

Mitteilung des Instituts
für Geomechanik und Geotechnik
Technische Universität Braunschweig
Heft Nr. 113



Pfahl - Symposium 2023

Band 1

Fachseminar: 16./17. Februar 2023

Organisation:

Akad. Direktor Dr.-Ing. Jörg Gattermann

Braunschweig 2023

Herausgegeben von Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Stahlmann

Eigenverlag: **Institut für Geomechanik und Geotechnik**
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstraße 51 b · 38106 Braunschweig
Telefon : (0531) 391-62000
Fax : (0531) 391-62040
E-Mail : igg@tu-bs.de
Internet : www.igg-tubs.de
ISBN : 978-3-948141-05-9

Druck: **DruckVoll UG Anne Seckelmann**
Weinbergweg 40 a · 38106 Braunschweig
Telefon : (0531) 390 679 64
E-Mail : info@druckvoll-bs.de
Internet : www.druckvoll-bs.de

Gedruckt auf 80g/qm Soporset Premium Offset
EU Ecolabel und FSC® zertifiziert

Mitteilung des Instituts
für Geomechanik und Geotechnik
Technische Universität Braunschweig
Heft Nr. 113



Pfahl-Symposium 2023

Band 1

Fachseminar: 16.-17. Februar 2023

Organisation:
Akad. Direktor Dr.-Ing. Jörg Gattermann

Braunschweig 2023

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Stahlmann

‘Pile design in the second generation of Eurocode 7’ - Neue Entwicklungen in der Normung für die Bemessung und Ausführung von Pfählen

Christian Moormann

Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS)

1 Einleitung

Nach einer dreizehnjährigen Entwicklungs- und Bearbeitungsphase wird die zweite Generation des Eurocode 7 im Herbst 2024 in drei Teilen neu erscheinen. Die 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. Im zukünftigen Teil 3 des Eurocode 7, i.e. EN 1997-3:2024 ‘*Geotechnical Structures*’, wird in dem vollständig überarbeiteten Kapitel 6 ‘*Piled Foundations*’ die Bemessung von Pfählen spezifisch geregelt. Zugleich muss für die Bemessung von Pfählen zukünftig auf den Eurocode 7, Teil 1, sowie verstärkt auf den Eurocode 0 zurückgegriffen werden, die wesentliche Vorgaben für die Bemessung enthalten (Abb. 1).

Das Kapitel 6 wurde gegenüber den Regelungen der aktuellen ersten Generation des Eurocode 7 (EN 1997-1, Kapitel 7) grundlegend überarbeitet und erweitert. So werden jetzt neben Einzelpfählen gleichwertig Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Platten Gründungen (KPP) behandelt. Die Nachweiskonzepte für Pfähle wurden europaweit harmonisiert. Das Set von Modellfaktoren, Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerten wurde überarbeitet. Für die Beanspruchung von Pfählen aus Verschiebungen im Boden finden sich neue detaillierte Regelungen. Zahlreiche weitere Regelungen betreffen u.a. die Bemessung von Pfählen unter zyklischen Einwirkungen, die Ermittlung von Widerstands-Verformungslinien und weitere Aspekte. Wesentliche Änderungen werden in diesem Bericht vorgestellt.

Ergänzend wird auf die zukünftige Entwicklung bei den Normen für die Ausführung von Pfählen und für die Ausführung von Pfahlprobelastungen sowie bei den nationalen Empfehlungen der ‘EA-Pfähle’ eingegangen, die 2023 in der 3. Auflage erscheinen werden.

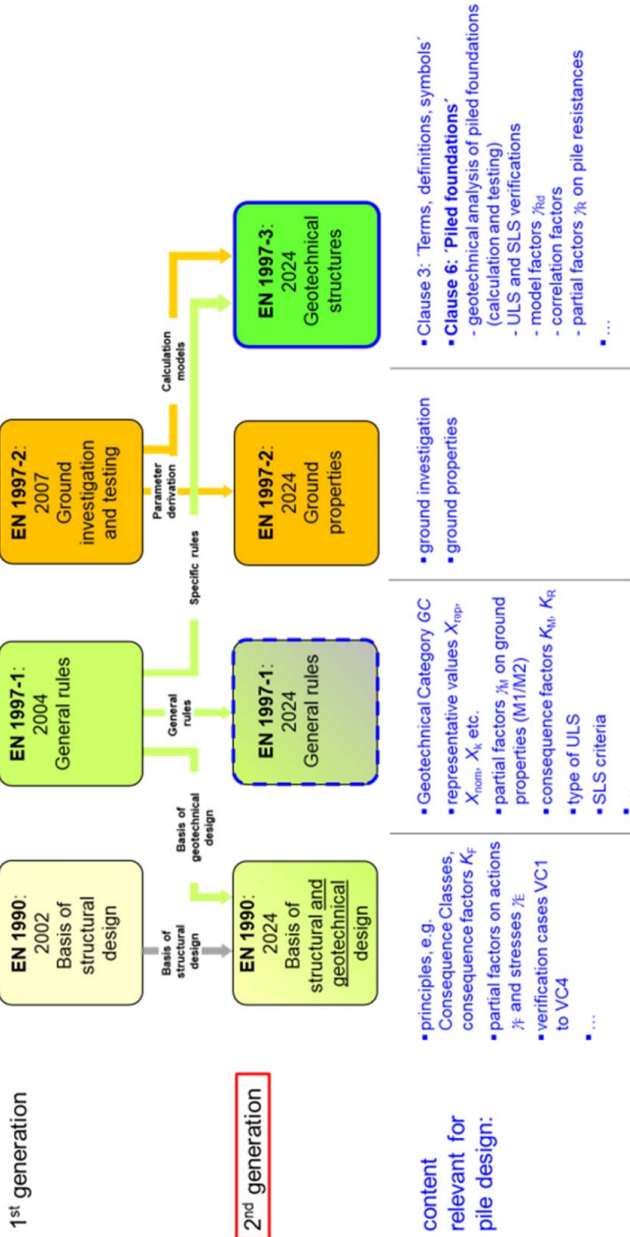


Abbildung 1 Pfahl-Bemessung gemäß EN 1997:2024 (Moormann 2022b)

Über die Entwicklungen und Perspektiven wird aus erster Hand berichtet, da der Autor nicht nur Obmann des deutschen Normenausschusses 'Pfahlbemessung' und des in Personalunion tagenden Arbeitskreises 2.1 'Pfähle' der DGGT ist, sondern zugleich deutscher Vertreter im europäischen Normenausschuss SC 7 ('Head of Delegation') und Board Member des CEN/TC 250/SC 7; zudem hat er 13 Jahre den für das 'Pile Design' zuständigen europäischen *Working Groups* und *Project Teams* des SC 7 als Obmann vorgestanden.

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 (Abb. 2). 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:

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

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*“,

wobei Teil 3 im Kapitel 6 auch die Pfundgründungen behandelt.

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

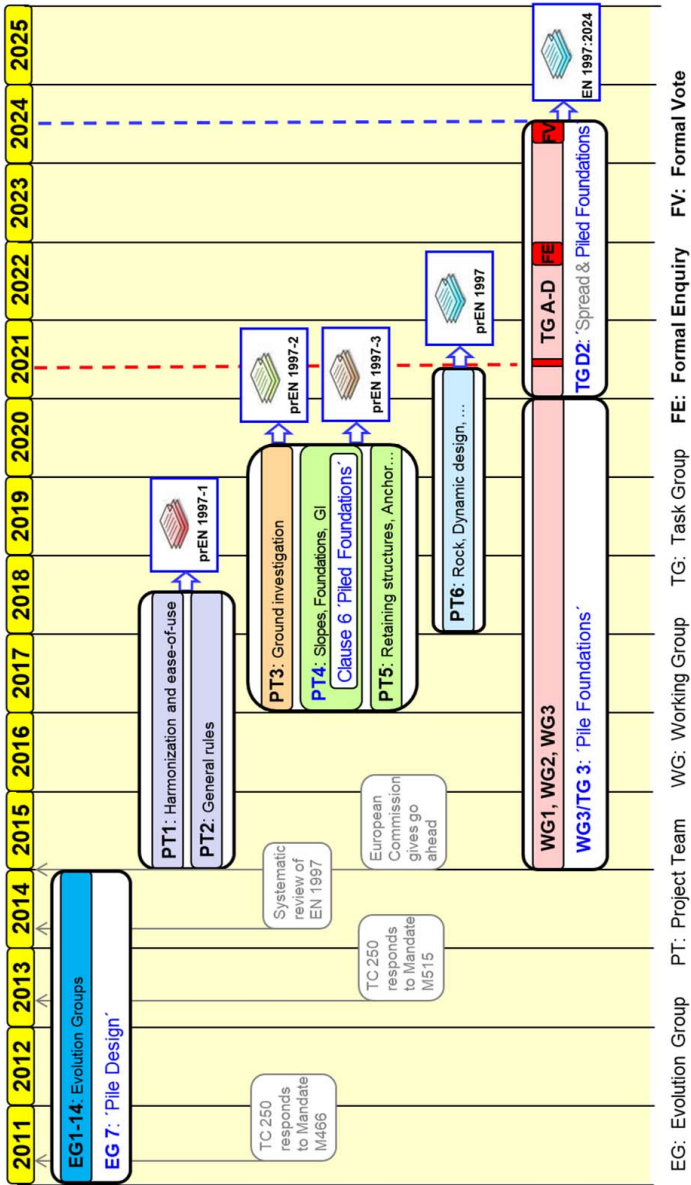


Abbildung 2 Evolution der zweiten Generation des Eurocode 7 mit Fokus auf das Kapitels 'Piled foundations' (Moormann 2022b)

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 ausgewählte 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. Der Task Group WG 3/TG 3 '*Pile Foundations*' (Obmann Prof. Ch. Moormann) begleitete dabei 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. Das vorläufig abschließende Dokument des EN 1997-3 wurde unter Berücksichtigung dieser Kommentare im Mai 2020 veröffentlicht. Dabei konnte gegenüber zwischenzeitlichen, stark kritisierten Versionen eine deutliche Straffung und inhaltliche Optimierung erreicht werden (siehe Abb. 18).

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 vorliegende 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

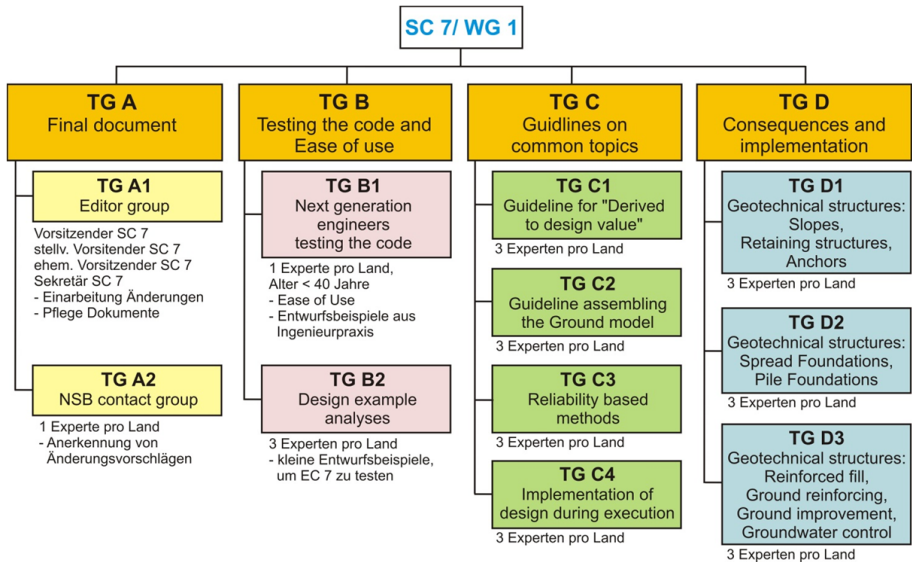


Abbildung 3 Aktuelle Struktur des europäischen Normenausschusses SC 7 zur Finalisierung der zweiten Generation des Eurocode 7 (Moormann 2022)

geeignete 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 Bearbeitungsstand. 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 werden im Zeitraum Januar bis August 2023 in die Normentwürfe eingearbeitet werden, die dann - inklusive deutsch- und französischsprachiger Übersetzung - für die Schlussumfrage (*'Formal Vote'*) vorbereitet werden.

Dieses *'Formal Vote'* wird dann zu allen drei Teilen des EN 1997 im zweiten Quartal 2024 stattfinden, so dass mit der Veröffentlichung der zweiten Generation des Eurocode 7 durch das CEN nach derzeitigem Stand im August 2024 zu rechnen ist. 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'*, wobei Teil 3 im Kapitel 6 auch die Pfahlgründungen behandelt.

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, 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 sinnvoller Weise in den Teil 3 des EC 7 integriert sein.

Der neue Eurocode 7, Teil 3, auf den nachfolgend detaillierter eingegangen wird, hat für die Anwendung in der Ingenieurpraxis vermutlich die größte unmittelbare Relevanz, da er für die Bemessung aller geotechnischer 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.

2.3 EN 1997-3:2024 ‘*Geotechnical structures*’

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 vier Kapitel vollständig neu erarbeitet, die erstmals im Regelungsbereich des Eurocode 7 die Bemessungsaufgaben ‘*Reinforced fill structures*’, ‘*Ground reinforcing structures*’, ‘*Ground improvement*’ und ‘*Groundwater control*’ umfänglich abdecken.

Die Struktur des EN 1997-3:2024 wird somit 12 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 das heutige Kapitel 7 ‘*Pile foundations*’ in den neuen Clause 6 ‘*Piled foundations*’ überführt, dabei aber grundlegend überarbeitet.

Tabelle 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>‘Anchorages’</i>
9	Reinforced fill structures	neu (Abs. 5.5 <i>‘Ground improvement & reinforcement’</i>)
10	Ground reinforcing structures	neu
11	Ground improvement	neu (Abs. 5.5)
12	Groundwater control	neu (Abs. 5.4 <i>‘Dewatering’</i>)
Annexes A-G (zu Clauses 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 11)		

Im Sinne der Benutzerfreundlichkeit (*‘Ease of use’*) wurde für die Kapitel 4 bis 11 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 *‘Groundwater’* 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.

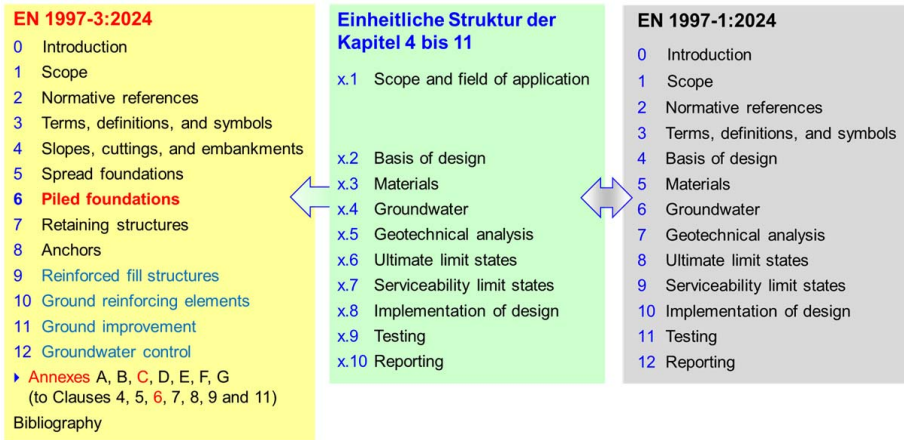


Abbildung 4 Inhaltliche Struktur der zweiten Generation des Eurocode EN 1997-3:2024 im Abgleich mit EN 1997-1:2024 (Moormann 2022b)

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. Das Vorgehen für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann damit wie folgt zusammenfasst werden: In EN 1990 werden sowohl die *Consequence Classes* (mit *Consequence Factors* K_F/K_{M}) als

auch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_R/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'*, 11 *'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.

2.4 Kapitel 6 *'Piled Foundations'* der EN 1997-3:2024

2.4.1 Allgemeines

Gegenüber dem Kapitel 7 des heutigen Eurocode 7, Teil 1, wurde das neue Kapitel 6 des prEN 1997-3:2024 umfassend überarbeitet und revidiert. Da zwischenzeitlich deutlich umfangreichere und quasi neu geschriebene Entwürfe des Kapitels vorgelegt wurden, konnte eine grundsätzliche Anknüpfung an die bestehende und etablierte Vorgehensweise und Regelungen nach dem derzeit in der Anwendung befindlichen Kapitel 7 des heutigen EC 7-1 nur nach längeren Bemühungen wieder erreicht werden.

Der Umfang des Kapitels 6 *'Piled Foundations'* im prEN 1997-3 wird gegenüber dem heutigen Kapitel 7 im Eurocode 7, Teil 1, anwachsen (siehe Abschnitt 2.4.10), dabei aber auch zahlreiche neue, bisher im Eurocode nicht geregelte Aspekte wie die Bemessung von Pfahlgruppen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) abdecken.

Neben dem Text im Kapitel 6 finden sich im Anhang C der neuen EN 1997-3:2024 umfangreiche weitere Regelungen zur Bemessung von Pfählen. Wesentliche Inhalte dieses

informativen Anhangs C sind in Tabelle 2 in einer Übersicht zusammengefasst. Bemerkenswert ist u.a., dass exemplarisch für Bohrpfähle die Tabellen mit den Erfahrungswerten nach 'EA-Pfähle', Abs. 5.4, als Anhang C.8 Eingang in die europäische Norm gefunden haben.

Tabelle 2: Inhalt des informativen Anhangs C 'Piled Foundations' der EN 1997-3:2024

C.3	Examples of pile types (Classification) Calculation of axial pile resistance based on
C.4, C.5	... ground parameters
C.6	... CPT profiles
C.7	... PMT profiles
C.8	... empirical tables
C.9	Calculation of downdrag due to vertical ground movements
C.10	Pile groups subject to axial tension
C.11	Calculation model for single pile settlement using load transfer functions
C.12	Calculation model for single pile lateral displacement using load transfer functions
C.13	Calculation model for buckling and second order effects
C.14	Determination of axial pile resistance under cyclic loading

Nachfolgend werden wesentliche Modifikationen und Erweiterungen gegenüber dem heutigen Kapitel 7 des Eurocode 7, Band 1, der Struktur des Kapitels 6 folgend vorgestellt.

2.4.2 Abschnitt 6.1 'Scope and field of application'

In dem einleitenden Abschnitt 6.1 '*Scope and field of application*' wird der Anwendungsbereich des neuen Kapitels 6 '*Piled foundations*' spezifiziert und klargestellt, dass das Kapitel gleichberechtigt für Einzelpfähle, Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) gilt. 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, was eine wesentliche positive Fortentwicklung ist.

Eine zunächst prominent das Kapitel 6 prägende Klassifikation der Pfahltypen ist zwar noch im Abschnitt 6.1 enthalten (Abbildung 5), wird aber nur noch bei der Festlegung der

Teilsicherheitsbeiwerte für die Pfahlwiderstände erwähnt und kann hier durch nationale Regelungen entsprechend der bisherigen deutschen Verfahrensweise egalisiert werden.

Table 6.1 — (NDP) Classification of piles

Pile type	Description	Class
Displacement pile	Pile installed in the ground without excavation of material	Full displacement
		Partial displacement
Replacement pile	Pile installed in the ground after the excavation of material	Replacement
Pile not listed above	---	Unclassified

Abbildung 5 Klassifikation von Pfählen nach prEN 1997-3:2024, 6.1, Table 6.1

2.4.3 Abschnitt 6.2 'Basis of design'

Im Abschnitt 6.2 werden die Bemessungsgrundlagen für Pfahlgründungen spezifiziert, wobei die Spezifikationen überwiegend aus um wenige pfahlspezifische Regelungen ergänzte Verweise auf die entsprechenden Abschnitte des EN 1997-1:2024 bestehen.

Im Hinblick auf zyklische beanspruchte Pfähle wird auf mögliche widerstandsreduzierende Effekte in Abhängigkeit von der Signifikanz der zyklischen Beanspruchung verwiesen. Als Beurteilungskriterium für zyklisch axial belastete Pfähle werden im Anhang C.14 der EN 1997-3:2024 weitere Angaben gemacht und für eine vereinfachte Überprüfung ein Interaktionsdiagramms in Anlehnung an Poulos (1988) (Abb. 6) und ISO 19901-4:2016 zur Verfügung gestellt.

Während die grundsätzlichen Anforderungen an den Umfang einer Baugrunderkundung in EN 1997-2 definiert werden, werden in EN 1997-3 für jede geotechnische Konstruktion individuelle Vorgaben zur minimal erforderlichen Erkundungstiefe formuliert. In diesem Sinne werden in Abschnitt 6.2 der EN 1997-3 auch die Anforderungen an die erforderliche Erkundungstiefe von Pfahlgründungen vorgegeben (Abb. 7).

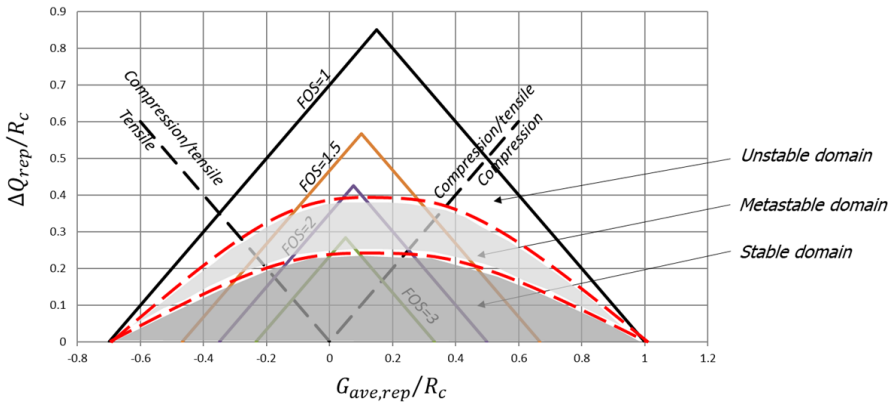


Abbildung 6 Cyclic Stability Diagram nach Poulos (1988) als Vorlage für die Regelungen im Anhang C.14 der prEN 1997-3:2024

Während für Pfähle im unverwitterten Fels gegenüber den Angaben in Abbildung 7 reduzierte Mindesterkundungstiefen ($d_{\min} = \max(3 \text{ m}, 3B_{b,\text{eq}})$) gefordert werden, ist bei Pfahlgruppen zusätzlich die Ausdehnung der Pfahlgruppe bei der Festlegung der Mindesterkundungstiefe zu berücksichtigen ($d_{\min} = \max(3 \text{ m}, 3B_{b,\text{eq}}, p_{\text{group}})$ mit $p_{\text{group}} =$ kleiner Längsseite der Pfahlgruppe), was im Wesentlichen den bisherigen nationalen Anforderungen entspricht.

Table 6.4 — (NDP) Minimum depth of field investigation for piled foundations

Application	Minimum depth	Illustration
Piled foundation	$d_{\min} = \max(3B; 5 \text{ m})$	
<p>B is the equivalent size of the pile base (the diameter for a circular pile, the width of a square pile or the equivalent diameter)</p>		

Abbildung 7 Minimale Erkundungstiefe für Pfahlgründungen nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.4, Table 6.4

2.4.4 Abschnitt 6.3 'Materials'

Die im Abschnitt 6.3 'Materials' spezifizierten Angaben bestehen im Wesentlichen aus Verweisen auf ausführlichere Regelungen im Eurocode 7, Teil 1, hinsichtlich der Baugrundeigenschaften auf Eurocode 7, Teil 2, und weitere spezifische Normen (siehe Tab. 3). Dabei werden alle für Pfähle üblicherweise eingesetzten Materialien abgedeckt.

Tabelle 3: Regelungen des Abs. 6.3 'Materials' der EN 1997-3:2024

▪ Ground properties:	- reference to EN 1997-2, 7-12 - properties after pile execution relevant
▪ Plain and reinforced concrete:	- reference to EN 1997-1, 5.5 - concrete cover acc. to EN 1992-1-1 - exposure classes acc. to EN 206
▪ Grout and mortar:	- reference to EN 1997-1, 5.4
▪ Steel:	- reference to EN 1997-1, 5.6
▪ Ductile cast iron:	- reference to EN 1563
▪ Timber:	- reference to EN 1997-1, 5.7

2.4.5 Abschnitt 6.4 'Groundwater'

Der Abschnitt 6.4 'Groundwater' enthält keine pfählspezifischen Regelungen und verweist stattdessen auf die übergeordneten Regelungen in EN 1997-1, Abs. 6 'Groundwater'.

2.4.6 Abschnitt 6.5 'Geotechnical Analysis'

Von besonderer Relevanz ist der Abschnitt 6.5 'Geotechnical Analysis', in dem die Berechnungsverfahren für die Bemessung von Pfählen und die dabei zu berücksichtigenden Anforderungen spezifiziert werden.

Umfangreiche und detaillierte Anforderungen werden zu der Berücksichtigung der aus Baugrundverformungen resultierenden Beanspruchungen hinsichtlich

- negativer Mantelreibung ('*Downdrag*'),
- Hebungen ('*Heave*') und
- passiven laterale Beanspruchungen ('*Transverse loading*')

formuliert.

So werden u.a. detaillierte Regelungen für die Ermittlung der Einwirkungen aus negativer Mantelreibung formuliert. Dabei ist es gelungen, den verschiebungsorientierten Ansatz der ‘EA-Pfähle’, Abs. 4.4., weitgehend inhaltsgleich in EN 1997-3, Abs. 6.5, zu integrieren (siehe Abb. 8).

a)

6.5.2.2 Downdrag

- (1) The adverse effects of the drag force caused by moving ground shall be included in the verification of serviceability and ultimate limit states.
- (2) The effects of the downdrag should be modelled by carrying out a ground-pile interaction analysis, to determine the depth of the neutral plane L_{dd} corresponding to the point where the pile settlement equals the ground settlement.

NOTE 1 The neutral plane marks the boundary between downwards shaft friction (occurring above the neutral plane), and upwards shaft friction (occurring below the neutral plane).

NOTE 2 The depth of the neutral plane L_{dd} is usually different for serviceability and ultimate limit state conditions.

- (6) The equivalent drag force D_{rep} should be determined from Formula 6.3:

$$D_{rep} = p \int_0^{L_{dd}} \tau_s \cdot dz \quad (6.3)$$

where

p is the perimeter of the pile;

τ_s is the unit shaft friction causing downdrag at depth z ;

L_{dd} is the depth to the neutral plane.

b)

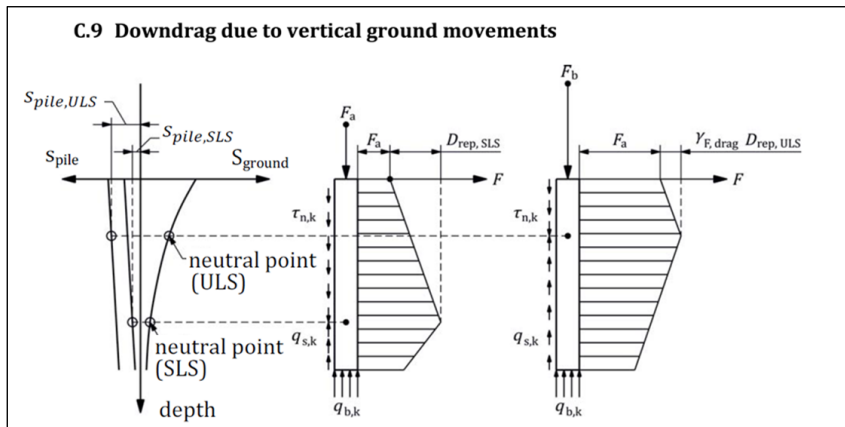


Abbildung 8 Regelungen nach prEN 1997-3:2024, a) Abs. 6.5.2.2 und b) nach Anhang C.9 zur Ermittlung der negativen Mantelreibung

Der axiale Widerstand von Einzelpfählen kann nach EN 1997-3, Abs.6.5 durch

- Berechnung (*'Calculation'*),
- Pfahlprobebelastungen (*'Testing'*) bzw.
- spezielle nationale Erfahrungswerte (*'prescriptive rules'*)

ermittelt werden, was der heutigen Bemessungspraxis entspricht.

Für das *'Design by calculation'* werden zwei Ansätze definiert, die sich dem Grunde nach in dieser Form auch in der heutigen Fassung des EC 7-1 finden:

- *'Ground Model Method'*: Bei diesem Verfahren werden die Baugrundkennwerte auf der Basis aller verfügbaren Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen für Homogenbereiche ermittelt und für diese Homogenbereiche Pfahltragfähigkeiten abgeleitet;
- *'Model Pile Method'*: Bei diesem Verfahren werden aus jeder einzelnen Sondierung bzw. für jedes Baugrundprofil auf der Basis von Korrelationen individuell Pfahlwiderstände abgeleitet.

Die *'Ground Model Method'* entspricht dabei dem in Deutschland üblichen Vorgehen bei Anwendung der Erfahrungswerte nach 'EA-Pfähle', Abs. 5.4. Hinsichtlich möglicher Verfahren zur rechnerischen bzw. empirischen Ermittlung des axialen Pfahlwiderstandes verweist EN 1997-3, Abs. 6.5 auf die in den informellen Anhängen C.4 bis C.8 (siehe Tab. 2) aufgeführten Verfahren.

Für das in der Praxis eher seltener angewendete *'Design by testing'* können nach EN 1997-3, Abs. 6.5, statische Pfahlprobebelastungen für ULS- und SLS-Bemessungen sowohl bei auf Druck als auch auf Zug belastete Pfähle zum Einsatz kommen, während dynamische Pfahlprobebelastungen (inklusive Rapid-Load Tests) nur für ULS-Bemessungen von auf Druck belasteten Pfählen eingesetzt werden dürfen.

In Abschnitt 6.5 werden neben der Ermittlung des Widerstandes von Einzelpfählen bei axialer und im Übrigen auch transversaler Beanspruchung auch Angaben zur Ermittlung des Widerstandes von Pfahlgruppen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen gemacht.

Bei Pfahlgruppen (*'pile groups'*) ist der Widerstand zu ermitteln als

$$R_{\text{group}} = \min \left\{ \sum_i^n R_i ; R_{\text{block}} \right\}$$

d.h. als kleinerer Wert der a) unter Berücksichtigung der Pfahlgruppenwirkung ermittelten Summe der Widerstände aller individuellen Pfähle in der Gruppe und b) als Widerstand eines großen Ersatzpfahls ('block'), der sich als Einhüllende um die äußeren Pfähle der Pfahlgruppe ergibt. Dieser Ansatz deckt sich mit dem Verständnis des deutschen Normenausschusses 'Pfähle' gemäß Jahresbericht „EA-Pfähle“ von 2020 (Moormann 2021).

Bei Kombinierten Pfahl-Plattengründungen ('piled rafts') ist der Widerstand zu ermitteln als

$$R_{\text{piled-raft}} = \left(\sum_i^n R_{c,i} + R_{\text{raft}} \right)$$

d.h. als Summe der Widerstände aller individuellen Pfähle in der Gruppe und des Plattenwiderstandes, der sich aus der Integration der unter der Pfahlkopfplatte verschiebungskompatibel ermittelten Sohlspannungen ergibt. Dabei sind nach EN 1997-3, Abs. 6.5, alle die das Tragverhalten von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen prägenden Wechselwirkungen rechnerisch zu berücksichtigen. Die in Abbildung 9

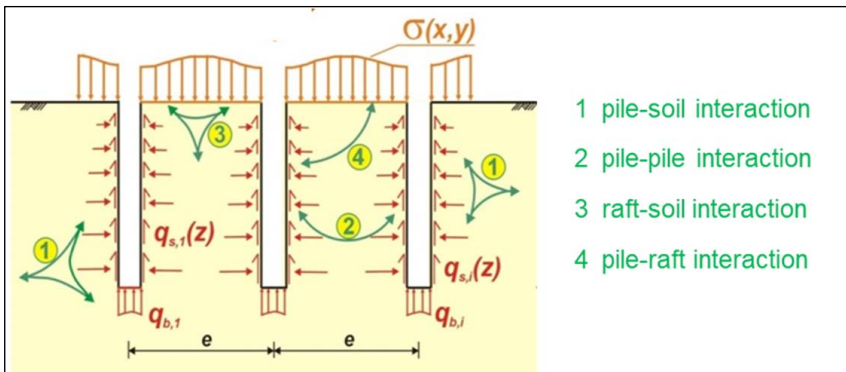


Abbildung 9 Bei der Bemessung von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.5.6 zu erfassende Wechselwirkungen

dargestellte, an die deutsche „Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP)“ (Katzenbach et al. 2000) angelehnte Darstellung wurde nach langen Diskussionen und Widerständen in den normativen Teil von prEN 1997-3, Abs. 6.5 übernommen.

Soweit die Ermittlung des Pfahlwiderstandes allein auf der Basis von Berechnungen und Erfahrungswerten bzw. Korrelationen erfolgt, soll nach prEN 1997-3, Abs. 6.5, eine Validierung mittels statischen axialen Pfahlprobelastungen, sogenannten ‘*Control Tests*’, auf dem projektspezifischen Baufeld erfolgen, die nur dann entfallen können, wenn umfangreiche vergleichbare Erfahrungen vorliegen. Nur bei auf Druck beanspruchten Pfählen dürfen anstelle statischer axialer Pfahlprobelastungen auch dynamische bzw. Rapid Load Tests als *Control Tests* eingesetzt werden. Der minimale Umfang bzw. Anzahl an Pfahlprobelastungen wird gemäß Abbildung 10 vorgegeben.

2.4.7 Abschnitt 6.6 ‘*Ultimate Limit States*’

Der umfangreiche Abschnitt 6.6 ‘*Ultimate Limit States*’ enthält detaillierte Regelungen für die Nachweisführung von Pfahlgründungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) und spezifiziert die diesbezüglich Sets der notwendigen Modellfaktoren, Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerte auf der Pfahlwiderstandsseite.

Table 6.2 — (NDP) Minimum quantity of load testing for confirmation of pile design by calculation

Type of load test	Confirmation of design by Ultimate Control Tests	Confirmation of design by Serviceability Control Tests
Static load test	max (1, 0.5 % <i>N</i>)	max (2, 1 % <i>N</i>)
Rapid load test	max (3, 1.0 % <i>N</i>)	max (6, 5 % <i>N</i>)
Dynamic impact load test	max (3, 1.0 % <i>N</i>)	max (6, 5 % <i>N</i>)
NOTE <i>N</i> = total number of piles in similar ground conditions		

Abbildung 10 Anforderung nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.5, Table 6.2 an die Durchführung von ‘*Control Tests*’ für die Validierung bzw. Bestätigung eines ‘*Pile design by calculation*’

Hinsichtlich der Bemessung von Einzelpfählen ist der repräsentative Wert des Pfahlwiderstandes (früher: 'charakteristischer' Widerstand) zunächst im Falle eines 'Design by testing' wie auch im Falle eines 'Design by calculation' in Verbindung mit der 'Model Pile Method' unter Berücksichtigung der räumlichen Variabilität unter Ansatz von Streuungsfaktoren zu ermitteln, was der bisherigen Vorgehensweise entspricht. Nachdem zwischenzeitlich ein stochastischer Ansatz für die Ermittlung der Streuungsfaktoren in Abhängigkeit von der Intensität der Baugrundvariabilität vorgesehen war, werden die Streuungsfaktoren ξ nunmehr wieder im wesentlichen in Abhängigkeit von der Anzahl der ausgeführten Pfahlprobebelastungen (Abb. 13) bzw. in Abhängigkeit von der Anzahl der Sondierungen im Baufeld angegeben.

Der repräsentative Pfahlwiderstand ist dann, wie von den charakteristischen Pfahlwiderständen bekannt, als kleinerer Wert aus der Betrachtung des Mittelwertes und des kleinsten Einzelwert der Pfahlwiderstände wie folgt zu ermitteln:

$$R_{c,rep} = \min \left\{ \frac{(R_{cal})_{mean}}{\xi_{mean}}; \frac{(R_{cal})_{min}}{\xi_{min}} \right\}$$

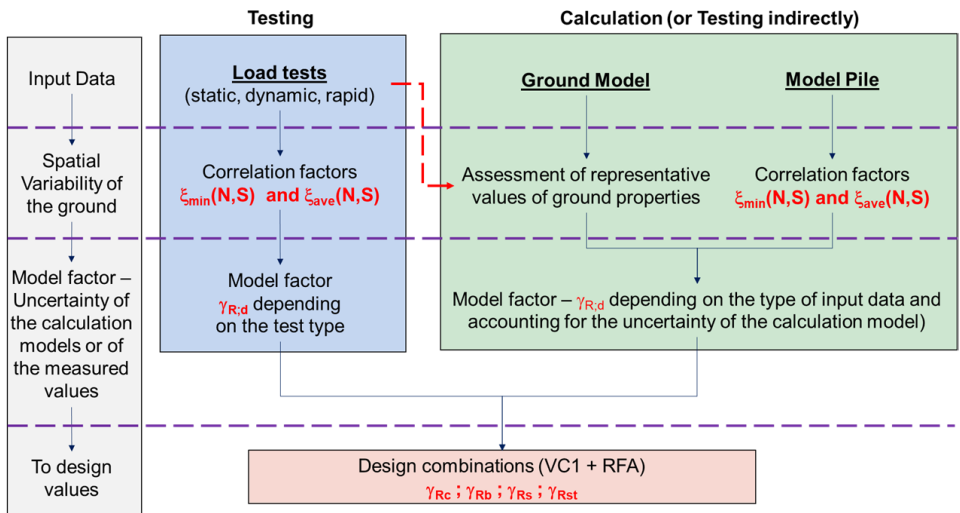


Abbildung 11 Vorgehen für die Bemessung von axial belasteten Einzelpfählen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6 (Burlon 2022)

Table 6.5 — (NDP) Correlation factors for Model Pile Method

Correlation Factor ^{a,b}	Coefficient of variation (CoV)	Number of tests or profiles								
		1	2	3	4	5	7	10	≥ 20	
ξ_{mean}	≤ 12 %	1,4	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,19	
ξ_{min}	n/a	1,4	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08	1,06	

^a If all piles in a group are tested, use $\xi_{\text{mean}} = 1.0$ provided load can be transferred through the pile cap. For individually tested piles, use $\xi_{\text{mean}} = \xi_{\text{min}} = 1.0$.

^b The correlation factors given here assume field test profiles arranged on a grid with reference spacing d_{ref} of 30 m

Abbildung 12 Streuungsfaktoren für die Ermittlung des repräsentativen Pfahlwiderstandes bei 'Design by calculation' mit der 'Model Pile Method', nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Table 6.5

Table 6.6 — (NDP) Correlation factors for design by testing – Static Load Test

Correlation Factor ^a	Number of tests				
	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{mean}	1,4	1,3	1,2	1,1	1,05
ξ_{min}	1,4	1,2	1,05	1,0	1,00

^a If all piles in a group are tested, use $\xi_{\text{mean}} = 1.0$ provided load can be transferred through the pile cap. For individually tested piles, use $\xi_{\text{mean}} = \xi_{\text{min}} = 1.0$.

Table 6.7 — (NDP) Correlation factors for design by testing – Rapid Load Test and Dynamic Impact Test

Correlation Factor ^a	Correlation Factor	Number of tests							
		1	2	3	4	5	7	10	≥ 20
Rapid Load Test	ξ_{mean}	1,4	1,36	1,32	1,29	1,28	1,25	1,23	1,19
	ξ_{min}	1,4	1,28	1,23	1,19	1,15	1,13	1,1	1,06
Dynamic Impact Test	ξ_{mean}	1,4	1,36	1,32	1,29	1,28	1,25	1,23	1,19
	ξ_{min}	1,4	1,28	1,23	1,19	1,15	1,13	1,1	1,06

^a If all piles in a group are tested, use $\xi_{\text{mean}} = 1.0$ provided load can be transferred through the pile cap. For individually tested piles, use $\xi_{\text{mean}} = \xi_{\text{min}} = 1.0$.

Abbildung 13 Streuungsfaktoren für die Ermittlung des repräsentativen Pfahlwiderstandes bei 'Design by testing', nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Tabellen 6.6 und 6.7

Abbildung 12 zeigt die aktuell im Entwurf des prEN 1997-3, Abs. 6.6 vorgeschlagenen Streuungsfaktoren bei einer Pfahlbemessung bei einem 'Design by calculation' mit der 'Model Pile Method'; Abbildung 13 enthält die Streuungsfaktoren ξ bei der Ermittlung des Pfahlwiderstandes aus statischen und dynamischen Probelastungen.

Ursprünglich war vorgesehen, das Nachweiskonzept dahingehend zu modifizieren, dass mit den Streuungsfaktoren allein die räumliche Variabilität der Baugrundeigenschaften im Baufeld abgedeckt wird und davon unabhängig die Unschärfe bzw. Unsicherheit, die sich aus der Art der Pfahlprobelastung oder dem eingesetzten rechnerischen Bemessungsansatz ergibt, separat über Modellfaktoren erfasst wird (Abb. 11). Ein Vergleich der Streuungsfaktoren für statische Probelastungen einerseits und dynamische Probelastungen andererseits (Abb. 13) zeigt indes, dass die Streuungsfaktoren weiterhin auch in Abhängigkeit von der Art der Probelastung variieren.

Neu ist die Möglichkeit, den Streuungsfaktor bei der *'Model Pile Method'* nicht allein in Abhängigkeit von der Anzahl der Sondierprofile zu bestimmen, sondern auch die Erkundungsdichte, d.h. den räumliche Abstand der Baugrundaufschlüsse zu berücksichtigen und so den aus einer intensiveren Baugrunderkundung resultierenden verbesserten Kenntnisstand zu berücksichtigen. Auf diese Weise können die Streuungsfaktoren bei Erkundungsabständen kleiner als $d_{ref} = 30$ m reduziert werden:

$$\xi_{mean}(S) = 1 + \frac{d_{ave}}{d_{ref}}(\xi_{mean} - 1) \text{ or } \xi_{min}(S) = 1 + \frac{d_{ave}}{d_{ref}}(\xi_{min} - 1)$$

Lediglich bei einem *'Design by calculation'* in Verbindung mit der *'Ground Model Method'* ergibt sich der repräsentative Widerstand unmittelbar aus dem berechneten Wert:

$$R_{c,rep} = R_{cal}$$

Mit dem repräsentativen Wert des Pfahlwiderstandes kann der Bemessungswert des Pfahlwiderstandes ermittelt werden:

$$R_{cd} = \frac{R_{c,rep}}{\gamma_{RC} \cdot \gamma_{Rd}} \text{ or } \left(\frac{R_{b,rep}}{\gamma_{Rb} \cdot \gamma_{Rd}} + \frac{R_{s,rep}}{\gamma_{RS} \cdot \gamma_{Rd}} \right)$$

wobei gilt:

$\gamma_{RC}, \gamma_{Rb}, \gamma_{RS}$: Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände im ULS,

γ_{Rd} : Modellfaktor,

$R_{c,rep}, R_{b,rep}, R_{s,rep}$ repräsentativer Pfahlwiderstand.

Die in der aktuellen Entwurfsphase vorgesehenen Sets der Modellfaktoren sind in Abbildung 14 wiedergegeben; Änderungen an diesen Modellfaktoren sind hier im Ergebnis des *'Formal Enquiry'* noch möglich.

Table 6.3 — (NDP) Model factor γ_{Rd} for verification of axial pile resistance by calculation

Verification by		Model factor γ_{Rd}	
Ground Model Method	Ultimate Control Tests	1.2	
	Extensive comparable ^{a,b} experience without site-specific Control Tests	1.3	
	Serviceability Control Tests	1.4	
	No pile load tests and limited comparable experience ^{a,c}	1.6	
		Compressive resistance	Tensile resistance
Model Pile Method	Pressuremeter test ^d	1.15	1.4
	Cone penetration test ^d	1.1	1.1
	Profiles of ground properties based on field or laboratory tests ^{d,e}	1.2	1.2

^a Comparable experience assumes documented records (or database) of static pile load test results conducted on similar piles, in similar ground conditions, under similar loading conditions from a certain number of sites n ,
^b Extensive comparable experience assumes $n \geq 10$
^c Limited comparable experience assumes $n < 10$
^d Value can be multiplied by 0.9 when accompanied by Ultimate Control Tests
^e Ground strength properties determined at maximum vertical spacings of 1.5 m

Abbildung 14 Modellfaktoren γ_{Rd} für die Ermittlung des Bemessungswertes des Pfahlwiderstandes bei 'Design by calculation', nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Tabellen 6.3

Die Darstellung in Abbildung 14 zeigt, dass die Modellfaktoren in Abhängigkeit von dem Berechnungsmodell und dem Umfang der ausgeführten 'Control tests' (siehe Abb. 10) bzw. der Erfahrungsbreite variieren.

Abbildung 15 gibt den aktuellen Stand der Modellfaktoren wieder, die bei einer Ermittlung des Pfahlwiderstandes auf der Basis von Pfahlprobebelastungen anzusetzen sind. Die *Default*-Werte der prEN 1997-3 sehen danach für dynamische Probebelastungen und Rapid Load Tests identische Modellfaktoren vor; auf nationaler Ebene können hier, wie auch darüber hinaus am gesamten als 'NDP' markierten Tabelleninhalt noch Änderungen vorgenommen werden.

Harmonisiert werden konnte das Nachweisformat für Pfähle. Danach wird jetzt in Europa einheitlich für axial beanspruchte Pfähle der 'Resistance Factor Approach' (RFA) in

Table 6.4 — (NDP) Model factor γ_{Rd} for verification of axial pile resistance by testing

Verification by		Model factor γ_{Rd}			
		Fine soils	Coarse soils	Rock mass ^c	
Static load tests		1,0	1,0	1,0	
Rapid load tests (multiple load cycles) ^{a,b}		1,4	1,2	1,2	
Rapid load tests (single load cycle) ^{a,b}		1,4	1,2	1,2	
Dynamic impact tests (signal matching) ^{a,b}	Shaft resistance	1,5	1,2	1,2	
	End resistance	1,4	1,25	1,25	
Dynamic impact tests (multiple blow) ^{a,b}	Shaft resistance	1,5	1,2	1,2	
	End resistance	1,4	1,2	1,2	
Dynamic impact tests (closed form solutions) ^b	Shaft resistance	Not permitted	Not permitted	Not permitted	
	End resistance	Not permitted	1,3	1,3	
Wave equation analysis		Not permitted	1,6	1,5	
Pile driving formulae		Not permitted	1,8	1,7	
^a When dynamic impact tests or rapid load tests are not calibrated by site-specific static load testing, but by comparable experience only (see Table 6.3 — (NDP)), the values for γ_{Rd} are increased by:: +0,1 when calibration is based on extensive comparable experience; +0,25 when calibration is based on limited comparable experience.					
^b When dynamic impact tests or rapid load tests are carried out on cast-in-place piles, the values for γ_{Rd} are increased by 0,2					
^c If the test results demonstrate an elastic behaviour without any significant permanent movement, the model factors can be decreased by -0,1 as long as the model factor remains equal or larger as 1,0.					

Abbildung 15 Modellfaktoren γ_{Rd} für die Ermittlung des Bemessungswertes des Pfahlwiderstandes bei 'Design by testing', nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Tabelle 6.4

Verbindung mit dem *Verification Case* VC1 genutzt, bei dem die Faktorisierung von Einwirkungen und Widerständen auf „Kraftebene“ erfolgt, so wie dies u.a. in Deutschland schon immer Usus war (Moormann 2016b). Hingegen ist für lateral beanspruchte Pfähle im Regelfall der '*Material Factor Approach*' (MFA) anzuwenden, bei dem die Faktorisierung der Widerstände bereits auf der Ebene der Bodenkennwerte erfolgt.

Abbildung 16 gibt die entsprechende Tabelle 6.8 aus prEN 1997-3, Abs. 6.6, wieder, die für die Ermittlung des Bemessungswertes des Pfahlwiderstandes bei einem '*Design by calculation*' in Verbindung mit der '*Ground Model Method*' anzuwenden ist. In weiteren

Table 6.8 — (NDP) Partial factors for the verification of ultimate resistance of single piles for fundamental (persistent and transient) design situations – Ground Model Method

Verification of	Partial factor on	Symbol	Material factor approach (MFA) – both combinations		Resistance factor approach (RFA)						
			(a)	(b)	Pile class	Ground Model Method					
Axial compressive resistance	Actions; effects- of- actions ^a	γ_F and γ_E	Not Used		All	VC1					
	Drag force due to settling ground	$\gamma_{F,drag}$				1,35					
	Ground properties ^b	γ_M				Not factored					
	Base and shaft resistance in compression	γ_{Rb1} γ_{Rs}						Full displacement	Base	Shaft	
									1,2	1,05	
									1,3	1,05	
									1,4	1,15	
	Total resistance in compression	γ_{Rc}							1,5	1,25	
									Full displacement	1,1	
									Partial displacement	1,2	
Replacement			1,3 ^d								
					Unclassified	1,4					
Axial tensile resistance	Actions; effects- of- actions ^a	γ_F ; γ_E	Not Used		All	VC1					
	Ground properties ^b	γ_M				Not factored					
	Shaft resistance in tension	γ_{Rst}						Full displacement	1,2		
								Partial displacement	1,2		
								Replacement	1,3		
					Unclassified	1,5					
Transverse resistance	Actions and effects- of- actions ^{a,c}	γ_F ; γ_E	VC4 or VC1	VC3		VC1					
	Ground properties ^b	γ_M	M1	M2		Not factored					
	Transverse resistance	γ_{Rtr}	Not factored			1,3					

^a Values of the partial factors for Verification Cases (VCs) 1, 3, and 4 are given in prEN 1990:2021 Annex A. For transverse resistance, DC1 may be used as alternative to VC4.

^b Values of the partial factors for Sets M1 and M2 are given in prEN 1997-1:2022, Table 4.7

^c Including drag force due to moving ground

Abbildung 16 Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Rc} , γ_{Rb} , γ_{Rs} für die Ermittlung des Bemessungswertes des Pfahlwiderstandes bei 'Design by calculation' in Verbindung mit der 'Ground Model Method', nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Tabelle 6.8

Tabellen werden Teilsicherheitsbeiwerte für die *'Model Pile Method'* und für ein *'Design by testing'* vorgegeben.

In Abschnitt 6.6 werden auch die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen spezifiziert. Der Nachweis für solche Konstruktionen erfolgt grundsätzlich für den Gesamtwiderstand der Pfahlgruppe bzw. der Kombinierte Pfahl-Plattengründung, d.h. ein Nachweis für den einzelnen Pfahl kann entfallen, was der aktuellen nationalen Anwendung entspricht. Für eine Pfahlgruppe wird das Nachweisformat ULS exemplarisch wie folgt vorgegeben:

$$F_d \leq R_{d,\text{group}}$$

mit:

$$R_{d,\text{group}} = \frac{R_{\text{rep,group}}}{\gamma_{R,\text{group}}\gamma_{Rd,\text{group}}}$$

In einer separaten Tabelle, hier in Abbildung 17 wiedergegeben, werden die Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen vorgegeben, die dem Betrage nach sicherstellen, dass ein vergleichbares äquivalentes globales Sicherheitsniveau wie bei Einzelpfählen oder auch bei Flachgründungen erreicht wird. Die Modellfaktoren sind in diesem Fall auf der Basis von nationalen Erfahrungen in Abhängigkeit von dem eingesetzten Berechnungsverfahren festzulegen.

2.4.8 Abschnitt 6.7 *'Serviceability limit states'*

Gegenüber den Regelungen für die ULS-Nachweise im Abschnitt 6.6 sind die im Abschnitt 6.7 formulierten Anforderungen an die Nachweise von Pfahlgründungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sehr knapp formuliert: wie bisher ist nachzuweisen, dass die unter Gebrauchslasten zu erwartenden Verformungen kleiner sind als die projektspezifisch festzulegenden zulässigen Verformungen. Darüber hinaus wird ein empirischer Ansatz präsentiert, der es erlaubt, aus den Pfahlwiderständen ohne eine Verformungsermittlung einen vereinfachten Gebrauchstauglichkeitsnachweis zu führen.

Table 6.11 — (NDP) Partial factors for the verification of ultimate resistance of pile groups and piled rafts for fundamental (persistent and transient) design situations

Verification of	Partial factor on	Symbol	Material factor approach (MFA) – both combinations		Resistance factor approach (RFA)
			(a)	(b)	
Vertical resistance	Actions; effects-of-actions ^a	γ_F, γ_E	VC4	VC3	VC1
	Ground properties ^b	γ_M	M1	M2	Not factored
	Vertical resistance	$\gamma_{R,group}$	Not factored		1.4
		$\gamma_{R,piled-raft}$			1.4
Combined axial and transverse resistance (see prEN 1997-1:2022, 8.2)	Actions; effects-of-actions ^a	γ_F, γ_E	VC4 or VC1	VC3	Not used
	Ground properties ^b	γ_M	M1	M2	
	Compressive and transverse resistance	$\gamma_{R,group}$	Not factored		

^A Values of the partial factors for Verification Cases (VCs) 3 and 4 are given in prEN 1990:2021 Annex A.
^b Values of the partial factors for Sets M1 and M2 are given in prEN 1997-1:2022, Table 4.7.

Abbildung 17 Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{R,group}$ für die Ermittlung des Bemessungswertes des Widerstandes von Pfahlgruppen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen nach prEN 1997-3:2024, Abs. 6.6, Tabellen 6.11

2.4.9 Abschnitt 6.8 'Implementation of design'

Auch der Abschnitt 6.8 'Implementation of design' ist kurz und enthält im Wesentlichen Verweise auf die Ausführungsnormen von Pfählen und pfahlähnlichen Elementen. Ferner wird auf die Regelungen im prEN 1997-1, Kapitel 10, zu den Themen 'Inspection', 'Monitoring' und 'Maintenance' verwiesen. Darüber hinaus gibt es keine spezifischen Anforderungen für Pfahlgründungen.

2.4.10 Abschnitt 6.9 'Testing'

Neben einem Verweis auf die Pfahlprüfungsnormen (EN ISO 22477-x) enthält der Abschnitt 6.9 'Testing' der prEN 1997-3 u.a. konkrete Vorgaben zur Ermittlung der Prüflast von axialen Pfahlprobelastungen sowie Angaben zur Planung und zur Interpretation von Pfahlprobelastungen.

2.4.11 Abschnitt 6.10 'Reporting'

Der Abschnitt 6.9 'Reporting' der prEN 1997-3 ist wieder kurz und enthält lediglich Verweise auf die europäischen Pfahlausführungs- und Pfahlprüfungsnormen und die dort definierten Dokumentationspflichten, aber keine darüber hinausgehenden pfahlspezifischen Regelungen.

2.4.12 Zusammenfassende Bewertung zu prEN 1997-3, Abs. 6 'Piled Foundations'

Der Umfang des Kapitels 6 'Piled Foundations' im prEN 1997-3:2024 wird gegenüber dem heutigen Kapitel 7 im Eurocode 7, Teil 1, um etwa 50 % anwachsen – zwischenzeitlich vorliegende Entwürfe mit einem Zuwachs im Umfang von mehr als 100 % konnten glücklicherweise mit hohem Aufwand und Ausdauer revidiert werden. Abbildung 18 zeigt die Entwicklung des Umfanges einiger wichtiger Kapitel des EN 1997-3 über die Bearbeitungszeit und die Entwürfe und macht dabei die besondere Rolle des Kapitels 6 'Piled Foundations' deutlich. Zu berücksichtigen ist, dass das zuletzt immer noch umfangreichere Kapitel 6 einige Aspekte der Pfahlbemessung abdecken wird, die nicht Gegenstand des derzeitigen Eurocode 7, Teil 1, sind; hierzu zählen u.a.:

- Bemessung von Pfahlgruppen
- Bemessung von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP),
- Beanspruchung von Pfählen durch negative Mantelreibung,
- Ermittlung der Prüflast von Pfahlprobebelastungen.

Das Kapitel 6 stand und steht im Ergebnis der wiederholten Kommentierung durch die europäischen Spiegelausschüsse immer besonders im Fokus. Bei der wiederholten Kommentierung der Entwürfe wurden regelmäßig mehr als 1.000 Kommentare nur zu diesem Kapitel formuliert, so dass phasenweise mehr als 50 % aller zu prEN 1997-3 abgegebenen Kommentare allein auf dieses Pfahl-Kapitel entfielen. Dabei wurde deutlich, dass die Kommentare teilweise diametral ambivalent waren, so dass eine weitergehende europäische Harmonisierung der offenbar durch starke nationale Traditionen geprägten Pfahlbemessung nur sehr schwierig zu erreichen war.

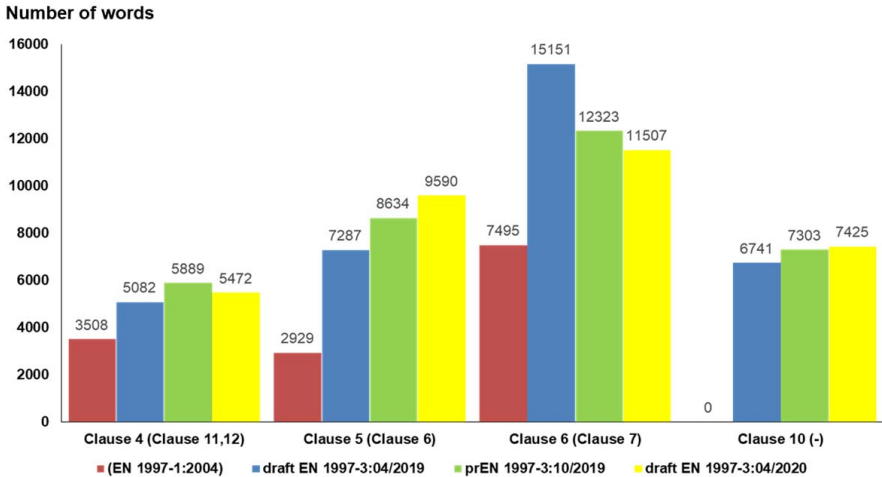


Abbildung 18 Entwicklung des Umfanges einiger Kapitel des prEN 1997-3 über die Bearbeitungsschritte (Entwürfe), dabei Kapitel 6 ‘*Piled Foundations*’

In der Gesamtschau wird das neue Kapitel 6 ‘*Piled Foundations*’ nach dem aktuellen Stand weitgehend mit der aktuellen nationalen Bemessungspraxis für Pfähle gemäß des deutschen Handbuchs Eurocode 7, Band 1, kompatibel sein, so dass keine tiefgreifenden Veränderungen bei der Bemessung von Pfählen mit Einführung der zweiten Generation des Eurocode 7 zu erwarten sein werden.

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 gleichwohl, dass für wesentliche repräsentative Bemessungsaufgaben mit den *Default*-Werten des aktuellen Entwurfs der prEN 1997-3 vergleichbare Ergebnisse zu der aktuellen Fassung des Normenhandbuchs Eurocode 7, Band 1, erzielt werden.

3 Normen zur Pfahlausführung/-herstellung

Auf nationaler Ebene war während der vergangenen Jahre die Situation bezüglich der Pfahlausführungsnormen dadurch geprägt, dass neue Normenausgaben wie die DIN EN 1536:2015-10, die DIN EN 12699:2015-07 und die DIN EN 14199:2015-07 erschienen sind, für die aber bis heute keine entsprechenden nationalen Anwendungsdokumente zur Verfügung stehen.

Hintergrund für diese missliche Situation ist, dass die Überarbeitung der nationalen Anwendungsdokumente (Fachberichte) für diese bereits 2015 erschienen Ausgaben der für die Pfahlausführung relevanten europäischen Normen nicht abgeschlossen werden konnte, da sich die für Regelungen zum Beton relevante Norm DIN 1045-2 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1“ lange Zeit in Überarbeitung befand.

Tabelle 4: Übersicht über den Status der Pfahlausführungsnormen

Normungsinhalt	jüngste erschienene Ausgabe	bauaufsichtlich eingefügte Ausgaben
Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bohrpfähle	DIN EN 1536:2015-10	DIN EN 1536:2010-12, DIN SPEC 18140:2012-02
Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle	DIN EN 12699:2015-07	DIN EN 12699:2001-05 mit Berichtigung 1 von 11/2010, DIN SPEC 18538:2012-02
Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle	DIN EN 14199:2015-07	DIN EN 14199:2012-01, DIN SPEC 18539:2012-02

Es steht nun aber zu erwarten, dass die siebenteilige Normenreihe DIN 1045 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ im Jahr 2023 veröffentlicht wird. Der Normenausschuss „Pfähle“ hat daher im Hinblick auf die bevorstehende Veröffentlichung der Norm DIN 1045-2 die Überarbeitung der nationalen Anwendungsdokumente („DIN SPEC’s“) für alle drei europäischen Pfahlausführungsnormen bis Ende 2023 beschlossen.

Bis dahin bleibt es aber zunächst dabei, dass folgende Normen bauaufsichtlich eingeführt bleiben:

- für Bohrpfähle DIN EN 1536:2010-12 in Verbindung mit DIN SPEC 18140:2012-02,
- für Verdrängungspfähle DIN EN 12699:2001-05 (mit Berichtigung 1 von 11/2010) mit DIN SPEC 18538:2012-02 und
- für Mikropfähle DIN EN 14199:2012-01 mit DIN SPEC 18539:2012-02.

Der Pfahlausschuss empfiehlt daher, weiterhin stets auf die vorgenannten bauaufsichtlich eingeführten Ausgaben der Pfahlausführungsnormen Bezug zu nehmen. Tabelle 4 fasst die Situation bei den Pfahlausführungsnormen zusammen.

Es ist geplant, dass auf europäischer Ebene im Jahr 2023 seitens des zuständigen Technical Committee CEN/TC 288 in den Working Groups WG 25 „Schlitzwände/Bohrpfähle“, WG 26 „Verdrängungspfähle“ und WG 27 „Mikropfähle“ die Arbeiten zur Überarbeitung der europäischen Pfahlausführungsnormen EN 1536, EN 12699 und EN 14199 aufgenommen werden.

Ziel dieser insbesondere auch von deutscher Seite beförderten Überarbeitung ist in erster Linie eine Anpassung der Pfahlausführungsnormen an die zweite Generation des Eurocode 7 und diesbezüglich eine verbesserte Abstimmung zwischen Bemessungs- und Ausführungsregeln unter Vermeidung von sich überschneidenden Regelungen. Für die Leitung aller drei Working Groups gibt es Bewerbungen bzw. Normierungen deutscher Experten.

Langfristig ist zu erwarten, dass im Ergebnis der unter maßgebender deutscher Mitwirkung erfolgenden Überarbeitung der europäischen Ausführungsnormen der Umfang der nationalen Anwendungsdokumente signifikant reduziert werden kann.

4 Normen zur Pfahlprüfung/Probebelastungen

Seit einigen Jahren werden - überwiegend vom Technical Committee CEN/TC 341 „*Geotechnical investigation and testing*“ bzw. von der Arbeitsgruppe ISO/TC 182/WG 11 auf europäischer bzw. internationaler Ebene - Normen für die Ausführung von Pfahlprobebelastungen erarbeitet. Als DIN-Normen wurden in der Normenreihe DIN EN ISO 22477 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen“ inzwischen veröffentlicht:

- DIN EN ISO 22477-1, Ausgabe 12/2019: „Teil 1: Statische axiale Pfahlprobebelastungen auf Druck“;
- DIN EN ISO 22477-4, Ausgabe 07/2018: „Teil 4: Pfahlprüfungen: Dynamische Probebelastungen“;
- DIN EN ISO 22477-10, Ausgabe 01/2017: „Teil 10: Pfahlprüfungen: Schnellprüfungen mit axialer Druckbelastung“.

Das Pendant zum Teil 1, die EN ISO 22477-2 „*Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 2: Testing of piles: static axial tension*“ wird derzeit erarbeitet; ein Entwurf liegt vor. Die Veröffentlichung dieses für statische axiale Pfahlprobebelastungen auf Zug relevanten Teils 2 wird noch in 2023 erwartet.

Alle Pfahlprüfungsnormen wurden unter Mitwirkung von Vertretern des deutschen Normenausschusses NA 005-05-07 'Pfähle' erarbeitet und vom gesamten Normenausschuss gespiegelt. Da es dabei gelungen ist, wesentliche Inhalte der 'EA-Pfähle', Kapitel 9 'Statische Pfahlprobebelastungen' und Kapitel 10 'Dynamische Pfahlprobebelastungen' in diese internationalen Pfahlprüfungsnormen zu integrieren, wurden diese beiden Kapitel in Vorbereitung der 3. Auflage der 'EA-Pfähle' in der Form überarbeitet, dass in der 'EA-Pfähle' nur noch ergänzende Empfehlungen, insbesondere hinsichtlich Planung und Auswertung von Pfahlprobebelastungen geregelt werden.

Für statische Pfahlprobebelastungen quer zur Pfahlachse bleibt der Abschnitt 9.3 der 'EA-Pfähle' weiterhin in seinem vollen Umfang die entscheidende Richtlinie.

Tabelle 5 fasst den aktuellen Stand der Regelungen zur Ausführung von Pfahlprobebelastungen zusammen.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die in der Normenreihe ISO 22477 veröffentlichten Normen nur die Ausführung der Pfahlprobebelastungen regeln. Die Notwendigkeit von Pfahlprobebelastungen, Aussagen zur erforderlichen Anzahl von Probepfählen sowie alle die Auswertung und Interpretation von Probebelastungen betreffenden Aspekte werden zukünftig im Eurocode 7, Teil 3, Kapitel 6 geregelt.

Tabelle 5: Übersicht über Regelungen zur Ausführung von Pfahlprobelastungen

Art der Probelastung	Norm	Regelungen in EA-Pfähle
statische axiale Pfahlprobelastungen auf Druck	DIN EN ISO 22477-1: 2019-12	EA-Pfähle, Abs. 9.2 ¹⁾ EA-Pfähle, Abs. 9.4 ²⁾
statische axiale Pfahlprobelastungen auf Zug	DIN EN ISO 22477-2: Entwurf	EA-Pfähle, Abs. 9.2 EA-Pfähle, Abs. 9.4 ²⁾
Dynamische Probelastungen	DIN EN ISO 22477-4: 2018-07	EA-Pfähle, Abs. 10 ¹⁾
Schnellprüfungen mit axialer Druckbelastung (Rapid-Load Verfahren)	DIN EN ISO 22477-10: 2017-01	EA-Pfähle, Abs. 10 ¹⁾
statische Pfahlprobelastungen quer zur Pfahlachse	-	EA-Pfähle, Abs. 9.3
¹⁾ In 3. Auflage der EA-Pfähle nur noch ergänzende Empfehlungen und Regelungen ²⁾ Statische axiale Probelastungen an Mikropfählen (Verbundpfähle)		

5 'Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle - EA-Pfähle'

5.1 Überblick

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung der nationalen Anwendungsdokumente für die erste Generation des Eurocode 7 in den neunziger Jahren hatte sich der Arbeitskreis 2.1 'Pfähle' der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), der in Personalunion als Normenausschuss NA 005-05-07 AA 'Baugrund – Pfähle' arbeitet, unter der Leitung von Professor Dr. H.-G. Kempfert entschlossen, eine zusammenfassende Empfehlung zur Berechnung und Bemessung von Pfählen zu erarbeiten und national herauszugeben, die dann auch 2007 in einer ersten Auflage der 'Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle', kurz: 'EA-Pfähle' veröffentlicht wurde und sich schnell als Standardwerk etabliert hat.

Die 'Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle' liegen aktuell noch in der 2. Auflage mit Erscheinungsjahr 2012 in deutscher Sprache und als englischsprachige Ausgabe unter dem Titel '*Recommendations on Piling (EA-Pfähle)*' mit Erscheinungsjahr 2013 vor. Eine überarbeitete Tabelle mit Korrekturen zur deutschsprachigen Fassung kann auf der Internetseite des Verlags Ernst & Sohn abgerufen werden. In dem korrigierten Nachdruck der 2. Auflage der 'EA-Pfähle' wurden diese Korrekturen berücksichtigt.

Für die Bemessung von Pfählen wird im Normenhandbuch Eurocode 7, Band 1, hier in den Passagen der DIN 1054:2010-12 an mehreren Stellen auf die 'EA-Pfähle' verwiesen, z.B. auf die Tabellenwerte der Pfahltragfähigkeiten aus Erfahrungswerten. In der 'EA-Pfähle' finden sich zudem auch in ausführungstechnischer Hinsicht Empfehlungen unter Bezug auf die europäischen Pfahlausführungsnormen DIN EN 1536, DIN EN 12699 und DIN EN 14199.

Hinsichtlich der Verbindlichkeit ihrer Regelungen verweist die 'EA-Pfähle' auf die Benutzerhinweise der 'EAB' (2006). Dementsprechend sind die Empfehlungen der 'EA-Pfähle' Regeln der Technik, die aufgrund ihres Zustandekommens im Ergebnis ehrenamtlicher technisch-wissenschaftlicher Gemeinschaftsarbeit fachgerecht sind und die sich durch langjährige praktische Anwendung als „Allgemein anerkannte Regeln der Technik“ bewährt haben. In diesem Sinne gilt auch, dass die Empfehlungen der 'EA-Pfähle' eine „wichtige Erkenntnisquelle für fachgerechtes Verhalten im Normalfall“ (EAB 2021) sind, aber nicht alle möglichen Sonderfälle abdecken kann, bei denen weitergehende oder einschränkende Maßnahmen geboten sein können. Insoweit können Abweichungen von den Empfehlungen zweckmäßig sein, soweit sie durch entsprechende Nachweise, Messungen oder Erfahrungen begründet sind.

5.2 Fortschreibung

Der Arbeitskreis 'Pfähle' arbeitet fortwährend an fachlichen Themen, die häufig auch aus der Ingenieurpraxis an den Arbeitskreis herangetragen werden oder die sich aus laufenden Forschungsvorhaben oder Schadensfällen ergeben, und die im Ergebnis zu der Formulierung neuer ergänzender Empfehlungen oder aber der Überarbeitung und Fortschreibung bestehender Empfehlungen führen, welche dann wiederum in „Jahresberichten“ regelmäßig veröffentlicht werden.

Mit den 'Jahresberichten des Arbeitskreises „Pfähle“' aus den Jahren 2014 bis 2022 (Moormann & Kempfert 2014; Moormann, 2015 bis 2023) hat der Arbeitskreis 'Pfähle' inzwischen umfangreiche Ergänzungen, Fortschreibungen und Korrekturen zur 'EA-Pfähle' 2012 vorgelegt. Die Jahresberichte werden in der Zeitschrift Bautechnik im Februar-Heft des Folgejahres veröffentlicht.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die in den Jahren 2014 bis 2022 veröffentlichten Jahresberichte und die jeweils enthaltenen neuen bzw. fortgeschriebenen Regelungen.

Tabelle 6: Übersicht Inhalt der Jahresberichte des Arbeitskreises 'Pfähle'

Jahresbericht	neue Regelungen im jeweiligen Jahresbericht des AK 'Pfähle'
2014	- Korrektur negative Mantelreibung - Erfahrungswerte für Fertigrammpfähle - Streuungsfaktoren bei dynam. Probelastungen („n = n“)
2015	- Chemischer Angriff auf (Pfahl-)Beton („Opferbeton“)
2016	- Qualitätssicherung bei Teilverdrängungsbohrpfählen - Biegeknickwiderstand von Pfählen - Einfluss von Versuchsdurchführung und Modellbildung bei dynamischen Pfahlprobelastungen - Pfahlbewehrung – Stababstände und Betondeckung
2017	- Bemessungsverfahren für Pfähle - Berechnungsverfahren von quer zur Pfahlachse beanspruchten Pfählen - Zeitabhängiges Pfahltragverhalten (Anwachseffekte) - Pfahltragverhalten für zyklische Einwirkungen quer zur Pfahlachse
2018	- keine inhaltlichen Ergänzungen
2019	- Pfahl-Integritätsprüfungen (Kap. 12 überarbeitet) „Low-Strain“-Integritätsprüfung (Pile Integrity Testing PIT) Ultraschallmethode (Cross-Hole-Sonic-Logging CSL) Thermische Integritätsprüfung (Thermal Integrity Profiling TIP)
2020	- aktiv lateral beanspruchte Pfähle - passiv horizontal beanspruchte Pfähle (Seitendruck) - Nachweise für Druckpfahlgruppen
2021	- keine inhaltlichen Ergänzungen
2022	- Mantelverpresste Duktilrammpfähle: Pfahlsystem/-herstellung, Erfahrungswerte Tragfähigkeit, Qualitätssicherung

5.3 3. Auflage der 'EA-Pfähle'

Die 3. Auflage der 'EA-Pfähle' wird 2023 erscheinen. Die 3. Auflage hat in Fortschreibung der 2. Auflage neben den Ergänzungen aus den vorgenannten Jahresberichten eine grundlegende redaktionelle und inhaltliche Überarbeitung erfahren.

5.4 Ausblick

Der Arbeitskreis 2.1 wird sich mit Abschluss der Vorbereitung der 3. Auflage der 'EA-Pfähle' weiteren wichtigen fachlichen Themen widmen. So wird für die 'EA-Pfähle' ein

neues Kapitel zum Entwurf und der Bemessung von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen erarbeitet, das die „Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP-Richtlinie)“ von 2002, die bedingt durch den Wechsel vom Global- zum Partialsicherheitskonzept, aber auch im Hinblick auf die Weiterentwicklungen bei den Bemessungsansätzen nicht mehr aktuell ist, ersetzen wird und das dieses Thema in die ‘EA-Pfähle’ integriert. Die ‘EA-Pfähle’ wird dann - analog zu dem Kapitel ‘*Piled Foundation*’ in der neuen EN 1997-3:2024 - neben der Bemessung von Einzelpfählen gleichberechtigt auch die Bemessung von Pfahlgruppen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen abdecken.

6 Schlussbemerkungen

Im Rahmen der zweiten Generation des Eurocode 7 wurden die Regelungen für Pfahlgründungen umfassend überarbeitet (Moormann 2016a), wobei im Ergebnis einer sehr aktiven Mitarbeit das aktuell in der Anwendung befindliche Bemessungskonzept der ersten Normengeneration weitgehend erhalten bleiben wird. Ergänzende Regelungen finden sich in prEN 1997:204 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 die aktuelle Fassung des Kapitels 6 in EN 1997-1 ausschließlich die Bemessung von Einzelpfählen abdeckt (Moormann 2020 et al.), werden in prEN 1997-3:2024, Kapitel 6, konsequent Pfahlgruppen und Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP) gleichberechtigt behandelt. Damit werden KPPs zukünftig gleichberechtigt zu Flach- und Pfahlgründungen normativ im EC 7 geregelt, was als Fortschritt zu werten ist.

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.

In der Gesamtschau wird das neue Kapitel 6 ‘*Piled Foundations*’ des Eurocode 7, Teil 3, nach dem aktuellen Stand weitgehend mit der aktuellen nationalen Bemessungspraxis für Pfähle gemäß des deutschen Handbuchs Eurocode 7, Band 1, kompatibel sein, so dass keine tiefgreifenden Veränderungen bei der Bemessung von Pfählen mit Einführung der zweiten Generation des Eurocode 7 zu erwarten sind.

Gleichwohl konnten nicht alle Ziele bei der Erarbeitung der zweiten Generation des Eurocode 7, insbesondere hinsichtlich Straffung des Umfanges und der Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit vollumfänglich erreicht werden.

Letztlich zeigt aber das große Interesse aus dem außereuropäischen Ausland (u.a. Moormann 2018b, 2018c), dass der Eurocode 7 international zunehmend als ein moderner und kontinuierlich in der Fortentwicklung befindlicher Code wahrgenommen wird und sich so weltweit gegenüber bisher als Orientierung geltenden alternativen Normen (z.B. BSI; AASHTO) durchsetzt, was ebenfalls als positive Auswirkung der nun schon mehr als ein Jahrzehnt währenden Erarbeitung der zweiten Generation des EC 7 zu werten ist.

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*

Burlon, S. (2022): Axial behaviour of piles. *SC7 ISSMGE NEN Webinar „Pile design in the second generation of Eurocode 7“, 19.10.2022, Tagungsunterlagen, 17 p.*

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., Kavvasas, 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 Prüflingenieur, 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, Chr. (2018c): EN 1997-1: Examples for Pile Design according to Eurocode 7 and “EA-Pfähle”. *HATTI – 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. (2023): 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>*

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.*

Poulos, H.G. (1988): Cyclic stability diagram for axially loaded piles. *Journal of Geotechn. Engineering, Vol. 114 (8), 877-895*

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*

Autor

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

christian.moormann@igs.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Geotechnik

Pfaffenwaldring 35. 70569 Stuttgart

www.uni-stuttgart.de/igs/

Tel.: 0711 685-62437