



Herausgegeben von
Christian Moormann
Carola Vogt-Breyer



14. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

**Fachtagung über aktuelle
Herausforderungen der Geotechnik**

Tagungshandbuch 2024

Exklusiv für Tagungsteilnehmer: Kostenfreier Zugriff auf die elektronische Ausgabe des Tagungshandbuchs mit nützlichen Zusatzfunktionen und einer Anleitung zum Aktivieren des Codes auf **gutschein.narr.digital**

14. Kolloquium
Bauen in Boden und Fels
30. und 31. Januar 2024
Technische Akademie Esslingen

Herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann
Prof. Dr.-Ing. Carola Vogt-Breyer

14. Kolloquium

Bauen in Boden und Fels

Die Fachtagung über aktuelle Herausforderungen in der Geotechnik

Tagungshandbuch 2024

Medienpartner:

GEORESOURCES
Mining, Tunnelling, Geotechnics and Equipment
www.georesources.net

gis.Science

expert

TAE weiterbilden
weiterkommen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das vorliegende Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Haftung für die Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile.

© 2024. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag
Ein Unternehmen der
Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG
Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen
eMail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Technische Akademie Esslingen e. V.
An der Akademie 5 · D-73760 Ostfildern
eMail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-381-11811-3 (Print)
eISBN 978-3-381-11812-0 (ePDF))

Vorwort

Der Ausbau der Infrastruktur sowie die Verdichtung in den Ballungsräumen führen dazu, dass die Bedeutung des Bauens in Boden und Fels sowie die Anforderungen an nachhaltige Konzepte und Bauverfahren bei der Errichtung und Erhaltung unterirdischer Bauwerke zunehmen. Für Neubauten und bestehende Einrichtungen im Bestand ergeben sich dadurch in geotechnischer Hinsicht bedeutende ingenieurtechnische Herausforderungen, die beim Kolloquium Bauen in Boden und Fels dargestellt und diskutiert werden.

Die alle zwei Jahre an der Technischen Akademie Esslingen (TAE) stattfindende Fachtagung mit begleitender Ausstellung hat sich in den letzten 25 Jahren sukzessive als führende Veranstaltung in Süddeutschland und dem angrenzenden deutschsprachigen Ausland etabliert.

Das Kolloquium Bauen in Boden und Fels richtet sich an Ingenieure und Naturwissenschaftler, die in planenden oder beratenden Büros, ausführenden Firmen, Verwaltungen, Hochschulen und Verbänden an der Weiterentwicklung von Techniken und Verfahren in der Geotechnik arbeiten.

Der Programmausschuss unter Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Universität Stuttgart und Frau Prof. Dr.-Ing. Carola Vogt-Breyer, Hochschule für Technik Stuttgart hat für das 14. Kolloquium Bauen in Boden und Fels am 30. und 31. Januar 2024 etwa 45 Plenar- und Fachvorträge zu folgenden Themen ausgewählt:

- Nachhaltigkeit in der Geotechnik
- Bauen im Bestand
- Baugruben
- Gründungen
- Grundbau/Baugrundverbesserungen
- Tunnelbau
- Wasser- und Verkehrswegebau
- Innovationen/Forschung
- Verfahren und Produkte

Der vorliegende Tagungsband enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik sowie neueste Entwicklungen und Trends in der Geotechnik. Weitere Informationen unter www.tae.de/50018.

Inhaltsverzeichnis

0.0	Plenarvorträge	
0.1	EN 1997:2024 – Die zweite Generation des Eurocode 7 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Adriaan van Seters	13
0.2	Nachhaltigkeit im Infrastrukturbau – CO₂-Bilanzierung von Infrastrukturprojekten Dipl.-Ing. (FH) Tomas Vardijan, Dr.-Ing. Claudia Klotz	25
0.3	BIM im Spezialtiefbau – aktueller Stand am Beispiel Central Business Tower, Frankfurt Raphael Baur, M. Eng., Dipl.-Ing. (FH) Bettina Bastian	35
0.4	Schadensanalyse eines Autobahndammes im Moor – Projektdateien, analytische Berechnungen und Numerische Untersuchungen Prof. Dr.-Ing. Maik Schüßler, Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz, Dr.-Ing. Daniel Aubram, Melina Gralle, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Ralf Glasenapp	41
0.5	Geotechnische Herausforderungen beim Querverschub des 48.000 t schweren Ersatzneubaus der Neckartalquerung der BAB A6 bei Heilbronn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Dr.-Ing. Patrik Buhmann, Dr.-Ing. Bodo Billig, Stefan Krieger	55
0.6	Bahndamm Ramerberg – Planung und zeiteffizientes Bauen für die Wiederherstellung nach einem Dammrutsch Dr.-Ing. Raoul Hölter, Sarah Hägele, M. Sc., Prof. Dr. Paul Gehwolf, Dipl.-Ing. Thomas Barciaga	65
1.0	Nachhaltigkeit in der Geotechnik	
1.1	Planung und Optimierung des Sondenfeldes einer oberflächennahen Geothermieanlage für ein Logistikzentrum Dr. Max Kewel, Martin Sekulla, M. Sc.	75
1.2	Zwei-Phasen-Weichgelsohlen als nachhaltige Alternative zu Dichtsohlen im Düsenstrahlverfahren Dr.-Ing. Lukas Knittel, Dr.-Ing. Ivo Kimmig, Dipl.-Ing. Tobias Adler	83
2.0	Grundbau/Baugrundverbesserungen	
2.1	Deep-Dry-Mixing zur Ermöglichung einer Schlitzwandherstellung in weichen marinen Sedimenten Dipl.-Ing. Yannick Scherpereel, B. Sc., Luca Fischer, M. Eng.	93
2.2	Ausbau der A8 bei Pforzheim Lukas Riedl, M. Eng., Sabrina Kirsch, M. Eng., Dipl.-Ing. Stephan Böker	103
2.3	Untersuchung des Langzeitquellens an pyrithaltigen Boden-Bindemittelgemischen im Bahnprojekt Stuttgart 21 Dr.-Ing. Axel Möllmann, Dr.-Ing. Marc Raithel, Tim Kristandt, M. Sc., Patrick Höfler M. Sc., Florian Jäger M. Eng., Dipl.-Ing. (FH) Gebhard Bantle, Dipl.-Ing. (FH) Michael-Werner Bruss, Sibylle Christine Reustle	115

3.0	Innovationen/Forschung	
3.1	Ergebnisse von aktuellen Forschungsvorhaben zur Bestimmung der Abrasivität von Lockergesteinen	125
	Prof. Dr.-Ing. Christoph Budach, Dipl.-Ing. Katrin Lipka, Prof. Dr.-Ing. Peter Erdmann, Prof. Dr. Danka Katrakova-Krüger	
3.2	Thermisches Verfahren zur Verhinderung von Anhydritquellungen	133
	Dipl.-Geol. Uwe Dannwolf, B. Sc., Heiner Fromm	
3.3	Erfahrungen zur Festigkeitsbestimmung von Mergelgesteinen mit dem Nadelpenetrometer	139
	Moritz Aderhold, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Michael Alber, Dr. Ralf J. Plinninger	
3.4	Untersuchung elektroosmotischer Effekte auf Adhäsion und Gleitreibung eines bindigen Modellbodens	145
	Michael Ried, M. Eng., Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart	
3.5	Lastfall Impakt auf Steinschlagschutzdamm: Welcher Berechnungsansatz darf's denn sein?	157
	Dr.-Ing. Bernd Kister	
3.6	Prozessoptimierung und Automatisierung von FE-Berechnungen in der Geotechnik	171
	Marijn De Volder, M. Sc., Dr. nat. techn. Jia Lin, Dipl.-Ing. Thomas Wieser	
4.0	Tunnelbau	
4.1	Neue Bahnstrecke Dresden-Prag: Erzgebirgstunnel – Variantenuntersuchungen in der Vorplanungsphase	179
	Dr.-Ing. Anna-Lena Hammer, Dr. techn. Gerold Lenz, Roman Sabata, Dr. Andreas Laudahn	
4.2	Numerische Berechnungen zum Tunnel Silltal als Teil des Brenner Basistunnels	189
	Dipl.-Ing. Dr. techn. Tassilo Weifner	
4.3	Das Konzept einer direkten, passiven Freiflächentemperierung in Verbindung mit einer geothermischen Bergwassernutzung	195
	Till Kugler, M. Sc., Tim Hochstein, M. Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann	
4.4	Anforderungen an die Probennahme und Durchführung zusätzlicher Laboruntersuchungen beim maschinellen Tunnelbau im Lockergestein	203
	Prof. Dr.-Ing. Christoph Budach, Dr. Pierre Müller, Dr.-Ing. Jörg Holzhäuser, Akad. Dir. Dipl.-Ing. Martin Feinendegen	

5.0	Wasser- und Verkehrswegebau	
5.1	Wiedereröffnung Marienschlucht am Bodensee – Geotechnische Planung und messtechnische Überwachung	215
	Dipl.-Ing. (FH) Achilles Häring	
5.2	Helgoland – Erkundungsarbeiten unter Hochseebedingungen	223
	Dipl.-Ing. (FH) Holger Jud, Dipl.-Geol. Klaus Warber	
5.3	Bewertung der Funktionsfähigkeit und Lebensdauer von geotextilen und mineralischen Filtern in tidebeeinflussten Wasserstraßen bei Verockerungsneigung	231
	Lukas Tophoff, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf, Prof. Dr.-Ing. Frank Heimbecher, Dipl.-Ing. Norbert Kunz	
5.4	Festlegung charakteristischer Grundwasserstände für Tragfähigkeitsnachweise von Wasserbauwerken	241
	Dipl.-Ing. Kerstin Ratz	
5.5	Standicherheit von Böschungen unter temporär auftretendem Wasser	247
	Dr.-Ing. Gerd Festag, Prof. Dr.-Ing. Jens Gattermann, Sabrina Denne, M. Sc.	
5.6	Zum räumlichen Einfluss des Erddrucks auf die Belastung kombinierter Spundwände	253
	Dr.-Ing. Jannik Beuße	
6.0	Bauen im Bestand	
6.1	Innerstädtische Baugruben – Projektbeispiele mit Lösungsmöglichkeiten zum Bauen im Bestand	261
	Dipl.-Ing. Christoph Maier, Dipl.-Ing. (FH) Tomas Vardijan, Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jörg Krauter	
6.2	Nachträgliche Herstellung eines Orchesterprobensaals unterhalb des Mannheimer Nationaltheaters – Praxisbeispiel aus Sicht der Tragwerksplanung	267
	Sergio Camacho, M. Sc., Dipl.-Ing. (FH) Frank Deuchler	
6.3	Stadionumbau unter laufendem Spielbetrieb: Mercedes-Benz Arena	283
	Dr.-Ing. Annette Lächler, Dr. Jan Niklas Franzius, Dipl.-Ing. DIC CEng MICE	

7.0	Baugruben	
7.1	Innovatives Konzept für eine der tiefsten Baugruben von Frankfurt am Main – Baugrube Station „Güterplatz“ im Zuge der Verlängerung der Stadtbahnlinie U5	293
	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Ruzica Marijanovic, M. Sc., Dipl.-Ing. Thomas Beckmann, Dr.-Ing. Patrik Buhmann, Dipl.-Ing. Sven Kirchner, Dr.-Ing. Alexandra Weidle	
7.2	Verlängerung Unterfahrung Gebhard-Müller-Platz, Stuttgart	303
	Dipl.-Ing. (FH) Tomas Vardijan, Fabian Seidel, M. Sc.	
7.3	Komplexe Schlitzwandanwendung an der ETH Zürich: HPQ – Das Physikgebäude der Zukunft	307
	Dipl.-Ing. Franz-Werner Gerressen, Alexander Blatt, M. Sc., Dipl.-Bauing. ETH Marc Freiburghaus, M. Sc., Dipl.-Bauing. FH Daniel Sohm, Dipl.-Ing. ETH David Estoppey, M. Sc.	
7.4	Spezialtiefbau auf engstem Raum – Die Herstellung einer 13 m tiefen Baugrube im Bestand	315
	Dipl.-Ing. Oliver Bernecker	
7.5	Baugrube in Beckenton	323
	Dr.-Ing. Igor Arsic	
8.0	Gründungen	
8.1	Realisierung eines Hochhauses über einer U-Bahn-Schutzzone – Präsidium Frankfurt	333
	Prof. Dr. Simon Meißner, Maximilian Kies, M. Eng., Prof. Dr. Joachim Michael	
8.2	Auswirkungen von Grundwasserhaltungen auf bestehende Kombinierte Pfahl-Plattengründungen in Frankfurt am Main	341
	Frederic Manche, B. Eng., Maximilian Kies, M. Eng., Prof. Dr.-Ing. Simon Meißner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt	
8.3	Neckartalbrücke Horb – Geotechnische Herausforderungen auf anspruchsvollem Baugrund	347
	Dipl.-Ing. Michael Kupka, Dipl.-Geol. Dr. Martin Brodbeck	
9.0	Verfahren und Produkte	
9.1	CO₂-reduzierte Bauprodukte im Spezialtiefbau – Berechnungsmethoden, Planungs- und Ausführungsbeispiele	355
	Dr.-Ing. Hursit Ibuk, Harry Blaskowitz	
9.2	Verfahrensprinzip der Baugrundverbesserung nach dem CSV-Verfahren	363
	Andreas Stallhofer, M. Eng.	
10.0	Anhang	
10.1	Programmausschuss	369
10.2	Autorenverzeichnis	371



Plenarvorträge

EN 1997:2024 – Die zweite Generation des Eurocode 7

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik

Vorsitzender des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT),

Head of Delegation im TC 250/SC 7

Adriaan van Seters

Chairman des TC 250/SC 7, Eurocode 7, Fugro NL Land B.V., Niederlande

Zusammenfassung

Nach einer dreizehnjährigen Entwicklungs- und Bearbeitungsphase wird die zweite Generation des Eurocode 7 im Herbst 2024 bzw. im Februar 2025 in drei Teilen neu erscheinen. Diese zweite Generation des Eurocode 7 wird die Baugrunderkundung, die Bestimmung von geotechnischen Kennwerten und insbesondere die Bemessung von geotechnischen Bauwerken für die nächsten Jahrzehnte in Europa und damit auch in Deutschland prägen. Die neue Fassung des Eurocode 7, kurz: EN 1997, hat gegenüber der aktuellen ersten Fassung eine grundlegende Überarbeitung erfahren. Er wird zukünftig drei Teile umfassen: Im Teil 1 „*General rules*“ werden alle grundsätzlichen Regelungen zur geotechnischen Bemessung enthalten sein; der Teil 2 „*Ground properties*“ entspricht bezüglich des Themenschwerpunktes dem bisherigen Teil 2 „*Erkundung und Untersuchung*“, wird aber strukturell stark verändert und u. a. um Regelungen für Untersuchungen im Felsen ergänzt. Der Teil 3 „*Geotechnical structures*“ wird die bisher im Teil 1 enthaltenen Abschnitte zu Flach- und Tiefgründungen, zu Böschungen und Dämmen, zu Stützbauwerken und Verankerungen, aber auch zusätzliche Abschnitte z. B. über Bewehrte Erde und Baugrundverbesserungen enthalten. Der vorliegende Beitrag stellt den Aufbau und wesentliche Bemessungsgrundlagen des EN 1997 entsprechend der aktuell vorliegenden Entwurfsfassung vor, wobei der Schwerpunkt auf den bemessungsrelevanten Teilen 1 und 3 liegt.

1. Einführung

Seit vielen Jahren wird auf europäischer Ebene die zweite Generation der Eurocodes für das Bauwesen erarbeitet. In diesem Kontext erfährt auch der Eurocode 7, EN 1997, eine grundlegende Überarbeitung.

Diese Überarbeitungsphase kommt nun zu ihrem Abschluss und die einzelnen Teile der verschiedenen Eurocodes werden sukzessive veröffentlicht. Für den Eurocode 7 „*Geotechnical Design*“, der zukünftig drei Teile umfassen wird, i.e. den Teil 1 „*General rules*“, den Teil 2 „*Ground properties*“ und den Teil 3 „*Ground structures*“ bedeutet dies, dass die Teile 1 und 2 im August 2024 und der Teil 3 im zweiten Quartal 2025 als finale Norm-Dokumente veröffentlicht werden (Abb. 1).

Die derzeitige, in der Ingenieurpraxis in der Anwendung befindliche erste Generation der Eurocodes geht auf Fassungen zurück, die bereits im Jahr 2004 als europaweit anzuwendende Normen zur Bemessung im Bauwesen in den Mitgliedländern des CEN eingeführt wurde. Die zentrale Norm für die geotechnische Bearbeitung von Projekten in Deutschland ist aktuell der Eurocode 7 (EC 7), DIN EN 1997 in der Fassung von September 2009 mit dem Titel: “Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ und den zwei Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Regeln
- Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

Die nationale Einführung dieser Eurocodes wurde in vielen Ländern durch Nationale Anwendungsdokumente ergänzt, so auch in Deutschland. Hierzu wurden im Fach-

bereich *Grundbau, Geotechnik* des DIN die DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ und die DIN 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ überarbeitet und als „Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 bzw. -2“ eingeführt. Dabei wurden gegenüber den früheren nationalen Normen alle Regelungen gestrichen, die schon in der EN 1997-1 enthalten waren, und die zugehörigen nationalen zu bestimmenden Parameter (NDP) der EN 1997-1 festgelegt, wie z. B. die Teilsicherheitsbeiwerte und die in Deutschland anzuwendenden Nachweisverfahren. Im Ergebnis wurden im Jahr 2011 im Handbuch *Eurocode 7 „Geotechnische Bemessung - Band 1 Allgemeine Regeln“*, die EN 1997-1, der Nationale Anhang und die überarbeitete DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ zusammengefasst, um dem Anwender die jetzt gültigen Bemessungsregeln nutzerfreundlich in einem Dokument zu Verfügung zu stellen.

Mit dem Mandat M/466 der Europäischen Kommission an das CEN (Europäisches Komitee für Normung) vom Mai 2010 wurde bereits die zukünftige Weiterentwicklung der Eurocodes initiiert,

Basierend auf der Antwort von CEN/TC 250 auf dieses Mandat M/466 entstand ab 2012 das Mandat M/515, auf dessen Basis TC 250 im Jahr 2013 ein Arbeitsprogramm für die Überarbeitung der Eurocodes vorgelegt hat, dass 77 Einzelaufgaben umfasste.

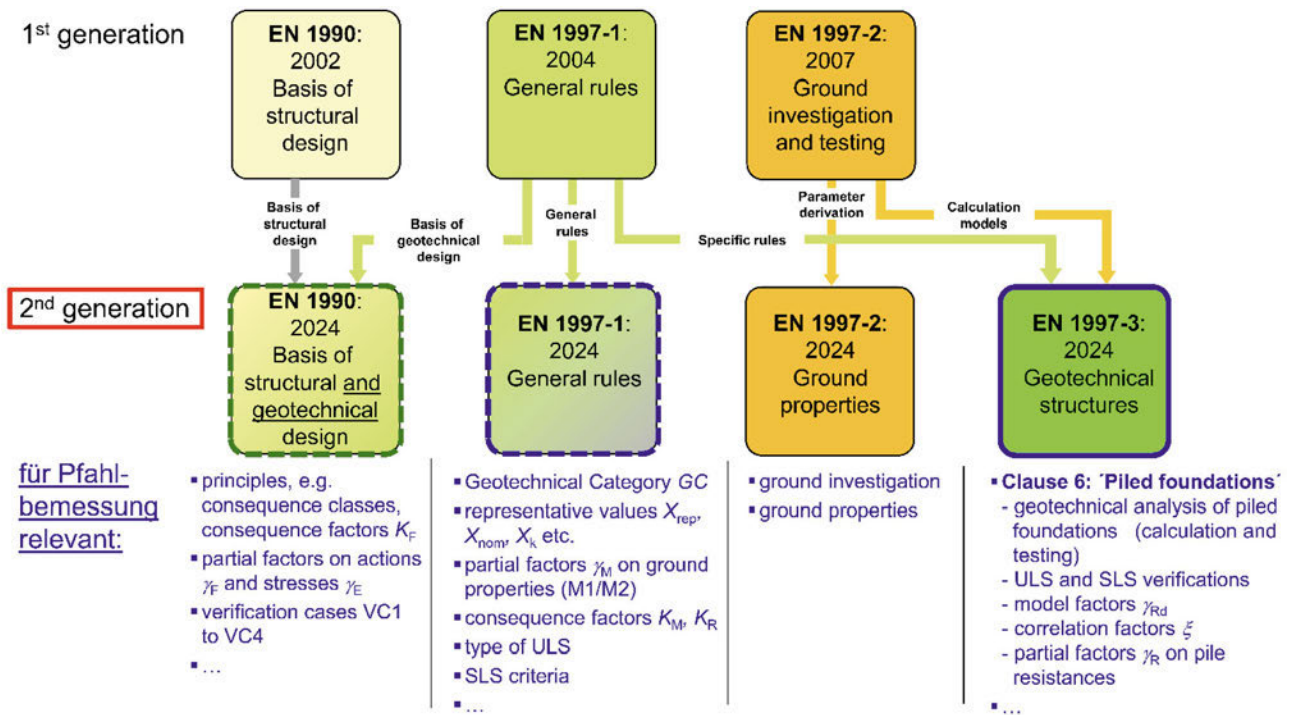


Abb. 1 Normenstruktur und Regelungsinhalte der zweiten Generation des Eurocode 7, Teil 1 bis 3, und des Eurocode 0

Auf dieser Basis erhielt das CEN/TC 250 im Frühjahr 2015 den Auftrag und auch die finanzielle Unterstützung, die Eurocodes analog zu diesem Arbeitsprogramm zu überarbeiten und damit auch den Eurocode 7 in seiner zweiten Generation zu erstellen. Über die Ergebnisse dieser Arbeit wird nachfolgend, motiviert durch den Umstand, dass die Normenentwürfe nun final vorliegen, berichtet.

2. Zweite Generation des Eurocode 7

2.1 Zeitliche Entwicklung

Die zweite Generation des Eurocode 7, die sich derzeit in der Phase der finalen Abstimmung befindet, ist das Ergebnis einer mehr als dreizehnjährigen Entwicklung. Abbildung 2 zeigt diese Entwicklung im Überblick und erläutert das Vorgehen am Beispiel des Kapitels 6 'Piled Foundation' im Eurocode 7, Teil 3; dies vor dem Hintergrund, dass der Autor dieses Thema als Obmann des Pfahlausschusses besonders intensiv begleitet hat.

Bereits im Mai 2010 hat die Europäische Kommission mit dem Mandat M/466 die zukünftige Weiterentwicklung ('Evolution') der in dem europäischen Normenausschuss CEN/TC 250 'Structural Eurocodes' von neun Subcommittees (SC 1 bis SC 9) betreuten neun Bemessungsnormen im Bauwesen (EN 1991 bis EN 1998 bzw. EC 1 bis EC 9) sowie der Norm EN 1990 (EC 0) initiiert. Im CEN (Europäisches Komitee für Normung) wirken dabei insgesamt 29 Mitgliedsstaaten mit, darunter auch Großbritannien und die Schweiz. Das Mandat M/466 beinhaltet zwei wesentliche Aufgaben:

- die Erstellung neuer Eurocodes bzw. neuer Teile für bestehende Eurocodes, um bisher nicht geregelte Bauweisen und Strukturen (z. B. Glasstrukturen, Faserverbundwerkstoffe, ...) abzudecken, und

- die Weiterentwicklung der bestehenden Eurocodes mit den Teilzielen, u. a.

- die Anzahl der sogenannten 'Nationally Determined Parameters' (NDPs), hierzu zählen Teilsicherheitsbeiwerte, Modellfaktoren, Streuungsfaktoren etc., die national nachgeregelt, d. h. abweichend festgelegt werden können, zu reduzieren;
- aktuelle Entwicklungen und Forschungsergebnisse zu berücksichtigen;
- neue ISO-Normen zu berücksichtigen;
- die bestehenden Regelungen zu vereinfachen und die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen.

Der für den Eurocode 7 verantwortliche SC 7 hat daraufhin zu spezifischen Themen 14 'Evolution Groups' gegründet, die in dem Zeitraum 2011 bis 2015 die bestehenden Kapitel des aktuellen Eurocodes 7 der ersten Generation überprüft haben und sich zu dem neuen, bisher nicht im EC 7 abgedeckten Themen wie 'Ground Improvement', 'Tunneling' und 'Rock Mechanics' gewidmet haben mit dem Ziel, Konzepte und Perspektiven für eine zukünftige Überarbeitung und Fortschreibung des Eurocode 7 zu entwickeln. In dieser ersten Phase hat die Evolution Group EG 7 'Pile Design' (Obmann: Prof. Ch. Moormann) grundsätzliche Anregungen zur Entwicklung und Neustrukturierung des Kapitels 7 „Pfahlgründungen“ des derzeitigen EC 7-1 erarbeitet.

Parallel erarbeitete das CEN auf Basis einer weiteren Anforderung (Mandat M/515) der Europäischen Kommission ein detailliertes Arbeitsprogramm, das bezogen auf den Eurocode 7 sechs Aufgabenfelder vorsah, zu denen u. a. 'Harmonization and Ease-of-use', aber auch die Erarbeitung neuer Regelungen u. a. für 'Reinforced Ground', 'Ground Improvement', 'Rock Mechanics' und 'Dynamic Design' vorsah.

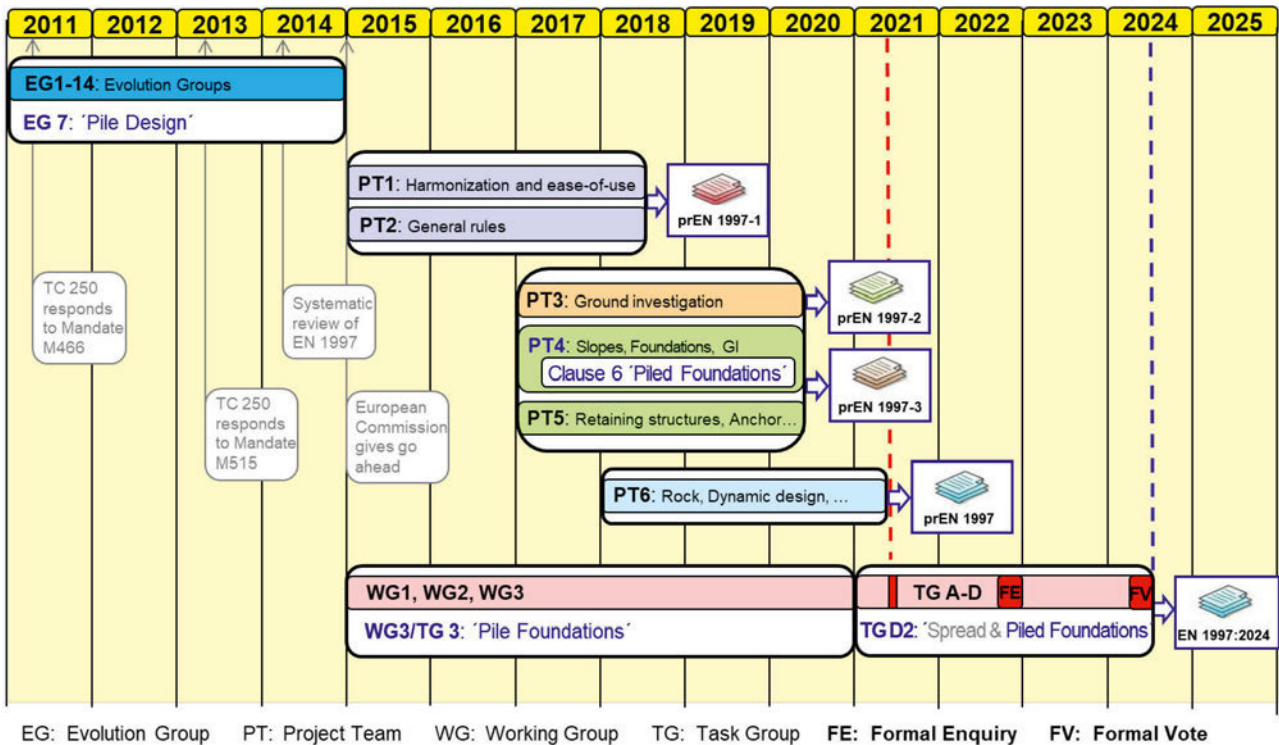


Abb. 2 Evolution der zweiten Generation des Eurocode 7 am Beispiel des Kapitels 'Piled foundations' aus dem EN 1997-3 (Moormann 2022b)

Auf dieser Basis hat die Europäische Kommission 2014 beschlossen, die „*Evolution of Next Generation of Eurocodes*“ zu betreiben und zu finanzieren. Dabei wurden die Harmonisierung der unterschiedlichen nationalen Regelungen mit Verringerung der NDPs und die Vereinfachung der Handhabung des Regelwerkes als besondere Anforderungen hervorgehoben. Damals vorgesehen war für den Eurocode 7 eine Überarbeitungszeit von 2015 bis 2019 und eine Veröffentlichung der zweiten Generation der Eurocodes Ende 2020.

Zu diesem Zeitpunkt wurde auch beschlossen, dass der Eurocode 7 zukünftig, d. h. in der zweiten Generation aus drei Teilen bestehen wird:

- Teil 1 „*General Rules*“,
- Teil 2 „*Ground Properties*“ und
- Teil 3 „*Geotechnical Structures*“.

Ausgehend von dem positiven Votum der Europäischen Kommission nahmen 2015 alle Subcommittees des CEN/TC 250 ihre konkrete Bearbeitung der Eurocodes auf, so auch der für den Eurocode 7 zuständige SC 7.

Im CEN/TC 250/SC 7 wurde in diesem Kontext im Laufe des Jahres 2015 für die konkrete Erarbeitung der neuen Norm die Arbeit umstrukturiert: unter dem Dach von entsprechend der zukünftigen Unterteilung des Eurocode 7 drei Working Groups (WG) wurden zahlreiche Task Groups (TG) gebildet, die in dem Zeitraum 2015 bis 2020 die Arbeit der mit der eigentlichen Ausarbeitung der Normentexte betrauten Project Teams (PT) im Sinne des kritisch-konstruktiven Reviews und der kontinuierlichen Unterstützung begleiten sollten (Abb. 2). Während

die Project Teams jeweils nur aus 4 bis 6 ausgewählten und vertraglich gebundenen Experten bestanden, die für die Entwicklung und Ausarbeitung des Normentextentwurfs verantwortlich waren, waren die Task Groups deutlich größere Gremien, in denen alle 29 Mitgliedsstaaten Vertreter entsenden konnten. Die Task Group WG 3/TG 3 'Pile Foundations' (Obmann Prof. Ch. Moormann) begleitete dabei exemplarisch die Fortschreibung der Regelungen für die Pfahlgründungen. Bei der Auswahl der Mitarbeiter und Leiter in den Project Teams wurde auf eine ausgeglichene Repräsentanz der Nationen und Regionen geachtet. Eine große Zahl der Experten kam dabei aus Deutschland. Im Ergebnis dieser Phase wurde zunächst von den Project Teams PT 1 und PT 2 der Eurocode 7, Teil 1, und dann von dem Project Team PT 3 der Eurocode 7, Teil 2, sowie von den Project Teams PT 4 und PT 5 der Eurocode 7, Teil 3, im Entwurf vorgelegt. Das Kapitel 6 'Piled Foundations' im zukünftigen Teil 3 des Eurocode 7 wurde dabei von dem Project Team PT 4 (Obmann: Prof. Ch. Moormann) erarbeitet.

In dieser Phase wurden die Entwürfe für alle drei Teile des Eurocode 7 von den Task Groups, aber auch wiederholt von den nationalen Spiegelausschüsse intensiv kommentiert. Auf das Kapitel „Pfahlgründungen“ entfielen dabei stets besonders viele Kommentare. So gingen auf den im Oktober 2019 vorgelegten 'Final Draft' des Clause 6: 'Piled Foundations' im Ergebnis des Reviews durch die nationalen Spiegelausschüsse allein 1.035 Kommentare ein.

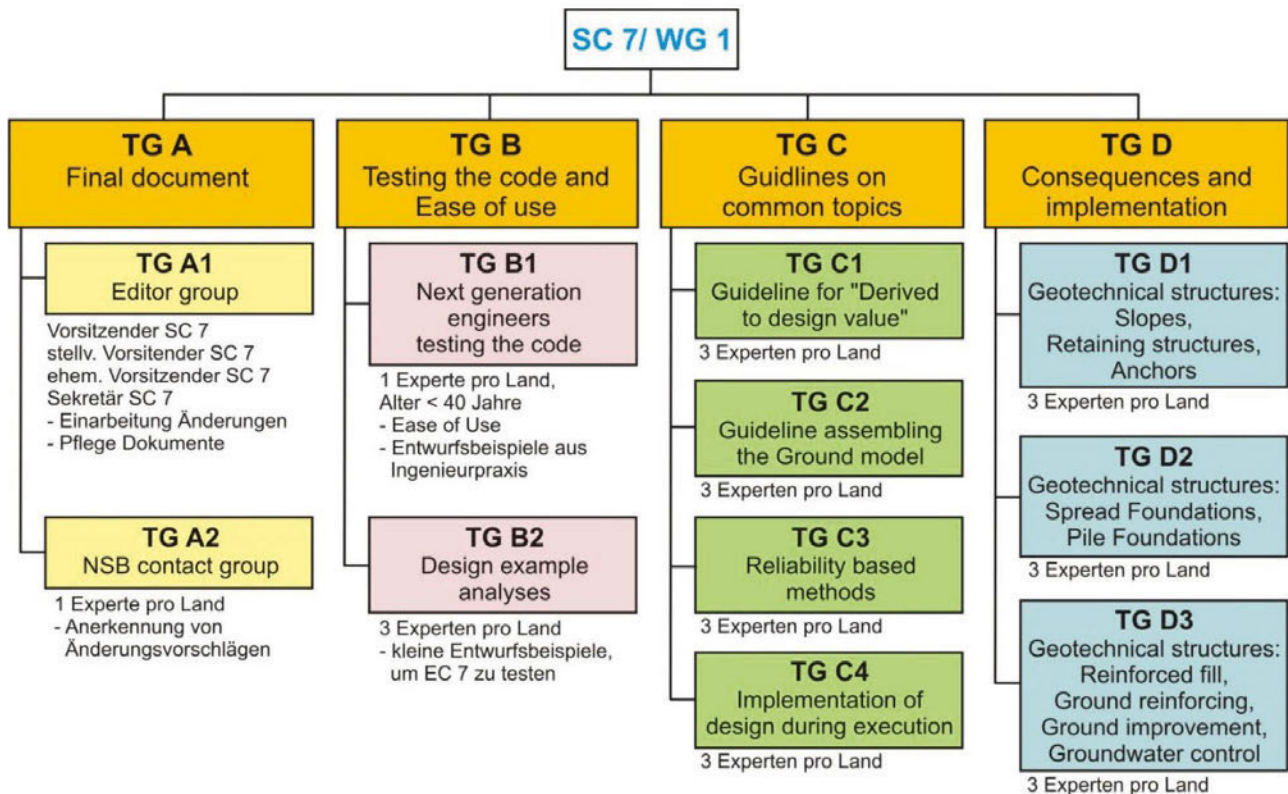


Abb. 3 Aktuelle Struktur des europäischen Normenausschusses SC 7 zur Finalisierung der zweiten Generation des Eurocode 7 (Moormann 2022a)

Das vorläufig abschließende Dokument des EN 1997-3 wurde unter Berücksichtigung dieser Kommentare im Mai 2020 veröffentlicht. Dabei konnten gegenüber zwischenzeitlichen, stark kritisierten Versionen eine deutliche Straffung und inhaltliche Optimierung erreicht werden.

Eine vorläufig letzte Fassung aller drei Teile des Eurocodes 7 wurde im Ergebnis eines weiteren Kommentierungs- und Harmonisierungsprozesses Ende April 2021 veröffentlicht. Diese Fassung war formal die Grundlage für die 'Formal Enquiry', die den nationalen Spiegelausschüssen die letzte Gelegenheit zur inhaltlichen Kommentierung bot und die im 4. Quartal 2022 stattfand.

Den Zeitraum von April 2021 bis September 2022, in denen die Normentwürfe u. a. mit einer deutsch- und französischsprachigen Übersetzung für den 'Formal Enquiry' vorbereitet wurden, nutzte das zuständige europäische Normungsgremium SC 7, um selber die vorliegenden Entwürfe des EN 1997 noch einmal zu überprüfen und weiter zu harmonisieren. Hierzu hat sich der SC 7 mit seinen Task Groups im Jahr 2021 umstrukturiert (Abb. 3). Während die Task Group TG A die Dokumente finalisiert, werden die Entwürfe des Eurocode 7 in der Task Group TG B durch deren Anwendung auf Bemessungsbeispiele u. a. durch eine Gruppe junger Ingenieure aus ganz Europa geprüft bzw. getestet. Die Task Group TG C erarbeitet Richtlinien bzw. Leitfäden zu besonderen Themen, die die Anwendung der neuen Normengeneration des EC 7 vereinfachen sollen, und TG D prüft die Kapitel des prEN 1997-3, also des neuen Eurocode 7, Teil

3, auf Konsistenz. Zu den für das Thema „Pfähle“ relevanten Task Groups zählt insbesondere die TG D2 'Foundations' (Abb. 3). In dieser Phase wurde zu einzelnen, spezifischen Aspekten Verbesserungs- und Änderungsvorschläge ('Change Requests') erarbeitet, mit denen der Entwurfsstand optimiert wurde. Diese Change Requests sind als auf europäischer Ebene geeinigte Kommentare in die Formal Enquiry eingeflossen. Auch in diesen Prozess waren deutsche Delegierte in allen Arbeitsgruppen und Ebenen maßgeblich involviert.

Aktuell befindet sich die Bearbeitung des Eurocodes 7 in einem finalen Bearbeitungszustand. Im vierten Quartal 2022 fand die sogenannte Entwurfsumfrage ('Formal Enquiry') statt, die den nationalen Spiegelausschüssen und der Fachöffentlichkeit die letzte Gelegenheit zur inhaltlichen Kommentierung bot. Die Kommentare wurden im Zeitraum Januar bis August 2023 in die Normentwürfe eingearbeitet, die dann - inklusive deutsch- und französischsprachiger Übersetzung - für die Schlussumfrage ('Formal Vote') vorbereitet werden.

Dieses 'Formal Vote' wird dann für die Teile 1 und 2 des EN 1997 im April und Mai 2024 stattfinden, so dass mit der Veröffentlichung dieser beiden Teile des Eurocode 7 durch das CEN im August 2024 zu rechnen ist.

Für den Teil 3 des Eurocode 7 hat der deutsche Spiegelausschuss im Mai 2023 eine sechsmonatige Verlängerung der Bearbeitungszeit beim TC 250 beantragt. Diesem Antrag wurde zugestimmt, so dass der aktuelle Zeitplan für den Teil 3 vorsieht, dass das finale Dokument bis zum 14.02.2024 an das CEN geht, das den Formal Vote dann

für den August 2024 vorbereiten wird, so dass die zweite Generation des Eurocode 7 ab dem zweiten Quartal 2025 vollständig verfügbar sein wird.

Auf nationaler Ebene muss die Veröffentlichung des Eurocode 7 spätestens bis zum 30. September 2027 erfolgen. Der Zeitplan zur Erstellung der Nationalen Anhänge ist auf deutscher Seite noch festzulegen.

2.2 Eurocode 0 und Eurocode 7:2024 mit drei Teilen

Der Eurocode 7 (EN 1997) wird in seiner zweiten Generation wie erläutert aus drei Teilen bestehen: Teil 1 'General Rules', Teil 2 'Ground Properties' und Teil 3 'Geotechnical Structures'.

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, gewinnt in der 2. Generation der Eurocode EN 1990 für die Geotechnik an Bedeutung, da er zukünftig nicht nur Bemessungsgrundlagen für die Tragwerksplanung, sondern auch für die Geotechnik beinhaltet, für die Inhalte aus dem heutigen EC 7-1 in den EC 0 „wandern“. Im Eurocode 0 werden im Hinblick auf das Pile Design u. a. sowohl die *Consequence Classes* als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_E auf Einwirkungen und Beanspruchungen für die *Verification Cases* VC1 bis VC4 (früher: *Design Classes*) definiert, und zwar ausdrücklich auch für geotechnische Nachweise.

Der neue Eurocode 7, Teil 1, auf den nachfolgend näher eingegangen wird, wird nur noch die Grundlagen der Bemessung in der Geotechnik regeln. Dazu zählen die Prinzipien und Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Robustheit und Dauerhaftigkeit von geotechnischen Konstruktionen. In EN 1997-1 werden in diesem Sinne u. a. die Geotechnischen Kategorien ('*Geotechnical Category GC*'), die auf Bodenkennwerte anzusetzenden Teilsicherheiten γ_M , die Konsequenzfaktoren K_M und K_R , Anforderungen zur Berücksichtigung von Grundwasser und auch die grundsätzlichen Anforderungen an den Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit geotechnischer Konstruktionen spezifiziert. Die neue Version der Eurocode 7, Teil 2, trägt den Titel „*Ground properties*“ (Baugrundeigenschaften). Die Änderung des Titels von vormals „*Ground investigation*“ (Baugrunderkundung) ist mit einer vollständigen Neuordnung der inhaltlichen Struktur des Dokumentes verbunden, das nunmehr darauf ausgerichtet ist, die Bestimmung der einzelnen boden- und felsmechanischen Kennwerte zu regeln. Die aktuell noch im Anhang des Eurocode 7, Teil 2 enthaltenen Berechnungsverfahren, z. B. für die empirische Ableitung von Pfahlwiderständen aus CPT-Versuchen, werden zukünftig sinnvollerweise in den Teil 3 des EC 7 integriert sein.

Der neue Eurocode 7, Teil 3, auf den nachfolgend ebenfalls detaillierter eingegangen wird, hat für die Anwendung in der Ingenieurpraxis vermutlich die größte unmittelbare Relevanz, da er für die Bemessung aller geotechnischen Konstruktionen die erforderlichen Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) spezifiziert, Berechnungsmodelle vorgibt und allgemein alle für die Bemessung relevanten Aspekte regelt.

3. EN 1997-1:2024 'Geotechnical rules'

Eurocode 7, Teil 1, formuliert Prinzipien und Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Robustheit und Dauerhaftigkeit von geotechnischen Bauten.

Für alle Eurocodes wird vorausgesetzt, dass sie von angemessen qualifiziertem und erfahrenem Personal, definiert in EN 1990, Annex B4 angewendet werden.

Nachfolgend werden aufbauend auf (Weihrauch et al. 2022) wesentliche Regelungen und Neuerungen im EN 1997-1 vorgestellt.

3.1 Grundsätzliche Festlegungen

In EN 1997-1 finden sich einige grundlegende Festlegungen, zu denen auch Begriffsdefinitionen gehören. Diesbezüglich werden nachfolgende besonders relevante Begriffe exemplarisch erläutert:

- *zone of influence*: Sie beschreibt die Ausdehnung des Bereiches, der in der Umgebung von geotechnischen Bauten Einfluss auf die Struktur nimmt und von der Struktur beeinflusst wird. Bei der Baugrunduntersuchung muss diese *zone of influence* erkundet werden.
- *geotechnical design model*: Geotechnische Überlegungen und Nachweise beruhen auf Modellen. Ein *geotechnical design model* enthält zunächst geometrische Beschreibungen der Ausdehnung und Lage von Bereichen des Baugrunds (Homogenbereiche), verbunden mit der Beschreibung der Eigenschaften und den Parametern von Stoffmodellen und beschreibt auch die Grundwassersituation. Solche Modelle müssen verifiziert und validiert werden, auch dafür werden im EC 7 Anforderungen gestellt.
- *Verification Case (VC)*: Die auf eine Konstruktion einwirkende Last oder Beanspruchung wird je nach betrachteter Bemessungssituation mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten verknüpft. Die VCs, früher *Design Case (DC)* genannt, und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte sind in EN 1990 wie folgt definiert:
 - *Verification Case 1 (VC 1)* is used both for structural and geotechnical design.
 - *Verification Case 2 (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.
 - *Verification Case 3 (DC3/VC3)* is typically used for the design of slopes and embankments, spread foundations, and gravity retaining structures.
 - *Verification Case se 4 (DC4/VC4)* is typically used for the design of transversally loaded piles and embedded retaining walls and (in some countries) gravity retaining structures.

Bei VC 1 wird unterschieden, ob eine Einwirkung günstig oder ungünstig wirkt, was mit verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerten verknüpft ist.

- *values of ground properties*: hier wird zwischen *derived values*, *characteristic values*, *representative values*, *design values* und *best estimate values* unterschieden. Ein *derived value* ist ein Wert, der aus Theorie, Korre-

lation oder Testergebnissen ermittelt wurde. Ein *nominal value* ist dagegen ein Wert, der mit gesundem Ingenieurverstand auf der sicheren Seite liegend vorsichtig abgeschätzt wird. Bei einem *characteristic value* liegt der Wertermittlung eine statistische Untersuchung zu Grunde und er entspricht in der Regel einem 5 %- oder 95 %-Fraktilewert. Aus einem charakteristischen oder nominalen Wert wird ein *representative value* gebildet, wobei eine Multiplikation mit einem Konversionsfaktor vorgenommen wird, mit dem z. B. Alterungseffekte berücksichtigt werden können. Dem Anwender ist freigestellt, ob er dem repräsentativen Wert einen charakteristischen oder einen nominalen Wert zu Grunde legt. Durch Multiplikation mit einem Teilsicherheitsbeiwert wird aus dem repräsentativen Wert der *design value* gebildet. Mit einem *best estimate value of a ground property* wird ein Wert bezeichnet, der den tatsächlichen Wert mit höchster Wahrscheinlichkeit trifft, z. B. aus Rückrechnungen und mit dem Ziel, möglichst zutreffende Verformungen zu ermitteln.

- Bei *Grundwasserdruck* ist ebenfalls zwischen repräsentativen Werten und Bemessungswerten zu unterscheiden. Der in Deutschland häufig verwendete „Bemessungswasserspiegel“ mit typischen Jährlichkeiten zwischen 50 und 200 Jahren für den Fall, dass ausreichend lange Messreihen herangezogen werden können, oder andernfalls ein mit den Verantwortlichen abgestimmter vorsichtiger Schätzwert bewirkt einen repräsentativen Wasserdruck. Für die Festlegung des Bemessungswerts des Wasserdrucks sind daraus folgend drei Alternativen vorgesehen:
 - direkte Festlegung,
 - Festlegung eines Zuschlags zum repräsentativen Wert der piezometrischen Druckhöhe,
 - Anwendung eines Teilsicherheitsbeiwertes auf den Druck oder auf die Auswirkungen des Wasserdrucks.

3.2 Basis of design (Bemessungsgrundlagen)

3.2.1 Geotechnical reliability (Zuverlässigkeit)

Die Zuverlässigkeit geotechnischer Konstruktionen nach transparenten Kriterien sicherzustellen, ist eine im europäischen Mandat verankerte zentrale Aufgabe des EC 7, der dazu verschiedene Kriterien vorgibt.

- Alle geotechnischen Konstruktionen sollen Geotechnical *Complexity Classes (GCC)* zugeordnet werden, womit die Unsicherheit und Variabilität hinsichtlich der Baugrundverhältnisse und der Sensibilität bezüglich von (Grund-)Wasser sowie Komplexität der Boden-Bauwerk- Interaktion bewertet werden.
- Außerdem fordert EN 1990 eine Zuordnung zu *Consequence Classes (CC)*, womit die Bedeutung der Konstruktionen im Fall eines Versagens erfasst wird. Die CC wirkt sich mit einem Faktor K_F auf die Teilsicherheitswerte für Einwirkungen aus. Die Faktoren K_F sind NDP und es ist angedacht, sie in Deutschland auf den Wert 1 zu setzen.

- Aus der Kombination von GCC und CC ergibt sich eine Zuordnung zur *Geotechnical Category (GC)*, die aber auch durch unmittelbare Zuordnung (siehe Tabelle mit Merkmalen in DIN 1054/4020) ermittelt werden kann. Die GC hat Auswirkungen auf die Erkundung und das Qualitätsmanagement von Entwurf und Ausführung.

3.2.2 Allgemeine Anforderungen

Ohne besonders große Regelungstiefe werden Anforderungen gestellt an:

- *Robustheit*: Forderung nach Duktilität; Vermeidung großer Schäden durch verhältnismäßig kleine und unplanmäßige Zusatzeinwirkungen oder durch Toleranzüberschreitungen;
- *Dauerhaftigkeit*: insbesondere infolge Einwirkungen aus der Umgebung und Umwelt;
- *Nachhaltigkeit*: Ressourcenschonung, Lebenszyklusbetrachtung, Recycling;
- *Qualitätsmanagement*: Regelung hinsichtlich Kontrollen, Prüfungen, z. T. in Abhängigkeit von der Geotechnischen Kategorie durch Festlegung von
 - *Design Qualification and Experience Level*,
 - *Design Check Level*,
 - *Inspection Level*,
 - Validierung des Geotechnischen Design Modells sowie aller Informationen aus dem *Geotechnical Investigation Report (GIR)* und der Nachweis-Modelle.

3.2.3 Basic variables; Actions, Influences, Material properties

- *Actions*: Berücksichtigung permanenter und variabler Einwirkungen, von *cyclic* und *dynamic actions* sowie *accidental actions*.
- *Influences*: Es sind auch Einflüsse zu berücksichtigen, die keine unmittelbaren Einwirkungen darstellen, z. B. aus Klima, Grundwasserschwankungen, Hohlräumen, chemischem Angriff, biologischer Aktivität.
- *Material and Product Properties*: Regelungen zu repräsentativen Eigenschaften, charakteristischen Werten (mit Anhang A zu statistischen Grundlagen), nominalen und *best-estimate* Werten.

3.2.4 Mögliche Nachweise der Standsicherheit

Um mit dem geotechnischen Entwurf die Standsicherheit geotechnischer Konstruktionen nachzuweisen, sind mehrere Methoden im EC 7 verankert.

- *Design by calculation*: Bei diesem Ansatz werden Grenzzustandsnachweise geführt, mit denen nachzuweisen ist, dass Einwirkungen oder Beanspruchungen, die mit Teilsicherheitsbeiwerten erhöht werden, kleiner sind als Widerstände, die mit Teilsicherheitsbeiwerten vermindert werden bzw. mit reduzierten Materialkennwerten errechnet werden.
- *Design by prescriptive rules*: Vereinfachte Nachweisführung durch national vorgegebene Erfahrungswerte oder Bemessungswerte, z. B. durch Anwendung von

Tabellen, wie sie in Deutschland für zulässige Sohldruckspannungen verwendet werden.

- *Design by testing*: Auch durch Feldversuche bzw. Probelastungen kann gezeigt werden, dass ein Bauteil oder ein Bauwerk nicht versagt, wie dies z. B. bei Anker- oder Pfahlprobelastungen üblich ist.
- *Design by observational method*: Anwendung der Beobachtungsmethode in Form einer Bauausführung mit messtechnischer Begleitung, Dabei wird der Bauablauf schrittweise gestaltet und nach jedem Schritt geprüft, ob die Messwerte im vorher errechneten Bereich verbleiben. Sobald festgestellt wird, dass Warnwerte oder Grenzwerte erreicht oder überschritten werden, wird der Bauablauf derart angepasst, dass im weiteren Verlauf die Messwerte im vorher als zulässig nachgewiesenen Bereich verbleiben. Die Anwendung der Beobachtungsmethode setzt ein duktileres Verhalten des Systems voraus, bei dem genügend Puffer für die Anpassung der Bauverfahren bleibt, wenn dies aufgrund bedenklicher Messwerte erforderlich ist, und plötzliches Versagen ohne messbare Vorankündigung ausgeschlossen ist. Mögliche angepasste Bauverfahren und messbare Auswirkungen im Baugrund oder der geotechnischen Konstruktion, z. B. Verformungen, Kräfte oder Spannungen mit zugehörigen Erwartungs- und Grenzwerten müssen vor der Bauausführung mit Anwendung der Beobachtungsmethode detailliert geplant werden.

3.2.5 Limit states (Grenzzustände)

Clause 8 des EN 1997-1 beschäftigt sich mit den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (ULS), die teilweise hier nur aufgelistet und später in Teil 3 des EC 7 detailliert behandelt werden. Nachweise gegen den Verlust des vertikalen Gleichgewichts und hydraulische Versagensarten werden jedoch an dieser Stelle des Teils 1 geregelt.

Der auch in EN 1990 geforderte Nachweis gegen *'failure due to excessive deformations of the ground'* ist in Deutschland aktuell nicht als solcher in den Regelwerken erfasst. Es geht darum auszuschließen, dass ein Bauwerk dadurch versagt, dass der Baugrund unverträglich große Verformungen erfährt, sei es durch die Belastung des Bauwerks selbst oder durch benachbarte Einwirkungen. Dabei geht es nicht um Baugrundversagen. Mit der Regelung soll sichergestellt werden, dass ein Einsturz unterirdischer Hohlräume, der Kollaps von entsprechend strukturierten Böden wie z. B. Löss, Baugrundverflüssigung, oder Verformungen durch chemische Umwandlungen wie bei Anhydrit nicht zu Bauwerksversagen führen. Zur Diskussion steht aber auch, die Baugrundverformungen infolge von um Teilsicherheitsbeiwerte erhöhte Einwirkungen aus dem Bauwerk selbst als unschädlich nachzuweisen.

Gegenüber dem Gebrauchstauglichkeitsnachweis, dass Verformungen des Baugrunds infolge der repräsentativen Bauwerksbelastungen im verträglichen Rahmen bleiben, stellt der Nachweis gegen *excessive deformations* ein deutlich vorsichtigeres Vorgehen dar. Statt einen Nachweis zu führen, wird es häufig zielführend sein, durch eine Bau-

grundverbesserung oder konstruktive Maßnahmen exzessive Verformungen auszuschließen.

Beim Nachweis gegen *'loss of rotational equilibrium'* geht es z. B. um das *Kippen* eines Turmfundamentes auf hartem Fels, in dem kein Baugrundversagen gibt, aber eine klare Kippkante angenommen werden kann. In nachgiebigem Boden muss ein Umkippen dadurch verhindert werden, dass kein Grundbruch unter exzentrischer, geneigter Einwirkung auftritt.

Der Nachweis gegen den Verlust des vertikalen Gleichgewichts infolge von *Auftrieb* gilt nicht nur für hohle Baukörper, sondern auch für undurchlässigen Baugrund, unterhalb dessen Wasserdruck führender durchlässiger Baugrund ansteht. Hier ist ein Vergleich destabilisierender Auftriebskräfte mit stabilisierenden Eigengewichts- und Reibungskräften, aber auch mit Bauteilwiderständen z. B. durch Anker zu führen.

Die geforderten und geregelten Nachweise gegen *hydraulisches Versagen* erfassen den hydraulischen Grundbruch sowie *internal erosion* und *pipng*. Das Nachweisformat beim hydraulischen Grundbruch ist etwas anders, als es bisher gebräuchlich war, die Ergebnisse und Konsequenzen ändern sich aber nicht.

Die Regelungen gegen Versagen infolge *zyklischer Einwirkungen* enthalten nur Hinweise auf zu berücksichtigende Phänomene aber keine zu führenden Nachweise. Den *numerischen Verfahren*, die inzwischen eine überragende Bedeutung bei Nachweisen in der Geotechnik aufweisen, wird ausführliche Beachtung gegeben. Im Hinblick auf Standsicherheitsnachweise sind hier zwei Nachweisverfahren von Bedeutung, der *Material Factor Approach* (MFA) und der *Effect Factor Approach* (EFA). Beim MFA wird gezeigt, dass auch mit um Teilsicherheitsbeiwerte abgeminderten Materialparametern der Festigkeit noch ein Gleichgewicht möglich ist. Beim EFA werden um mit Teilsicherheitsbeiwerten erhöhte Beanspruchungen mit um mit Teilsicherheitsbeiwerten verminderte Widerstände im Bauteil oder im Baugrund verglichen. Der EC 7 fordert im Regelfall, dass beide Nachweisverfahren angewendet werden und das ungünstigere Ergebnis zu berücksichtigen ist, aktuell wird aber im SC 7 diskutiert, hier nationale Freiräume zu belassen.

In Clause 9 des EN 1997-1 werden die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS) behandelt. Verformungen des Baugrunds unter Gründungen werden weiterhin ohne Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen oder für Baugrundsteifigkeiten ermittelt. Die Kriterien zur Überprüfung, welche Verformungen verträglich sind, sind neuerdings in EN 1990 geregelt, nicht mehr im EC 7. Auch hydraulische Aspekte der Gebrauchstauglichkeit sollen erfasst werden.

3.2.6 Implementation of design, testing, reporting

Diese Themen sind in EN 1997-1 in den Clauses 10 bis 12 geregelt. Es wird die Wichtigkeit unterstrichen, die für den geotechnischen Entwurf wichtigen Aspekte, Voraussetzungen und Erkenntnisse in die Phase der Bauausführung zu übertragen. *Supervision* (Aufsicht und

Kontrolle), *Inspection* (Überprüfung) und *Monitoring* (Überwachung) sind die Werkzeuge dafür. Auch die *Maintenance* (Wartung) während der Nutzungszeit des geotechnischen Bauwerks gehört in diesen Zusammenhang.

Es verwundert, dass die genannten Aktivitäten nur im EC 7 behandelt werden, nicht aber in den materialbezogenen europäischen Baunormen.

Testing muss regelkonform geplant und ausgewertet werden. Es kann dazu dienen, Baugrundparameter zu ermitteln, die Ausführbarkeit des Entwurfs, den Widerstand geotechnischer Konstruktionen gegen Einwirkungen und die erreichte Qualität zu überprüfen.

Das *Reporting* dient der Transparenz und Nachprüfbarkeit auf der Basis von Dokumentationen. EC 7 legt wesentliche Punkte fest, die im *Ground Investigation Report* (GIR), dem *Geotechnical Design Report* (GDR), dem *Geotechnical Construction Report* (GCR) und für Tests dokumentiert werden müssen. Hier werden Anforderungen festgelegt, nicht (nur) Empfehlungen gegeben.

4. EN 1997-3:2025 ‘Geotechnical structures’

4.1 Inhalt und Gliederung

Der neue Teil 3 des Eurocode 7 trägt wie erläutert den Titel ‘*Geotechnical Structures*’ und wurde im Wesentlichen aus den bisherigen Kapiteln 5 bis 12 des bestehenden EN 1997-1 entwickelt, wobei die bisherigen Regelungen grundlegend überarbeitet und ergänzt wurden (Bond et al. 2019b). Zusätzlich wurden fünf Kapitel vollständig neu erarbeitet, die erstmals im Regelungsbereich des Eurocode 7 die Bemessungsaufgaben ‘*Reinforced fill structures*’, ‘*Soil nailed structures*’, ‘*Rock bolts and surface support*’ und ‘*Groundwater control*’ umfänglich abdecken.

Die Struktur des EN 1997-3:2024 wird somit 13 Kapitel (‘*Clauses*’) umfassen, die sich entsprechend Tabelle 1 gliedern. Tabelle 1 verdeutlicht ferner, wie die Kapitel des aktuellen EN 1997-1, also der bestehenden 1. Generation in den neuen Teil 3 überführt wurden. Dementsprechend wurde beispielsweise das heutige Kapitel 7 ‘*Pile foundations*’ in den neuen Clause 6 ‘*Piled foundations*’ überführt, dabei aber grundlegend überarbeitet.

Im Sinne der Benutzerfreundlichkeit (‘*Ease of use*’) wurde für die Kapitel 4 bis 12 des neuen EN 1997- 3 eine einheitliche Struktur, d. h. eine einheitliche Gliederung der Abschnitte gewählt, die der Struktur des neuen EN 1997-1 folgt und in Abbildung 4 dargestellt ist.

In den neuen Abschnitten x.3 ‘*Materials*’ erfolgt primär ein Verweis auf EN 1997-2 ‘*Ground properties*’, es wird aber auch auf durch andere ECs bisher nicht abgedeckte materialspezifische Regelungen z. B. zu Geokunststoffen, Suspensionen, Mörtel, etc. verwiesen.

In dem ebenfalls neuen Abschnitten x.4 ‘*Ground-water*’ wird primär auf die Regelungen in EN 1997-1, Kapitel 6, verwiesen, die in EN 1997-3 um wenige zusätzliche Regelungen für spezifische Anwendungen bei den einzelnen geotechnischen Konstruktionen ergänzt werden.

Tab. 1: Struktur des neuen EN 1997-3:2024 im Abgleich mit dem bestehenden EN 1997-1:2004

EN 1997-3:2024		EN 1997-1:2004
1	Scope	–
2	Normative references	–
3	Terms, definitions, and symbols	–
4	Slopes, cuttings, and embankments	11 ‘ <i>Overall Stability</i> ’ und 12 ‘ <i>Embankments</i> ’
5	Spread foundations	6 ‘ <i>Spread Foundations</i> ’
6	Piled foundations	7 ‘ <i>Pile Foundations</i> ’
7	Retaining structures	9 ‘ <i>Retaining Structures</i> ’
8	Anchors	8 ‘ <i>Anchorage</i> ’
9	Reinforced fill structures	neu (Abs. 5.5 ‘ <i>Ground improvement & reinforcement</i> ’)
10	Soil nailed structures	neu
11	Rock bolts and surface support	neu
12	Ground improvement	neu (Abs. 5.5)
13	Groundwater control	neu (Abs. 5.4 ‘ <i>Dewatering</i> ’)
Annexes A-G (zu Clauses 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 12)		

In dem Abschnitt x.5 ‘*Geotechnical analysis*’ jedes Kapitels werden die Rechenmodelle und Berechnungsansätze spezifiziert, die den Anspruch haben, im europäischen Maßstab weit verbreitet und allgemein akzeptiert zu sein. Teils stammen diese Berechnungsansätze aus den Anhängen des aktuellen Eurocode 7, Teil 1 und 2, teils sind diese neu. Ein Beispiel ist der für Flachgründungen relevante Abschnitt 5.5, der jetzt u. a. Formeln für die Ermittlung des Grundbruch- und Gleitwiderstandes enthält. Ein zweites Beispiel ist der für Stützbauwerke relevante Abschnitt 7.5, in dem man nun einen Ansatz für die Ermittlung des aktiven Erddrucks findet. Die Eingangsparameter finden sich in beiden Fällen in den jeweils maßgeblichen Anhängen des EN 1997-3, alternativ können diese national festgelegt werden, so wie dies in Deutschland in diesem Fall mit den Normen DIN 4017 für den Grundbruch und DIN 4085 für den Erddruck der Fall ist und bleiben wird.

In den Abschnitten 6 ‘*Ultimate Limit States*’ aller Kapitel des Teils 3 werden für jede Anwendung die zu betrachtenden Nachweise sowie für jeden Nachweis die maßgebenden Nachweiskombinationen, d. h. der maßgebende *Verification Case* und das zugehörige Nachweisformat (RFA/MFA) sowie für den *Resistance Factor Approach* die Teilsicherheitsbeiwerte für die geotechnischen Widerstände spezifiziert.

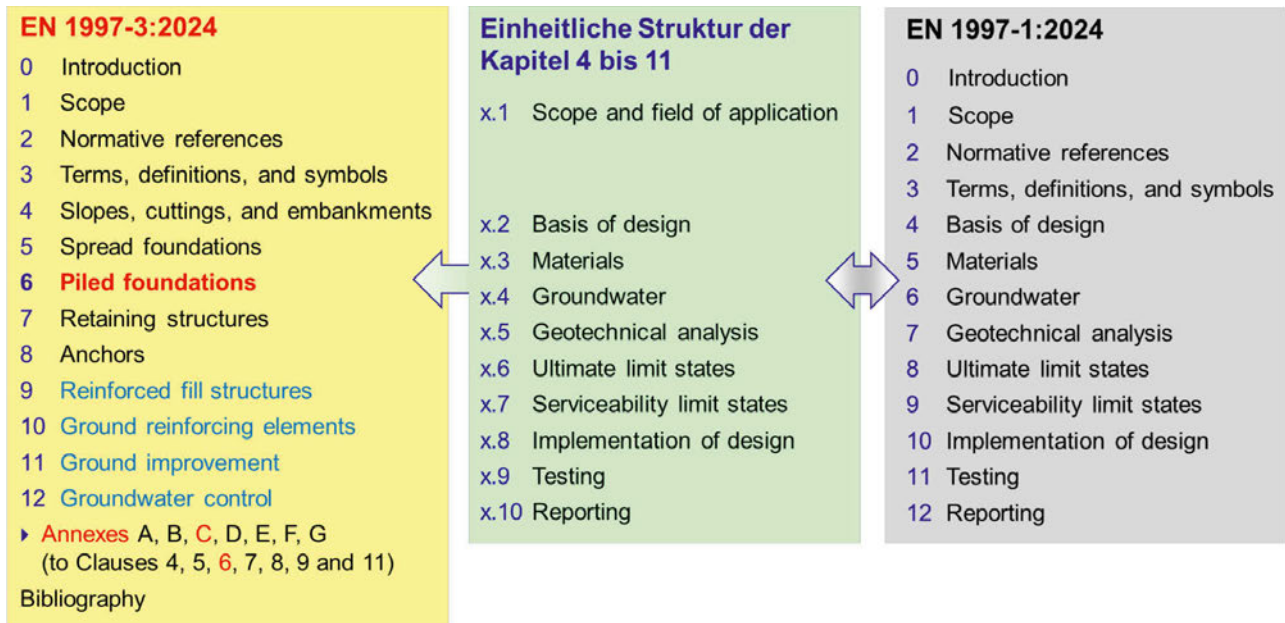


Abb. 4 Inhaltliche Struktur der zweiten Generation des Eurocode EN 1997-3:2024 im Abgleich mit EN 1997-1:2024 (Moormann 2022b)

Das Vorgehen für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann damit wie folgt zusammenfasst werden: Im EN 1990 werden sowohl die *Consequence Classes* (mit *Consequence Factors* K_F/K_M) als auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F/γ_E auf Einwirkungen und Beanspruchungen für die *Verification Cases* VC1 bis VC4 definiert und zwar auch für die geotechnischen Nachweise. In EN 1997-1 finden sich dann die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M (M1/M2) auf die Materialkennwerte, während im EN 1997-3 die Definition des Nachweisformats für jede Anwendung/Struktur sowie die Teilsicherheitsbeiwerte γ_R für die Widerstände spezifiziert werden (Estaire et al. 2019). Analoges gilt für die Abschnitte x.7 *'Serviceability limit states'*.

Die neuen Abschnitte x.8 *'Implementation of design'* widmen sich der Übertragung der Bemessung in die Ausführung, wobei hier primär auf die Ausführungsnormen des Spezialtiefbaus (TC 288) verwiesen wird und ergänzende Regelungen zu *'Inspection, Monitoring and Maintenance'* aufgenommen wurden. Die neuen Abschnitte x.9 *'Testing'* sind insbesondere für die Kapitel 6 *'Pile foundations'*, 8 *'Anchors'* und 12 *'Ground Improvement'* relevant und beinhalten u. a. Verweise auf Ausführungsnormen für Anker- und Pfahlprobelastungen (EN ISO 22477). In den neuen Abschnitten x.10 *'Reporting'* erfolgt primär ein Verweis auf die Regelungen in EN 1997-1, Kapitel 12, die um wenige zusätzliche Regelungen für spezifische Anwendungen ergänzt werden.

4.2 Neuerungen in EN 1997-3

Nachfolgend sollen einige ausgewählte wesentliche Änderungen und Neuerungen in EN 1997-3 gegenüber der bestehenden EN 1997-1 exemplarisch vorgestellt und erläutert werden.

Clause 4: 'Spread foundations'

Für die Bemessung von Flachgründungen wurden detailliertere Regelungen und Formeln für die Ermittlung des Grundbruchwiderstands und des Gleitwiderstands aufgenommen. Die Nachweisformate für exzentrisch belastete Fundamente wurden modifiziert.

Clause 6: 'Piled foundations'

Das Kapitel für die Pfahlgründungen wurde umfassend überarbeitet (Moormann 2016a). Ergänzende Regelungen finden sich u. a. bezüglich der Einwirkung auf Pfähle aus Bodenverformungen, wobei die Vorgaben für die Ermittlung der negativen Mantelreibung weitgehend den bestehenden Empfehlungen der 'EA-Pfähle' entsprechen (Moormann 2016b).

Während sich die aktuelle Fassung des Kapitels 6 im EN 1997-1 ausschließlich mit der Bemessung von Einzelpfählen beschäftigt (Moormann 2018), werden in der Revision konsequent Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) gleichberechtigt behandelt, d. h. Anforderungen an die Berechnung spezifiziert und ein Nachweisformat formuliert. Damit werden KPPs zukünftig gleichberechtigt zu Flach- und Pfahlgründungen normativ im EC 7 geregelt.

Harmonisiert werden konnte auch das Nachweisformat für Pfähle. Danach wird jetzt in Europa einheitlich für axial beanspruchte Pfähle der *Resistance Factor Approach* genutzt, so wie dies u. a. in Deutschland schon immer Usus war (Moormann 2016b), während für lateral beanspruchte Pfähle im Regelfall der *Material Factor Approach* anzuwenden ist.

Clause 9: 'Reinforced fill structures'

Das neu erstellte Kapitel 9 regelt erstmalig die Nachweisformate und Berechnungsmodelle für alle Arten von be-

wehrten Konstruktionen, zu denen in Analogie zur EB-GEO bewehrte Stützkonstruktionen, Dämme mit einer Basisbewehrung (z. B. auf wenig tragfähigem Untergrund), die Bewehrung oberflächennaher geschichteter Systeme und bewehrte Erdkörper über punktförmigen Traggliedern oder auch Sicherung vor Erdrutschen zählen. Dabei werden Bewehrungen aus Geokunststoffen und Stahl berücksichtigt.

Clause 10: ‘Ground reinforcing structures’

In dem neu entwickelten Kapitel 10 finden sich insbesondere Regelungen für die Bemessung von Bodenvernagelungen, die bisher weder in EC 7 noch auf nationaler Ebene normativ geregelt sind. Während frühere Entwürfe sich nur auf die Elemente solcher Systeme wie Boden- und Felsnägel und das *Facing* wie Spritzbetonschale, Netze o.ä. bezog, wurde das Kapitel zuletzt dahingehend überarbeitet und fortentwickelt, dass auf dieser Basis Bodenvernagelungen als integrale Konstruktionen ganzheitlich bemessen werden können.

Clause 12: ‘Ground improvement’

Das Kapitel 12 ‘Ground Improvement’ ist ebenfalls vollständig neu. Nach viele Jahre währenden Diskussionen, wie Baugrundverbesserungen im Hinblick auf die Vielzahl von verschiedenen Verfahrenstechniken und Anwendungen überhaupt strukturiert in eine europäische Bemessungsnorm aufgenommen werden können, hat man sich letztlich dafür entschieden eine Klassifikation nach den Bemessungsansätzen vorzunehmen. Es erfolgt daher eine grundlegende Unterscheidung in ‘Diffused Ground Improvement’ (‘A’), bei denen der verbesserte Baugrund mit seinen veränderten Eigenschaftenn weiterhin als Kontinuum betrachtet werden kann, und ‘Discrete Ground Improvement’ (‘B’), bei denen diskret wirkende Elemente in den Baugrund eingebracht werden, die eine deutlich höhere Steifigkeit bzw. Scherfestigkeit gegenüber dem umgebenden Baugrund besitzen (Tabelle 2). Insbesondere die Abgrenzungskriterien und Bemessungsansätze für Baugrundverbesserungen des Typs BII ‘Discrete ground improvement with rigid inclusions’ waren dabei Gegenstand intensiver Diskussionen. Letztlich ist es aber gelungen, für alle Klassen von Baugrundverbesserungen Ansätze für die Bemessung wie auch für die Nachweisformate im EN 1997-3 zu etablieren.

Tabelle 2: Klassifikation von Baugrundverbesserungen nach EN 1997-3:2024, Clause 12.

Class	A – Diffused	B – Discrete
I	<p>AI – Diffused with no measureable unconfined compressive strength The improved ground has an increased shear strength or stiffness higher than that of the original ground. The improved ground can be modelled as a ground with improved properties.</p>	<p>BI – Discrete with non-rigid inclusions Inclusions, installed in the ground, with higher shear capacity and stiffness compared to the surrounding ground. The unconfined compressive strength of the inclusion is not measurable.</p>
II	<p>AII – Ground improvement zone with measureable unconfined compressive strength The improved ground is modified from its original natural state, has a measurable unconfined compressive strength and is significantly stiffer than the surrounding ground. Usually, it comprises a composite of a binder and ground.</p>	<p>BII – Discrete with rigid inclusions Rigid inclusions, installed in the ground, with unconfined compressive strength and significantly higher stiffness than the surrounding ground. The inclusions can be an engineered material such as timber, concrete/grout or steel or a composite of a binder and ground.</p>

Clause 13: ‘Groundwater control’

Das neue Kapitel 13 befasst sich mit allen Formen der ‘Groundwater control’, i.e. Grundwasserhaltungsmaßnahmen, künstliche Dichtelemente etc. Die Regelungen haben dabei eher den Charakter allgemeiner Empfehlungen, denn konkreter Bemessungsvorgaben, so dass dieses Kapitel nur bedingt überzeugt.

5. Resümee und Ausblick

In der Gesamtschau wird der Eurocode 7 der zweiten Generation weitgehend mit der aktuellen nationalen Bemessungspraxis gemäß des deutschen Handbuchs Eurocode 7, Band 1, kompatibel sein, so dass mit Einführung der zweiten Generation des Eurocode 7 keine tiefgreifenden Veränderungen bei der geotechnischen Bemessung zu erwarten sein werden, wohl aber umfangreiche Änderungen bei Anforderungen und Nachweisen im Detail. In diesen Kontext ist auch zu berücksichtigen, dass alle Tabellen als ‘Nationally Determined Parameters’ (NDP) markiert sind und daher von den nationalen Spiegelausschüssen nicht nur die Zahlenwerte der hier dokumentierten Parameter national angepasst werden können, sondern auch die Struktur der Tabellen modifiziert und zum

Beispiel durch weitere Zeilen oder Spalten mit zusätzlichen Werten, beispielsweise für vorübergehende Bemessungssituation, ergänzt werden können.

Erste Vergleichsberechnungen zeigen, dass für wesentliche repräsentative Bemessungsaufgaben mit den Default-Werten des EN 1997-3:2025 vergleichbare Ergebnisse zu der aktuellen Fassung des Normenhandbuchs Eurocode 7, Band 1, erzielt werden.

Es ist als Fortschritt zu werten, dass zahlreiche regelmäßige Bemessungsaufgaben, wie Baugrundverbesserungen, Bodenvernagelungen, bewehrte Erdkörper, Kombinierte Pfahl-Plattengründungen etc. nunmehr europaweit einheitlich durch den Eurocode 7 abgedeckt werden.

Literatur

Bond, A.J., Formichi, P., Spehl, P., van Seters, A.J. (2019a): Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1990:202x Basis of structural and geotechnical design. Proc. 17th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019, Reykjavik, Iceland

Bond, A.J.; Jenner, C.; Moormann, Ch. (2019b): Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-3:202x Geotechnical Structures. Proc. 17th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019, Reykjavik, Iceland

Estaire, J., Arroyo, M., Scarpelli, G., Bond, A.J. (2019). Tomorrow's geotechnical toolbox: Design of geotechnical structures to EN 1997:202x. Proc. 17th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019, Reykjavik, Iceland

Franzén, G., Arroyo, M., Lees, A., Kavvadas, M., van Seters, A.J., Walter, H., Bond, A.J. 2019. Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-1:202x General rules. Proc. 17th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019, Reykjavik, Iceland

Franzén, G; van Seters, A. (2022): Eurocode 7 – a toolbox for geotechnical engineering. Proc. of 20th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ICSMGE 2022, Sydney, 1-5 May 2022, pp. 4753-4758

Katzenbach, R.; Arslan, U.; Moormann, Ch.; König, G.; Soukhov, D.; Ahner, C. (2000): Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP). Fraunhofer IRB Verlag, Bauforschung, Band T 2907, 2000, 170 S.

Moormann, Ch. (2010): Die Geotechnische Normung auf dem Weg zum Eurocode 7. Der Prüfenieur, Ausgabe 36 (2010), Heft 4, 41-54

Moormann, Ch. (2014): Proposal for a Revised Section „Pile Foundations“ of Eurocode 7 by Evolution Group 7 „Pile Design“ and DIN Committee on Piles. Proc. of the First PRB-Workshop on Ease of Use of the Eurocodes,

04.-05. Dezember 2014, Berlin, Nußbaumer, Hertle, Meyer (eds.), Beuth Verlag, Berlin, 51-52

Moormann, Ch.; Kempfert, H.-G. (2014): Jahresbericht 2014 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik 91(12), S. 922-932.

Moormann, Ch. (2015): Jahresbericht 2015 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik, Vol. 92, Heft 12, 2014, S. 895-900

Moormann, Ch. (2016a): Jahresbericht 2016 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik, Vol. 93, Heft 12, 2016, S. 956-972

Moormann, Ch. (2016b): Design of piles according to Eurocode 7 – Expected evolutions. ISSMGE-ETC3 Int. Symp. on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, Volume I, 15-28

Moormann, Ch. (2016c): Design of piles – German practice. ISSMGE-ETC3 Int. Symp. on Design of Piles in Europe. Leuven, Belgium, Volume I: National Reports, 161-190

Moormann, Ch. (2018a): Jahresbericht 2017 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik, Vol. 95, Heft 2, 2018, S. 175-182

Moormann, Ch. (2018b): Pile Design and Execution according to European Codes. SAICE Geotechnical Devision, Proc. of Workshop 'Design of Piles according to EA-Pfähle (EC 7-1)'. 23-24 October 2018, Johannesburg, South Africa

Moormann, Ch. (2018c): EN 1997-1: Examples for Pile Design according to Eurocode 7 and "EA-Pfähle". HAT-TI – DGGT – Workshop, Indonesian Standards on Piling, Jakarta, Indonesia, September 12th and 13th, 2018

Moormann, Ch. (2020): Jahresbericht 2019 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik, Vol. 97, Heft 2, 2020, S. 133-149

Moormann, Ch., Dietz, K., Vrettos, Ch. (2020): Eurocode 7, Teil 3 „Geotechnical Structures“ – Neue Ansätze für die Bemessung in der Geotechnik. Tagungsunterlagen, 12. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', 21./22.01.2020, Moormann & Vogt (eds.), TA Esslingen

Moormann, Ch. (2021): Jahresbericht 2020 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik, Vol. 98, Heft 2, 2021, S. 163-185

Moormann, Ch. (2022a): Jahresbericht 2021 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik 99, Heft 2, 2022, S. 150-154

Moormann, Ch. (2022b): Pile design according to EN 1997-3:2024 - Overview of Clause 6: Pile foundations. SC7 ISSMGE NEN Webinar „Pile design in the second generation of Eurocode 7“, 19.10.2022, Tagungsunterlagen, 29 p.

Moormann, Ch. (2023a): Jahresbericht 2022 des Arbeitskreises „Pfähle“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Bautechnik 100, Heft 2, 2023, S. 1-8, <https://doi.org/10.1002/bate.202300001>

Moormann, Ch. (2023b): Pile design in the second generation of Eurocode 7 – Neue Entwicklungen in der Normung für die Bemessung und Ausführung von Pfählen. Pfahl-Symposium 2023, Fachseminar: 16./17. Februar 2023, Mitteilungen des Instituts für Geomechanik und Geotechnik der Technischen Universität Braunschweig, Heft 113, Band 1, S. 1-40

Norbury, D., Arroyo, M., Foti, S., Garin, H., Reiffsteck, P., Bond, A.J. (2019): Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-2:202x Ground investigation. Proc. 17th ECSMGE 2019, Reykjavik, Iceland, ISBN 978-9935-9436-1-3.

Weihrauch, S.; Moormann, Ch.; Wudtke, R.-B.; Vogt, N. (2022): Aktuelle Entwicklungen zur Finalisierung der zweiten Generation des Eurocode 7. Vorträge der 37. Baugrundtagung 2022 in Wiesbaden, 05.-07.10.2022, DGGT, ISBN 978-3-946039-09-9, S. 245-256

Nachhaltigkeit im Infrastrukturbau – CO₂-Bilanzierung von Infrastrukturprojekten

Dipl.-Ing. (FH) Tomas Vardijan

Ed. Züblin AG, Direktion Zentrale Technik, Technisches Büro Tiefbau Stuttgart

Dr.-Ing. Claudia Klotz

Ed. Züblin AG, Direktion Zentrale Technik, Technisches Büro Tiefbau Stuttgart

Zusammenfassung

Die Ökobilanzierung als Methode zur Bewertung der umweltbezogenen Nachhaltigkeit ist in den letzten Jahren für den infrastrukturellen Baubereich immer stärker in den Fokus gerückt. Im vorliegenden Beitrag werden zunächst die grundlegenden Aspekte für die ganzheitliche Quantifizierung des CO₂-Fußabdrucks im Infrastrukturbau im Allgemeinen, und im speziellen für temporäre Bauhilfsmaßnahmen erläutert. Im Vortrag wird deutlich, welche Überlegungen im Sinne der DIN EN 17472 unter Einhaltung der beiden Nachhaltigkeitszielen „Treibhausgasreduktion und Ressourcenschonung“ in Infrastrukturprojekten einhergehen und wie Verarbeitungsprozesse der Bilanzierung von Materialien und Bauteilen strukturiert hinzugefügt werden können. Der Vortrag zeigt darüber hinausgehend, dass nachhaltiges Planen, Bauen und Betreiben aus vielen Einzelbetrachtungen besteht, und stellt die Vergleichbarkeit von Berechnungen innerhalb von Variantenuntersuchungen als wichtige Voraussetzung für die Planung unter Nachhaltigkeitsaspekten in den Vordergrund.

1. Einleitung

1.1 State of the art

„Die Welt von morgen bauen“ – diese Vision hat eine klare Nachhaltigkeitsperspektive. Etwa 50 % des Gesamtenergieverbrauchs und rund 38 % der weltweiten CO₂-Emissionen entfallen auf die Bauindustrie. Vor diesem Hintergrund braucht die Welt von morgen eine dauerhafte, CO₂-arme und klimaresiliente Infrastruktur, die in möglichst nachhaltiger Weise gebaut wird. Aktuell sehen wir uns als Gesellschaft einer ganzen Reihe von Herausforderungen gegenüber. Zum einen ist der Klimawandel eine omnipräsente und langfristige Gefahr, die nur mit Mitarbeit aus allen Bereichen abgefangen werden kann. Zum anderen machen kurzfristige Krisen wie Lieferengpässe und Inflation vielen Branchen Probleme. Man kann diesen Aspekten mit gezielten Maßnahmen begegnen, die kurz- oder mittelfristig Entlastung schaffen – wirkliche Lösungen finden wir jedoch nur, wenn wir das große Ganze betrachten und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gefahren sehen. Es gilt, nicht nur auf Probleme zu reagieren, sondern direkt so zu handeln, dass Krisen gar nicht erst entstehen.

Mit dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft ist es möglich Produkte und Materialien solange wir möglich zu nutzen, Abfälle und Umweltverschmutzung zu vermeiden und die Ressourcen zu schonen.

1.2 Sichtbarmachen der Nachhaltigkeit im Infrastrukturbau

Im Entwurf eines Gebäudes sind eine Vielzahl von Parametern zu beachten: Neben gestalterischer Qualität,

Raumprogramm, Genehmigungsfähigkeit oder Investitionskosten rückt die Umweltqualität ins Zentrum. Ausgelöst durch die Klimakrise und steigender Ressourcenknappheit ist es notwendig, Ressourcen- und Energieverbrauch sowie Treibhausgasemissionen zu vermeiden.

Die Umweltqualität von Gebäuden stellt die ökologische Dimension im nachhaltigen Planen und Bauen dar. Sie beinhaltet die Ermittlung, Bewertung und Beeinflussung von Treibhausgasemissionen sowie weiterer Umweltindikatoren. Doch wie können diese gemessen und qualifiziert gemindert werden? Eine planungsbegleitende angewandte Ökobilanzierung hilft, Materialien und Konstruktionsweisen zu optimieren.

Die Ökobilanzierung baut auf sog. Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration – EPD) für Bauprodukte und Baumaterialien gemäß DIN EN 15804 [1] auf. EPDs sind auf wissenschaftlicher Basis abgeleitete Kennzahlen für Umweltauswirkungen, die den Lebenszyklus des Materials oder Produkts explizit betrachten. Die hier primär relevante Kenngröße ist das globale Erwärmungspotenzial (Global Warming Potential – GWP global) als Maßzahl des relativen Beitrags zum Treibhauseffekt in kg CO₂-Äquivalent.

Die hier verwendeten Angaben wurden der vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen zur Verfügung gestellten Datenbank ÖKOBAUDAT [2] entnommen. Der Lebenszyklus wird nach DIN EN 17472 [3] in vier Module A–D eingeteilt, mit A „Herstellung und Errichtung“, B „Nutzung“, C „Ende der Nutzung“ und D „Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze“, siehe [Abb.1].

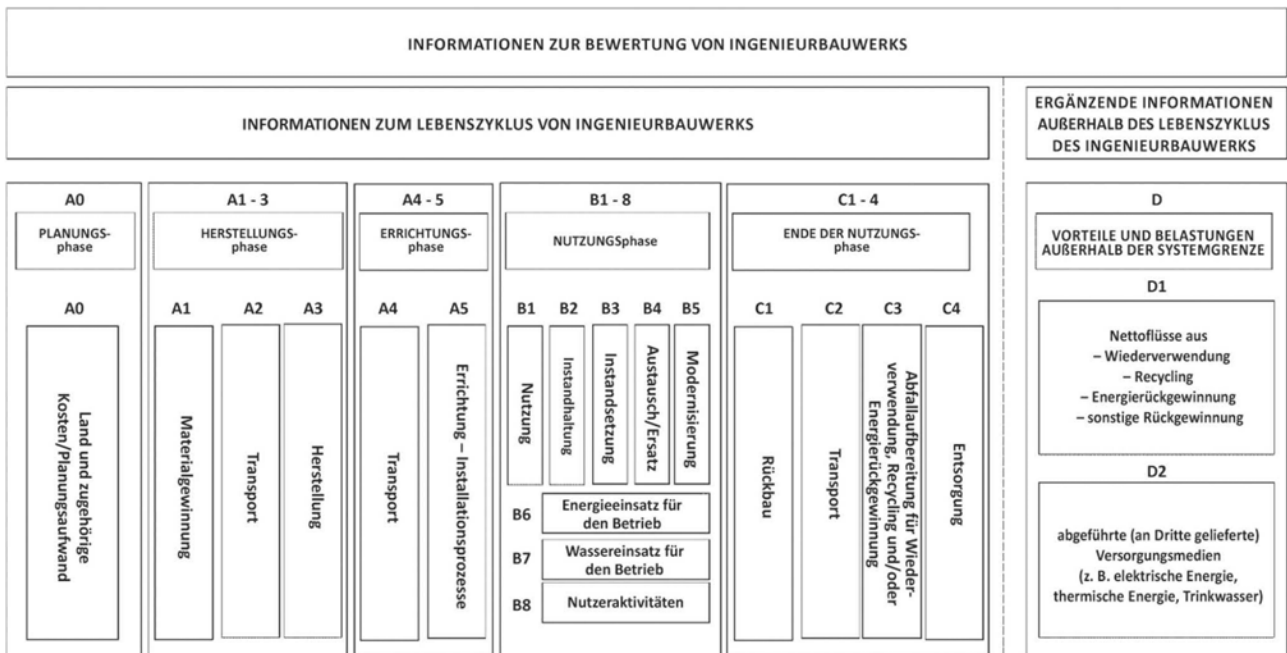


Abb. 1: Darstellung modularer Informationen für die verschiedenen Phasen der Bewertung von Ingenieurbauwerken [3]

Im Beitrag werden die beiden Nachhaltigkeitsziele fokussiert:

- Reduzierung der CO₂- Emissionen
- Ressourcenschonung

Die Verfolgung mehrere Ziele birgt immer die Gefahr von Zielkonflikten. Im hier gegebenen Beitrag kann z. B. die Herstellung von Recyclingmaterial als Beitrag zur Ressourcenschonung Emissionen freisetzen, die bei der Verwendung natürlicher Ressourcen ggf. nicht, oder nicht in dieser Größe anfallen würden. Von den Autoren wird zur Abbildung der Auswirkungen und zur Bewertung der Zielerreichung aus mehreren Handlungsoptionen, die Anwendung mehrerer Kennzahlen vorgeschlagen.

Anhand eines fiktiven Beispiels werden die vier Kennzahlen diskutiert, mit denen die Nachhaltigkeit für Projekte des Spezialtiefbaus sichtbar gemacht und Varianten hinsichtlich der gesetzten Nachhaltigkeitszielen qualifiziert verglichen werden können:

1. Materialeinsatz im Projekt (gemessen in kg CO₂ Äq. für die Module A1- A3).
2. CO₂-Bilanz im gesamten Lebenszyklus (gemessen in kg CO₂ Äq für die Module A - D).
3. Bewertung der Kreislaufpotentiale des Materialeinsatzes (gemessen mit der Noten 0 – 10).
4. Energieverbrauch erneuerbar / nicht erneuerbar (gemessen in MJ).

2. Beispiel -Nachhaltigkeit im Infrastrukturbau

2.1 Einführung

Als Ziel der Bewertung der umweltbezogenen Nachhaltigkeit werden wie bereits erläutert festgelegt:

- Reduzierung der CO₂-Emissionen
- Ressourcenschonung

Weitere Ziele sind denkbar, z. B. im Rahmen von Zertifizierungen. Diese werden hier jedoch nicht weiter thematisiert.

Das Nachweiskonzept für die Zielerreichung folgt der Gleichung [Gl.1]:

$$\frac{NHI_{i,var}}{NHI_{i,ref}} \leq 1,0 \quad (1)$$

mit:

NHI_i - Nachhaltigkeitsindikator i [i = 1 bis 4].

Ref - Referenzvariante (z. B. „übliche“ Bauweise, Ausschreibungsentwurf).

Var - Optimierungsvariante.

Die Nachhaltigkeitsindikatoren i werden in diesem Beitrag untereinander nicht gewertet. Im Rahmen von Bauprojekten hat dies jedoch zu erfolgen. Die Gewichtung der Nachhaltigkeitsindikatoren untereinander kann von Bauherrn, Gesetzeslage, Lokalität, Ressourcenverfügbarkeit abhängig sein.

Für das fiktive Beispiel wird folgendes funktionale Äquivalent gewählt:

- Baugrube mit gegebenem Grundriss mit einem Untergeschoss, Baugrubentiefe 4,5m.
- keine Anforderungen an Gebrauchstauglichkeit und Wasserundurchlässigkeit des Verbaus.

Räumliche Systemgrenze: Aus dem Ingenieurbauwerk „Baugrube“ wird die Verbaukonstruktion sowie die Herstellung des Verbaus herausgelöst betrachtet. Weitere Bauaktivitäten, wie z. B. Baugrubenaushub, Wasserhaltung oder Betrieb sind nicht Teil der Betrachtung. Die Zulässigkeit dieser Einschränkung der Systemgrenzen ist projektbezogen in Abhängigkeit der untersuchten Optimierungsvarianten stets zu prüfen.

Zeitliche Systemgrenze: Nur temporäre Nutzung des Verbaus, Standzeit < 2 Jahre. Austauschhäufigkeit der Komponenten wird zu 1,0 festgelegt.

Im hier gegebenen fiktiven Beispiel werden zwei Bauvarianten einer zusammengesetzten Verbauwand berechnet und verglichen:

- Variante 1 (Referenz): Trägerbohlwand (TBW) und aufgelöste Bohrpfahlwand (BPW): freiauskragend [Abb.2].
- Variante 2: Trägerbohlwand (TBW) und aufgelöste Bohrpfahlwand (BPW): einfach rückverankert [Abb.3].

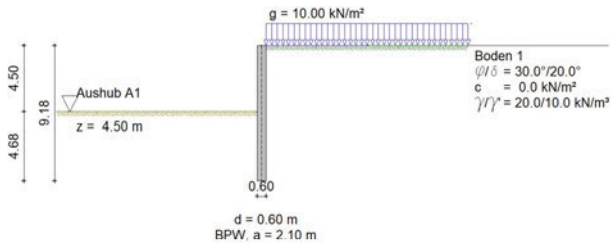


Abb. 2: Beispiel Variante 1- aufgelöste BPW freiauskragend

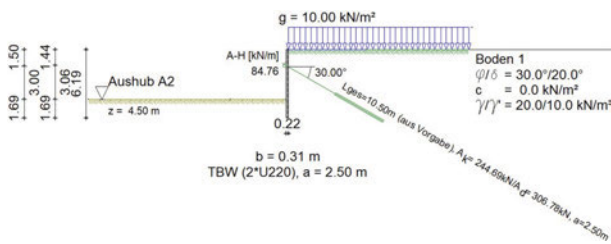


Abb. 3: Beispiel Variante 2- TBW einfach rückverankert

2.2 Materialeinsatz im Projekt

Die Evaluierung des Materialeinsatzes kann grundsätzlich hinsichtlich der Masse oder dem Volumen erfolgen. Aufgrund unterschiedlicher Dichten im Materialeinsatz kann es hier aber zu Verschiebungen in der Bewertung kommen. In Anbetracht der gesellschaftlichen CO₂-Reduzierungsziele und im Sinne einer einheitlichen Kennzahl erfolgt im Weiteren die Evaluierung des Materialeinsatzes abweichend anhand des CO₂-Fußabdrucks für die Herstellungsphase, Lebenszyklusmodule A1-A3 (Rohstoffversorgung, Transport und Herstellung).

Ziel ist es, den Einsatz von Ressourcen und Materialien zu hinterfragen und evtl. Optimierungspotentiale zu benennen, um den Materialeinsatz, gemessen in CO₂-Äquivalenten zu minimieren.

Folgenden Eingangsdaten und weitere Spezifikationen wurden für den Ressourceneinsatz betrachtet, siehe [Tab.1] und [Tab.2].

Tab. 1: Eingangsdaten Variante 1

Bauteile Var.1	Daten	Material/Menge
Pfähle	Durchmesser 0,6m Pfahllänge 9,18m, Abstand 2,1m	Beton C30/37: 124,6m ³
Bewehrungsstahl	Bewehrungsgrad 85kg/m	B500A: 37,45t
Spritzbeton Ausfachung	Ansichtsfläche 450m ²	Spritzbeton: 54m ³ Betonstahlmatte: 3,21t
Träger	Trägerprofil IIEB 360 Einzellänge Träger 9,8m Abstand 2,0m	Stahlbauprofil S235:72,05t
IIolz Ausfachung Bohrloch Träger	Konstruktionsholz Verfüllung Fußplombe	IIolz:36m ³ Sandbeton: 160,8m ³ Beton C16/20:6,84m ³

Tab. 2: Eingangsdaten Variante 2

Bauteile Var. 2	Daten	Material/Menge
Pfähle	Durchmesser 0,6m Pfahllänge 6,9m Abstand 2,1m	Beton C30/37: 93,64m ³
Bewehrungsstahl	Bewehrungsgrad 25kg/m	B500A:8,28t
Anker BPW	Ankerzugglied verpress Körper	Litzenanker Stahlgüte 1570/1770: 2,27t Zementmörtel: 6,67m ³
Spritzbeton Ausfachung	Ansichtsfläche 450m ²	Spritzbeton: 54m ³ Betonstahlmatte :4,65t
Träger	Trägerprofile 2U220, Einzellänge Träger 6,19m Abstand 2,5m	Stahlbauprofil S235; 18,48t
Anker TBW	Ankerzugglied verpress Körper	Litzenanker Stahlgüte 1570/1770:1,98t Zementmörtel: 5,84m ³
Holz-Ausfachung	Konstruktion Holz	Holz: 54m ³
Bohrloch	Verfüllung	Sandbeton: 95,79m ³
Träger	Fußplombe	Beton C16/20:5,47m ³

Die Berechnung erfolgt nach DIN EN 17472 für die Nachhaltigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken. Für die CO₂-Bilanzierung sind in [Tab.3] die Emissionsfaktoren für das globale Erwärmungspotenzial (GWP) zusammengestellt.

Tab. 3: Verwendeten Werte GWP für Produktionsstadium

Material	Einheit	GWP für A1-A3 [kg CO ₂ -Äq. /Einheit]
Beton C16/20	m ³	131,0
Beton C30/37	m ³	219,0
Spritzbeton	m ³	349,3
Sandbeton	m ³	153,9
Zementmörtel	m ³	319,4
Bewehrungsstahl	t	615,4
Betonstahlmatten	t	544,0
Profilstahl	t	1125,0
Spannstahl 1570/1770	t	994,0
Holz	m ³	41,8

Die Ergebnisse für beide Varianten sind in [Tab.4] zu finden.

Tab. 4: CO₂-Fußabdruck für beide Varianten [kg CO₂ Äq/m²]

	Variante 1 freiausragend		Variante 2 rückverankert	
	BPW	TBW	BPW	TBW
Beton, Spritzbeton, Sandbeton	103	58	88	35
Stahlprofile	0	180	0	66
Bewehrungsstahl und Betonstahlmatte	57	0	18	0
Holz	0	4	0	6
Verpressanker (Ankerzugglied und Verpresskörper)	0	0	14	11
Summe CO ₂ Äq./m ² Ansichtsfläche] [kg	160	241	119	117
Summe Variante kg CO ₂ Äq./m ² Ansichtsfläche	Var.1: 401		Var.2: 236	

Der CO₂-Fußabdruck für die Herstellungsphase (Baustoffe) für Variante 1 (Referenzvariante) beträgt 179,15 tCO₂ Äq. In Variante 2 (Optimierungsvariante) reduziert sich der CO₂-Fußabdruck zu 97,11 tCO₂ Äq.

Die Berechnungen zeigen, dass der Materialeinsatz in Variante 2 mit dem Faktor 0,54 optimiert und damit das gesetzte Nachhaltigkeitsziel erreicht werden konnte, [Gl.2].

$$\frac{NHI_{1,var2}}{NHI_{ref}} = \frac{97,11}{179,15} = 0,54 \tag{2}$$

2.3 CO₂ Bilanz im gesamten Lebenszyklus

Für eine vollständige CO₂-Bilanzierung wird ein Ingenieurbauwerk in seinem gesamten Lebenszyklus, d. h. von der Entstehung über die Errichtungs- und Nutzungsphase bis zum Abriss und sogar darüber hinaus bei der Verwertung und dem Recycling der verwendeten Baustoffe bilanziert.

Des Weiteren ist der CO₂-Fußabdruck unter Berücksichtigung aller relevanten Emissionsquellen zu ermitteln. Bauaktivitäten lassen sich insbesondere unterteilen in:

- Baustoffe (A1-A3)
- Baustofftransporte (A4)
- Geräteinsatz (A5)
- Geräteabnutzung (A5)

In begründeten Fällen kann es legitim sein auf die Betrachtung einzelner Emissionsquellen zu verzichten, z. B. in Variantenuntersuchungen mit immer gleichen Emissionen.

Die Bilanzierung von Herstellprozessen muss darüber hinaus erfassen können, dass Transport und Verarbeitung mehrfach auftreten können. Für eine qualifizierte Auswertung der Berechnung ist es unerlässlich, dass die einzelnen Emissionen ihrem Verursacher zugeordnet werden können. Als Verursacher kommen z. B. Bauteile, Lebenszyklusabschnitt, Gerät oder Herstellvorgang in Frage. Zur Berücksichtigung aller obigen Anforderungen an eine CO₂- Berechnung hat sich ein hierarchisches System (Baumstruktur) bewährt, siehe [Abb.4].

Die Baumstruktur umfasst in diesem Beispiel fünf Ebenen und summiert die Umweltauswirkungen einzelner Produkte bzw. Bauteile auf; ausgehend von der untersten Ebene 5 (Baustoff) bis zur obersten Ebene 1 (Baumaßnahme).

Im gegebenen Beispiel werden die Herstellungsphase (Modul A1-A3) sowie die Errichtungsphase (Modul A4 und Modul A5) bilanziert, siehe [Tab.5] und [Tab.6].