

# Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode and the basis of structural and geotechnical design (the second generation of EN 1990 and EN 1997)

## Felsbauplanung mit dem geotechnischen Werkzeugkasten von morgen: Eurocode und die Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken (die zweite Generation der EN 1990 und EN 1997)

The current first generation of Eurocodes is a suite of ten European standards for the design of buildings and civil engineering works, whose implementation started in 2010. EN 1990 sets the basis of structural design, with the other Eurocodes dealing with different materials and specific aspects of design. Geotechnical aspects of design are covered by EN 1997 "Geotechnical design", usually called Eurocode 7.

The evolution of the Eurocodes started in 2012 and the main objectives of their revision were to incorporate improvements that reflect the state-of-the-art in engineering design and the needs of the civil engineering market, to improve the ease-of-use and to harmonize practice between countries. While the original version was developed largely based on soil mechanics, the aim was that the revised version treats soil and rock on an equal basis.

The second generation of the Eurocodes is now nearly finished, and the revised EN 1997 is expected to be formally approved in 2024. This paper is the first of a set of six informative papers on the revised Eurocodes and rock engineering, prepared by members of the Rock Engineering Platform of CEN/TC250/SC7, a group of rock engineering experts that has been assisting in drafting EN 1997 from a rock-engineering perspective. The paper presents the main changes to EN 1990 and EN 1997 as far as they affect geotechnical and rock engineering design.

Die derzeitige erste Generation der Eurocodes ist eine Reihe von zehn europäischen Normen für die Planung von Gebäuden und Bauwerken, deren Umsetzung im Jahr 2010 begann. EN 1990 legt die Grundlagen für die Tragwerksplanung fest, die anderen Eurocodes behandeln die verschiedenen Bereiche des Bauwesens. Die Geotechnische Ingenieurbauwerke werden in EN 1997 „Geotechnische Bemessung“, üblicherweise Eurocode 7 genannt, behandelt.

Die Entwicklung der zweiten Generation des Eurocodes begann im Jahr 2012 und die Hauptziele ihrer Überarbeitung waren die Einbeziehung von Verbesserungen, die den Stand der Technik in der Planung und die Bedürfnisse des Baumarkts widerspiegeln, die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und die Harmonisierung der Praktiken zwischen den Ländern. Während die erste Generation weitgehend auf das Medium Boden fokussiert war, sollten in der überarbeiteten, zweiten Generation die Medien Boden und Fels gleichberechtigt behandelt werden. Die zweite Generation der Eurocodes ist nun fast fertiggestellt, und der überarbeitete EN 1997 wird voraussichtlich 2024 formal genehmigt. Die vorliegende Veröffentlichung ist die erste aus einer Reihe von sechs Veröffentlichungen, in denen über die Berücksichtigung des Felsbaus in der Entwicklung des Eurocodes berichtet wird. Die Veröffentlichungen wurden von Mitgliedern der „Plattform Felsbau“ des CEN/TC250/SC7 erstellt, einer Gruppe von Felsbauingenieuren, die an der Ausarbeitung der EN 1997 aus Sicht des Felsbaus mitgewirkt haben. Der Beitrag stellt die wichtigsten Änderungen an EN 1990 und EN 1997 vor, soweit sie die geotechnische und felsbauliche Planung betreffen.

**Keywords** Eurocode; geotechnical structures; rock engineering; design

**Stichworte** Eurocode; Geotechnik; Felsbau; Felsmechanik; Planung und Entwurf im Felsbau

### 1 Introduction

This paper is part of a series of six papers [1–5] addressing new developments and changes in the upcoming second generation of Eurocode 7 "Geotechnical design" with a

### 1 Einleitung

Dieser Beitrag ist Teil einer Serie von sechs Beiträgen [1–5], die sich mit neuen Entwicklungen und Änderungen in der kommenden zweiten Generation des Eurocodes 7/

**Tab. 1** Suite of papers on "Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox"

Tab. 1 Reihe von Veröffentlichungen zum Thema "Felsbauplanung mit dem geotechnischen Werkzeugkasten von morgen"

Paper 1	Eurocode and the basis of structural and geotechnical design (the second generation of EN 1990 and EN 1997) <i>Eurocode und die Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken (die zweite Generation der EN 1990 und EN 1997)</i>
Paper 2	Eurocode 7 – General Rules (EN 1997-1:2024) <i>Eurocode 7 – Allgemeine Regeln (EN 1997-1:2024)</i>
Paper 3	Eurocode 7 – Ground properties (EN 1997-2:2024) <i>Eurocode 7 – Baugrundeigenschaften (EN 1997-2:2024)</i>
Paper 4	Eurocode 7 – Geotechnical structures: slopes, spread foundations and retaining structures (EN 1997-3:2024) <i>Eurocode 7 – Geotechnische Bauwerke: Böschungen, Flachgründungen und Stützkonstruktionen (EN 1997-3:2024)</i>
Paper 5	Eurocode 7 – Geotechnical structures: anchors, reinforced fill structures, ground reinforcing elements, ground improvement and groundwater control (EN 1997-3:2024) <i>Eurocode 7 – Geotechnische Bauwerke: Anker, Felsbolzen, Bodennägel und Grundwasserüberwachung (EN 1997-3:2024)</i>
Paper 6	Perspectives on the evolution to the 2035 third generation of Eurocode <i>Perspektiven der Entwicklung der dritten Generation des Eurocodes 2035</i>

focus on rock engineering, based on the nearly final drafts available in July 2023. All six papers, listed in Tab. 1, have in common the first part of the title "Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox", followed by the contents of the paper.

A series of more general papers has been presented at the ECSMGE conference in Reykjavik 2019 [6–10]. Some content of these papers will be reused here with the permission of the authors.

The Structural Eurocodes are a suite of ten European standards (EN 199x) for the design of buildings and civil engineering works. The work for the development of the Eurocodes started in 1975, but it was not before the early eighties that geotechnical aspects of design started being considered in a systematic way. Publication of the Eurocodes by the European Committee for Standardization (CEN) was completed in 2007, and their implementation started in 2010, when contradictory national standards were withdrawn.

EN 1990:2002 [11] sets the basis of structural design, with the other Eurocodes dealing with different materials and specific aspects of design, such as the actions on structures, geotechnical design and the design of structures for earthquake resistance (Tab. 2). Geotechnical aspects of design are covered by EN 1997 "Geotechnical design", usually called Eurocode 7, with two parts: EN 1997-1:2004 "General rules" [12] and EN 1997-2:2007 "Ground investigation and testing" [13].

In 2010 the European Commission (EC) invited CEN to initiate the process of evolution of the Eurocode system, incorporating both new and revised Eurocodes. The reply prepared by the technical committee responsible for this process, CEN/TC250, included a work programme including the revision of the existing Eurocodes and a new Eurocode "Design of glass structures" that was approved in 2012 by the EC. Sub-committee

EN 1997 „Geotechnische Bemessung“ befassen, wobei der Schwerpunkt auf dem Felsbau liegt. Er basiert auf den nahezu endgültigen Entwürfen<sup>1</sup>, die im Juli 2023 vorliegen. Alle sechs Beiträge, die in Tab. 1 aufgeführt sind, haben den ersten Teil des Titels „Felsbauplanung mit dem geotechnischen Werkzeugkasten von morgen“ gemeinsam, gefolgt vom Inhalt des Beitrags.

Eine Reihe von allgemeineren Veröffentlichungen wurde auf der ECSMGE-Konferenz in Reykjavik 2019 vorgestellt [6–10]. Einige Inhalte dieser Papiere werden hier mit der freundlichen Genehmigung der Autoren wiederverwendet.

Die Eurocodes für Tragwerke sind eine Reihe von zehn europäischen Normen (EN 199x) für die Planung von Gebäuden und Bauwerken. Die Arbeiten zur Entwicklung der Eurocodes begannen 1975, aber erst in den frühen achtziger Jahren wurden geotechnische Aspekte der Planung systematisch berücksichtigt. Die Veröffentlichung der Eurocodes durch das Europäische Komitee für Normung (CEN) wurde 2007 abgeschlossen, und ihre Umsetzung begann 2010, als widersprüchliche nationale Normen zurückgezogen wurden.

Die EN 1990:2002 [11] bildet die Grundlage für die Tragwerksplanung, während die anderen Eurocodes sich mit verschiedenen Materialien und spezifischen Aspekten der Planung befassen, z.B. mit den Einwirkungen auf Bauwerke, der geotechnischen Bemessung und der Auslegung von Bauwerken für die Erdbebensicherheit (Tab. 2). Geotechnische Aspekte der Bemessung werden durch EN 1997 „Geotechnische Bemessung“, gewöhnlich Eurocode 7 genannt, mit zwei Teilen abgedeckt: EN 1997-1:2004 „Allgemeine Regeln“ [12] und EN 1997-2:2007 „Baugrunduntersuchung und -prüfung“ [13].

<sup>1</sup> Da der Normentwurf derzeit nur in englischer Fassung vorliegt, sind die Übersetzungen einzelner Fachbegriffe und Textzitate als nur vorläufig anzusehen. Eine offizielle deutsche Fassung der Norm ist im Herbst 2024 zu erwarten.

**Tab. 2** The structural Eurocode suite**Tab. 2** Die Eurocodes im Bauwesen

EN 1990	Eurocode	Basis of structural design <i>Grundlagen der Tragwerksplanung</i>
EN 1991	Eurocode 1	Actions on structures <i>Einwirkungen auf Tragwerke</i>
EN 1992	Eurocode 2	Design of concrete structures <i>Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken</i>
EN 1993	Eurocode 3	Design of steel structures <i>Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten</i>
EN 1994	Eurocode 4	Design of composite steel and concrete structures <i>Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton</i>
EN 1995	Eurocode 5	Design of timber structures <i>Bemessung und Konstruktion von Holzbauten</i>
EN 1996	Eurocode 6	Design of masonry structures <i>Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten</i>
EN 1997	Eurocode 7	Geotechnical design <i>Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik</i>
EN 1998	Eurocode 8	Design of structures for earthquake resistance <i>Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben</i>
EN 1999	Eurocode 9	Design of aluminium structures <i>Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken</i>

CEN/TC250/SC7 became responsible for the revision of Eurocode 7.

Successive working groups of rock engineering experts were formed under CEN/TC250/SC7 to give input and accompany the development of the revision, and to comment on the successive drafts. These groups organised a workshop in 2014 in Vigo [14] and published three collective papers [15–17] on rock engineering aspects. Some content of these papers will be reused here with permission of the authors. The current group is the Rock Engineering Platform (REP), which is formed by all experts working in the Eurocode 7 revision process with interest in rock engineering design. All authors of this series of six papers mentioned in the introductory paragraph are members of the REP.

The primary objectives of the evolution of the Eurocodes are to incorporate improvements that reflect the state-of-the-art in engineering design and the needs of the civil engineering market; to improve the ease-of-use of the standards; and to harmonize practice between countries. With regard to geotechnical design, plans have been made to change Eurocode 7 in the following way [18]:

- Restructure Eurocode 7 to make it more consistent with other Eurocodes, easier to understand and navigate, more comprehensive in its technical coverage and easier to make space for new topics.
- Improve guidance on selecting characteristic ground parameters and design water pressures, applying Euro-

Im Jahr 2010 forderte die Europäische Kommission (EC) das CEN auf, den Prozess der Weiterentwicklung des Eurocode-Systems einzuleiten und dabei sowohl neue als auch überarbeitete Eurocodes einzubeziehen. Die Antwort des für diesen Prozess zuständigen technischen Komitees CEN/TC250 enthielt ein Arbeitsprogramm, das die Überarbeitung der bestehenden Eurocodes und einen neuen Eurocode „Design of glass structures“ umfasste, der 2012 von der Europäischen Kommission genehmigt wurde. Die Gruppe CEN/TC250/SC7 wurde mit der Überarbeitung des Eurocodes 7 betraut.

Im Rahmen der Arbeit des CEN/TC250/SC7 wurden mehrere Arbeitsgruppen von Felsbauexperten gebildet, die die Entwicklung der Überarbeitung begleiten und die nachfolgenden Entwürfe kommentieren sollten. Diese Gruppen organisierten 2014 einen Workshop in Vigo [14] und erarbeiteten drei Veröffentlichungen [15–17] zu Aspekten des Felsbaus. Einige Inhalte dieser Papiere werden hier mit Genehmigung der Autoren wiederverwendet. Die aktuelle Gruppe ist die „Rock Engineering Platform“ (REP), die sich aus allen Experten zusammensetzt, die an der Überarbeitung des Eurocodes 7 mitwirken und sich für die Planung im Felsbau engagieren. Alle Autoren dieser sechs Beiträge, die im einleitenden Absatz erwähnt werden, sind Mitglieder des REP.

Die primären Ziele der Weiterentwicklung der Eurocodes sind Verbesserungen, die den Stand der Technik und die Bedürfnisse des Ingenieurmarkts widerspiegeln, die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit der Normen und die Harmonisierung der Praxis zwischen den Ländern.

code 7 to numerical methods and on rock engineering and dynamic design.

- Improve ease-of-use by improving clarity of existing clauses, removing repetitions and removing unnecessary information.

The need for improving rock engineering on Eurocode 7 is explicitly recognized. While the original version was developed largely based on soil mechanics, without involvement of rock mechanics experts, the aim is that the revised version of Eurocode 7 will treat soil and rock on an equal basis.

The most relevant changes in the second generation of EN 1990, namely those with impact in geotechnical engineering design, as well as a general overview of the main changes in the second generation of EN 1997, including the new structure and contents, are presented in chapters 2 and 3 of this paper. Details on the revision of the different parts of EN 1997 are included in four of the companion papers of this series [1–4]. The final paper of this series [5] analyses what aspects should be included in a third generation of EN 1997 in 10 to 15 years.

At the time of writing this paper the revised EN 1990 [19] has passed its formal vote. Subsequently, a decision has been made to split EN 1990 into two parts: the first (EN 1990-1) covering New Structures and the second (EN 1990-2) Assessment of Existing Structures. The current EN 1997 drafts [20–22], went through the formal enquiry process and the comments received from the national standardization bodies (NSB) are being considered to prepare the final drafts for formal votes, which are scheduled by TC 250/SC7 to be finalized by August 2023 for EN 1997-1 and EN 1997-2, and by February 2024 for EN 1997-3. After being translated into French and German, the formal votes by the NSBs are expected to be completed by May 2024 for EN 1997-1 and EN 1997-2, and by November 2024 for EN 1997-3. This is why the titles of the papers in this series adopt 2024 as the date of publication of the three parts of EN 1997, hopefully not in an excessively optimistic manner.

Once EN 1997 has been published by the NSBs, with National Annexes, it will be available for use. The second generation of Eurocodes has a common latest date for publication (DoP) in September 2027, followed by the latest date for withdrawal (DoW) of existing Eurocode parts in March 2028, when existing standards must be withdrawn, and rock engineering design will have to comply with them.

## 2 Main changes in the second generation of EN 1990

### 2.1 General aspects

A key point of the changes in EN 1990 concerning geotechnics has been the inclusion of geotechnical design, which was previously concentrated in EN 1997. Most of

Im Hinblick auf die geotechnische Bemessung ist geplant, den Eurocode 7 in folgender Weise zu ändern [18]:

- Umstrukturierung des Eurocodes 7, um ihn konsistenter mit anderen Eurocodes zu machen, leichter verständlich und übersichtlich, umfassender in seinem technischen Inhalt und einfacher, um Platz für neue Themen zu schaffen,
- Bessere Anleitung zur Auswahl charakteristischer Baugrundkennwerte und Bemessungswasserdrücke, zur Anwendung von numerischen Methoden und zum Felsbau unter Berücksichtigung dynamischer Einwirkungen,
- Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit durch Verbesserung der Klarheit bestehender Klauseln, Beseitigung von Wiederholungen und Entfernung unnötiger Informationen.

Die Notwendigkeit einer Verbesserung der Anwendung des EN 1997 im Felsbau wird ausdrücklich anerkannt. Während die ursprüngliche Version des Eurocodes weitgehend auf bodenmechanischen Grundlagen und ohne Einbeziehung von Felsbauingenieuren entwickelt wurde, sollen in der überarbeiteten Version des Eurocodes 7 Boden und Fels gleichberechtigt behandelt werden.

Die wichtigsten Änderungen in der zweiten Generation von EN 1990, insbesondere diejenigen, die sich auf die geotechnische Planung auswirken, sowie ein allgemeiner Überblick über die wichtigsten Änderungen in der zweiten Generation von EN 1997, einschließlich der neuen Struktur und des neuen Inhalts, werden in den Kapiteln 2 und 3 dieses Beitrags vorgestellt. Einzelheiten zur Überarbeitung der verschiedenen Teile von EN 1997 sind in vier Begleitpapieren dieser Reihe [1–4] enthalten. Im letzten Beitrag dieser Reihe [5] wird analysiert, welche Aspekte in einer dritten Generation der EN 1997 in 10 bis 15 Jahren enthalten sein sollten.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags hat die überarbeitete EN 1990 [19] ihre formale Abstimmung hinter sich. Danach wurde beschlossen, die EN 1990 in zwei Teile aufzuteilen: den ersten (EN 1990-1) für neue Bauwerke und den zweiten (EN 1990-2) für die Bewertung bestehender Bauwerke. Die aktuellen Entwürfe des EN 1997 [20–22] haben das formale Umfrageverfahren durchlaufen, und die von den nationalen Normungsgremien (NSB) eingegangenen Kommentare werden berücksichtigt, um die endgültigen Entwürfe für die formale Abstimmung vorzubereiten, die vom TC 250/SC7 bis August 2023 für EN 1997-1 und EN 1997-2 und bis Februar 2024 für EN 1997-3 abgeschlossen sein sollen. Nach der Übersetzung ins Französische und Deutsche werden die formellen Abstimmungen durch die NSBs für EN 1997-1 und EN 1997-2 voraussichtlich bis Mai 2024 und für EN 1997-3 bis November 2024 abgeschlossen sein. Aus diesem Grund wird in den Titeln der Beiträge dieser Reihe das Jahr 2024 als Datum für die Veröffentlichung der drei Teile von EN 1997 angenommen, hoffentlich nicht auf allzu optimistische Weise.

the material covered by clause 2 of the existing EN 1997 “Basis of geotechnical design” were moved to EN 1990 in the second generation. In this way, the basic principles of structural design and geotechnical design are considered together in EN 1990, which is now entitled “Basis of structural and geotechnical design”. Consequently, the definitions of “ground” (soil, rock and fill existing in place prior to the execution of construction works) and “geotechnical structure” (structure that includes ground or a structural member that relies on the ground for resistance) were introduced in EN 1990.

The existing EN 1990 is founded on limit state concepts, and reliability of design is provided mainly by a semi-probabilistic method based on partial factors. Applying the same method to geotechnical design has proved to be difficult and, to try to overcome these difficulties, for geotechnical design three different Design Approaches were considered in the existing EN 1997-1, with specific sets of partial factors, and each country chose the Design Approaches to be used for each type of geotechnical structure. The revised EN 1990 presents improvements in this regard. The Design Approaches were removed from EN 1997-1, and the methods presented were extended to reflect the features of geotechnical engineering. Furthermore, the four ultimate limit states that need to be verified in the existing EN 1990 (EQU, STR, GEO and FAT) were abandoned and a generalised process of verification of limit states was implemented. Another relevant change for geotechnical design has been the consideration, in a clearer way, of the design resistance, based on factoring the material strength (material factor approach – MFA) or the resistance (resistance factor approach – RFA).

Another relevant aspect that has been considered in the revised EN 1990 is the use of probabilistic methods of design. While the partial factor method is the main method of verification, its use is recommended but not mandatory, and probabilistic methods may be used in alternative. However, the revised EN 1990 does not address the specific use of prescriptive measures or of the observational method in geotechnical design.

The revised EN 1990 has no reference to rock masses or to any specific aspect of rock engineering design. However, some aspects related to the influence of geometrical properties (e.g., of discontinuities) on material properties were included, which introduce the concept of discontinuous material right in the head Eurocode, and this is relevant for the subsequent text included in EN 1997 concerning rock engineering (see 2.4). Besides, a note was included concerning the use of the reliability-based approach in ground conditions such as rock, which are strongly affected by discontinuities and other geometrical phenomena (see 2.3).

These and other aspects will be presented in the following sections, following the table of contents of the revised EN 1990. The sequence of main clauses of the revised EN 1990 was not significantly changed from the existing

Sobald die EN 1997 von den nationalen Normungsinstituten mit nationalen Anhängen veröffentlicht wurde, wird sie zur Anwendung kommen. Die zweite Generation der Eurocodes hat ein gemeinsames spätestes Datum für die Veröffentlichung (DoP) im September 2027, gefolgt von dem spätesten Datum für die Zurückziehung (DoW) der bestehenden Eurocode-Teile im März 2028, wenn die bestehenden Normen zurückgezogen werden müssen und die Planung und Bemessung von Felsbauwerken mit ihnen übereinstimmen muss.

## 2 Wichtigste Änderungen in der zweiten Generation der EN 1990

### 2.1 Allgemeine Aspekte

Ein wesentlicher Punkt der Änderungen in EN 1990, die die Geotechnik betreffen, war die Einbeziehung der geotechnischen Bemessung, die zuvor in EN 1997 konzentriert war. Die meisten Inhalte des Abschnitts 2 der bestehenden EN 1997 „Grundlagen der geotechnischen Bemessung“ wurden in der zweiten Generation in die EN 1990 übernommen. Auf diese Weise werden die Grundlagen der Tragwerksplanung und der geotechnischen Planung in der EN 1990, die nun den Titel „Grundlagen der Tragwerksplanung und der geotechnischen Planung“ trägt, gemeinsam betrachtet. Folglich wurden in EN 1990 die Definitionen von „Boden“ (Boden, Fels und Aufschüttungen, die vor der Ausführung von Bauwerken vorhanden sind) und „geotechnisches Bauwerk“ (Bauwerk, das den Boden oder ein Bauteil umfasst, das auf den Boden als Widerstand angewiesen ist) eingeführt.

Die bestehende EN 1990 basiert auf der Bemessung mit Grenzzuständen und die Zuverlässigkeit der Bemessung wird hauptsächlich durch eine semi-probabilistische Methode auf der Grundlage von Teilsicherheitsbeiwerten gewährleistet. Die Anwendung dieser Methode auf die geotechnische Bemessung hat sich als schwierig erwiesen und um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wurden in der bestehenden EN 1997-1 für die geotechnische Bemessung drei verschiedene Bemessungsansätze mit spezifischen Teilsicherheitsbeiwerten berücksichtigt. Jedes Land wählte eigene Bemessungsansätze, die für jede Art von geotechnischen Strukturen zu verwenden waren. Die überarbeitete EN 1990 enthält in dieser Hinsicht Verbesserungen. Die Bemessungsansätze wurden aus der EN 1997-1 entfernt und die vorgestellten Methoden wurden erweitert, um die Besonderheiten der Geotechnik zu berücksichtigen. Außerdem wurden die vier Grenzzustände der Tragfähigkeit, die in der bestehenden EN 1990 nachgewiesen werden müssen (EQU, STR, GEO und FAT), aufgegeben und ein allgemeines Verfahren zum Nachweis der Grenzzustände eingeführt. Eine weitere für die geotechnische Bemessung relevante Änderung war die klarere Berücksichtigung des Bemessungswiderstands auf der Grundlage der Materialfestigkeit (Materialfaktoransatz – MFA) oder des Widerstands (Widerstandsfaktoransatz – RFA).

standard. Section 1 was divided into three introductory clauses (scope; normative references; terms, definitions, and symbols) and sections 2 to 6 are now clauses 4 to 8. Normative annex A and informative annexes B, C and D were kept. Four annexes were added on issues not particularly relevant for geotechnical engineering.

A particular aspect of the second generation of the Eurocodes is the use of the verbal forms: "shall" expresses a requirement strictly to be followed and from which no deviation is permitted; "should" expresses a highly recommended choice or course of action (subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative approaches could be used/adopted where technically justified); "may" expresses a course of action permissible within the limits of the Eurocodes; "can" expresses possibility and capability (it is used for statements of fact and clarification of concepts).

National choice is allowed in the Eurocodes where explicitly stated and includes the selection of values and different options for Nationally Determined Parameters. They will be indicated in this paper as (NDP) where relevant.

## 2.2 General rules (Clause 4 of EN 1990)

This clause includes provisions related to basic requirements of the structures and of their reliability, to consequences of failure, robustness, design service life, durability, sustainability and quality management.

The consequences of failure of the structure or structural member are classified in five consequence classes (CC0 to CC4) qualified in Tab. 3. Examples of buildings in different consequence classes are given in Tab. 4 (from normative Annex A – Application rules). A similar table with

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der in der überarbeiteten EN 1990 berücksichtigt wurde, ist die Anwendung probabilistischer Entwurfsmethoden. Während die Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten die Hauptnachweismethode ist, wird ihre Anwendung empfohlen, aber nicht zwingend vorgeschrieben. Alternativ können probabilistische Methoden verwendet werden. Die überarbeitete EN 1990 geht jedoch nicht auf die spezifische Anwendung von präskriptiven Maßnahmen oder der Beobachtungsmethode bei der geotechnischen Bemessung ein.

Die überarbeitete EN 1990 enthält keinen Hinweis auf Felsbau oder auf irgendeinen spezifischen Aspekt der Bemessung von Felsbauwerken. Es wurden jedoch einige Aspekte in Bezug auf den Einfluss geometrischer Eigenschaften (z.B. von Diskontinuitäten) auf die Materialeigenschaften aufgenommen, um das Konzept des diskontinuierlichen Materials Fels direkt in den Haupteurocode EN 1990 einführen. Dies ist für die Textabschnitte in der EN 1997 über Felsbau relevant (siehe 2.4). Außerdem wurde ein Hinweis auf die Anwendung des zuverlässigkeitsbasierten Ansatzes bei Bodenverhältnissen auch für Fels aufgenommen, der stark von Diskontinuitäten und anderen geometrischen Eigenschaften beeinflusst wird (siehe 2.3).

Diese und andere Aspekte werden in den folgenden Abschnitten anhand des Inhaltsverzeichnisses der überarbeiteten EN 1990 dargestellt. Die Reihenfolge der Hauptabschnitte der überarbeiteten EN 1990 wurde gegenüber der bestehenden Norm nicht wesentlich geändert. Abschnitt 1 wurde in drei einleitende Abschnitte unterteilt (Anwendungsbereich; normative Verweisungen; Begriffe, Definitionen und Symbole), und die Abschnitte 2 bis 6 sind jetzt die Abschnitte 4 bis 8. Der normative Anhang A und die informativen Anhänge B, C und D wurden beibehalten. Vier Anhänge wurden zu

Tab. 3 Qualification of consequence classes (acc. Tab. 4.1 of [19]) (NDP)

Tab. 3 Versagensfolgeklassen (gem. Tabelle 4.1 in [19]) (NDP)

Consequence class <i>Versagensfolgeklasse</i>	Indicative qualification of consequences <i>Indikative Einstufung der Folgen</i>	
	Loss of human life or personal injury <sup>a)</sup> <i>Verlust von Menschenleben oder Körperverletzungen</i>	Economic, social or environmental consequences <sup>a)</sup> <i>Wirtschaftliche, soziale oder ökologische Folgen</i>
CC4 – Highest <i>CC4 – Höchste</i>	Extreme <i>Extrem</i>	Huge <i>Riesig</i>
CC3 – High <i>CC3 – Hoch</i>	High <i>Hoch</i>	Very great <i>Sehr groß</i>
CC2 – Normal <i>CC2 – Normal</i>	Medium <i>Mittel</i>	Considerable <i>Erheblich</i>
CC1 – Low <i>CC1 – gering</i>	Low <i>Gering</i>	Small <i>Klein</i>
CC0 – Lowest	Very low <i>Sehr gering</i>	Insignificant

<sup>a)</sup> The consequence class is chosen based on the more severe of these two columns. / *Die Versagensfolgeklasse wird auf der Grundlage der schwerwiegenden dieser beiden Spalten gewählt.*

**Tab. 4** Examples of buildings in different consequence classes (acc. Tab. A.1.1 of [19]) (NDP)

Tab. 4 Beispiele für Versagensfolgeklassen (nach Tabelle A.1.1 in [19]) (NDP)

Consequence class <i>Versagensfolgeklasse</i>	Description of consequence <i>Beschreibung der Folgen</i>	Examples <i>Beispiele</i>
CC4	Highest <i>Höchste</i>	Nuclear power plant, dams <i>Kernkraftwerk, Dämme</i>
CC3	High <i>Hoch</i>	Buildings or parts of buildings where a very large number of people could be affected by failure, e.g. grandstands, concert halls, highrise buildings <i>Gebäude oder Teile von Gebäuden, bei denen eine sehr große Zahl von Menschen von einem Ausfall betroffen sein könnte, z.B. Tribünen, Konzertsäle, Hochhäuser</i>
CC2	Normal <i>Normal</i>	Buildings or parts of buildings not covered by CC1 or CC3 <i>Gebäude oder Teile von Gebäuden, die nicht unter CC1 oder CC3 fallen</i>
CC1	Low <i>Gering</i>	Buildings or part of buildings where very few people could be affected by failure, e.g. agricultural buildings, storage buildings <i>Gebäude oder Teile von Gebäuden, bei denen nur sehr wenige Menschen von einem Ausfall betroffen sein könnten, z.B. landwirtschaftliche Gebäude, Lagergebäude</i>
CC0	Lowest <i>Niedrigste</i>	Elements other than structural <i>Nicht tragende Elemente</i>

examples of geotechnical structures in different consequence classes is presented in the revised EN 1997. The provisions in the Eurocodes cover structures classified as CC1 to CC3. For consequence class CC0, either the Eurocodes or alternative provisions may be used. The provisions in the Eurocodes do not entirely cover structures classified as CC4, for which additional provisions can be needed.

The consequence classes are used to determine the value of consequence factor  $k_F$  (Annex A) (see 2.6, Tab. 7), to determine the management measures to achieve the intended structural reliability (Annex B), to obtain target values of the probabilities of failure (Annex C) or to determine the consequence factor applied to material properties  $k_M$  and to resistance  $k_R$ , see [1].

In geotechnical design the consideration of the consequence classes is important for the definition, combined with the geotechnical complexity class (see [1]), of the geotechnical category of a geotechnical structure. The appropriate level of reliability required by EN 1990 is obtained by specifying the extent and amount of several measures, depending on the geotechnical category, as specified in EN 1997.

The design service life of a structure should be specified and used to determine its time-dependent performance. The values are similar to those of the existing EN 1990 and are presented in Tab. 5. In accordance with the revised EN 1997, these values also apply to geotechnical structures.

Finally, in clause 4 the aspects related to robustness requirements of the structure were further developed and sustainability requirements were introduced.

Themen hinzugefügt, die für Geotechniker nicht besonders relevant sind.

Ein besonderer Aspekt der zweiten Generation der Eurocodes ist die Verwendung der verbalen Formen: „soll“ („shall“) drückt eine Anforderung aus, die strikt zu befolgen ist und von der nicht abgewichen werden darf; „sollte“ („should“) drückt eine dringend empfohlene Wahl oder Vorgehensweise aus (vorbehaltlich nationaler Vorschriften und/oder einschlägiger vertraglicher Bestimmungen können alternative Ansätze verwendet/angewendet werden, wenn dies technisch gerechtfertigt ist); „kann“ („may“) drückt sowohl i.S.v. „ist gestattet/erlaubt“ eine Vorgehensweise aus, die innerhalb der Grenzen der Eurocodes zulässig ist; „kann“ („can“) drückt aber auch eine Möglichkeit und Fähigkeit aus (es wird für Tatsachenbehauptungen und zur Klärung von Konzepten verwendet).

Nationale, länderspezifische Wahlmöglichkeiten sind in den Eurocodes dann erlaubt, wo dies ausdrücklich angegeben ist, und schließen die Auswahl von Werten und verschiedenen Optionen für national festgelegte Parameter ein. Sie werden in diesem Beitrag als (NDP) angegeben, wo dies relevant ist.

## 2.2 Allgemeine Regeln (Abschnitt 4 der EN 1990)

Dieser Abschnitt enthält Bestimmungen zu den grundlegenden Anforderungen an Bauwerke und ihre Zuverlässigkeit, zu den Folgen des Versagens, zur Robustheit, zur Bemessungslebensdauer, zur Dauerhaftigkeit, zur Nachhaltigkeit und zum Qualitätsmanagement.

### 2.3 Principles of limit state design (Clause 5 of EN 1990)

This clause of the revised EN 1990 includes provisions related to design situations, ultimate and serviceability limit states, as well as to structural, geotechnical and loading models. To the current design situations (persistent, transient, accidental and seismic) fatigue was added. The list of ultimate limit states to be verified was expanded and now includes: failure of the structure or the ground, or any part of them including supports and foundations, by rupture, excessive deformation, transformation into a mechanism, or buckling; failure of the ground by hydraulic heave, internal erosion, or piping caused by excessive hydraulic gradients. For the verification of limit states, geotechnical models were added to structural models and load models.

An important aspect of this clause of the revised EN 1990 concerning the verification of limit states is specified in paragraphs (4) and (5) of subclause 5.5:

- “(4) Design values for the basic variables [...] should be obtained using the partial factor method [...]”
- “(5) As an alternative to (4), design based on probabilistic methods may be used when specified by the relevant authority or, where not specified, as agreed for a specific project by the relevant parties.

Note: Further guidance on probabilistic methods is given in Annex C.

Annex C (Reliability analysis and code calibration) is an informative annex and in subclause C.3.1, paragraphs (3) and (4), states that:

- “(3) Except where stated otherwise in the Eurocodes, the semi-probabilistic approach via a partial factor design format should be applied in all design situations.”

Die Folgen des Versagens eines Bauwerks oder eines Bauteils werden in fünf Folgenklassen (CC0 bis CC4) eingeteilt, die in Tab. 3 aufgeführt sind. Beispiele für Bauwerke in verschiedenen Folgenklassen sind in Tab. 4 aufgeführt (aus dem normativen Anhang A – Anwendungsregeln). Eine ähnliche Tabelle mit Beispielen für geotechnische Strukturen in verschiedenen Folgenklassen ist in der überarbeiteten EN 1997 enthalten. Die Bestimmungen in den Eurocodes decken Bauwerke der Klassen CC1 bis CC3 ab. Für die Folgenklasse CC0 können entweder die Eurocodes oder alternative Bestimmungen verwendet werden.

Die Konsequenzklassen werden verwendet, um den Wert des Konsequenzfaktors  $k_F$  (Anhang A) zu bestimmen (siehe 2.6, Tab. 7), um die Maßnahmen zur Erreichung der angestrebten strukturellen Zuverlässigkeit zu bestimmen (Anhang B), um Zielwerte für die Versagenswahrscheinlichkeiten zu erhalten (Anhang C) oder um den auf die Materialeigenschaften  $k_M$  und auf den Widerstand  $k_R$  angewandten Konsequenzfaktor zu bestimmen (siehe [1]).

In der geotechnischen Bemessung ist die Berücksichtigung der Konsequenzklassen wichtig, um in Kombination mit der geotechnischen Komplexitätsklasse (siehe [1]) die geotechnische Kategorie eines geotechnischen Bauwerks zu definieren. Das in der EN 1990 geforderte angemessene Maß an Zuverlässigkeit wird durch die Festlegung des Umfangs und der Höhe verschiedener Maßnahmen in Abhängigkeit von der geotechnischen Kategorie erreicht, wie in der EN 1997 festgelegt.

Die Bemessungslebensdauer eines Bauwerks sollte angegeben und zur Bestimmung seiner zeitabhängigen Leistungsfähigkeit verwendet werden. Die Werte entsprechen denen der bestehenden EN 1990 und sind in Tab. 5 angegeben. In Übereinstimmung mit der überarbeiteten EN 1997 gelten diese Werte auch für geotechnische Bauwerke.

**Tab. 5** Design service life categories for buildings<sup>e)</sup> (acc. Tab. A.1.2 of [19]) (NDP)

**Tab. 5** Klassen der für die Bemessung angenommenen Nutzungsdauer (nach (Tabelle A.1.1 in [19]) (NDP)

Category of buildings <i>Gebäudekategorie</i>	Design service life $T_{if}$ [years] <i>Bemessungslebensdauer <math>T_{if}</math> [Jahre]</i>
Monumental building structures <i>Monumentale Bauwerke</i>	100
Building structures not covered by another category <i>Bauwerke, die nicht unter eine andere Kategorie fallen</i>	50
Agricultural, and similar structures <i>Landwirtschaftliche und ähnliche Bauten</i> Replaceable structural parts <i>Auswechselbare Strukturteile</i>	25
Temporary structures <sup>a), b)</sup> <i>Temporäre Bauten</i>	≤ 10

<sup>a)</sup> For structures or parts of structures that can be dismantled in order to be re-used. / *Für Tragwerke oder Teile von Tragwerken, die für eine Wiederverwendung abgebaut werden können.*

<sup>b)</sup> For specific temporary structural members, shorter design service lives can apply, see the other Eurocodes. / *Für bestimmte temporäre Bauteile können kürzere Bemessungslebensdauern gelten, siehe andere Eurocodes.*

<sup>c)</sup> For design service life of geotechnical structures, see the relevant part of EN 1997. / *Für spezifisch geotechnische Bauwerke ist die EN 1997 zu beachten*

- *“(4) The reliability-based approach may be applied to design situations where uncertainties in the representation of actions, effects of actions, material resistances, and system-effects mean that the reliability-based approach gives a significantly better representation of the limit state than the partial factor design format.*

*Note: Design situations that are not covered by the partial factor design format can include:*

- *situations where relevant actions or hazard scenarios are not covered by EN 1991 (all parts); [...]*
- *ground conditions, such as rock, which are strongly affected by discontinuities and other geometrical phenomena.”*

The revised EN 1990 allows, in this way, the use of probabilistic methods for limit state design, specifying in which conditions, and explicitly includes rock geotechnical structures in the cases where design situations may not be covered by the partial factor design format, due to the specific nature of actions and design scenarios and to the effect of the rock discontinuities and other geometrical phenomena. Although this possibility was already available in the existing EN 1990, it has now been made clearer. Paragraphs (6) and (7) include additional conditions for the use of reliability-based methods.

Risk-informed approaches are also considered in Annex C (paragraphs (8) and (9)) and *“may apply to design situations where both the uncertainties and the consequences are outside common ranges”*. This is important in some instances of rock engineering design.

## 2.4 Basic variables (Clause 6 of EN 1990)

This clause of the revised EN 1990 includes actions and environmental influences, material and product properties, as well as geometrical properties. Seismic actions were added (to permanent, variable and accidental actions) to the classification of actions by their variation in time.

The single source-principle is introduced: *“Actions that, owing to physical reasons, induce effects that are strongly correlated with one another, even when they originate in, or act on, different parts of the structure, or originate from different materials, may be treated as an action arising from a single source”*. *“The single-source principle typically applies to the self-weight of the structure or the ground, including self-weight from different materials, as well as for water pressures acting on opposite sides of a structure with flow passing around or underneath”*. This principle is particularly relevant for geotechnical structures. Its application was considerably developed in the revised EN 1990, namely in clause 8, regarding the application of partial factors to actions.

The representative and the characteristic values are defined for permanent and variable actions, and provisions

In Abschnitt 4 schließlich wurden die Aspekte im Zusammenhang mit den Anforderungen an die Robustheit der Struktur weiterentwickelt und Anforderungen an die Nachhaltigkeit eingeführt.

## 2.3 Grundsätze der Bemessung mit Grenzzuständen (Abschnitt 5 der EN 1990)

Dieser Abschnitt der überarbeiteten EN 1990 enthält Bestimmungen zu Bemessungssituationen, Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie zu strukturellen, geotechnischen und Belastungsmodellen. Zu den derzeitigen Bemessungssituationen (dauerhafte, instationäre/vorübergehende, unfallbedingte und seismische Bemessungssituationen) wurde die Ermüdung hinzugefügt. Die Liste der nachzuweisenden Grenzzustände der Tragfähigkeit wurde erweitert und umfasst nun: Versagen des Bauwerks oder des Bodens oder eines Teils davon, einschließlich der Stützen und Fundamente, durch Bruch, übermäßige Verformung, Umwandlung in einen Mechanismus oder Knicken; Versagen des Bodens durch hydraulischen Grundbruch und Auftrieb, innere Erosion oder durch übermäßige hydraulische Gradienten verursachtes Piping. Für die Überprüfung der Grenzzustände wurden den Struktur- und Belastungsmodellen die geotechnischen Modelle hinzugefügt.

Ein wichtiger Aspekt dieses Abschnitts der überarbeiteten EN 1990, der den Nachweis von Grenzzuständen betrifft, ist in den Absätzen (4) und (5) des Unterabschnitts 5.5 aufgeführt:

- *„(4) Die Bemessungswerte für die Basisvariablen [...] sollten unter Verwendung der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten [...] ermittelt werden.“*
- *„(5) Alternativ zu (4) kann der Entwurf auf der Grundlage probabilistischer Methoden angewendet werden, wenn die zuständige Behörde dies spezifiziert oder, falls dies nicht der Fall ist, wenn dies für ein bestimmtes Projekt von den beteiligten Parteien vereinbart wurde. Anmerkung: Weitere Hinweise zu probabilistischen Methoden sind in Anhang C enthalten.“*

Anhang C (Zuverlässigkeitsanalyse und Kalibrierung) ist ein informativer Anhang und besagt in Unterabschnitt C.3.1, Absätze (3) und (4), dass:

- *„(3) Sofern in den Eurocodes nichts anderes angegeben ist, sollte der semiprobabilistische Ansatz über Teilsicherheitsbeiwerte in allen Bemessungssituationen angewendet werden.“*
- *„(4) Der zuverlässigkeitsbasierte Ansatz darf auf Bemessungssituationen angewendet werden, in denen Unsicherheiten in der Darstellung von Einwirkungen, Wirkungen von Einwirkungen, Materialwiderständen und Systemwirkungen bedeuten, dass der zuverlässigkeitsbasierte Ansatz eine signifikant bessere Darstellung des Grenzzustands liefert als das Partialfaktor-Bemessungsformat.*

regarding specific types of actions, such as prestress, water actions and fatigue actions are presented.

Dispositions concerning material and product properties, including the ground, introduce the definition of characteristic value and of nominal value of the material or property. A characteristic value of a material or product property is the value of a material or product property having a prescribed probability of not being attained: a 5% fractile value where a low value of the property is unfavourable; a 95% fractile value where a high value of the property is unfavourable; a mean value when the verification of a limit state is insensitive to the variability of the property. When available statistical data is insufficient to establish the characteristic value, a nominal value is considered. This is relevant to geotechnical engineering as in the revised EN 1997 the representative value of a ground property is equal to the characteristic value in the first case, and to the nominal value in the second case.

In the revised EN 1990 the geometry was rightfully considered a property rather than data. Geometrical properties are usually taken as nominal values, but when there is sufficient data, the characteristic value of a geometrical property may be determined from its statistical distribution. Of particular interest for rock engineering is the introduction of a new paragraph stating:

*“(5) For geotechnical design, geometrical properties that affect the mechanical behaviour of the ground should be considered when determining ground properties, in accordance with the relevant part of EN 1997.*

*Example: The spacing and orientation of discontinuities are taken into account when selecting the characteristic material properties of rock.”*

Here rock discontinuities are mentioned explicitly, which is new in EN 1990. Their geometric properties (e.g., spacing and orientation) can be considered in a probabilistic way, which is very important in rock engineering. Besides, the ground (e.g., rock mass) properties may consider the geometrical properties when they affect the mechanical behaviour of the ground, which is a usual procedure in rock engineering.

## 2.5 Structural analysis and design assisted by testing (Clause 7 of EN 1990)

This clause of the revised EN 1990 includes structural modelling, structural analysis (linear and non-linear analyses) and design assisted by testing. No major changes with impact in geotechnical design were introduced. Structural modelling presents provisions concerning structural and geotechnical models and their validation, as well as modelling associated with static and dynamic actions, actions inducing fatigue and fire design. Provisions are included in the revised EN 1990 for linear and non-linear structural analysis, namely when they are used, on the types of non-linearity (in loading, material

*Anmerkung: Entwurfssituationen, die nicht durch das Konzept der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten abgedeckt werden, können sein:*

- Situationen, in denen relevante Einwirkungen oder Gefährdungsszenarien nicht durch EN 1991 (alle Teile) abgedeckt sind; [...]*
- Baugrundverhältnisse, wie z.B. Fels, die stark durch Diskontinuitäten und andere geometrische Phänomene beeinflusst werden.“*

Die überarbeitete EN 1990 erlaubt auf diese Weise die Anwendung probabilistischer Methoden für die Bemessung mit Grenzzuständen, wobei angegeben wird, unter welchen Bedingungen, und schließt ausdrücklich Felsstrukturen in den Fällen ein, in denen Bemessungssituationen aufgrund der besonderen Art der Einwirkungen und Bemessungsszenarien und der Auswirkungen der Felsdiskontinuitäten und anderer geometrischer Eigenschaften nicht durch das Konzept der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten abgedeckt werden können. Obwohl diese Möglichkeit bereits in der bestehenden EN 1990 vorhanden war, wurde sie nun deutlicher formuliert. Die Absätze (6) und (7) enthalten zusätzliche Bedingungen für die Anwendung von zuverlässigkeitsorientierten Methoden.

Ansätze basierend auf Risikoanalysen werden auch in Anhang C (Absätze (8) und (9)) behandelt und „können für Entwurfssituationen gelten, bei denen sowohl die Unsicherheiten als auch die Folgen außerhalb der üblichen Bereiche liegen“. Dies ist in einigen Fällen der Felsplanung von Bedeutung.

## 2.4 Grundlagen der Eigenschaften / Kennwerte (Abschnitt 6 der EN 1990)

Dieser Abschnitt der überarbeiteten EN 1990 umfasst Einwirkungen und Umwelteinflüsse, Material- und Produkteigenschaften sowie geometrische Eigenschaften. Seismische Einwirkungen wurden (zu den ständigen, veränderlichen und zufälligen Einwirkungen) in die Klassifizierung der Einwirkungen nach ihrem zeitlichen Verlauf aufgenommen.

Das Single-Source-Prinzip wird eingeführt: *„Einwirkungen, die aus physikalischen Gründen Wirkungen hervorrufen, die stark miteinander korreliert sind, auch wenn sie von verschiedenen Teilen des Bauwerks ausgehen oder auf diese einwirken oder aus verschiedenen Materialien stammen, können als eine Einwirkung aus einer einzigen Quelle behandelt werden“.* *„Das Ein-Quellen-Prinzip gilt typischerweise für das Eigengewicht des Bauwerks oder des Bodens, einschließlich des Eigengewichts aus verschiedenen Materialien, sowie für Wasserdrücke, die auf gegenüberliegenden Seiten eines Bauwerks wirken, wobei die Strömung um das Bauwerk herum oder unter ihm hindurch verläuft“.* Dieser Grundsatz ist besonders für geotechnische Bauwerke von Bedeutung. Seine Anwendung wurde in der überarbeiteten EN 1990

behaviour, geometry and limit state function) and on the validation of non-linear models. Finally, dispositions for design assisted by testing are presented, namely that the level of reliability required for the relevant design situation shall be achieved. Informative Annex D provides extensive information on different types of design assisted by testing.

## 2.6 Verification by the partial factor method (Clause 8 of EN 1990)

Clause 8 of the revised EN 1990, dealing with the main method used for verification of limit states, is, by far, the longest one. It includes two short subclauses on general aspects and limitations, one subclause on verification of ultimate limit states (ULS), which is the longest and most complex one, and one on verification of serviceability limit states (SLS). The most relevant aspects and those of greater relevance for geotechnical design are presented in this section.

### 2.6.1 Verification of ultimate limit states (ULS)

The general formula used to check ULS, including loss of static equilibrium, is:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

where  $E_d$  is the design value of the effect of actions, and  $R_d$  is the design value of the corresponding resistance (e.g., bending moment and bending capacity).

When checking ULS caused by excessive deformation the following formula is used:

$$E_d \leq C_{d,ULS} \quad (2)$$

where  $C_{d,ULS}$  is the limiting design value for ULS of the excessive deformation (e.g., a predefined displacement).

The value of  $E_d$  for a specific combination of actions can be obtained in two ways, by applying partial factors on actions or on the effect of actions, using formulas (3) or (4) respectively.

$$E_d = E \left\{ \sum (\gamma_F \cdot \psi \cdot F_k); a_d; X_{Rd} \right\} \quad (3)$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left\{ \sum (\psi \cdot F_k); a_d; X_{rep} \right\} \quad (4)$$

where  $\gamma_F$  is the partial factor on actions,  $\psi$  is a combination factor,  $F_k$  is the characteristic value of an action,  $a_d$  are the design values of geometrical properties,  $X_{Rd}$  are the design values of material properties used in the assessment of  $R_d$ ,  $\gamma_E$  is the partial factor for effects of actions and  $X_{rep}$  are the representative values of material properties. When compared to the corresponding formulas in the existing EN 1990, the values of the material proper-

erheblich weiterentwickelt, und zwar in Abschnitt 8, der die Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf Einwirkungen betrifft.

Die repräsentativen und die charakteristischen Werte werden für ständige und veränderliche Einwirkungen definiert, und es werden Bestimmungen für bestimmte Arten von Einwirkungen, wie Vorspannung, Wassereinwirkung und Ermüdungseinwirkung, vorgestellt.

Bestimmungen über Material- und „Produkt“eigenschaften, einschließlich des Baugrunds, führen die Definition des charakteristischen Werts und des Nennwerts des Materials oder der „Produkt“eigenschaft ein. Ein charakteristischer Wert einer Material- oder Produkteigenschaft ist der Wert einer Material- oder Produkteigenschaft, der eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit hat, nicht erreicht zu werden: ein 5%-Fraktilewert, bei dem ein niedriger Wert der Eigenschaft ungünstig ist; ein 95%-Fraktilewert, bei dem ein hoher Wert der Eigenschaft ungünstig ist; ein Mittelwert, wenn der Nachweis eines Grenzzustands unempfindlich gegenüber der Variabilität der Eigenschaft ist. Wenn die verfügbaren statistischen Daten nicht ausreichen, um den charakteristischen Wert festzulegen, wird ein Nennwert in Betracht gezogen. Dies ist für die Geotechnik von Bedeutung, da in der überarbeiteten EN 1997 der repräsentative Wert einer Bodeneigenschaft im ersten Fall gleich dem charakteristischen Wert und im zweiten Fall gleich dem Nennwert ist.

In der überarbeiteten EN 1990 wurden die geometrische Eigenschaften richtigerweise auch als Eigenschaft und nicht als Daten betrachtet. Geometrische Eigenschaften werden in der Regel als Nennwerte angenommen, aber wenn genügend Daten vorhanden sind, kann der charakteristische Wert einer geometrischen Eigenschaft aus ihrer statistischen Verteilung bestimmt werden. Von besonderem Interesse für den Felsbau ist die Einführung eines neuen Absatzes, der besagt:

„(5) Für die geotechnische Planung sollten geometrische Eigenschaften, die das mechanische Verhalten des Bodens beeinflussen, bei der Bestimmung der Bodeneigenschaften in Übereinstimmung mit dem entsprechenden Teil von EN 1997 berücksichtigt werden.“

*Beispiel: Der Abstand und die Ausrichtung von Diskontinuitäten werden bei der Auswahl der charakteristischen Materialeigenschaften von Fels berücksichtigt.“*

Hier werden Diskontinuitäten im Fels explizit erwähnt, was in EN 1990 neu ist. Ihre geometrischen Eigenschaften (z.B. Abstand und Orientierung) können auf probabilistische Weise berücksichtigt werden, was im Felsbau sehr wichtig ist. Außerdem können die Eigenschaften des Baugrunds (z.B. Fels) die geometrischen Eigenschaften berücksichtigen, wenn sie sich auf das mechanische Verhalten des Bodens auswirken, was ein übliches Verfahren im Felsbau ist.

ties were added to the formulas, because they also influence the effect of actions and this is particularly relevant in geotechnical design (e.g., the angle of internal friction of the ground when calculating ground pressures on a retaining wall). In structural engineering, formula (3) is predominantly used, except for ropes, cables and membrane structures, where the application of partial factors on the effects of actions is more adverse. In geotechnical design both equations are used for different types of structures, in accordance with what is specified in the different parts of EN 1997.

Provisions for calculating the design values of the different types of actions and combination of actions, the presentation of which has been simplified, are included in this clause, but they are of less significance for geotechnical engineering and outside the scope of this paper.

The value of the design value of the resistance  $R_d$  can also be obtained in two ways, by applying partial factors to the characteristic value of the material property ( $X_k$ ) (material factor approach, MFA) or directly to the resistance (resistance factor approach, RFA), using formulas (5) and (6) respectively.

$$R_d = R \left\{ X_d; a_d; \sum F_{Ed} \right\} = R \left\{ \frac{\eta \cdot X_k}{\gamma_M}; a_d; \sum F_{Ed} \right\} \quad (5)$$

$$R_d = \frac{R \left\{ X_{rep}; a_d; \sum F_{Ed} \right\}}{\gamma_R} = \frac{R \left\{ \eta \cdot X_k; a_d; \sum F_{Ed} \right\}}{\gamma_R} \quad (6)$$

where  $X_d$  are the design values of material properties,  $a_d$  are the design values of geometrical properties,  $F_{Ed}$  are the design values of actions used in the assessment of  $E_d$ ,  $\eta$  is a conversion factor,  $X_k$  is the characteristic value of material properties,  $\gamma_M$  is the partial factor for material properties,  $X_{rep}$  are the representative values of material properties (defined as  $\eta X_k$ ) and  $\gamma_R$  is the partial factor for resistance. When compared to the corresponding formulas in the existing EN 1990, the values of the actions were added to the formulas, because they also influence the resistance and this is particularly relevant in geotechnical design (e.g., the overburden pressure of the ground for the design of a spread foundation). The partial factor for resistance is denoted as  $\gamma_R$  and not as  $\gamma_M$ , such as in the existing EN 1990, to avoid inconsistency. Rules on the use of MFA or RFA for different kinds of structures are given in the corresponding Eurocodes. In geotechnical design both equations are used, in accordance with what is specified in the different parts of EN 1997.

The values of the partial factor on actions and on the effect of actions are given in Annex A of the revised EN 1990. Four verification cases (VC1 to VC4) were introduced for different ULS. Values of the partial factors  $\gamma_F$  and  $\gamma_E$  are given in Tab. 6 for persistent and transient (fundamental) design situations. Verification cases VC1,

## 2.5 Tragwerksberechnung und -entwurf mithilfe von Testverfahren (Abschnitt 7 der EN 1990)

Dieser Abschnitt der überarbeiteten EN 1990 umfasst die Modellierung des Tragwerks, die Berechnung des Tragwerks (lineare und nichtlineare Analysen) und den Entwurf mithilfe von Testverfahren. Es wurden keine größeren Änderungen mit Auswirkungen auf die geotechnische Bemessung eingeführt. Die Modellierung des Tragwerks enthält Bestimmungen über strukturelle und geotechnische Modelle und deren Validierung sowie über die Modellierung im Zusammenhang mit statischen und dynamischen Einwirkungen, Ermüdungseinwirkungen und Brandbemessung. Die überarbeitete EN 1990 enthält Bestimmungen für lineare und nichtlineare Tragwerksberechnungen, insbesondere für deren Anwendung, für die Arten der Nichtlinearität (in Bezug auf Belastung, Materialverhalten, Geometrie und Grenzzustandsfunktion) und für die Validierung nichtlinearer Modelle. Schließlich werden Bestimmungen für die prüfungsunterstützte Bemessung vorgestellt, nämlich dass das für die jeweilige Bemessungssituation erforderliche Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden muss. Der informative Anhang D enthält ausführliche Informationen über die verschiedenen Arten der prüfungsunterstützten Konstruktion.

## 2.6 Konzept der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten (Abschnitt 8 der EN 1990)

Abschnitt 8 der überarbeiteten EN 1990, der sich mit dem Nachweis von Grenzzuständen befasst, ist bei weitem der längste Abschnitt. Er umfasst zwei kurze Unterabschnitte über allgemeine Aspekte und Grenzwerte, einen Unterabschnitt über den Nachweis von Grenzzuständen der Tragfähigkeit (ULS), der der längste und komplexeste ist und einen über den Nachweis von Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (SLS). Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte und die für die geotechnische Bemessung relevanteren Aspekte dargestellt.

### 2.6.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Die allgemeine Formel zur Überprüfung des Grenzzustands der Tragfähigkeit (ULS), einschließlich des Verlusts des Gleichgewichts, lautet:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

wobei  $E_d$  der Bemessungswert der Einwirkung und  $R_d$  der Bemessungswert des zugehörigen Widerstands (z. B. Biegemoment und Biegesteifigkeit) ist.

Bei der Überprüfung des Grenzzustands der Tragfähigkeit, der durch sehr große Verformung verursacht wird, wird die folgende Formel verwendet:

$$E_d \leq C_{d,ULS} \quad (2)$$

**Tab. 6** Partial factors on actions and effects of actions for verification cases VC1 to VC4 for persistent and transient (fundamental) design situations (acc. Tab. A.1.8 of [19]) (A.1.8)

**Tab. 6** Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bzw. Auswirkung von Einwirkungen für die Fälle VC1 bis VC4 für ständige (persistent) und vorübergehende (transient) Bemessungssituationen (nach Tabelle A.1.8 der [19]) (A.1.8)

Action or effect <i>Einwirkungen oder Auswirkung von Einwirkungen</i>				Partial factors $\gamma_F$ and $\gamma_E$ for verification cases <i>Teilsicherheitsfaktoren <math>\gamma_F</math> und <math>\gamma_E</math> für Überprüfungsfälle</i>				
Type <i>Art</i>	Group <i>Gruppe</i>	Symbol <i>Symbol</i>	Resulting effect <i>Auswirkung</i>	Structural resistance <sup>a)</sup> <i>Struktureller Widerstand<sup>a)</sup></i>	Static equilibrium and uplift <sup>b)</sup> <i>Statisches Gleichgewicht und Auftrieb<sup>b)</sup></i>		Geotechnical design <i>Geotechnische Bemessung</i>	
Verification case / <i>Nachweisfälle</i>				VC1 <sup>a)</sup>	VC2(a) <sup>b)</sup>	VC2(b) <sup>b)</sup>	VC3 <sup>c)</sup>	VC4 <sup>d)</sup>
Permanent action ( $G_k$ ) <i>Dauerhafte Wirkung (<math>G_k</math>)</i>	All <sup>f)</sup> <i>Alle<sup>f)</sup></i>	$\gamma_G$	unfavourable / destabilizing <i>ungünstig / destabilisierend</i>	1.35 $k_F$	1.35 $k_F$	1.0	1.0	
	Water <sup>l)</sup> <i>Wasser<sup>l)</sup></i>	$\gamma_{Gw}$		1.2 $k_F$	1.2 $k_F$	1.0	1.0	
	All <sup>f)</sup> <i>Alle<sup>f)</sup></i>	$\gamma_{G,stab}$	stabilizing <sup>g)</sup> <i>destabilisierend<sup>g)</sup></i>	not used	1.15 <sup>e)</sup>	1.0	not used	$G_k$ is not factored <i><math>G_k</math> wird nicht berücksichtigt</i>
	Water <sup>l)</sup> <i>Wasser<sup>l)</sup></i>	$\gamma_{Gw,stab}$			1.0 <sup>e)</sup>	1.0		
All <i>Alle</i>	$\gamma_{G,fav}$	favourable <sup>h)</sup> <i>günstig<sup>h)</sup></i>		1.0	1.0	1.0	1.0	
Prestressing ( $P_k$ ) <i>Vorspannung (<math>P_k</math>)</i>		$\gamma_P^{k)}$						
Variable action ( $Q_k$ ) <i>Veränderliche Wirkung (<math>Q_k</math>)</i>	All <sup>f)</sup> <i>Alle<sup>f)</sup></i>	$\gamma_Q$	unfavourable <i>ungünstig</i>	1.5 $k_F$	1.5 $k_F$	1.5 $k_F$	1.3	$\gamma_{Q,red}$ <sup>j)</sup>
	Water <sup>l)</sup> <i>Wasser<sup>l)</sup></i>	$\gamma_{Qw}$		1.35 $k_F$	1.35 $k_F$	1.35 $k_F$	1.15	1.0
	All <i>Alle</i>	$\gamma_{Q,fav}$	favourable	0	0	0	0	0
Effects of actions ( $E$ ) <i>Auswirkungen von Einwirkungen (<math>E</math>)</i>		$\gamma_E$	unfavourable <i>ungünstig</i>	$\gamma_E$ is not applied <i><math>\gamma_E</math> wird nicht verwendet</i>				1.35 $k_F$
		$\gamma_{E,fav}$	favourable <i>günstig</i>					1.0

<sup>a)</sup> Verification case VC1 is used both for structural and geotechnical design. / *Der Nachweisfall VC1 wird sowohl für die statische als auch für die geotechnische Bemessung verwendet.*

<sup>b)</sup> Verification case VC2 is used for the combined verification of strength and static equilibrium, when the structure is sensitive to variations in permanent action arising from a single-source. Values of  $\gamma_F$  are taken from VC2(a) or VC2(b), which ever gives the less favourable outcome. / *Der Nachweisfall VC2 wird für den kombinierten Nachweis der Festigkeit und des statischen Gleichgewichts verwendet, wenn das Bauwerk gegenüber Schwankungen der ständigen Einwirkungen aus einer einzigen Quelle empfindlich ist. Die Werte für  $\gamma_F$  werden aus VC2(a) oder VC2(b) entnommen, je nachdem, welcher Fall das ungünstigere Ergebnis liefert.*

<sup>c)</sup> Verification case VC3 is typically used for the design of slopes and embankments, spread foundations, and gravity retaining structures. See the relevant part of EN 1997 for details. / *Der Nachweisfall VC3 wird in der Regel für die Bemessung von Böschungen und Dämmen, Flachgründungen und Schwerkraft-Stützbauwerke verwendet. Einzelheiten sind dem entsprechenden Teil von EN 1997 zu entnehmen.*

<sup>d)</sup> Verification case VC4 is typically used for the design of transversally loaded piles and embedded retaining walls and (in some countries) gravity retaining structures. See EN 1997 (all parts) for details. / *Der Nachweisfall VC4 wird in der Regel für die Bemessung von quer belasteten Pfählen und eingebetteten Stützwänden sowie (in einigen Ländern) für Schwerkraft-Stützbauwerke verwendet. Für Einzelheiten siehe EN 1997 (alle Teile).*

<sup>e)</sup> The values of  $\gamma_{G,stab} = 1.15$  and  $1.0$  are based on  $\gamma_{G,inf} = 1.35 \rho$  and  $1.2 \rho$  with  $\rho = 0.85$ . / *Die Werte von  $\gamma_{G,stab} = 1,15$  und  $1,0$  basieren auf  $\gamma_{G,inf} = 1,35 \rho$  und  $1,2 \rho$  mit  $\rho = 0,85$*

<sup>f)</sup> Applied to all actions except water actions. / *Angewandt auf alle Einwirkungen außer Wassereinwirkungen.*

<sup>g)</sup> Applied to the stabilizing part of an action originating from a single source. / *Angewandt auf den stabilisierenden Teil einer Einwirkung, die aus einer einzigen Quelle stammt.*

<sup>h)</sup> Applied to actions whose entire effect is favourable and independent of the unfavourable action. / *Angewandt auf Aktionen, deren gesamte Wirkung günstig und unabhängig von der ungünstigen Aktion ist.*

<sup>j)</sup>  $\gamma_{Q,red} = \gamma_{Q,1} / \gamma_{G,1}$  where  $\gamma_{Q,1}$  = corresponding value of  $\gamma_Q$  from VC1 and  $\gamma_{G,1}$  = corresponding value of  $\gamma_G$  from VC1. /  *$\gamma_{Q,red} = \gamma_{Q,1} / \gamma_{G,1}$  mit  $\gamma_{Q,1}$  = entsprechender Wert von  $\gamma_Q$  aus VC1 und  $\gamma_{G,1}$  = entsprechender Wert von  $\gamma_G$  aus VC1.*

<sup>k)</sup> For the definition of  $\gamma_P$  where  $\gamma_P$  is materially dependent, see other relevant Eurocodes. / *Für die Definition von  $\gamma_P$ , wenn  $\gamma_P$  materialabhängig ist, siehe andere relevante Eurocodes.*

<sup>l)</sup> For water actions induced by waves and currents. / *Für Wassereinwirkungen durch Wellen und Strömungen.*

PLEASE NOTE: This file is for archiving purposing only. Please do not share this file with others than the authors of this paper.

**Tab. 7** Consequence factors for buildings and geotechnical structures (acc. Tab. A.1.9 of [19]) (NDP)

**Tab. 7** Konsequenzfaktoren als Grundlage der Bemessung (gem. Tabelle A.1.9 [19]) (NDP)

Consequence class <sup>a)</sup>	Description of consequence	Consequence factor $k_F$
CC3	High	1.1
CC2	Normal	1.0
CC1	Low	0.9

<sup>a)</sup> The provisions in Eurocodes cover design rules for structures classified as CC1 to CC3.

VC2, VC3 and VC4 should be considered for ULS that involve failure of the ground, in accordance with the relevant part of EN 1997. VC1 factors unfavourable actions and is used primarily for verification of structural resistance. VC2 has two variants, one factoring permanent and variable actions and the other only variable actions, and is used for checking static equilibrium and uplift. VC3 and VC4 are used for geotechnical design and use factorisation of unfavourable variable actions (VC3) or of the effect of actions (VC4). Explanation on the correspondence between these verification cases and the design approaches of the first generation of EN 1997 is presented in a separate paper of this series [1].

The values of the consequence factors ( $k_F$ ) appearing in Tab. 6 are presented in Tab. 7. They are multipliers applied to the partial factors to consider the consequence class of the structure.

### 2.6.2 Verification of serviceability limit states (SLS)

When checking serviceability limit states (SLS), the following formula needs to be verified:

$$E_d \leq C_{d,SLS} \tag{7}$$

where  $C_{d,SLS}$  is the limiting design value of the relevant serviceability criterion, often established as a displacement or a strain. The value of  $E_d$  for a specific combination of actions is obtained similarly to ULS but with  $\gamma_F = 1.0$  in equation (3). Serviceability criteria for buildings are given in Annex A.1, including limiting foundation movements in terms of differential settlements, angular distortion and tilt.

## 3 Main changes in the second generation of EN 1997

### 3.1 Restructuring

The first generation of EN 1997 has two parts:

- Part 1 – General Rules (EN 1997-1:2004).
- Part 2 – Ground investigation and testing (EN 1997-2:2007).

wobei  $C_{d,ULS}$  der Grenzwert des Grenzzustands der Tragfähigkeit der großen Verformung ist (z.B. eine vordefinierte Verschiebung).

Der Wert von  $E_d$  für eine bestimmte Kombination von Einwirkungen kann auf zwei Arten ermittelt werden: durch Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf die Einwirkungen oder auf die Wirkung der Einwirkungen unter Verwendung der Formeln (3) bzw. (4).

$$E_d = E \left\{ \sum (\gamma_F \cdot \psi \cdot F_k); a_d; X_{Rd} \right\} \tag{3}$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left\{ \sum (\psi \cdot F_k); a_d; X_{rep} \right\} \tag{4}$$

wobei  $\gamma_F$  der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen,  $\psi$  ein Kombinationsfaktor,  $F_k$  der charakteristische Wert einer Einwirkung,  $a_d$  die Bemessungswerte der geometrischen Eigenschaften,  $X_{Rd}$  die Bemessungswerte der Materialeigenschaften, die bei der Bewertung von  $R_d$  verwendet werden,  $\gamma_E$  der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen und  $X_{rep}$  die repräsentativen Werte der Materialeigenschaften sind. Im Vergleich zu den entsprechenden Formeln in der bestehenden EN 1990 wurden die Werte der Materialeigenschaften in die Formeln aufgenommen, da sie auch die Auswirkungen von Einwirkungen beeinflussen und dies insbesondere in der geotechnischen Bemessung von Bedeutung ist (z.B. der innere Reibungswinkel des Bodens bei der Berechnung von Bodenpressungen an einer Stützmauer). Im Hochbau wird überwiegend Formel (3) verwendet, außer bei Seilen, Kabeln und Membrankonstruktionen, wo die Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf die Einwirkungen ungünstiger ist. In der geotechnischen Bemessung werden beide Gleichungen für verschiedene Arten von Bauwerken verwendet, entsprechend den Vorgaben in den verschiedenen Teilen der EN 1997.

Bestimmungen zur Berechnung der Bemessungswerte der verschiedenen Arten von Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen, deren Darstellung vereinfacht wurde, sind in diesem Abschnitt enthalten, sind aber für die Geotechnik von geringerer Bedeutung und liegen außerhalb des Rahmens dieser Arbeit.

Der Bemessungswert des Widerstands  $R_d$  kann auch auf zwei Arten ermittelt werden, durch Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf den charakteristischen Wert der Materialeigenschaft ( $X_k$ ) (Materialfaktoransatz, MFA) oder direkt auf den Widerstand (Widerstandsfaktoransatz, RFA), wobei die Formeln (5) bzw. (6) verwendet werden.

$$R_d = R \left\{ X_d; a_d; \sum F_{Ed} \right\} = R \left\{ \frac{\eta \cdot X_k}{\gamma_M}; a_d; \sum F_{Ed} \right\} \tag{5}$$

$$R_d = \frac{R \left\{ X_{rep}; a_d; \sum F_{Ed} \right\}}{\gamma_R} = \frac{R \left\{ \eta \cdot X_k; a_d; \sum F_{Ed} \right\}}{\gamma_R} \tag{6}$$

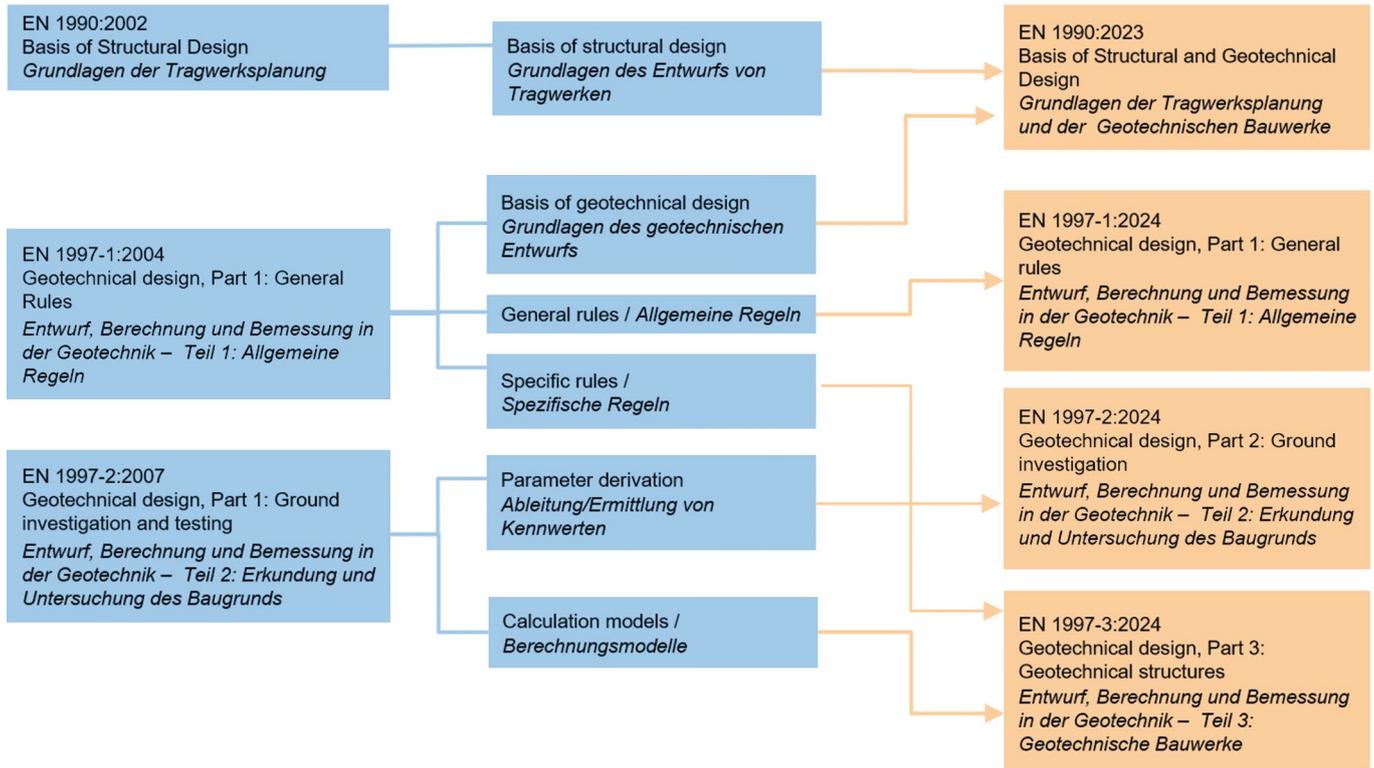
PLEASE NOTE: This file is for archiving purposing only. Please do not share this file with others than the authors of this paper.

**First generation of the Eurocodes**

**Erste Generation des Eurocodes**

**Second generation of the Eurocodes**

**Zweite Generation des Eurocodes**



**Fig. 1** Distribution of contents from the first to the second generation of Eurocodes concerning geotechnical design.  
**Bild 1** Verteilung der Inhalte von der ersten zur zweiten Generation der Eurocodes für die geotechnische Bemessung.

The second generation of the EN 1997 is organized in three parts:

- Part 1 – General rules (EN 1997-1).
- Part 2 – Ground properties (EN 1997-2),
- Part 3 – Geotechnical structures (EN 1997-3).

The contents of the current Part 1 (EN 1997-1:2004) are split in the following way:

- The basis of geotechnical design is moved to the revised EN 1990.
- The general rules that affect all geotechnical design remains in Part 1 (EN 1997-1).
- The specific rules for particular geotechnical structures form the new Part 3 (EN 1997-3).

Figure 1 (adapted from [6]) illustrates the main aspects of the distribution of contents from the first to the second generation of Eurocodes concerning geotechnical design.

An important consequence of this restructuring is enabling the revised EN 1990 to incorporate geotechnical design in a way that the three Design Approaches presented in the current EN 1997 are removed and replaced by methods presented in EN 1990 as explained above. Another important aspect is that Part 1 of the revised EN 1997 only covers the aspects of geotechnical design that are common to all geotechnical structures. Part 3

wobei  $X_d$  die Bemessungswerte der Materialeigenschaften,  $a_d$  die Bemessungswerte der geometrischen Eigenschaften,  $F_{Ed}$  die Bemessungswerte der Einwirkungen zur Beurteilung von  $E_d$ ,  $\eta$  ein Umrechnungsfaktor,  $X_k$  der charakteristische Wert der Materialeigenschaften,  $\gamma_M$  der Teilsicherheitsbeiwert für die Materialeigenschaften,  $X_{rep}$  die repräsentativen Werte der Materialeigenschaften (definiert als  $\eta_{Xk}$ ) und  $\gamma_R$  der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand sind. Im Vergleich zu den entsprechenden Formeln in der bestehenden EN 1990 wurden die Werte der Einwirkungen in die Formeln aufgenommen, da sie auch den Widerstand beeinflussen und dies insbesondere bei der geotechnischen Bemessung von Bedeutung ist (z. B. der Überlagerungsdruck des Bodens bei der Bemessung eines Spreizfundaments). Der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand wird als  $\gamma_R$  und nicht als  $\gamma_M$  bezeichnet, wie in der bestehenden EN 1990, um Inkonsistenzen zu vermeiden. Die Regeln für die Verwendung des MFA oder des RFA für verschiedene Arten von Bauwerken sind in den entsprechenden Eurocodes enthalten. Bei der geotechnischen Bemessung werden beide Gleichungen in Übereinstimmung mit den Bestimmungen der verschiedenen Teile der EN 1997 verwendet.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und für die Wirkung von Einwirkungen sind in Anhang A der überarbeiteten EN 1990 angegeben. Es wurden vier Nachweiskfälle (VC1 bis VC4) für verschiedene ULS eingeführt. Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_F$  und  $\gamma_E$  sind in Tab. 6 für ständige und instationäre Bemessungssituationen angegeben.

covers all aspects specific for the relevant types of geotechnical structures. The existing Part 2 focusses primarily on data collection methods for laboratory and field data, while the revised Part 2 focusses on obtaining ground properties of engineering interest, with the aim of improving the everyday usefulness of the code for practitioners. Calculation models presented in Annexes to the existing Part 2 have also been moved to the revised Part 3. EN 1997, as well as all the other Eurocodes, shall be read in conjunction with EN 1990.

The table of contents of the three parts of the revised EN 1997 are presented in Tab. 8. The introductory clauses (1 Scope; 2 Normative references; 3 Terms, definitions, and symbols) are common to all Eurocodes and are not repeated in Tab. 8. The particular aspects of EN 1997-1 and EN 1997-2 are covered by papers [1] and [2] of this series, while EN 1997-3 is covered by papers [3] and [4]. The overall contents went through extensive modifications and upgrade. In EN 1997-3 new clauses were introduced to deal with reinforced fill structures, soil nailed

Die Nachweisfälle VC1, VC2, VC3 und VC4 sollten für die ULS, die ein Versagen des Bodens beinhalten, in Übereinstimmung mit dem entsprechenden Teil der EN 1997 berücksichtigt werden. VC1 berücksichtigt ungünstige Einwirkungen und wird in erster Linie für den Nachweis der Standsicherheit verwendet. VC2 hat zwei Varianten, von denen die eine ständige und veränderliche Einwirkungen und die andere nur veränderliche Einwirkungen berücksichtigt. Sie wird zur Überprüfung des statischen Gleichgewichts und des Auftriebs verwendet. VC3 und VC4 werden für die geotechnische Bemessung verwendet und nutzen die Faktorisierung ungünstiger veränderlicher Einwirkungen (VC3) oder der Wirkung von Einwirkungen (VC4). Eine Erläuterung der Übereinstimmung zwischen diesen Nachweisfällen und den Bemessungsansätzen der ersten Generation der EN 1997 wird in einem separaten Beitrag dieser Reihe [1] gegeben.

Die Werte der in Tab. 6 aufgeführten Folgenfaktoren ( $k_F$ ) sind in Tab. 7 aufgeführt. Es handelt sich um Multiplikatoren, die auf die Teilsicherheitsbeiwerte angewandt

**Tab. 8** Clauses of Parts 1, 2 and 3 of prEN 1997:2022 [20–22]

**Tab. 8** Kapitelstruktur der Teile 1, 2 und 3 der prEN 1997:2022 [20–22]

EN 1997-1	EN 1997-2	EN 1997-3
4 Basis of design <i>Grundlagen der Bemessung</i>	4 Ground Model <i>Baugrundmodell</i>	4 Slopes, cuttings, and embankments <i>Böschungen, Einschnitte und Dämme</i>
5 Materials <i>Baustoffe</i>	5 Ground investigation <i>Baugrunduntersuchung</i>	5 Spread foundations <i>Flachgründungen</i>
6 Groundwater <i>Grundwasser</i>	6 Description and classification of the ground <i>Beschreibung und Klassifizierung des Baugrunds</i>	6 Piled foundations <i>Pfahlgründungen</i>
7 Geotechnical analysis <i>Geotechnische Untersuchung</i>	7 State, physical, and chemical properties <i>Zustand, physikalische und chemische Eigenschaften</i>	7 Retaining structures <i>Stützbauwerke</i>
8 Ultimate limit states <i>Grenzzustand der Tragfähigkeit</i>	8 Strength <i>Festigkeit</i>	8 Anchors <i>Anker</i>
9 Serviceability limit states <i>Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</i>	9 Stiffness, compressibility and consolidation <i>Steifigkeit, Kompressibilität und Konsolidierung</i>	9 Reinforced fill structures <i>Verstärkte Schüttungskonstruktionen</i>
10 Implementation of design <i>Umsetzung des Entwurfs</i>	10 Cyclic, dynamic, and seismic properties <i>Zyklische, dynamische und seismische Eigenschaften</i>	10 Soil nailed structures a) <i>Bodenvernagelung</i>
11 Testing <i>Prüfungen</i>	11 Groundwater and geohydraulic properties <i>Grundwasser und geohydraulische Merkmale</i>	11 Rock bolts and surface support a) <i>Felsbolzen und Oberflächenstützung</i>
12 Reporting <i>Berichtswesen</i>	12 Geothermal properties <i>Geothermische Eigenschaften</i>	12 Ground improvement <i>Baugrundverbesserung</i>
	13 Reporting <i>Berichtswesen</i>	13 Groundwater control <i>Grundwasserkontrolle</i>

<sup>a)</sup> These clauses were combined in prEN1997-3 but have subsequently been split. / <sup>a)</sup> Diese Klauseln waren in prEN1997-3 zusammengefasst, wurden aber später aufgeteilt.

structures, rock bolts and surface support, ground improvement and groundwater control.

Tunnels and other underground structures are not covered as one of the geotechnical structures of the revised EN 1997-3, because they are complex structures, where ground-structure interaction is critical, and involve different materials such as concrete and steel. However, steps are being given in this direction under the Joint Research Centre of the European Union, who created Expert Network that issued a report [23] with an assessment of the Eurocodes applicability for the design of underground structures. It is possible that a new Part 4 will be developed in the near future for this purpose.

### 3.2 Rock engineering

New content regarding rock was introduced, namely:

- The correct consideration and definition of rock, rock mass and discontinuities, as well as of the discontinuous nature of the rock mass,
- The consideration of failure mechanisms relevant for rock masses, such as toppling,
- The presentation of specific values for the partial factors on ground properties to be used for rock, rock mass and discontinuities,
- The consideration of rock mass classification systems for description and classification of the ground,
- The inclusion of physical, and chemical properties relevant for rock, namely their determination by laboratory and field tests, including the testing standards. The in situ stress state and methods for its determination are included,
- The introduction of specific strength envelopes for rock, rock masses and discontinuities and methods to determine their parameters,
- The introduction of specific aspects of rock and rock mass deformability,
- The inclusion of rock anchors and of clauses on rock bolts and on groundwater control in Part 3,
- The general consideration of rock throughout the text of the three parts.

To assess the importance of rock, the occurrences of the terms “rock”, “rock mass” and “discontinuities” in the existing and revised versions of EN 1997 are presented in Tab. 9. The increase in the number of times these three terms occur is 36%, 412% and 522%, respectively. The high increase in the use of “rock mass” and “discontinuities” is a clear sign, not only of more material on rock issues, but also of the better understanding of the discontinuous nature of rock masses and the relevance of discontinuities. In EN 1990 the corresponding numbers are very modest: the occurrence of “rock” increased from 2 to 4 times and there is no occurrence of “rock mass”, while the term “discontinuities” was not present and now occurs twice. A similar exercise with the term “geotechnical engineering” in EN 1990 gives an increase of 386%,

werden, um die Folgenklasse des Bauwerks zu berücksichtigen.

### 2.6.2 Überprüfung der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Bei der Überprüfung der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS) muss folgende Formel überprüft werden:

$$E_d \leq C_{d,SLS} \quad (7)$$

wobei  $C_{d,SLS}$  der Bemessungsgrenzwert des jeweiligen Gebrauchstauglichkeitskriteriums ist, der häufig als Verschiebung oder Dehnung festgelegt wird. Der Wert von  $E_d$  für eine bestimmte Kombination von Einwirkungen wird ähnlich wie beim ULS ermittelt, jedoch mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F = 1,0$  in Gleichung (3). Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden sind in Anhang A.1 aufgeführt, einschließlich der Begrenzung von Fundamentbewegungen in Form von Differenzsetzungen, Winkelverdrehungen und Neigungen.

## 3 Die wichtigsten Änderungen in der zweiten Generation der EN 1997

### 3.1 Umstrukturierung

Die erste Generation der EN 1997 hat zwei Teile:

- Part 1 – Allgemeine Regeln (EN 1997-1:2004),
- Part 2 – Erkundung und Untersuchung des Baugrunds (EN 1997-2:2007).

Die zweite Generation der EN 1997 hat künftig drei Teile:

- Part 1 – Allgemeine Regeln (EN 1997-1),
- Part 2 – Eigenschaften des Baugrunds (EN 1997-2),
- Part 3 – Geotechnische Bauwerke (EN 1997-3).

Die Inhalte des aktuellen Teils 1 (EN 1997-1:2004) sind wie folgt aufgeteilt:

- Die Grundlagen des geotechnischen Entwurfs wird in der überarbeiteten EN 1990 enthalten sein.
- Allgemeine Regeln, die alle geotechnischen Entwürfe betreffen, verbleiben im Teil 1 (EN 1997-1).
- Die spezifischen Regeln für besondere geotechnische Bauwerke bilden den neuen Teil 3 (EN 1997-3).

In Bild 1 (in Anlehnung an [6]) sind die Hauptaspekte der Verteilung der Inhalte von der ersten zur zweiten Generation der Eurocodes für die geotechnische Bemessung veranschaulicht.

Eine wichtige Folge dieser Umstrukturierung ist, dass die überarbeitete EN 1990 die geotechnische Bemessung in der Weise einbezieht, dass die drei Bemessungsansätze in

**Tab. 9** Occurrence of rock related terms in the existing and the revised EN 1997

**Tab. 9** Häufigkeit der felsbaubezogenen Begriffe "Fels", „Gebirge“ und „Trennflächen“ in alter und neuer EN 1997

	<b>Rock Gestein</b>	<b>Rock mass Gebirge</b>	<b>Discontinuities Diskontinuitäten</b>
prEN 1997-1:2022	52	10	27
prEN 1997-2:2022	284	91	105
prEN 1997-3:2022	278	76	35
Total	614	177	167
EN 1997-1:2004	136	22	18
EN 1997-2:2004	316	21	14
Total	452	43	32

from 15 to 58 occurrences, which had to be expected considering the inclusion of geotechnical design.

### 3.3 Design process

The design process of a geotechnical structure in accordance with the revised EN 1990 and EN 1997, as presented in [10], can be divided in four tasks:

- Reliability management. It comprises establishing the Geotechnical Complexity Class (GCC) for the ground and classifying the consequences of failure of the geotechnical structure into one of the three Consequence Classes (CC) to place the geotechnical structure into one of the three Geotechnical Categories (GC1, GC2 and GC3). The GC places certain requirements on the design and construction that are essential in ensuring the appropriate level of reliability. Provisions are in EN 1997-1 and EN 1990; details are in a paper [1] of this series.
- Ground modelling. It comprises the geological, hydrogeological, and geotechnical conditions at the site, based on the ground investigation results. The Ground Model is the main output of the Ground Investigation and is documented in the Ground Investigation Report (GIR). Provisions are in EN 1997-2; details are in a paper [2] of this series.
- Design verification. It covers all the procedures to verify that no limit states are exceeded in any design situations that the structure encounters during its design service life. Includes the development of the Geotechnical Design Model, based on the Ground Model, the design situations and the verification of ULS and SLS by calculation using the partial factor method or other reliability-based methods, prescriptive rules, testing or the observation method. The output is the Geotechnical Design Report (GDR). Provisions are in EN 1997-1, EN 1997-3 and EN 1990; details are in three papers [1, 3, 4] of this series.
- Implementation of design: It includes supervision, inspection, monitoring, and maintenance plans to check implementation of the design during execution and design service life. When using the Observational Method of a design contingency plan addresses foreseeable ground responses and give contingency meas-

der aktuellen EN 1997 entfernt und durch die in der EN 1990 vorgestellten Methoden ersetzt werden (wie oben erläutert). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass Teil 1 der überarbeiteten EN 1997 nur die Aspekte der geotechnischen Bemessung behandelt, die für alle geotechnischen Bauwerke gelten. Teil 3 deckt alle Aspekte ab, die für die jeweiligen Arten von geotechnischen Bauwerken spezifisch sind. Der bestehende Teil 2 konzentriert sich in erster Linie auf die Methoden der Datenermittlung und -fassung für Labor- und Feldversuche, während sich der überarbeitete Teil 2 auf die Ermittlung von Baugrundeigenschaften konzentriert, mit dem Ziel, die Alltagstauglichkeit der Norm für Praktiker zu verbessern. Berechnungsmodelle, die in den Anhängen des bestehenden Teils 2 vorgestellt wurden, sind ebenfalls in den überarbeiteten Teil 3 übernommen worden. Die EN 1997 ist, wie alle anderen Eurocodes auch, in Verbindung mit EN 1990 zu lesen.

Das Inhaltsverzeichnis der drei Teile der überarbeiteten EN 1997 ist in Tab. 8 dargestellt. Die einleitenden Abschnitte (1 Anwendungsbereich; 2 Normative Verweisungen; 3 Begriffe, Definitionen und Symbole) sind für alle Eurocodes gleich und werden in Tab. 8 nicht wiederholt. Die besonderen Aspekte von EN 1997-1 und EN 1997-2 werden in den Beiträgen [1, 2] dieser Reihe behandelt, während EN 1997-3 in den Beiträgen [3, 4] behandelt wird. Der Gesamtinhalt wurde umfassend geändert und erweitert. In EN 1997-3 wurden neue Abschnitte eingeführt, die sich mit bewehrtem Boden, Bodenvernagelungen, Felsankern und Stützbauwerken, Bodenverbesserung und Grundwasserschutz befassen.

Tunnel und andere unterirdische Bauwerke werden in der überarbeiteten EN 1997-3 nicht als geotechnische Bauwerke behandelt, da es sich um komplexe Bauwerke handelt, bei denen die Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk kritisch ist und verschiedene Materialien wie Beton und Stahl verwendet werden. Die Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Union hat jedoch Schritte in diese Richtung unternommen und ein Expertennetzwerk eingerichtet, das einen Bericht [23] mit einer Bewertung der Anwendbarkeit der Eurocodes für die Bemessung von unterirdischen Bauwerken veröffentlicht hat. Es ist möglich, dass in naher Zukunft ein neuer Teil 4 für diesen Zweck entwickelt werden wird.

ures appropriate for each design variant. Provisions are in EN 1997-1; details are in a paper [1] of this series.

## 4 Conclusions

The most important desideratum of the revision of the geotechnical Eurocodes for the rock engineering community was that the revised version of Eurocode 7 will treat soil and rock on an equal basis. Whether this was attained or not is a difficult question to answer. Important improvements were achieved, but it is now already recognised that there are certain aspects that will need to be included or improved in a future revision. Considerations on these aspects are presented in a paper [5] of this series. But the answer to this question will only be given in the coming years by rock engineers in Europe and in other countries, who will start gaining practice applying the Eurocodes for design and providing information on the advantages and the difficulties encountered, so that the targets for a subsequent revision can be defined.

## Acknowledgements

Many people have contributed to the development of the second generation of the Eurocodes. Without the efforts of all of them this series of six papers by members of the Rock Engineering Platform would not have been possible. We are especially indebted to the chairpersons of CEN/TC 250/SC 7, Andrew Bond, Adrian van Seters and vice chair Gunilla Franzén, and to the other authors of the series of papers for the ECSMGE conference in Reykjavik in 2019.

## References

- [1] Walter, H.; Lamas, L.; Labiouse, V.; Nuijten, G.; Spross, J.; Stille, H. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode 7 – General rules (EN 1997-1:2024)*. Geomechanics and Tunnelling 16, No. 5, pp. 491–509, <https://doi.org/10.1002/geot.202300019>
- [2] Estaire, J.; Heintz, R.; Johansson, E.; Muralha, J.; Nuijten, G.; Segalini, A. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode 7 – Ground properties (EN 1997-2:2024)*. Geomechanics and Tunnelling 16, No. 5, pp. 510–523, <https://doi.org/10.1002/geot.202300023>
- [3] Stille, H.; Ashcroft, B.; Boley, C.; Labiouse, V.; Pinto, P. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode 7 – Geotechnical structures: slopes, spread foundations and retaining structures (EN 1997-3:2024)*. Geomechanics and Tunnelling 16, No. 5, pp. 524–535, <https://doi.org/10.1002/geot.202300025>
- [4] Maca, N.; Dietz, K.; Stille, H.; Virely, D. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode 7 – Geotechnical structures: anchors, reinforced fill structures, ground reinforced elements, ground improvement and groundwater control (EN 1997-3:2024)*. Geomechanics and Tunnelling 16, No. 5, pp. 536–559, <https://doi.org/10.1002/geot.202300026>

## 3.2 Felsbau

Es wurden neue Inhalte zum Thema Felsbau eingeführt, konkret:

- Die korrekte Berücksichtigung und Definition von Gestein, Gebirge und Diskontinuitäten sowie der Natur des Gebirges als Diskontinuum,
- Die Berücksichtigung der für den Felsbau relevanten Versagensmechanismen, z. B. Kippen,
- Die Darstellung spezifischer Werte für die Teilsicherheitsbeiwerte, die für Fels, Felsmasse und Diskontinuitäten zu verwenden sind,
- Die Berücksichtigung von Gebirgsklassifikationssystemen zur Beschreibung und Klassifizierung des Bodens,
- Die Einbeziehung der für den Fels/das Gebirge relevanten physikalischen und chemischen Eigenschaften, insbesondere deren Bestimmung durch Labor- und Feldversuche, einschließlich der Prüfnormen. Der In-situ-Spannungszustand und die Methoden zu seiner Bestimmung werden einbezogen,
- Die Einführung spezifischer Hüllkurven der Festigkeit für Gestein, Gebirge und Diskontinuitäten und Methoden zur Bestimmung ihrer Parameter,
- Die Einführung spezifischer Aspekte der Verformbarkeit von Fels und Gebirge,
- Die Aufnahme von Felsankern und von Abschnitten über Felsbolzen und über die Grundwasserhaltung in Teil 3,
- Die allgemeine Berücksichtigung von Fels im gesamten Text der drei Teile.

Um die Bedeutung des Felsbaus zu beurteilen, wird in Tab. 9 die Häufigkeit des Vorkommens der Begriffe „Gestein“, „Gebirge“ und „Diskontinuitäten“ in der bestehenden und der überarbeiteten Fassung der EN 1997 dargestellt. Die Zunahme der Häufigkeit des Auftretens dieser drei Begriffe beträgt 36 %, 412 % bzw. 522 %. Die starke Zunahme der Verwendung von „Gebirge“ und „Diskontinuitäten“ ist ein deutliches Zeichen, sowohl für die Stärkung des Felsbaus als auch für ein besseres Verständnis der diskontinuierlichen Natur des Gebirges und der Bedeutung von Diskontinuitäten. In EN 1990 sind die entsprechenden Zahlen sehr bescheiden: das Vorkommen von „Gestein“ stieg von 2 auf 4 Mal und es gibt kein Vorkommen von „Gebirge“, während der Begriff „Diskontinuitäten“ nicht vorhanden war und nun zweimal vorkommt. Ein ähnlicher Versuch mit dem Begriff „Geotechnik“ in EN 1990 ergibt eine Zunahme um 386 %, von 15 auf 58 Mal, was angesichts der Einbeziehung der geotechnischen Planung zu erwarten war.

## 3.3 Entwurfsbearbeitung

Der Entwurfsprozess eines geotechnischen Bauwerks gemäß der überarbeiteten EN 1990 und EN 1997, wie in [10] dargestellt, kann in vier Aufgaben unterteilt werden:

- [5] Harrison, J.; Burbaum, U.; Lamas, L.; Spross, J.; Stille, H. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode 7 – Perspectives of the evolution to the 2035 third generation*. Geomechanics and Tunnelling 16, No. 5, pp. 560–572, <https://doi.org/10.1002/geot.202300027>
- [6] Bond, A. J.; Formichi, P.; Spehl, P.; van Seeters, A. J. (2019) *Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1990:202x Basis of structural and geotechnical design*. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, Iceland, <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0943>
- [7] Franzén, G. et al. (2019) *Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-1:202x General rules*. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, Iceland, <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0944>
- [8] Norbury, D. R. et al. (2019) *Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-2:202x Ground investigation*. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, Iceland, <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0946>
- [9] Bond, A. J.; Jenner, C.; Moormann, C. (2019) *Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-3:202x Geotechnical structures*. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, Iceland, <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0947>
- [10] Estaire, J.; Arroyo, M.; Scarpelli, G.; Bond, A. J. (2019) *Tomorrow's geotechnical toolbox: Design of geotechnical structures to EN 1997:202x*. In: Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, Iceland, <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0948>
- [11] EN 1990:2002 (2002) *Eurocode – Basis of structural design*. Brussels, Belgium: CEN.
- [12] EN 1997-1:2004 (2004) *Geotechnical Design: Part 1, General rules*. Brussels, Belgium: CEN.
- [13] EN 1997-2:2007 (2007) *Geotechnical Design: Part 2, Ground investigation and testing*. Brussels, Belgium: CEN.
- [14] Alejano, L.; Perucho, A.; Olalla, C.; Jiménez, R. (ed) (2014) *Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses – Proceedings, 2014 ISRM European Rock Mechanics Symposium Eurock 2014*. Vigo, Spain: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/b16955>.
- [15] Alejano, L.; Bedi, A.; Bond, A.; Ferrero, A.M.; Harrison, J.P.; Lamas, L.; Migliazza, M.R.; Olsson, R.; Perucho, A.; Sofianos, A.; Stille, H.; Virely, D. (2013) *Rock engineering design and the evolution of Eurocode 7*. Proceedings, 2013 ISRM European Rock Mechanics Symposium Eurock 2013 – Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment, Kwasniewski M, Lydzba D (eds), Wroclaw, Poland: Taylor & Francis Group.
- [16] Harrison, J.P.; Alejano, L.; Bedi, A.; Ferrero, A.M.; Lamas, L.; Mathier, J.F.; Migliazza, M.R.; Olsson, R.; Perucho, A.; Sofianos, A.; Stille, H.; Virely, D.; Wittke, M. (2015) *Rock engineering design and the evolution of Eurocode 7: the critical six years to 2020*. Proceedings, 13th International Congress of Rock Mechanics – Innovations in Applied and Theoretical Rock Mechanics Editors, Hassani, Hadjigeorgiou, Archibald (eds), Montreal, Canada: CIM and ISRM.
- [17] Lamas, L.; Nuijten, G.; Boley, C.; Burbaum, U.; Feinendegen, M.; Harrison, J.P.; Johansson, E.; Labiouse, V.; Migliazza, M.R.; Olsson, R.; Poisel, R.; Segalini, A.; Stille, H.; Virely, D.; Walter, H. (2020) *Revision of the Eurocodes – Aspects of Geotechnical and Rock Engineering Design*. Proceedings of the ISRM International Symposium – EUROCK 2020, Trondheim, Norway.
- [18] Bond, A.J.; Burlon, S.; van Seeters, A.J.; Simpson, B. (2015) *Planned changes in Eurocode 7 for the second generation of Eurocodes*. Proceedings, 16th European Conference on
- Zuverlässigkeitsmanagement. Es umfasst die Festlegung der geotechnischen Komplexitätsklasse (GCC) für den Boden und die Einstufung der Folgen eines Versagens der geotechnischen Struktur in eine der drei Folgeklassen (CC), um die geotechnische Struktur in eine der drei geotechnischen Kategorien (GC1, GC2 und GC3) einzuordnen. Die GC stellt bestimmte Anforderungen an die Planung und den Bau, die für die Gewährleistung eines angemessenen Zuverlässigkeitsniveaus wesentlich sind. Die Bestimmungen sind in EN 1997-1 und EN 1990 enthalten; Einzelheiten finden sich im Beitrag [1] dieser Reihe.
  - Modellierung des Baugrunds. Sie umfasst die geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse am Standort, basierend auf den Ergebnissen der Baugrunduntersuchung. Das Bodenmodell ist das Hauptergebnis der Baugrunduntersuchung und wird im Baugrunduntersuchungsbericht (Ground Investigation Report, GIR) dokumentiert. Die Bestimmungen sind in EN 1997-2 enthalten; Einzelheiten sind im Beitrag [2] dieser Reihe zu finden.
  - Überprüfung des Entwurfs. Er umfasst alle Verfahren zum Nachweis, dass in allen Bemessungssituationen, denen das Bauwerk während seiner Nutzungsdauer ausgesetzt ist, keine Grenzzustände überschritten werden. Dazu gehören die Entwicklung des geotechnischen Bemessungsmodells auf der Grundlage des Baugrundmodells, die Bemessungssituationen und der Nachweis von ULS und SLS durch Berechnung mit Teilsicherheitsbeiwerten oder anderen auf Zuverlässigkeit basierenden Methoden, präskriptiven Regeln, Testverfahren oder der Beobachtungsmethode. Das Ergebnis ist der Geotechnische Entwurfsbericht (Geotechnical Design Report, GDR). Die Bestimmungen sind in EN 1997-1, EN 1997-3 und EN 1990 enthalten; Einzelheiten sind in drei Beiträgen [1, 3, 4] dieser Reihe enthalten.
  - Ausführung. Sie umfasst Überwachungs-, Inspektions-, Kontroll- und Instandhaltungspläne zur Überprüfung der Umsetzung des Entwurfs während der Ausführung und der Nutzungsdauer. Bei Anwendung der Beobachtungsmethode eines Entwurfs befasst sich der Notfallplan mit vorhersehbaren Bodenreaktionen und enthält für jede Entwurfsvariante geeignete Notfallmaßnahmen. Die Bestimmungen sind in EN 1997-1 enthalten; Einzelheiten finden sich in einem Beitrag [1] dieser Reihe.

#### 4 Schlussfolgerungen

Das wichtigste Anliegen bei der Überarbeitung der geotechnischen Eurocodes für den Felsbau war, dass die überarbeitete Version des Eurocodes 7 Boden und Fels gleichbehandelt. Ob dies erreicht wurde oder nicht, ist eine schwer zu beantwortende Frage. Es wurden wichtige Verbesserungen erzielt, aber es wird bereits jetzt erkannt, dass es bestimmte Aspekte gibt, die in einer zukünftigen Überarbeitung aufgenommen oder verbessert werden

Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburgh, UK.

- [19] EN 1990:2023 (2023) *Eurocode – Basis of structural and geotechnical design*. Brussels, Belgium: CEN.
- [20] prEN 1997-1:2022 (2022) *Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 1: General rules*. Brussels, Belgium: CEN.
- [21] prEN 1997-2:2022 (2022) *Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground properties*. Brussels, Belgium: CEN.
- [22] prEN 1997-3:2022 (2022) *Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 3: Geotechnical structures*. Brussels, Belgium: CEN.
- [23] Athanasopoulou, A.; Bogusz, W.; Boldini, D.; Brandtner, M.; Brierley, R.; Dimova, S.; Franzen, G.; Ganz, H.; Grunicke, U.; Malakatas, N.; Pecker, A.; Roessler, K.; Sciotti, A.; Van Seters, A.; Sousa, M.L. (2022) *Prospects for designing tunnels and other underground structures in the context of the Eurocodes*. EUR 31265EN, JRC report130784, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://doi.org/10.2760/307164>.

müssen. Überlegungen zu diesen Aspekten werden im Beitrag [5] dieser Reihe vorgestellt. Die Antwort auf diese Frage wird jedoch erst in den kommenden Jahren von Felsbauingenieuren in Europa und in anderen Ländern gegeben werden, die damit beginnen werden, die Eurocodes in der Praxis für die Bemessung anzuwenden und Informationen über die Vorteile und die aufgetretenen Schwierigkeiten zu liefern, sodass die Ziele für eine spätere Überarbeitung festgelegt werden können.

### Danksagung

Viele Menschen haben zur Entwicklung der zweiten Generation der Eurocodes beigetragen. Ohne die Bemühungen all dieser Personen wäre diese Reihe von sechs Beiträgen von Mitgliedern der Rock Engineering Plattform nicht möglich gewesen. Unser besonderer Dank gilt den Vorsitzenden des CEN/TC 250/SC 7, Andrew Bond, Adrian van Seters und der stellvertretenden Vorsitzenden Gunilla Franzén, sowie den anderen Autoren der Reihe von Beiträgen für die ECSMGE-Konferenz in Reykjavik im Jahr 2019.

## Authors



Luís Lamas  
(corresponding author)  
llamas@lnec.pt  
LNEC – Portuguese National Laboratory for Civil  
Engineering  
Modelling and Rock Mechanics Unit  
Av. do Brasil, 101  
1700-066 Lisboa  
Portugal



John Harrison  
john.harrison@utoronto.ca  
Department of Civil & Mineral Engineering  
University of Toronto  
35 St. George St.  
Toronto, Ontario  
Canada, M5S 1A4



Ulrich Burbaum  
ulrich.burbaum@h-da.de  
University of Applied Sciences  
Department of Civil and Environmental Engineering  
Haardtring 100, Darmstadt  
Germany



Guido Nuijten  
guido.nuijten@afry.com  
AFRY Finland Oy  
Jaakonkatu 3  
01620 Vantaa  
Finland



José Estaire  
Jose.Estaire@cedex.es  
CEDEX – Geotechnical Laboratory  
C. de Alfonso XII, 3  
28014 Madrid  
Spain



Renato Pereira  
rpereira@lnec.pt  
LNEC – Portuguese National Laboratory for Civil  
Engineering  
Av. do Brasil, 101  
1700-066 Lisboa  
Portugal

## How to Cite this Paper

Lamas, L.; Burbaum, U.; Estaire, J.; Harrison, J.; Nuijten, G.; Pereira, R. (2023) *Rock engineering design in tomorrow's geotechnical toolbox: Eurocode and the basis of structural and geotechnical design (the second generation of EN 1990 and EN 1997)*. Geomechanics and Tunneling 16, No. 5, pp. 469–490. <https://doi.org/10.1002/geot.202300021>

This paper has been peer reviewed. Submitted: 15. May 2023; accepted: 24. July 2023.

## Zitieren Sie diesen Beitrag

Lamas, L.; Burbaum, U.; Estaire, J.; Harrison, J.; Nuijten, G.; Pereira, R. (2023) *Felsbauplanung mit dem geotechnischen Werkzeugkasten von morgen: Eurocode und die Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken (die zweite Generation der EN 1990 und EN 1997)*. Geomechanik und Tunnelbau 16, H. 5, S. 469–490. <https://doi.org/10.1002/geot.202300021>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 15. Mai 2023; angenommen: 24. Juli 2023.