zuverlässigkeit und Sicherheit bei der geotechnischen Bemessung in Deutschland

Bernd Schuppener
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Deutschland

Zusammenfassung

Mit der bauaufsichtlichen Einführung des Eurocode 7 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ - Teil 1 „Allgemeine Regeln“ wird in Deutschland die DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ als geotechnische Grundnorm abgelöst. Damit wird in der Geotechnik wie auch in den anderen Bereichen des Bauingenieurwesens das globale Sicherheitskonzept durch das Konzept der Grenzzustände und der Teilsicherheitsbeiwerte der Eurocodes ersetzt. Allerdings werden die speziellen deutschen Erfahrungen im Erd- und Grundbau erhalten bleiben, soweit sie nicht mit den Eurocodes konkurrieren oder ihnen widersprechen. Dazu wurde die DIN 1054 inhaltlich überarbeitet und formal an den EC 7-1 angepasst, damit ein in sich stimmiges und nutzerfreundliches Normenwerk für die geotechnische Bemessung entsteht.

In dem Beitrag wird ein historischer Rückblick über die Diskussion zum probabilistischen Sicherheitskonzept gegeben, das den Eurocodes ursprünglich als gemeinsame Sicherheitstheorie zugrunde gelegt werden sollte und gezeigt, welche theoretische und praktische Bedeutung die nun bei der Bemessung von geotechnischen Bauwerken verwendeten Teilsicherheitsbeiwerte haben.

1. Einleitung

Am 1. Juli 2012 werden die Eurocodes bauaufsichtlich eingeführt. In sämtlichen Fachbereichen des konstruktiven Bauingenieurwesens wird spätestens zu diesem Zeitpunkt das Teilsicherheitskonzept angewandt werden müssen. Über das Sicherheitskonzept bestehen bei den praktisch arbeitenden Ingenieuren noch erhebliche Informationslücken und Verständnisprobleme. Aufbauend auf eine kurze Vorstellung des probabilistischen Sicherheitskonzepts, das das Globalsicherheitskonzept mit der Einführung der Eurocodes ersetzen sollte, und der Beschreibung der Entwicklung und der Sicherheitsdiskussion um den Eurocode 7 wird gezeigt, wie die Teilsicherheitsbeiwerte für die DIN 1054:2010 festgelegt wurden. Dies zeigt, dass das Teilsicherheitskonzept der geotechnischen Bemessung eigentlich ein Globalsicherheitskonzept ist.

2. Das probabilistische Sicherheitskonzept

Dem probabilistischen, wahrscheinlichkeitstheoretischen Sicherheitskonzept, das mit der Einführung der Eurocodes europaweit das Globalsicherheitskonzept ersetzen sollte, liegt folgende Vision (Breitschaft und Hanisch, 1978) zugrunde:

- Wenn man davon ausgeht, dass sowohl die Einwirkungen auf ein Bauwerk als auch die Widerstände eines Bauwerks zufällig streuende Größen sind und
- sowohl die Einwirkungen auf ein Bauwerk als auch die Widerstände von Konstruktionen und Bauelementen statistisch auf rationale Weise beschrieben werden können,
- dann muss es auch möglich sein, mit der Probabilistik ein einheitliches Sicherheitsniveau zu definieren, das unabhängig von der Konstruktion und dem Baumaterial ist.

Das probabilistische Sicherheitskonzept geht also von der Annahme aus, dass die Einwirkungen F und die Widerstände R , z. B. durch eine Normalverteilung in Form von Glockenkurven, statistisch beschrieben werden können (siehe Bild 1).

Wenn sich die Glockenkurven der Verteilungsdichten der Einwirkungen und Widerstände überschneiden, sind Fälle möglich, in denen der zufällig vorhandene Widerstand R kleiner ist als die gleichzeitig vorhandene Einwirkung F und somit das Erreichen eines Versagenszustands zu erwarten ist. Bildet man die Differenz Z aus dem Widerstand R und der Einwirkung F , dann erhält man wieder eine Glockenkurve für

die sog. Zufallsvariable Z. Wird Z negativ, dann versagt die Konstruktion, bei positivem Z ist sie standsi-

cher.

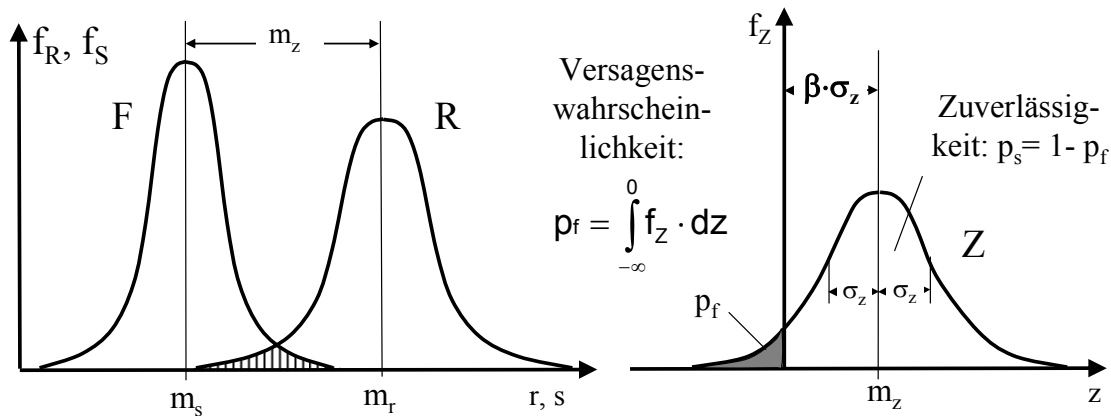


Bild 1: Verteilungsdichten der Einwirkungen und Widerstände

Die Versagenswahrscheinlichkeit p_f , bei der der Widerstand R kleiner ist als die Einwirkung F , ist die schraffierte Fläche links der Ordinate. Sie ist ein Maß für die Unsicherheit der Konstruktion. Die Fläche rechts der Ordinate ($p_s = 1 - p_f$), wo der Widerstand R größer ist als die Einwirkung F , ist ein Maß für seine Zuverlässigkeit.

Je größer der Mittelwert m_z und je kleiner die Standardabweichung σ_z der Zufallsvariablen ist, umso größer ist die Zuverlässigkeit der Konstruktion. Als Maß für die Zuverlässigkeit wurde daher ein Sicherheitsindex $\beta = m_z / \sigma_z$ definiert. Für den Bezugszeitraum von einem Jahr wurde damals ein Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ angestrebt. Dies entspricht einer Versagenswahrscheinlichkeit von etwa 10^{-6} für den Bezugszeitraum von einem Jahr, d. h. ein Versagensfall bezogen auf eine Million gleichartiger Bauwerke in einem einzigen Jahr.

So weit die reine und für Bauingenieure sehr fremde Theorie. Aber auch allen überzeugten Statistikern war klar, dass man bei der Bemessung in der Praxis keine so aufwändigen und komplexen statistischen Standsicherheitsnachweise führen konnte. Um die Theorie praktisch handhabbar zu machen, musste man sie daher radikal vereinfachen

Dazu eignete sich sehr gut das Teilsicherheitskonzept, bei dem nachgewiesen wird, dass bei einer Konstruktion oder einem Bauteil der Bemessungswert F_d der Einwirkungen nicht größer ist als der Bemessungswert der Widerstände R_d . Den Bemessungswert F_d der Einwirkungen erhält man, indem man den charakteristischen Wert der Einwirkungen F_k mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für Einwirkungen multipliziert, und den Bemessungswert der Widerstände R_d , indem man den charakteristischen Widerstand R_k durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_R teilt.

$$F_d \leq R_d$$

$$F_k \cdot \gamma_F \leq R_k / \gamma_R$$

Die Idee des neuen, semi-probabilistisch genannten Verfahrens lag nun darin, in umfassenden statistischen Untersuchungen mit den üblichen bodenmechanischen Nachweisverfahren die Teilsicherheitsbeiwerte rückwärts zu ermitteln, und zwar als diejenigen Werte, bei denen das Sicherheitsniveau den geforderten Wert von $\beta = 4,7$ erreicht.

Diese Kombination von Wahrscheinlichkeitstheorie und Teilsicherheitskonzept hat die Normenmacher, die in den 70er Jahren mit der Erarbeitung der Eurocodes begannen, stark fasziniert. Fasziniert waren sie aus zwei Gründen:

- die Theorie bot zum einen die Möglichkeit, ein einheitliches Sicherheitsniveau unabhängig von der Konstruktion und dem Baumaterial - also Bauart übergreifend - zu definieren und
- zum anderen konnte die Theorie als gemeinsames europäisches Sicherheitskonzept für die Bemessung von Tragwerken dienen. Es war eine „neue“ Theorie, die von allen Mitgliedsländern neu erlernt werden musste, auf die man sich daher am ehesten als Kompromiss einigen konnte.

1976 wurde daher die Anwendung Zuverlässigkeitstheorie von dem Joint Committee on Structural Safety (Gemeinsamer Ausschuss für Tragwerkssicherheit) als gemeinsames Sicherheitskonzept für die zukünftigen Eurocodes beschlossen. Für die geotechnische Bemessung in Deutschland wurde das probabilistische Sicherheitskonzept offiziell auf der Baugrundtagung 1978 in einem Vortrag von G. Breitschaft (siehe Breitschaft und Hanisch, 1978) eingeführt, der damals Präsident des Instituts für Bautechnik und später Vorsitzender des für die Eurocodes zuständigen technischen Komitees des CEN war. Allerdings wurde die Probabilistik erst wieder auf einer Spezialsitzung

erst wieder auf einer Spezialsitzung der Baugrundtagung 1982 diskutiert. Fünf Beiträge beschäftigten sich damals mit dem Thema und zwar mit ihrer Anwendung

- beim Grundbruchnachweis von Flachgründungen (Pottharst, 1982),
- bei verankerten und vernagelten Wänden (Gässler, 1982)
- bei der Auswertung von Versuchsergebnissen (Peintinger, 1982; von Soos, 1982) und
- bei der Nutzung von Vorinformationen (Rackwitz, 1982).

Der interessanteste Teil der Spezialsitzung war die Podiumsdiskussion mit prominenten deutschen Geotechnikern. Die meisten Diskutanten hatten eine recht kritische Einstellung zum probabilistischen Sicherheitskonzept. Es wurden folgende wesentliche Argumente vorgebracht:

- Ein gravierender Mangel der Zuverlässigkeitstheorie besteht darin, dass sie menschliche Fehler bei der Planung und Herstellung nicht berücksichtigt, obgleich sie die wesentliche Ursache von Schadensfällen sind (Blaut, 1982).
- Darüber hinaus sind in der Regel die Möglichkeiten, ausreichende Daten für eine statistische Bewertung des Baugrunds zu erhalten, in der Praxis sehr beschränkt (Vollenweider, 1982).
- Im Vergleich zu anderen Materialien des Bauingenieurwesens streuen geotechnische Kennwerte nicht nur stärker, sondern der Geotechniker "sieht" auch nur einen sehr begrenzten Teil seines "Bauwerks" (Vollenweider, 1982).
- Außerdem sind statistische Verteilungen ohne untere und obere Grenzen ungeeignet für geotechnische Kenngrößen (Kramer, 1982).

Die Auswertung der schriftlichen Beiträge zur Podiumsdiskussion ergab, dass

- 3 der Diskutanten für das statistische Sicherheitskonzept waren,
- 5 waren unentschieden und
- 4 waren dagegen.

In den folgenden Jahren war die Probabilistik ein Forschungsthema bei fast allen Lehrstühlen für Geotechnik in Deutschland und es wurden fast alle Nachweise im Grundbau auf ihre Tauglichkeit zur Anwendung der Probabilistik untersucht. Eder rechnete die Rutschung einer Felsböschung nach (Eder, 1983), Heibaum untersuchte die Standsicherheit verankerter Stützwände auf der tiefen Gleitfuge (Heibaum, 1987), Genske und Walz (Genske und Walz, 1987) sowie Smoltczyk und Schad (Smoltczyk und Schad, 1990) beschäftigten sich mit der Anwendung der probabilistischen Sicherheitsphilosophie auf Grundbruchberechnungen, Reitmeier untersuchte die Möglichkeit einer Quantifizierung von

Setzungsdifferenzen mit Hilfe einer stochastischen Betrachtungsweise (Reitmeier, 1989), Hanisch und Struck wandten die Methode an zur Auswertung von Pfahlprobelastungen (Hanisch und Struck, 1992).

Daneben gab es eine Reihe von Veröffentlichungen über die Bewertung von Baugrunduntersuchungen im Hinblick auf ihre Nutzung mit der Probabilistik (Hanisch und Struck, 1985, Soos, 1990, und Alber, 1992) und didaktisch gut aufbereitete Aufsätze, die das neue Konzept den Kollegen erläutern und dafür werben wollten (Gudehus, 1987 und Franke, 1990).

Auch wenn durch einen Grundsatzbeschluss des Lenkungsorgans des Fachbereichs „Geotechnik, Grundbau“ von 1982 die zukünftige Ausrichtung der Normungsarbeit festzustehen schien, gab es in den Folgejahren immer wieder auch grundsätzliche Kritik an den „Grundlagen für die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ (Arbeitsausschuss „Sicherheit im Bauwesen“, 1981). So zeigt Franke (Franke, 1984) die Probleme bei der Anwendung des wahrscheinlichkeitstheoretischen Sicherheitskonzept bei den Pfählen und kommentiert sarkastisch, dass die „Möglichkeiten (der Probabilistik) umso optimistischer gesehen werden, je weniger die beteiligten Fachkollegen mit der tagtäglichen Praxis der Baugrund- und Gebirgsuntersuchung und -beschreibung zu tun haben.“ Für den Grundbau sei die Beobachtungsmethode eine wesentlich bessere Hilfe, von der in den „Grundlagen für die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ nicht die Rede ist.

Ferner zeigte sich, dass bei konstantem Sicherheitsniveau die Teilsicherheitsbeiwerte von der Größe und Anzahl der beteiligten Parameter und insbesondere vom Variationskoeffizienten abhängen (Heibaum, 1987). Gerade der Variationskoeffizient kann aber für geotechnische Parameter oft nur grob abgeschätzt werden. Für den Variationskoeffizienten von geotechnischen Kenngrößen liegt jedoch meistens nur ein grober Schätzwert vor.

Fundamentale Kritik an dem neuen Sicherheitskonzept kam vor allem von Schweizer Kollegen. Matousek und Schneider (1976) kamen auf Grundlage der Analyse von 800 Bauschäden zu dem Ergebnis, dass zufällige Abweichungen der Materialqualitäten bzw. der Tragwerkswiderstände oder der Belastungen von den jeweils erwarteten Werten durch die Festlegung geeigneter Sicherheitsfaktoren in den statischen Berechnungen offensichtlich gut abgesichert sind. Der weitaus überwiegende Teil der Schäden entsteht während der Ausführung. Sie zeigten, dass die Wahrscheinlichkeit von groben Fehlern während der Bauausführung in der Regel ein bis zwei Zehnerpotenzen größer als die theoretischen Versagenswahrscheinlichkeiten ist (Schneider, 1994).

Fasst man die wissenschaftlichen Studien und die Debatte unter den Normenmachern bis etwa 1994 zusammen, dann kann man feststellen, dass

- der probabilistische Ansatz in der Geotechnik eine große Zahl von interessanten Forschungsergebnissen in Deutschland und anderen Ländern geliefert hat, aber
- es war nicht gelungen, ein überzeugendes Konzept für die Normung und die Anwendung in der täglichen Bemessungspraxis zu entwickeln.
- Das Teilsicherheitskonzept war zwar akzeptiert worden,
- aber ein probabilistischer Ansatz spielte in der Diskussion unter den Normenmachern keine Rolle mehr.

Obwohl die deutsche Normung in der Geotechnik die Probabilistik endgültig verließ, war das Thema in der wissenschaftlichen Forschung weiterhin attraktiv. So versuchten Hartmann und Nawari neue Wege zur Unsicherheits- und Risikobewertung im Ansatz der Fuzzy-Logik und –Set Theorie zu finden (Hartmann und Nawari, 1996), Pöttler et. al. untersuchten die Anwendung der Probabilistik für den Tunnelbau (Pöttler et. al., 2001), Ziegler untersuchte die Möglichkeiten der Risikosimulationsrechnung (Ziegler, 2002), Katzenbach und Moormann nutzten die jahrzehntlang gesammelten Versuchsdaten an Frankfurter Ton zur Untersuchung des Tragverhaltens von Pfahl-Platten-Gründungen (Katzenbach und Moormann, 2003), Stahlmann et. al. verwendeten probabilistische Methoden zur Simulation der stofflichen Inhomogenitäten bei einem Bahndamm (Stahlmann et. al., 2007) und Russell verglich verschiedene probabilistische Methoden bei Grundbruchuntersuchungen, wobei sie den starken Einfluss der Koppelung von Reibung und Kohäsion zeigten (Russell, 2008). Diese Untersuchungen haben bislang noch keinen Niederschlag in Normen und Empfehlungen gefunden.

3. Eurocode 7 und DIN 1054

Die Arbeit am Model Code für den Eurocode 7 “Geotechnische Bemessung” begann 1981 unter der Leitung des Dänen Niels Krebs Ovesen (Orr, 2007), der den zuständigen Ausschuss 18 Jahre leitete. Man war sich zunächst einig, dass man das probabilistische Sicherheitskonzept auch in der Geotechnik einführen wollte. Da die Grundlagen für eine Anwendung in der Geotechnik noch unzureichend waren, entschloss man sich

- die Teilsicherheitsbeiwerte zunächst auf Grundlage von Erfahrungen festzulegen und
- sie später durch probabilistische Untersuchungen zu bestätigen bzw. zu korrigieren (Sadgorski, 1983).

1987 wurde ein erster noch unvollständiger Entwurf eines Eurocodes veröffentlicht. Er enthielt in einem Anhang erste Vorschläge für Teilsicherheitsbeiwerte für die Tragfähigkeit von Pfählen und Ankern. 1989 folgte eine neue Version von “Eurocode 7 Geotechnics”. Auch dieser Entwurf enthielt Teilsicherheitsbeiwerte, diesmal sogar im Normtext. Der Abschnitt 2 “Grundlagen der Bemessung” formulierte als Grundsatz:

“(1) Ein Bauwerk ist so zu planen und herzustellen,

- dass es mit hinreichender Wahrscheinlichkeit gebrauchstauglich bleibt und
- mit einem angemessenen Grad an Zuverlässigkeit alle Einwirkungen aufnehmen kann ...”

Es wurden hier zwar noch die probabilistischen Begriffe „Wahrscheinlichkeit“ und „Zuverlässigkeit“ verwendet, doch schied sich der Eurocode darüber aus, wie die Teilsicherheitsbeiwerte mit Hilfe der Probabilistik herzuleiten sind.

1994 wurde die erste vollständige Fassung des Eurocode 7 als Vornorm veröffentlicht mit dem Titel „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“. In dieser Fassung wird der Begriff „Zuverlässigkeit“ nicht mehr in Verbindung mit der Zuverlässigkeitstheorie verwendet und das Wort “Wahrscheinlichkeit” beschränkt sich auf die Definition von charakteristischen Werten von geotechnischen Kenngrößen mit statistischen Methoden.

Nach der Veröffentlichung des Eurocode 7 als Vornorm und der Einführung des Teilsicherheitskonzepts konzentrierte sich die Diskussion nun auf folgende Fragen:

- welche der bei einer geotechnischen Bemessung eingehenden Parameter sollen mit Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt werden und
- an welcher Stelle der Nachweise sind die Teilsicherheitsbeiwerte einzuführen?

Die Vornorm des Eurocode 7 schlug vor, den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit im Baugrund mit zwei Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwerten, den sog. Fällen B und C durchzuführen.

Der Nachweis nach Fall B soll einen sicheren Entwurf gewährleisten für den Fall ungünstiger Abweichungen der Einwirkungen von den charakteristischen Werten. Im Fall B werden daher auf die ständigen und veränderlichen Einwirkungen Teilsicherheitsbeiwerte größer als 1 angesetzt.

Der Nachweis nach Fall C soll einen sicheren Entwurf gewährleisten für den Fall ungünstiger Abweichungen der Bodenkennwerte von den angesetzten charakteristi-

schen Werten. Im Fall C werden daher die charakteristischen Boden-kennwerte mit Teilsicherheitsbeiwerten größer als 1 beaufschlagt.

Das Nachweiskonzept mit den Fällen B und C stieß auf beträchtlichen Widerstand vor allem in Frankreich und Deutschland. Die den Fällen B und C zugrunde liegende Bemessungsphilosophie überzeugte aus folgenden Gründen nicht:

- es konnte keine ausreichende Sicherheit gewährleisten im Fall, dass sich ungünstige Abweichungen der Bodenkennwerte und der Einwirkungen überlagern und
- es war nicht möglich, ein konstantes Sicherheitsniveau einzuhalten, wenn der Reibungsbeiwert $\tan \varphi$ mit einem Teilsicherheitsbeiwert beaufschlagt wird.

Vergleichsrechnungen zeigten (Weißbach, 1991), dass für Flächen Gründungen und Stützwände ein Teilsicherheitsbeiwert auf die Scherfestigkeit des Baugrunds in einigen Fällen zu größeren Fundamentabmessungen und in anderen Fällen zu kleineren Abmessungen führen würde als bei Anwendung des alten Globalsicherheitskonzepts. Der Grund dafür lag darin, dass sich bei großem Reibungswinkel eine größere Abminderung des Beiwerts für den aktiven Erddruck ergibt als für kleinere Reibungswinkel. Darüber hinaus wurde kritisiert, dass bei einer Beaufschlagung der Scherparameter mit Teilsicherheitsbeiwerten dem Nachweis eine falsche Bruchgeometrie zugrunde liegen würde. Eine detaillierte Kritik an der Vornorm und ein Verbesserungsvorschlag findet sich in Schuppener et. al. (1998) und Weißbach (1998).

Parallel zur Arbeit am Eurocode 7 wurde die deutsche DIN 1054 von 1976 überarbeitet, die nun den neuen Titel „Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ erhielt. Bei dieser Überarbeitung stand der Gedanke Pate, die Geotechniker in Deutschland so früh wie möglich mit dem Teilsicherheitskonzept der Eurocodes bekannt zu machen und sie damit auch in die Lage zu versetzen, sich mit der notwendigen Fachkompetenz an den Fachdiskussionen bei der Erarbeitung des Eurocodes zu beteiligen.

Bei der Überarbeitung der DIN 1054 ist auch ein Verfahren entwickelt worden, das später als Nachweisverfahren 2 in der Endfassung des EC 7-1 Eingang fand. Um die eben geschilderten Ungereimtheiten im EC 7-1 zu beseitigen, wurde in der neuen DIN 1054-100 (1996) vorgeschlagen:

- im ersten Schritt die charakteristischen Werte der Einwirkungen und Widerstände mit Hilfe der charakteristischen Werte der Bodenkenngrößen zu ermitteln und
- erst am Ende des Nachweises die Teilsicherheitsbeiwerte auf die resultierenden charakteristischen

Werte der Beanspruchungen und Widerstände anzuwenden.

Dies sog. Weißbach-Verfahren wurde dann in die Endfassung des EC 7-1 als eine von 3 Optionen der Nachweisverfahren aufgenommen, die der EC 7-1 zur Wahl stellt.

4. Teilsicherheitsbeiwerte

Deutschland hat eine mehr als 70-jährige Tradition von Normen in der Geotechnik. Die erste Ausgabe der DIN 1054 wurde 1934 mit dem Titel „Richtlinie für die zulässige Belastung des Baugrunds im Hochbau“ veröffentlicht. Seitdem wurden die geotechnischen Normen laufend optimiert und sie haben mittlerweile eine hervorragende Qualität erreicht. Das Sicherheitsniveau des bisherigen globalen Sicherheitskonzepts hat sich bewährt, die gewählten Sicherheitsbeiwerte haben einen sicheren und wirtschaftlichen geotechnischen Entwurf ermöglicht.

Aus diesem Grund ist der zuständige Normenausschuss bei der Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte von dem Grundsatz ausgegangen, dass bei der Umstellung auf das Nachweiskonzept der Eurocodes das bewährte Sicherheitsniveau erhalten bleiben sollte. Die Nachweisverfahren und die Teilsicherheitsbeiwerte waren daher so auszuwählen, dass eine Bemessung auf Grundlage des EC 7-1 etwa zu den gleichen Abmessungen führt wie eine Gründungsbemessung nach den Normen des Globalsicherheitskonzepts.

Das Sicherheitsniveau des Globalsicherheitskonzepts lässt sich sehr einfach auf das Teilsicherheitskonzept übertragen. Man muss nur gewährleisten, dass das Produkt aus dem gewichteten mittleren Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,Q}$ für die ständigen und veränderlichen Beanspruchungen und dem Teilsicherheitsbeiwert γ_R für die Widerstände des Baugrunds gleich dem globalen Sicherheitsbeiwert η_{global} ist:

$$\gamma_{G,Q} \cdot \gamma_R = \eta_{\text{global}}$$

Die europäischen Normenmacher im Bauingenieurwesen waren sich darüber einig, für die ständigen und veränderlichen Einwirkungen im gesamten konstruktiven Ingenieurbau - also auch für die Einwirkungen aus dem Baugrund - die gleichen Teilsicherheitsbeiwerte zu verwenden. Daher wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die ständigen und veränderlichen Einwirkungen von $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,50$ des Eurocode „Grundlagen der Tragwerksplanung“ übernommen.

Setzt man einen gewichteten Mittelwert von $\gamma_{G,Q} = 1,40$ für die ständigen und veränderlichen Einwirkungen an, dann kann man aus der obigen Gleichung den Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand des Baugrunds ermitteln. Auf diese Weise wurden die Teilsicherheits-

beiwerte für den Widerstand des Baugrunds für alle Lastfälle der Standsicherheitsnachweise von Gründungen bestimmt.

Aus diesem wird klar, dass die Teilsicherheitsbeiwerte des Eurocode 7 nicht - wie ursprünglich geplant - ein Maß für die Zuverlässigkeit sind, mit der Einwirkungen und Widerstände in einen geotechnischen Nachweis bestimmt werden können. Das Teilsicherheitskonzept ist tatsächlich eher ein Globalsicherheitskonzept.

Theoretisch berücksichtigen die Teilsicherheitsbeiwerte der Eurocodes keine menschlichen Fehler. Nach den Definitionen der Eurocodes decken die Teilsicherheitsbeiwerte nur Modelunsicherheiten und ungünstige Abweichungen der Materialeigenschaften und Einwirkungen von ihren charakteristischen Werten ab. Obwohl menschliche Fehler auch bei den Normen mit dem Globalsicherheitskonzept nie explizit erwähnt wurden, ist man doch immer davon ausgegangen, dass menschliche Fehler in den Sicherheitsbeiwerten in beschränktem Maß berücksichtigt werden. Es war immer das Ziel, eine robuste und wirtschaftliche Konstruktion zu entwerfen, die nicht schon bei kleineren Fehlern versagt.

Man kann daher feststellen, dass mit der Übernahme des Sicherheitsniveaus des Globalsicherheitskonzepts bei der zukünftigen Anwendung des Teilsicherheitskonzepts "kleine" menschliche Fehlern ebenfalls berücksichtigt werden.

5. Ausblick

Unter allen Experten der Geotechnik ist man sich einig, dass menschliche Fehler das größte Risiko in der Geotechnik und im Bauingenieurwesen allgemein darstellen. Dem Verfasser erscheint daher für die Zukunft die Einarbeitung der Gefährdungsbildtheorie (Vollenweiden, 1983 und SIA 260:2003 und SIA 267:2003) oder der Risikosimulationsrechnung (Ziegler, 2002) in die geotechnische Normen zielführender zu sein, zumal die dahinter stehenden Theorien ingenieurmäßiger und praxisnäher sind. Besonders wichtig in diesem Zusammenhang ist aber die Überwachung der Bauausführung durch Bauaufsicht bzw. Prüfsingenieure. Leider ist hier von Seiten der Politik ein entgegengesetzter Weg eingeschlagen worden. Darüber hinaus lässt sich das Sicherheitsniveau von geotechnischen Bauwerken erheblich steigern, wenn bei der Herstellung mehr Wert auf die Qualitätssicherung gelegt würde. Deshalb sollte man in Zukunft die Anstrengungen vor allem auf die Verbesserung der Qualitätssicherung bei der Baugrunderkundung und der Bauausführung konzentrieren, um die Sicherheit im Bauwesen zu erhöhen.

Literaturverzeichnis

- Alber, D. (1992): *Überlegungen und Verfahren zur Schätzung statistischer Parameter von Bodenkennwerten*, Bauingenieur 67 (1992), S 39 - 45.
- Blaut, H. (1982): Diskussionsbeitrag bei der Podiumsdiskussion zur Spezialsitzung „Sicherheit im Grundbau“ Vorträge der Baugrundtagung, Braunschweig
- Breitschaft, G. and Hanisch, J.: *Neues Sicherheitskonzept im Bauwesen aufgrund wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen – Folgerungen für den Grundbau unter Einbeziehung der Probenahme und der Versuchsauswertung*, Vorträge der Baugrundtagung in Berlin, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Eigenverlag, 1978
- DIN 1054-100 (1996): *Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*, Beuth Verlag, Berlin
- DIN 1054:2010-12: *Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau -Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1*, Beuth Verlag, Berlin
- Eder, F. (1983): *Erläuterung des Statistischen Sicherheitskonzepts am Beispiel einer Rutschung*, Buchkapitel in: Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau, TU Graz, Nr.
- Franke, E. (1990): *Neue Regelung der Sicherheitsnachweise im Zuge der Europäischen Bau-Normung - Von der deterministischen zur probabilistischen Sicherheit auch im Grundbau?* Bautechnik 7/1990
- Gässler, G.: *Anwendung des statistischen Sicherheitskonzeptes auf verankerte Wände und vernagelte Wände*, Vorträge der Baugrundtagung, Braunschweig, S 49 – 81, 1982
- Genske, D.D. und Walz, B. (1987): *Anwendung der probabilistischen Sicherheitsphilosophie auf Grundbruchberechnungen nach DIN 4017*, geotechnik 10, S 53 – 66
- Gudehus, G. (1987): *Sicherheitsnachweise für Grundbauwerke*, Geotechnik 10, S. 4-34
- Hanisch, J. und Struck, W. (1992): *Betrachtungen zur Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte für Pfahlbelastungen aus Stichprobenergebnissen und zusätzlichen Informationen*, Geotechnik 1992, S 138 ff
- Hanisch, J. und Struck, W. (1985): *Charakteristischer Wert einer Boden- oder Materialeigenschaft aus Stichprobenergebnissen und zusätzlicher Information*, Bautechnik 10/1985
- Hartmann, R., Nawari, O. (1996): *Ansatz der Fuzzy-Logik und –Set Theorie in der Geotechnik – neue Wege zur Unsicherheits- und Risikobewertung*. Vorträge der Baugrundtagung in Berlin, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Eigenverlag
- Heibaum, M. (1987): *Zur Frage der Standsicherheit verankerter Stützwände auf der tiefen Gleitfuge*, Darmstadt; Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Heft 27

- Katzenbach, R., Moormann, C. (2003): *Überlegungen zu stochastischen Methoden in der Bodenmechanik am Beispiel des Frankfurter Tons*, Heft 16 der Gruppe Geotechnik, Technische Universität Graz, pp 255-282
- Kramer, H. (1982): Diskussionsbeitrag bei der zur Spezialsitzung „Sicherheit im Grundbau“ Vorträge der Baugrundtagung 1982, Braunschweig
- Matousek, M. und Schneider, J.: *Untersuchungen zur Struktur des Sicherheitsproblems bei Bauwerken*, Bericht Nr. 59 aus dem Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich, Basel und Stuttgart: Birkhäuser Verlag, 1976
- Orr, T. (2007): *The Story of Eurocode 7*, Spirit of Krebs Ovesen Session, European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, 2007
- Peintinger, B.: *Auswirkung der räumlichen Streuung von Bodenkennwerten*, Vorträge der Baugrundtagung Braunschweig, 1982, S 105 – 117, 1982
- Pöttler, R.; Schweiger, H.F.; Thurner, R. (2001): *Probabilistische Untersuchungen für den Tunnelbau – Grundlagen und Berechnungsbeispiel*, Bauingenieur - Ausgabe 03-2001, S. 101
- Pottharst, R.: *Erläuterung des statistischen Sicherheitskonzepts am Beispiel des Grundbruchs*, Vorträge der Baugrundtagung, Braunschweig, S 9
- Rackwitz, R.: *Können Vorinformationen über den Baugrund quantifiziert werden?* Vorträge der Baugrundtagung 1982, Braunschweig, S 83 – 104, 1982
- Reitmeier, W. (1989): *Quantifizierung von Setzungsdifferenzen mit Hilfe einer stochastischen Betrachtungsweise*, Lehrstuhl und Prüfamf für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universität München, Schriftenreihe Heft 13
- Russelli, C. (2008): *Probabilistic methods applied to the bearing capacity problem*, Mitteilung 58 - Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart
- Sadgorski, W. (1983): Neues vom Eurocode 7, Geotechnik 6, S 107 – 110
- Schneider, J. (1994): *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen*, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart
- Schuppener, B., Walz, B., Weißenbach, A. und Hock-Berghaus K. (1998): *EC7 – A critical review and a proposal for an improvement: a German perspective*, Ground Engineering, Vol. 31, No. 10
- SIA 260:2003 *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*, Editor: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2003) Postfach, CH-8039 Zürich
- SIA 267:2003 *Geotechnik*, Editor: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Postfach, CH-8039 Zürich
- Smoltczyk, U. und Schad, H. (1990): *Zur Diskussion der Teilsicherheitsbeiwerte für den Grundbruchnachweis*, Geotechnik 13 (1990) S. 41-43
- Stahlmann, J.; Schmitt, J.; Fritsch, M. (2007): *Anwendung probabilistischer Methoden zur Simulation der stofflichen Inhomogenitäten des Untergrunds in der Geotechnik*, Bauingenieur - Ausgabe 5/2007, S. 214-223
- Vollenweider, U. (1982): Diskussionsbeitrag bei der zur Spezialsitzung „Sicherheit im Grundbau“ Vorträge der Baugrundtagung, Braunschweig
- Vollenweider, U. (1983): *Denkanstöße im Grundbau oder die Lösung grundbaulicher Probleme mittels Gefährdungsbildern*, Schweizer Ingenieur und Architekt, 7/83
- von Soos, P.: *Zur Ermittlung der Bodenkennwerte mit Berücksichtigung von Streuung und Korrelationen*, Vorträge der Baugrundtagung 1982, Braunschweig, S. 83 – 104, 1982
- von Soos, P.: (1990), *Die Rolle des Baugrunds bei der Anwendung der neuen Sicherheitstheorie im Grundbau*, geotechnik 13 (1990), S, 82-91
- Weißenbach, A. (1991): Diskussionsbeitrag zur Einführung des probabilistischen Sicherheitskonzepts im Erd- und Grundbau, Bautechnik 68, Heft 3 S. 73-83 (1991)
- Weißenbach, A. (1998): *Umsetzung des Teilsicherheitskonzepts im Erd- und Grundbau*, Bautechnik 9/1998
- Ziegler, M. (2002): *Risikosimulationsrechnung – eine Möglichkeit zur Quantifizierung von Sicherheit und Risiko in der Geotechnik*, Vorträge der Baugrundtagung in Mainz, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Eigenverlag