

**Ableitung von Streuungsfaktoren
und Teilsicherheitsbeiwerten für
Pfahlwiderstände aus Ergebnissen
von Probelastungen und
Erfahrungswerten für den Eurocode
EC 7-1. Kalibrierung am bisherigen
deutschen Sicherheitsstandard**

T 3166

T 3166

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2008

ISBN 978-3-8167-7631-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

FORSCHUNGSBERICHT

zum

Projekt

**Ableitung von Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerten
für Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Probelastungen
und Erfahrungswerten für den Eurocode EC 7-1
-Kalibrierung am bisherigen deutschen Sicherheitsstandard-**

(Geschäftszeichen: ZP 52-5- 11.72-1272/07)

**Auftraggeber:
Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 31L
10829 Berlin**

**Kassel, den 09.11.2007
Proj. Nr.: DM - 150**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Vergleichende Zusammenstellung bisheriger nationaler Regelwerke mit den Verfahren des Eurocodes EC 7-1 zur Ableitung von axialen Pfahlwiderständen.....	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Darstellung der Ableitung zulässiger Belastungen von Pfählen aus Probelastungen nach DIN 1054:1976-11 (Globalsicherheitskonzept)	4
2.3 Darstellung der Ableitung axialer Pfahlwiderstände nach DIN 1054:2005-01 (Teilsicherheitskonzept).....	5
2.3.1 Allgemeines	5
2.3.2 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus Ergebnissen statischer Probelastungen.....	6
2.3.3 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus Ergebnissen dynamischer Pfahlprobelastungen	7
2.3.4 Ableitung axialer Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten.....	8
2.4 Darstellung der Ableitung der Grenzwerte des Druck- und Zugwiderstandes von Pfählen nach Eurocode EC 7-1	8
2.4.1 Allgemeines	8
2.4.2 Bestimmung von Grenzwerten des Druckwiderstands.....	10
2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkung.....	12
2.5.1 Bemessungssituationen und Kombinationsregeln für Einwirkungen.....	12
2.5.2 Vorgehensweise zur Kombination der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen bei den nachfolgenden vergleichenden Kalibrierungsberechnungen der Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerte für die Widerstände.....	15
2.6 Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für Pfahlwiderstände aufgrund von Erfahrungswerten	17
3 Vergleichsberechnung mit vorgegebenen Streuungsfaktoren.....	19
3.1 Vorgaben.....	19
3.2 Berechnungen für statische Pfahlprobelastungsergebnisse.....	24
3.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungsergebnisse	24
4 Vergleichsberechnung mit vorgegebenem Mittelwert und variabler Streuung an fiktiven Pfahlprobelastungsergebnissen.....	30
4.1 Allgemeines	30
4.2 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen	32
4.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen.....	37
4.3.1 Allgemeines	37
4.3.2 Kalibrierung an statischen Probelastungen auf dem gleichen Baufeld.....	39
4.3.3 Kalibrierung an statischen Probelastungen vergleichbarer Baugrundverhältnisse	43
4.3.4 Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten.....	47

4.3.5 Einfluss der Anzahl und der Qualität der Kalibrierung auf die Ergebnisse dynamischer Probelastungen bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1	49
5 Vergleichsberechnung für reale Pfahlprobelastungsergebnisse	52
5.1 Allgemeines	52
5.2 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen	52
5.2.1 Allgemeines	52
5.2.2 Variation der Kombination von Probelastungsergebnissen auf einem Baufeld	53
5.2.3 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Fertigrammpfählen aus Stahlbeton an verschiedenen Standorten	62
5.2.4 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Bohrpfählen an verschiedenen Standorten.	65
5.2.5 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Simplexpfählen an verschiedenen Standorten	67
5.2.6 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Atlaspfählen an verschiedenen Standorten	70
5.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen	72
5.3.1 Allgemeines	72
5.3.2 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Stahlrohrpfählen an verschiedenen Standorten	73
5.3.3 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Fertigrammpfählen aus Stahlbeton auf einem Baufeld	77
6 Tendenzen bei verschiedenen Lastfällen und Bemessungssituationen.....	79
7 Zusammenfassung und Empfehlungen	83
7.1 Allgemeines	83
7.2 Kalibrierung der Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobelastungen	83
7.3 Kalibrierung der Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus dynamischen Pfahlprobelastungen	84
7.4 Überprüfung der nationalen Vorschläge an realen Probelastungen	85
7.5 Schlussbemerkung	86
8 Literaturverzeichnis	87

Anlagenverzeichnis

- 1 Vergleichsberechnungen mit vorgegebenem Mittelwert und variabler Streuung an fiktiven statischen Probelastungsergebnissen
 - 1.1 Anlagen für weiche Systeme, $n = 2-5$, $\gamma_{G,Q} = 1,40$
 - 1.1.1 Datengrundlage und Berechnungsergebnisse
 - 1.1.2 Diagramme für $n = 2$
 - 1.1.3 Diagramme für $n = 3$
 - 1.1.4 Diagramme für $n = 4$
 - 1.1.5 Diagramme für $n = 5$
 - 1.2 Anlagen für starre Systeme, $n = 2-5$, $\gamma_{G,Q} = 1,40$
 - 1.2.1 Datengrundlage und Berechnungsergebnisse
 - 1.2.2 Diagramme für $n = 2$
 - 1.2.3 Diagramme für $n = 3$
 - 1.2.4 Diagramme für $n = 4$
 - 1.2.5 Diagramme für $n = 5$
- 2 Vergleichsberechnungen mit vorgegebenem Mittelwert und variabler Streuung an fiktiven dynamischen Probelastungsergebnissen
 - 2.1 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$
 - 2.1.1a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, weiche Systeme
 - 2.1.1b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, starre Systeme
 - 2.1.2a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, weiche Systeme
 - 2.1.2b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, starre Systeme
 - 2.1.3a Diagramme für $n = 4$, weiche Systeme
 - 2.1.3b Diagramme für $n = 4$, starre Systeme
 - 2.1.4a Diagramme für $n = 5$, weiche Systeme
 - 2.1.4b Diagramme für $n = 5$, starre Systeme
 - 2.1.5a Diagramme für $n = 8$, weiche Systeme
 - 2.1.5b Diagramme für $n = 8$, starre Systeme
 - 2.1.6a Diagramme für $n = 12$, weiche Systeme
 - 2.1.6b Diagramme für $n = 12$, starre Systeme
 - 2.1.7a Diagramme für $n = 16$, weiche Systeme
 - 2.1.7b Diagramme für $n = 16$, starre Systeme

2.1.8a Diagramme für $n = 20$, weiche Systeme

2.1.8b Diagramme für $n = 20$, starre Systeme

2.2 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

2.2.1a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, weiche Systeme

2.2.1b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, starre Systeme

2.2.2a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, weiche Systeme

2.2.2b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, starre Systeme

2.2.3a Diagramme für $n = 4$, weiche Systeme

2.2.3b Diagramme für $n = 4$, starre Systeme

2.2.4a Diagramme für $n = 5$, weiche Systeme

2.2.4b Diagramme für $n = 5$, starre Systeme

2.2.5a Diagramme für $n = 8$, weiche Systeme

2.2.5b Diagramme für $n = 8$, starre Systeme

2.2.6a Diagramme für $n = 12$, weiche Systeme

2.2.6b Diagramme für $n = 12$, starre Systeme

2.2.7a Diagramme für $n = 16$, weiche Systeme

2.2.7b Diagramme für $n = 16$, starre Systeme

2.2.8a Diagramme für $n = 20$, weiche Systeme

2.2.8b Diagramme für $n = 20$, starre Systeme

2.3 Anlagen für, Kalibrierung an statischen Probelastungen aus einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

2.3.1a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, weiche Systeme

2.3.1b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, starre Systeme

2.3.2a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, weiche Systeme

2.3.2b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, starre Systeme

2.3.3a Diagramme für $n = 4$, weiche Systeme

2.3.3b Diagramme für $n = 4$, starre Systeme

2.3.4a Diagramme für $n = 5$, weiche Systeme

2.3.4b Diagramme für $n = 5$, starre Systeme

2.3.5a Diagramme für $n = 8$, weiche Systeme

2.3.5b Diagramme für $n = 8$, starre Systeme

2.3.6a Diagramme für $n = 12$, weiche Systeme

2.3.6b Diagramme für $n = 12$, starre Systeme

2.3.7a Diagramme für $n = 16$, weiche Systeme

2.3.7b Diagramme für $n = 16$, starre Systeme

2.3.8a Diagramme für $n = 20$, weiche Systeme

2.3.8b Diagramme für $n = 20$, starre Systeme

2.4 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen aus einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

2.4.1a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, weiche Systeme

2.4.1b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, starre Systeme

2.4.2a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, weiche Systeme

2.4.2b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, starre Systeme

2.4.3a Diagramme für $n = 4$, weiche Systeme

2.4.3b Diagramme für $n = 4$, starre Systeme

2.4.4a Diagramme für $n = 5$, weiche Systeme

2.4.4b Diagramme für $n = 5$, starre Systeme

2.4.5a Diagramme für $n = 8$, weiche Systeme

2.4.5b Diagramme für $n = 8$, starre Systeme

2.4.6a Diagramme für $n = 12$, weiche Systeme

2.4.6b Diagramme für $n = 12$, starre Systeme

2.4.7a Diagramme für $n = 16$, weiche Systeme

2.4.7b Diagramme für $n = 16$, starre Systeme

2.4.8a Diagramme für $n = 20$, weiche Systeme

2.4.8b Diagramme für $n = 20$, starre Systeme

2.5 Anlagen für Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

2.5.1a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, weiche Systeme

2.5.1b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 2-5$, starre Systeme

2.5.2a Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, weiche Systeme

2.5.2b Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $n = 8-20$, starre Systeme

2.5.3a Diagramme für $n = 4$, weiche Systeme

2.5.3b Diagramme für $n = 4$, starre Systeme

2.5.4a Diagramme für $n = 5$, weiche Systeme

2.5.4b Diagramme für $n = 5$, starre Systeme

2.5.5a Diagramme für $n = 8$, weiche Systeme

2.5.5b Diagramme für $n = 8$, starre Systeme

2.5.6a Diagramme für $n = 12$, weiche Systeme

2.5.6b Diagramme für $n = 12$, starre Systeme

2.5.7a Diagramme für $n = 16$, weiche Systeme

2.5.7b Diagramme für $n = 16$, starre Systeme

2.5.8a Diagramme für $n = 20$, weiche Systeme

2.5.8b Diagramme für $n = 20$, starre Systeme

3 Auswertung der Vergleichsberechnungen realer Pfahlprobelastungsergebnisse

3.1 Variation der Kombination von Probelastungsergebnisse von einem Baufeld

3.1.1 Auswertung für weiche Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.1.2 Auswertung für starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.2 Berechnungsergebnisse statischer Probelastungsergebnisse

3.2.1 Fertigrammpfähle aus Stahlbeton für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.2.2 Bohrpfähle für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.2.3 Simplexpfähle für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.2.4 Atlaspfähle für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.3 Berechnungsergebnisse dynamischer Probelastungsergebnisse

3.3.1 Stahlrohrpfähle für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

3.3.2 Fertigrammpfähle aus Stahlbeton für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

1 Einleitung

Zur Ableitung von Bemessungswerten für Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Pfahlprobelastungen nach DIN EN 1997-1:2005-10 (Eurocode EC 7-1) werden die aus Versuchen gemessenen axialen Pfahlwiderstände $R_{c,m}$ und $R_{t,m}$ über Streuungsfaktoren ξ in charakteristische Pfahlwiderstände $R_{c,k}$ und $R_{t,k}$ abgemindert. Die entsprechenden Beiwerte ξ sind von der Art und Anzahl der Probelastungen abhängig und sollen Unsicherheiten wie etwa Streuungen der Versuchsergebnisse berücksichtigen, die durch Änderungen im Baugrund oder im Bauverfahren entstehen. Empfohlene Zahlenwerte für die Streuungsfaktoren sind in den Tabellen A.9-A.11 des Eurocodes EC 7-1 angegeben. Im Zuge der Erarbeitung des nationalen Anhangs zum Eurocode EC 7-1 dürfen diese Werte national festgelegt bzw. modifiziert werden. Gleiches gilt für die Teilsicherheitsbeiwerte.

Die in Eurocode EC 7-1 nunmehr vorgegebene Art der Ermittlung des Grenzwertes von Pfahlwiderständen unterscheidet sich deutlich von den bisherigen nationalen Regelungen in DIN 1054:1976-11, die sich durch ihre langjährige Anwendung bei der Bemessung von Pfählen in der Praxis bewährt haben. Die neue DIN 1054:2005-01 ist zwar im Vorgriff auf den Eurocode EC 7-1 formal ähnlich wie im Eurocode EC 7-1 vorgegangen, enthält aber vollkommen andere Zahlenwerte für die Sicherheitsbeiwerte γ_p und die Streuungsfaktoren ξ . Es ist nun zu prüfen, ob die im Eurocode EC 7-1 empfohlenen Zahlenwerte für ξ bezüglich der Ermittlung der Bemessungswerte für Pfahlwiderstände in Zukunft zu einem vergleichbaren Sicherheitsniveau für Pfahlgründungen und zu entsprechend wirtschaftlichen Bauweisen führen wie bisher.

Damit nationale Vorstellungen an Sicherheit und wirtschaftliche Interessen berücksichtigt werden können, ist es den Mitgliedsländern des Europäischen Komitees für Normung freigestellt, die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte γ und der Streuungsfaktoren ξ in jeweiligen nationalen Anhängen separat festzulegen.

Voruntersuchungen der Universität Kassel haben gezeigt, dass sich durch gezieltes Verändern der Streuungswerte die Ergebnisse des Eurocodes EC 7-1 nur bereichsweise an das bisherige nationale Sicherheitsniveau anpassen lassen. Bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Pfahlwiderstände übt die Kombination der Teilsicherheitsbeiwerte auf der einwirkenden Seite erwartungsgemäß starken Einfluss auf die Höhe des Bemessungswertes auf der widerstehenden Seite aus. Dieser Einfluss ist bei der Kalibrierung zu berücksichtigen, siehe z.B. *Kempfert (2005)*, *Vogt (2007)*.

Zur Klärung der Problematik der Kalibrierung von Streuungsfaktoren in Verbindung mit Teilsicherheitsbeiwerten bei Pfahlgründungen wurden im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin (Geschäftszeichen ZP52-5- 11.72-1272/07), im vorliegenden Forschungsbericht umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die sich in drei Schwerpunkte gliedern lassen:

a) *Vergleichsberechnungen mit vorgegebenen Streuungsfaktoren:*

Für bestimmte Einwirkungskombinationen aus ständigen und veränderlichen Lasten wurden Ergebnisse aus Berechnungen nach bekannten Regelwerken mit dem in Zukunft anzuwendenden Verfahren des Eurocodes EC 7-1 bezüglich der Standsicherheit verglichen.

b) *Vergleichsberechnungen mit vorgegebenem Mittelwert und variabler Streuung an fiktiven Pfahlprobebelastungsergebnissen:*

Diese Berechnungen wurden im Rahmen einer Parameterstudie an fiktiven Pfahlprobebelastungsergebnissen durchgeführt. Vor jeder Berechnung wurde die Anzahl der Probebelastung und die Abweichung um einen vorgegebenen Mittelwert variiert. Aufgezeigt wurde die zulässige Last *zul. Q* (Globalsicherheitskonzept) bzw. *zul. F_k* (Teilsicherheitskonzept) über die Streuung der Ergebnisse. Weiterhin wurden verschiedene globale Sicherheiten ermittelt und dargestellt.

c) *Vergleichsberechnungen für reale Pfahlprobebelastungsergebnisse:*

Die Verfahren des Eurocode EC 7-1 wurden auf reale Pfahlprobebelastungsergebnisse angewandt. Gleichzeitig wurden diese Ergebnisse mit der DIN 1054:1976-11 und DIN 1054:2005-01 ausgewertet und miteinander verglichen.

Die Ergebnisse wurden auch im Normenausschuss „Pfähle“ (NA 005-05-07) im Oktober 2007 vorgestellt und diskutiert. Gedanken und Anregungen aus diesen Diskussionen wurden im vorliegenden Schlussbericht berücksichtigt.

Als Ergebnis der hier dokumentierten vergleichenden Untersuchungen wurde für die verschiedenen Versuchsarten ein nationaler Vorschlag für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_p für Pfahlwiderstände und die Streuungsfaktoren ξ erarbeitet.

2 Vergleichende Zusammenstellung bisheriger nationaler Regelwerke mit den Verfahren des Eurocodes EC 7-1 zur Ableitung von axialen Pfahlwiderständen

2.1 Allgemeines

Bis zur Einführung des Teilsicherheitskonzeptes der neuen DIN 1054:2005-01 war die Ableitung zulässiger Pfahltragfähigkeiten in Abschnitt 5 der DIN 1054:1976-11 geregelt. Danach war es möglich, die zulässigen Belastungen aus Erfahrungswerten oder Probelastungen abzuleiten.

Bei Ableitung aus Probelastungen ist die Grenzlast als diejenige Last definiert, unter der ein Druckpfahl während einer Probelastung merkbar versinkt oder ein Zugpfahl sich merkbar hebt. Bei der graphischen Darstellung der Widerstands-Setzungslinie sind die Grenzlasten als Übergang zwischen flachem und steil abfallendem Ast der Widerstands-Setzungslinie erkennbar (Bild 2.1).

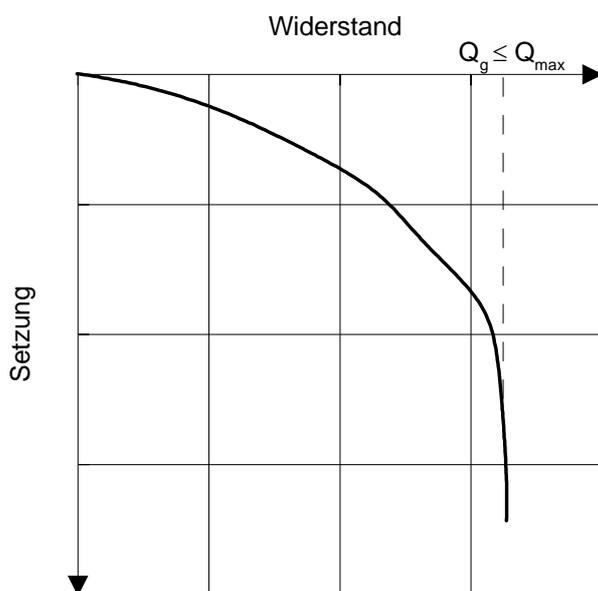


Bild 2.1: Schematische Darstellung der Widerstands-Setzungslinie einer Pfahlprobelastung

Wenn der Verlauf der Widerstands-Setzungslinie keinen eindeutigen Aufschluss über die Lage der Grenzlast Q_g gibt, kann diese auch über maximal zulässige Setzungen abgeschätzt werden, die vom Pfahltyp abhängig sind.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden die Verfahren zur Ableitung axialer Pfahlwiderstände verglichen. Diese können dabei aufgrund von Ergebnissen statischer oder dynamischer Probelastungen bestimmt werden. Die Untersuchungen beziehen sich im wesentlichen auf

axiale Pfahlwiderstände für Druckpfähle. Für Zugpfähle wird eine analoge Übertragung unter weitgehender Beibehaltung der bisher üblichen Differenzen mit einem erhöhten Sicherheitsniveau vorgenommen.

2.2 Darstellung der Ableitung zulässiger Belastungen von Pfählen aus Probelastungen nach DIN 1054:1976-11 (Globalsicherheitskonzept)

Die zulässige Pfahlbelastung *zul. Q* ergibt sich, indem die Grenzlasterlast Q_g nach Gleichung 2.1 durch eine globale Sicherheit η nach Tabelle 2.1 dividiert wird.

$$\text{zul. } Q = \frac{Q_g}{\eta} \quad (2.1)$$

Tabelle 2.1: Globalsicherheitsbeiwerte η nach DIN 1054:1976-11 (dort Tabelle 8) für Pfähle

Pfähllart	Anzahl der unter gleichen Verhältnissen ausgeführten Probelastungen	Sicherheit bei Lastfall		
		1	2 mindestens	3
Druckpfähle	1	2	1,75	1,5
	≥ 2	1,75	1,5	1,3
Zugpfähle mit Neigungen bis 2:1 ¹⁾	1	2	2	1,75
	≥ 2	2	1,75	1,5
Zugpfähle mit einer Neigungen bis 1:1 ¹⁾	≥ 2	1,75	1,75	1,5
Pfähle mit größerer Wechselbeanspruchung (Zug und Druck)	≥ 2	2	2	1,75

¹⁾ Bei Zugpfählen mit Neigungen zwischen 2:1 und 1:1 ist die Sicherheit in Abhängigkeit vom Neigungswinkel geradlinig zwischen den Werten der Zeilen 3 und 4 zu interpolieren

Die Grenzlasterlast Q_g nach DIN 1054:1976-11 entspricht nach DIN 1054:2005-01 dem charakteristischen Wert des Pfahlwiderstands im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{1,k}$ und nach Eurocode EC 7-1 dem charakteristischen Wert des Druck- oder Zugwiderstandes des Bodens gegen einen Pfahl im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c,k}$ bzw. $R_{t,k}$. Die Gleichung 2.1 der „alten“ DIN 1054 gilt gleichermaßen auch zur Ableitung von Pfahlwiderständen für Zugpfähle.

Liegen mehrere Pfahlprobelastungsergebnisse zur Auswertung vor, und weichen diese nicht mehr als 30% vom Mittelwert ab, so darf nach DIN 1054:1976-11 die Grenzlasterlast Q_g aus dem Mittelwert abgeleitet werden. Weichen der kleinste und/oder der größte Wert mehr als 30%

vom Mittelwert ab, wird die zulässige Grenzlast aus dem 1,2-fachen des Kleinstwertes abgeleitet. Eine Unterscheidung der Lastabtragung der Pfähle in „weiche Systeme“ (Einzelpfahl) oder „starre Systeme“ mit einem Lastabtrag über eine Pfahlkopfplatte wie in DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1 liegt nicht vor.

Des weiteren enthält die DIN 1054:1976-11 nur Angaben zu statischen Probelastungen, da erst nach Veröffentlichung der Norm 1976 dynamische Probelastungen entwickelt worden sind bzw. sich langsam in der Baupraxis etabliert haben.

2.3 Darstellung der Ableitung axialer Pfahlwiderstände nach DIN 1054:2005-01 (Teilsicherheitskonzept)

2.3.1 Allgemeines

Nach der „neuen“ DIN 1054 auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes wird der charakteristische Widerstand entweder aus dem Mittelwert der Messergebnisse \bar{R}_{1m} oder dem Mindestwert $R_{1m,min}$ der Messergebnisse nach Gleichung 2.3 und 2.4 durch Division mit einem Streuungsfaktor ξ (Tabelle 2.2) bestimmt. Der Streuungsfaktor ist abhängig von der Art der durchgeführten Probelastung (Abschnitt 2.3.2 und 2.3.4), dem Variationskoeffizienten s_N / \bar{R}_{1m} und dem zu gründenden Tragwerk.

Tabelle 2.2: Streuungsfaktor ξ zur Berücksichtigung von Anzahl und Streuung der Ergebnisse von Pfahlprobelastungen nach DIN 1054:2005-01 (dort Tabelle 4)

Zahl der Probelastungen n	Streuungsfaktor ξ		
	Mittelwert \bar{R}_{1m}^a		Kleinstwert $R_{1m,min}$
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
	$s_N / \bar{R}_{1m} = 0$	$s_N / \bar{R}_{1m} = 0,25$	
1	-	-	1,15
2	1,05	1,10	1,05
>2	1,00	1,05	1,00

^a Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden

Die Bemessungswerte für Pfahldruckwiderstände ergeben sich bekanntlich dann aus

$$R_{1,d} = R_{1,k} / \gamma_{pc} \quad (2.2)$$

mit γ_{pc} aus Tabelle 2.3. Im Fall der Ableitung von Zugpfählen ist γ_{pc} durch γ_{pt} zu ersetzen. Sinngemäß ist bei der Ableitung aufgrund von Erfahrungswerten zu verfahren.

Tabelle 2.3: Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände bei Pfahlprobelastungen und bei Anwendung von Erfahrungswerten nach DIN 1054:2005-01 (dort Tabelle 3)

Widerstand	Formelzeichen	Lastfall		
		LF 1	LF 2	LF 3
GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen				
Pfahldruckwiderstand bei Probelastung	γ_{pc}	1,20	1,20	1,20
Pfahlzugwiderstand bei Probelastung	γ_{pt}	1,30	1,30	1,30
Pfahlwiderstand auf Zug und Druck aufgrund von Erfahrungswerten	γ_p	1,40	1,40	1,40

2.3.2 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus Ergebnissen statischer Probelastungen

Die Streuungsfaktoren ξ nach Tabelle 2.2 sollen Unregelmäßigkeiten in der Pfahlherstellung und im Baugrund berücksichtigen. Im Einzelnen wird bei der Bestimmung von Pfahlwiderständen zwischen „starr“ und „weich“ Systemen unterschieden. Starre Systeme sind z.B. Pfahlgründungen, bei denen durch eine starre Kopfplatte die Lasten aus dem aufgehenden Bauwerk auf mehrere Pfähle verteilt wird. Die Streuung der jeweiligen Ergebnisse wird durch den Variationskoeffizienten s_N / \bar{R}_{1m} berücksichtigt. Liegt dieser unter 0,25 dürfen die Streuungsfaktoren auf den Mittelwert \bar{R}_{1m} der Messergebnisse der Pfahlprobelastungen bezogen werden (Tabelle 2.2, Spalte 2 und 3).

$$R_{1,k} = \bar{R}_{1m} / \xi \quad (2.3)$$

Ist der Variationskoeffizient größer 0,25, also bei größerer Streuung der Ergebnisse mehrerer Probelastungen, wird der charakteristische Pfahlwiderstand aus dem Kleinstwert $R_{1m,min}$ der vorliegenden Messergebnisse bestimmt (Tabelle 2.2, Spalte 4).

$$R_{1,k} = R_{1m,min} / \xi \quad (2.4)$$

Für weiche Systeme, z.B. unabhängig voneinander wirkenden Einzelpfählen, werden zur Ableitung der Pfahlwiderstände unabhängig vom Variationskoeffizienten immer der Kleinstwert $R_{1m,min}$ nach Gleichung 2.4 und die ξ -Werte nach Tabelle 2.2, Spalte 4, herangezogen.

2.3.3 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus Ergebnissen dynamischer Pfahlprobelastungen

Abhängig von der Art der Kalibrierung der Verfahren zur Auswertung der Messergebnisse sind verschiedene Streuungsfaktoren bei der Ableitung charakteristischer axialer Pfahlwiderstände zu berücksichtigen. Im einzelnen sind folgende Möglichkeiten zu unterscheiden:

- a) Auswertung nach einem erweitertem Verfahren mit vollständiger Modellbildung, wie z.B. das CAPWAP-Verfahren, Kalibrierung des Verfahrens an statischen Pfahlprobelastungen am gleichen Baufeld:
Es gelten die Streuungsfaktoren nach Tabelle 2.2. Allerdings ist von der jeweils doppelten Anzahl n von Probelastungen auszugehen, wie in Spalte 1 von Tabelle 2.2 angegeben.
- b) Auswertung nach einem direkten Verfahren, wie z.B. das CASE-Verfahren, Kalibrierung des Verfahrens an statischen Pfahlprobelastungen am gleichen Baufeld:
Es ist ebenfalls von der doppelten Anzahl n der Probelastungen auszugehen, zusätzlich sind die Streuungsfaktoren ξ um $\Delta\xi = 0,1$ zu erhöhen.
- c) Auswertung nach einem erweitertem Verfahren mit vollständiger Modellbildung, Kalibrierung des Verfahrens an statischen Pfahlprobelastungen an einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme:
Es ist von der doppelten Anzahl n der Pfahlprobelastungen auszugehen. Die Werte in Tabelle 2.2 sind um $\Delta\xi$ um 0,05 zu erhöhen.
- d) Auswertung nach einem direkten Verfahren, Kalibrierung des Verfahrens an statischen Pfahlprobelastungen an einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme:
Es ist von der doppelten Anzahl n der Pfahlprobelastungen auszugehen. Die Werte in Spalte 4 sind um $\Delta\xi$ um 0,15 zu erhöhen.
- e) Auswertung nach einem erweitertem Verfahren mit vollständiger Modellbildung, Kalibrierung des Verfahrens aufgrund von Erfahrungswerten:
Nur ein erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung ist zulässig. Bezüglich der Streuungsfaktoren werden die in Tabelle 2.2 angegebenen Werte um $\Delta\xi = 0,15$ erhöht. Des Weiteren ist die Anzahl n der Probelastungen zu verdoppeln.

2.3.4 Ableitung axialer Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten

Entsprechend DIN 1054:2005-01, Abschnitt 8.4 kann der charakteristische axiale Pfahlwiderstand auch auf Grundlage von allgemeinen Erfahrungswerten bestimmt werden, sofern keine Probelastungen durchgeführt werden bzw. keine Erfahrungswerte aus vergleichbaren Pfahlprobelastungen vorliegen. Erfahrungswerte von axialen Pfahlwiderständen finden sich in den informativen Anhängen der DIN 1054:2005-01 oder auch noch detaillierter in *EA-Pfähle (2007)*.

2.4 Darstellung der Ableitung der Grenzwerte des Druck- und Zugwiderstandes von Pfählen nach Eurocode EC 7-1

2.4.1 Allgemeines

Ähnlich den Regelungen der DIN 1054:2005-01 werden die charakteristischen Grenzwiderstände über Streuungsfaktoren ξ_i (Tabelle 2.4 und 2.5) aus den Messwerten der Pfahlprobelastungen abgeleitet, wobei zwischen verschiedenen Versuchsarten und Baugrundversuchen unterschieden wird.

Nach Gleichung 2.7 oder 2.9 wird der Mittelwert der Messergebnisse aus den Probelastungen $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ bzw. $(R_{t,m})_{\text{mitt}}$ und der Mindestwert $(R_{c,m})_{\text{min}}$ bzw. $(R_{t,m})_{\text{min}}$ durch einem Streuungsfaktor ξ dividiert. Der Streuungsfaktor ist abhängig von der Art der durchgeführten Probelastung (Abschnitt 2.4.2.1 und 2.4.2.4). Tabelle 2.4 und 2.5 enthält die von Eurocode EC 7-1 vorgeschlagenen Streuungsfaktoren.

Die Bemessungswerte der axialen Pfahlwiderstände ergeben sich aus Gleichung (2.5 a, b)

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_t \quad \text{für den Druckpfahlwiderstand} \quad (2.5 \text{ a})$$

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} \quad \text{für den Zugpfahlwiderstand} \quad (2.5 \text{ b})$$

mit γ_t und $\gamma_{s,t}$ nach Tabelle 2.6. Die Indizes und der Wert der Teilsicherheit γ sind gegebenenfalls entsprechend Tabelle 2.6 zu ändern.

Vom Normenausschusses „Pfähle“ (NA 005-05-07) wurde beschlossen, hinsichtlich der Pfahlwiderstände die im Eurocode EC 7-1 vorgeschlagenen Originalwerte der Tabellen A6 bis A8 des Eurocode EC 7-1 (die obersten 4 Zeilen in Tabelle 2.6) zu übernehmen, um auch für die europäisch und international agierende Bauindustrie einheitliche Teilsicherheitsbeiwerte zu verwenden.

In Deutschland wird nach Eurocode EC 7-1, 2.4.7.3.4.3 das Nachweißverfahren 2 (mit der Ausprägung Nachweißverfahren 2*) mit der Kombination von Gruppen von Teilsicherheitsbeiwerten nach Gleichung 2.6 maßgebend.

$$A1 "+" M1 "+" R2 \tag{2.6}$$

In dieser Gruppe sind die Teilsicherheitsbeiwerte R2 für Verdrängungspfähle, Bohrpfähle und Schneckenbohrpfähle identisch (Tabelle 2.6).

Tabelle 2.4: Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobelastungen (Vorschlag des Eurocodes EC 7-1)

ξ für $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Tabelle 2.5: Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus Stoßversuchen bzw. dynamischen Pfahlprobelastungen (Vorschlag des Eurocodes EC 7-1)

ξ für n	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

Die ξ -Werte in der Tabelle 2.5 gelten für dynamische Probelastungen mit Auswertung nach dem direkten Verfahren.

Die ξ -Werte dürfen mit einem Modellfaktor = 0,85 reduziert werden, wenn die erweiterte Auswertung mit vollständiger Modellbildung angewendet wird.

Wenn unterschiedliche Pfähle in der Gründung vorhanden sind, sollten bei der Wahl der Anzahl n von Versuchspfählen Gruppen gleichartiger Pfähle getrennt berücksichtigt werden.

Die Gruppe "M1" (Gleichung 2.6) ist bei Pfahlgründungen zu "M1 = 0" (nicht maßgebend) zu setzen

Tabelle 2.6: Teilsicherheitsbeiwerte γ_R für Widerstände bei Pfahlgründungen nach Eurocode EC 7-1 (Zeile 2-5) und nationale Ergänzungsvorschläge (Zeile 6-7)

	Widerstand	Symbol	Werte R2
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen	Spitzenwiderstand	γ_b	1,10
	Mantelreibung (Druck)	γ_s	1,10
	Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10
	Mantelreibung (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15
Pfahlwiderstände auf Grundlage von Erfahrungswerten ¹	Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40
	Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50

¹ Die Teilsicherheitsbeiwerte für Erfahrungswerte enthalten Modellfaktoren, siehe Abschnitt 2.4.2.3 und 2.6

2.4.2 Bestimmung von Grenzwerten des Druckwiderstands

2.4.2.1 Grenzwert des Druckwiderstandes aus statischen Probelastungen

Als Grenzwert $R_{c;k}$ wird das Minimum nach Gleichung 2.7 maßgebend. Der Streuungsfaktor ξ_1 ist auf den Mittelwert $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ und ξ_2 auf den Kleinstwert $(R_{c,m})_{\text{min}}$ durchgeführter Pfahlprobebelastungen zu beziehen.

$$R_{c;k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{mitt}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad (2.7)$$

In Tabelle 2.4 sind die entsprechenden Streuungsfaktoren für ξ_1 und ξ_2 nach Vorschlag des Eurocodes EC 7-1 dargestellt. Diese beziehen sich auf weiche Systeme. Für starre Systeme dürfen die Zahlenwerte von ξ_1 und ξ_2 durch 1,1 dividiert werden, vorausgesetzt dass ξ_1 niemals kleiner als 1,0 ist. Werte kleiner 1,0 für $\xi_2/1,1$ sind nicht ausgeschlossen. Die Einteilung in weiche und starre Systeme entspricht der bekannten Regelung der DIN 1054:2005-01. In Eurocode EC 7-1 heißt es dazu: „Wenn Tragwerke eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit haben, um Lasten von "weichen" zu "starken" Pfählen umzulagern, dürfen die Zahlenwerte von ξ_1 und ξ_2 durch 1,1 dividiert werden, vorausgesetzt dass ξ_1 niemals kleiner als 1,0 ist“.

2.4.2.2 Grenzwert des Zugwiderstandes aus statischen Probelastungen

Die Ableitung des Herausziehwiderstandes nach Eurocode EC 7-1 ist identisch zur Ableitung des Druckwiderstandes (2.4.2.1). Hinsichtlich der Anzahl n der Probelastungen empfiehlt der Eurocode EC 7-1 mindestens 2 Pfähle zu prüfen. Bei einer großen Anzahl von Pfählen sollten wenigstens 2 % geprüft werden.

2.4.2.3 Grenzwert des Druckwiderstandes aus den Ergebnissen von Baugrundversuchen

Eurocode EC 7-1 gibt in Abschnitt 7.6.2.3 Vorgaben, wie hierbei zu verfahren ist. Dabei sind zwei Vorgehensweisen möglich.

Die Vorgehensweise nach Gleichung 7.8 des Eurocodes EC 7-1 wird in Deutschland im nationalen Anhang ausgeschlossen. Empfohlen wird eine Vorgehensweise nach Gleichung 7.9 des Eurocodes EC 7-1, siehe nachfolgende Gleichung 2.8, die den langjährigen nationalen Erfahrungen in Deutschland entsprechen.

$$R_{b;k} = A_b \times q_{b;k} \text{ und } R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} \times q_{s;i;k} \quad (2.8)$$

Wobei $q_{b;k}$ und $q_{s;k}$ charakteristische Werte des Spitzendrucks und der Mantelreibung in den verschiedenen Schichten sind, die anhand von Baugrunduntersuchungen mit Ergebnissen von Drucksondierungen (nicht bindiger Boden) bzw. der undrännierten Scherfestigkeit (bindige Böden) z.B. aus *EA-Pfähle (2007)* entnommen werden können.

Zur Ableitung der Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle 2.6 für diesen Anwendungsfall siehe Abschnitt 2.6.

2.4.2.4 Grenzwert des Druckwiderstandes aus dynamischen Pfahlprobelastungen

Bei dynamischen Pfahlprobelastungen werden Dehnung und Beschleunigung zeitabhängig während des Schlags gemessen. Dadurch lassen sich Aussagen zum Widerstand einzelner Druckpfähle treffen, allerdings muss das Verfahren zuvor an einer statischen Pfahlprobelastung kalibriert worden sein. Der Bemessungswert $R_{c;d}$ wird aus den charakteristischen Pfahlwiderständen nach Gleichung 2.5 mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 2.6 bestimmt. Dabei ist $R_{c;k}$

$$R_{c;k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mitt}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\} \quad (2.9)$$

Die in Eurocode EC 7-1 empfohlenen Zahlenwerte für ξ_5 und ξ_6 sind in der Tabelle 2.5 dargestellt. Eine Auswertung ist demnach nur bei gleichzeitiger Kalibrierung an statischen Probelastungen, die auf dem gleichen Baufeld durchgeführt wurden, möglich. Im Vergleich zu

den Regelungen der DIN 1054:2005-01 wird die Praxis durch das Vorgehen in Eurocode EC 7-1 stark eingeschränkt. Als nationaler Vorschlag wird das Vorgehen zur Auswertung diesbezüglich präzisiert, so dass auch die Kalibrierung an vergleichbaren Baumaßnahmen und aufgrund von Erfahrungswerten möglich ist, siehe auch Tabelle 3.2.

2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkung

2.5.1 Bemessungssituationen und Kombinationsregeln für Einwirkungen

In DIN EN 1990:2002-10 werden Kombinationsregeln und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen bzw. für die daraus resultierenden Beanspruchungen für Hochbauten angegeben. Diese sind auch bei den geotechnischen Nachweisen für die Gründungen dieser Hochbauten sowie bei einer Beeinflussung von geotechnischen Bauwerken oder Baugrubenkonstruktionen durch die Lasten aus diesen Gründungen anzuwenden. Mit Hilfe dieser Kombinationsbeiwerte werden mögliche Kombinationen veränderlicher charakteristischer Einwirkungen Q_k bzw. daraus resultierender Beanspruchungen $E_{Q;k}$ zu repräsentativen Einwirkungen Q_{rep} bzw. daraus resultierenden Beanspruchungen $E_{Q;rep}$ zusammengefasst.

$$Q_{rep} = Q_{k;1} + \sum_{i>1} \psi_{0;i} \cdot Q_{k;i} \quad \text{bzw.} \quad E_{Q;rep} = E_{Q;k;1} + \sum_{i>1} \psi_{0;i} \cdot E_{Q;k;i} \quad (2.10)$$

Dabei ist ψ_0 der Kombinationsbeiwert einer veränderlichen Einwirkung.

DIN EN 1990:2002-10 unterscheidet zwischen ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen einerseits und außergewöhnlichen Bemessungssituationen andererseits. Daneben wird in Deutschland bei geotechnischen Aufgabenstellungen alternativ eine getrennte Behandlung der ständigen und der vorübergehenden Bemessungssituationen zugelassen. Die Bemessungssituationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden nach DIN EN 1990:2002-10 wie folgt eingeteilt:

- ständige Situationen;
- vorübergehende Situationen;
- außergewöhnliche Situationen;
- Situationen bei Erdbeben.

Den ständigen Bemessungssituationen BS-P (Persistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen, sind ständige und während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen einschließlich des Auftre-

tens einer seltenen Einwirkung zugeordnet. Die Einwirkungskombination berücksichtigt dabei die Bemessungswerte ständiger und der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkungen und die zu den Kombinationswerten zugehörige Bemessungswerte anderer unabhängiger veränderlicher Einwirkungen.

Die vorübergehenden Bemessungssituationen BS-T (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen, sind z.B. in Bauzuständen oder bei der Instandsetzung, bei Aufgrabungen oder Unterfangungsarbeiten maßgebend. Ihr sind ständige und während des genannten zeitlich begrenzten Zustandes regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen einschließlich des Auftretens einer seltenen Einwirkung zugeordnet. Sie gilt regelmäßig für Baugrubenböschungen und Baugrubenkonstruktionen. Die Einwirkungskombination berücksichtigt die Bemessungswerte der ständigen und einer außergewöhnlichen Einwirkung zusammen mit dem häufigen Wert der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkung und den quasi-ständigen Werten anderer unabhängiger veränderlicher Einwirkungen.

Den außergewöhnlichen Bemessungssituationen BS-A (Accidental situations), die sich auf außergewöhnliche Einwirkungen des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen, z.B. auf Feuer oder Brand, Explosion, Anprall, extremes Hochwasser oder Ankerausfall, sind neben den außergewöhnlichen Einwirkungen ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen wie bei den Bemessungssituationen BS-P und BS-T zugeordnet. Eine außergewöhnliche Situation ist auch dann gegeben, wenn gleichzeitig mehrere der seltenen Einwirkungen auftreten, sofern sie voneinander unabhängig sind. Die Einwirkungskombination erfasst die Bemessungswerte einer außergewöhnlichen Einwirkung zusammen mit dem häufigen Wert der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkung und den quasi-ständigen Werten anderer unabhängiger veränderlicher Einwirkungen.

Den Situationen infolge von Erdbeben, die sich auf seismische Einwirkungen des Tragwerks beziehen, wird ebenfalls die Bemessungssituation BS-A zugeordnet. Die Einwirkungskombination berücksichtigt dabei charakteristische Werte der unabhängigen ständigen Einwirkungen zusammen mit dem Bemessungswert der Einwirkung infolge von Erdbeben und den quasi-ständigen Werten der unabhängigen veränderlichen Einwirkung.

Ebenso wie in DIN 1055-100:2001-03 werden den Bemessungssituationen in DIN 1054:2008 unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte zugewiesen. Die allgemeinen Kombinationsregeln der jeweiligen Bemessungssituation nach DIN EN 1990:2002-10 werden nachfolgend zur Veranschaulichung dargestellt.

Für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation BS-P und BS-T sollte die Kombination der Auswirkungen aus dem Bemessungswert der dominierenden veränderlichen Ein-

wirkung (Leiteinwirkung) und den Bemessungswerten der Kombinationswerte der begleitenden veränderlichen Einwirkungen (Begleiteinwirkungen) ermittelt werden.

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G;j} \cdot G_{k;j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q;1} \cdot Q_{k;1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q;i} \cdot \psi_{0;i} \cdot Q_{k;i} \right\} \quad (2.11)$$

Dabei bedeuten

\oplus - ist zu kombinieren;

Σ - gemeinsame Auswirkung von;

P_k - charakteristische Vorspannkraft.

Für die Nachweise gegen inneres Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerks oder seiner Bauteile, einschließlich der Fundamente, Pfähle, Kellerwände usw., wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist (STR), und für den Nachweis gegen Versagen oder sehr große Verformung des Baugrunds, wobei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine für den Widerstand entscheidend ist (GEO), ist die ungünstigere der beiden Kombinationen

$$E_d = E \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G;j} \cdot G_{k;j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q;1} \cdot \psi_{0;1} \cdot Q_{k;1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q;i} \cdot \psi_{0;i} \cdot Q_{k;i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G;j} \cdot G_{k;j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q;1} \cdot Q_{k;1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q;i} \cdot \psi_{0;i} \cdot Q_{k;i} \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

anzuwenden. Dabei ist ξ der Reduktionsbeiwert für ungünstige wirkende ständige Einwirkungen.

Die Kombination von Einwirkungen bei außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) ist mit

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k;j} \oplus P_k \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (2.13)$$

definiert. Die Wahl zwischen $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ oder $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ hängt von der maßgebenden außergewöhnlichen Bemessungssituation ab.

Die Bemessungssituation bei Erdbeben sieht folgende Einwirkungskombination vor

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k;j} \oplus P_k \oplus A_{E;d} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (2.14)$$

Diese Gleichungen können sich sowohl auf Einwirkungen als auch auf Auswirkungen beziehen, d.h. auf Schnittgrößen oder auch innere Kräfte bzw. Spannungen in einem Querschnitt, die von mehreren Schnittgrößen, z.B. Interaktion von Längskraft und Biegemoment, abhängen.

Es ist vorgesehen die Anwendung der Kombinationsbeiwerte in der Geotechnik nach Gleichung 2.11 bis 2.14 für geotechnische Bauwerke (z.B. Baugruben) bei denen die Bemessungseinwirkungen nicht aus den statischen Berechnungen des Hoch- oder Ingenieurbaus übernommen wird, zu vereinfachen und die Teilsicherheitsbeiwerte bei vorübergehenden Bemessungssituationen angemessen herabzusetzen.¹ Einzelheiten hierzu sind in DIN 1054:2008 geregelt. Beim Nachweis der Standsicherheit von geotechnischen Bauwerken und Baugrubenkonstruktionen sowie für Bauzustände des Bauwerks in den Bemessungssituationen BS-P und BS-T sind alle regelmäßig auftretenden veränderlichen Einwirkungen zusammen unvermindert, d.h. mit $\psi = 1,0$, als eine einzige dominierende veränderliche Einwirkung (Leiteinwirkung) anzusetzen. Sofern zusätzlich

- seltene, planmäßig einmalig oder möglicherweise nie auftretende Einwirkungen, oder
- nicht regelmäßig auftretenden große Verkehrslasten

auftreten, dürfen sie als begleitende veränderliche Einwirkung (Begleiteinwirkung) im Sinne von DIN EN 1990 mit dem Faktor $\psi_0 = 0,7$ abgemindert werden.

2.5.2 Vorgehensweise zur Kombination der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen bei den nachfolgenden vergleichenden Kalibrierungsberechnungen der Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerte für die Widerstände

Zur weiteren Kalibrierung der Streuungsfaktoren wurde vereinfachend in Anlehnung an DIN 1054:2005-01 eine Kombination aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen für den Lastfall 1 oder BS-P nach Ergänzungsnorm DIN 1054:2008 zugrunde gelegt. Diese kann abhängig von den gewählten Anteilen für γ_G und γ_Q zwischen 1,35 und 1,50 schwanken.

Die daraus für die Vergleichsberechnungen gewählte gemeinsame Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q}$ geht bei den weiteren Berechnungen gleichermaßen in die nach DIN 1054:2005-01 und nach Eurocode EC 7-1 abgeleiteten Ergebnisse mit ein. Aus Bild 4.1 in Abschnitt 4.1 ist ersichtlich, dass die Grenzwerte von $\gamma_{G,Q}$ mit $\gamma_{G,Q} = 1,35$ und $\gamma_{G,Q} = 1,50$ zu einer Spanne der zulässigen Einwirkungen zul. F_k führt, die annähernd konstant und unabhängig vom Variationskoeffizienten ist. Der Schwankungsbereich der Ergebnisse nach DIN 1054:2005-01 und nach Eurocode EC 7-1 kann als gleich bezeichnet werden (ca. 30 kN für die Randbedingung von Bild 4.1). Dies entspricht etwa 8% bezogen auf $\gamma_{G,Q} = 1,40$.

¹ Dies entspricht dem aktuellen Diskussionsstand zur Erarbeitung der DIN 1054:2008

Alle weiteren Berechnungen werden mit der Einwirkungskombination nach Gleichung 2.15 durchgeführt.

$$\gamma_{G,Q} = \frac{2}{3}\gamma_G + \frac{1}{3}\gamma_Q = 1,40 \quad (2.15)$$

Diese Kombination wurde bereits überwiegend zur Anpassung anderer geotechnischen Nachweise auf die Werte des globalen Sicherheitskonzeptes (z.B. in DIN 1054:2005-01) verwendet und entspricht einem realistischen Verhältnis ständiger und veränderlicher Lasten.

Beispielsweise ergibt sich bezogen auf den üblichen Globalsicherheitsbeiwert von $\eta = 2$ (Grundbruch, Pfähle) bei Ansatz von $\gamma_{G,Q} = 1,40$ und dem Teilsicherheitsbeiwert auf der widerstehenden Seite im Grenzzustand 1B nach DIN 1054:2005-01, Tabelle 3 von $\gamma_{Gr} = \gamma_p = 1,40$ ein zurückgerechneter Globalsicherheitsbeiwert η^* von

$$\eta^* = 1,40 \cdot 1,40 = 1,96 \approx 2,0 = \eta_{alt} \quad (2.16)$$

Für Pfahlgründungen ergeben sich ähnliche Sicherheiten, wobei für DIN 1054:2005-01 z.B. gilt:

$$\eta^* = \gamma_{G,Q} \cdot \gamma_R \cdot \xi \approx \eta_{alt} \quad (2.16a)$$

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_R ist entsprechend der Tabelle 2.3 zu ergänzen und kann zwischen 1,20 und 1,40 liegen. Die jeweiligen ξ -Werte können Tabelle 2.2 entnommen werden. Damit ergeben sich Sicherheiten $\eta^* \approx 1,68 - 2,26$.

Bei der Auswertung nach Eurocode EC 7-1 entspricht γ_R dem Teilsicherheitsbeiwert γ_t nach Tabelle 2.6 mit Werten zwischen 1,10 und 1,45.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wird einheitlich als wahrscheinliche Einwirkungskombination für die üblichen Anwendungsfälle $\gamma_{G,Q} = 1,40$ verwendet.

Sollten sich im Zuge der weiteren Bearbeitung von DIN 1054:2008 (Anwendungsregeln zu DIN EN 1997-1) bei der Berücksichtigung der von veränderlichen Einwirkungen auch in der Geotechnik Kombinationsregeln im Bezug auf Leiteinwirkungen für die praktische Berechnung ergeben, so verschiebt sich das Sicherheitsniveau nur geringfügig und kann in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden.

2.6 Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für Pfahlwiderstände aufgrund von Erfahrungswerten

In Tabelle 2.6 sind bereits modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten (z.B. aus *EA-Pfähle (2007)*) aufgenommen, die von den Teilsicherheitsbeiwerten bei Pfahlprobebelastungen abweichen.

Grundlage dieser Festlegung in der Ergänzungsnorm DIN 1054:2008 ist Eurocode EC 7-1, dort Anmerkung zu Gleichung 7.9 (hier Gleichung 2.8 in Abschnitt 2.4.2.3), wo es heißt:

„ANMERKUNG: Wenn diese Alternative angewendet wird, kann es erforderlich sein, die im Anhang A empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte γ_b und γ_s durch Modellfaktoren $> 1,0$ zu korrigieren. Der Wert des Modellfaktors darf im Nationalen Anhang festgelegt werden.“

Als Modellfaktoren wurden bei der Bearbeitung der Ergänzungsnorm DIN 1054:2008 die Werte nach Tabelle 2.7 in Anlehnung an das alte globale Sicherheitskonzept gewählt.

Tabelle 2.7: Modellfaktoren und Sicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten

Globalsicherheit η (DIN 1054:1976-11)	Teilsicherheit γ_p (DIN 1054:2005-01)	Teilsicherheit $\gamma_i/\gamma_{s,t}$ (Eurocode EC 7-1)	Modellfaktor η_M Ergänzungsnorm DIN 1054:2008	Teilsicherheit modifiziert $\gamma_i/\gamma_{s,t}$ (DIN 1054:2008)
2,00	1,40	1,10/1,15	1,30	1,40/1,50

Die Zahlenwerte nach Tabelle 2.7, Spalte 4 (η_M) und 5 ($\gamma_i/\gamma_{s,t}$) kommen dabei wie folgt zustande:

a) Druckpfahlwiderstände:

$$\eta_M = \eta / (\gamma_{G,Q} \cdot \gamma_t) = 2,00 / (1,40 \cdot 1,10) = 1,30 \quad (2.17)$$

rückgerechnet ist damit:

$$\eta^* = (\gamma_{G,Q} \cdot \gamma_t) = 1,40 \cdot 1,40 = 1,96$$

b) Zugfahlwiderstände:

$$\eta_M = \eta / (\gamma_{G,Q} \cdot \gamma_{s,t}) = 2,00 / (1,40 \cdot 1,15) = 1,24 \quad (2.18)$$

gewählt wird einheitlich $\eta_M = 1,30$, damit wird $\gamma_{s,t} = 1,50$. Rückgerechnet ist damit:

$$\eta^* = (\gamma_{G,Q} \cdot \gamma_{s,t}) = 1,50 \cdot 1,40 = 2,10$$

3 Vergleichsberechnung mit vorgegebenen Streuungsfaktoren

3.1 Vorgaben

Zur Kalibrierung der Streuungsfaktoren für den Nationalen Anhang zum Eurocode EC 7-1 und der Ergänzungsnorm DIN 1054:2008 wird zusammen mit den Teilsicherheitsbeiwerten aus den maßgeblichen Einflussparametern ein Sicherheitsbeiwert abgeleitet, der dem bisherigen, globalen Sicherheitsfaktor η ähnlich ist. Da sich die Verfahren nach DIN 1054:1976-11, DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1 in ihrer Art allerdings signifikant voneinander unterscheiden, ist eine solche Gegenüberstellung problembehaftet.

Die DIN 1054:2005-01 bezieht sich zur Ableitung von Pfahlwiderständen auf den Variationskoeffizient s_N / \bar{R}_m , der Eurocode EC 7-1 hingegen berechnet Pfahlwiderstände aus $(R_{c,m})_{\min}$ und $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ und bezieht sich auf den Mindestwert dieser beiden. In Tabelle 3.1 bis 3.9 werden dennoch die Streuungsfaktoren und die sich daraus ergebenden Globalsicherheitsbeiwerte der o.g. Verfahren vergleichend gegenübergestellt. Die Streuung der Probelastungsergebnisse wird indirekt durch die angegebenen Grenzwerte berücksichtigt.

In Voruntersuchungen an unserem Fachgebiet wurden zunächst mehrere verschiedene Zahlenwerte und Vorgehensweisen zur Anpassung der Streuungsfaktoren geprüft. Als Empfehlung für den nationalen Vorschlag ergaben sich dabei die in Tabelle 3.1 aufgeführten Streuungsfaktoren zur Ableitung statischer Probelastungsergebnisse. Als Streuungsfaktoren zur Anpassung dynamischer Probelastungsergebnisse wurden die Originalwerte des Eurocode EC 7-1 übernommen, allerdings wurden die in Eurocode EC 7-1 eingeschränkten Anwendungsvorgaben erweitert und präzisiert (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.1: Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobelastungen; empfohlene Zahlenwerte des Eurocodes EC 7-1 (in Klammer) und nationaler Vorschlag

ξ für $n =$	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,35 (1,40)	1,25 (1,30)	1,15 (1,20)	1,05 (1,10)	1,00
ξ_2	1,35 (1,40)	1,15 (1,20)	1,00 (1,05)	1,00	1,00

Tabelle 3.2: Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus Stoßversuchen bzw. dynamischen Pfahlprobelastungen; empfohlene Zahlenwerte des Eurocodes EC 7-1 und Anwendungspräzisionen als nationaler Vorschlag

ξ für n	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

- Die ξ -Werte gelten für dynamische Probelastungen mit Auswertung nach dem direkten Verfahren.
- Die ξ -Werte dürfen mit einem Modellfaktor $\eta_M = 0,85$ reduziert werden, wenn die erweiterte Auswertung mit vollständiger Modellbildung angewendet wird.
- Wenn unterschiedliche Pfähle in der Gründung vorhanden sind, sollten bei der Wahl der Anzahl n von Versuchspfählen Gruppen gleichartiger Pfähle getrennt berücksichtigt werden.

Als nationaler Vorschlag zur Anwendungspräzision wird die Aufnahme folgender Punkte empfohlen:

- Dies gilt auch für Bereiche gleicher Baugrundverhältnisse (Homogenbereiche) innerhalb eines Baufeldes.
- Die ξ -Werte in Tabelle 3.2 gelten sofern die dynamischen Probelastungen an statischen Probelastungen auf dem gleichen Baufeld kalibriert wurden.
- Werden dynamische Pfahlprobelastungen an Ergebnissen von statischen Pfahlprobelastungen an vergleichbaren Baumaßnahmen kalibriert, sind zur Ableitung charakteristischer Werte erhöhte Streuungsfaktoren $\xi_{5,6}^*$ zu verwenden. Dazu sind die Werte $\xi_{5,6}$ um $\Delta\xi = 0,10$ zu erhöhen.
- Erfolgt die Kalibrierung aufgrund belegbarer oder allgemeiner Erfahrungswerte für Pfahlwiderstände z.B. aus *EA-Pfähle (2007)*, sind die Werte um $\Delta\xi = 0,40$ zu erhöhen. In diesem Fall muss die Auswertung nach einem erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung erfolgen. Die Anwendung des direkten Verfahrens, wie z.B. Case oder TNO-Verfahren ist nicht zulässig.
- Das entsprechende, der Kalibrierung zugrunde liegende dynamische Auswerteverfahren wird über den Modellfaktor η_M berücksichtigt. Wird die Kalibrierung der dynamischen Probelastungsergebnisse mit einem erweiterten Verfahren und vollständiger Modellbildung durchgeführt, dürfen die maßgeblichen Streuungsfaktoren durch einen Modellfaktor $\eta_M = 0,85$ abgemindert werden. Bei der Kalibrierung mit dem direkten Verfahren ist $\eta_M = 1,00$.
- Wenn Tragwerke eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit haben, um Lasten von „weichen“ zu „starr“ Pfählen umzulagern, dürfen die Zahlenwerte von ξ_5 und ξ_6 bzw. ξ_5^* und ξ_6^* durch 1,1 dividiert werden.

Die als nationaler Anwendungsvorschlag empfohlenen Präzisierungen (siehe auch Bild 4.5) aus Tabelle 3.2 lassen sich somit in Abhängigkeit der aufgehenden Konstruktion über Gleichung 3.1 und 3.2 beschreiben, wobei die Zuschläge $\Delta\xi$ und Modellfaktoren η_M für Gleichung 3.1 und 3.2 entsprechend den Anmerkungen der Tabelle 3.2 zu wählen sind.

Bei Tragwerken, die keine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit haben, um Lasten von „weichen“ zu „starren“ Pfählen umzulagern (weiche Systeme), ist zur Bestimmung der maßgeblichen Streuungsfaktoren nach Tabelle 3.2 wie folgt vorzugehen:

$$\xi_{5,6}^* = (\xi_{5,6} + \Delta\xi) \cdot \eta_M \quad (3.1)$$

Bei Tragwerken, die eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit haben, um Lasten von „weichen“ zu „starren“ Pfählen umzulagern (starre Systeme), gilt:

$$\xi_{5,6}^* = \frac{(\xi_{5,6} + \Delta\xi) \cdot \eta_M}{1,1} \quad (3.2)$$

Mit diesen Streuungsfaktoren wurden die Vergleichsberechnung unter Folgenden Voraussetzungen durchgeführt:

- Die Grundgleichung für den zurückgerechneten vergleichenden Globalsicherheitsbeiwert lautet

$$\eta^* = \xi \cdot \gamma_P \cdot \gamma_{G,Q} \quad (3.3)$$

mit

ξ Streuungsfaktor ggf. nach Gleichung 3.1 oder 3.2 ξ^*

γ_P Teilsicherheitsbeiwert für Pfahlwiderstände

$\gamma_{G,Q}$ Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen abhängig vom Anteil ständiger und veränderlicher Einwirkungen

- Die Berechnungen wurden für die festgelegte maßgebliche, mittlere Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$ (siehe Gleichung 2.15) durchgeführt.
- Die Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände betragen 1,20 nach DIN 1054:2005-01 und 1,10 nach Eurocode EC 7-1.
- Bei starren Systemen werden die ξ -Werte der DIN 1054:2005-01 für $s_N / \bar{R}_m = 0$ und $s_N / \bar{R}_m = 0,25$ bestimmt und als Grenzwerte in Gleichung 3.3 eingesetzt. Analog dazu

werden für Eurocode EC 7-1 die Streuungsfaktoren ξ_1 und ξ_2 oder ξ_5 und ξ_6 bzw. ξ_5^* und ξ_6^* zur Berechnung der Grenzwerte nach Gleichung 3.3 verwendet.

- Zur Ableitung von Pfahlwiderständen aus statischen Pfahlprobelastungsergebnissen geben sowohl die DIN 1054:2005-01 als auch der Eurocode EC 7-1 eindeutige Regelungen vor. Die Regelungen der DIN 1054:2005-01 und des Eurocodes EC 7-1 hinsichtlich der Ableitung dynamischer Pfahlprobelastungen unterscheiden sich deutlich voneinander. Nach Eurocode EC 7-1 sind dynamische Probelastungen nur dann auswertbar, wenn für diese eine statische Probelastung am gleichen Baufeld als Kalibrierung durchgeführt wurde. Eine Kalibrierung anhand von statischen Probelastungen von vergleichbaren Baumaßnahmen oder aufgrund von Erfahrungswerten ist bewusst nicht vorgesehen. Da dies der Praxis in Deutschland widerspricht, wurde im Sinne eines nationalen Vorschlages das vorgehen für diese Situationen präzisiert (Tabelle 3.2).
- Bei der Auswertung statischer Probelastungen wird in weiche und starre Systeme unterschieden. Bei der Auswertung dynamischer Probelastungen findet sich diese Unterscheidung weder in DIN 1054:2005-01 noch in Eurocode EC 7-1 bzw. dessen Originalfassung in englischer Sprache. Für die Berechnungen im Rahmen dieses Forschungsberichtes wird hinsichtlich der Auswertung dynamischer Probelastungen analog zu Abschnitt 2.2 (statische Pfahlprobelastungen) vorgegangen. D.h. für weiche Systeme wird bei der Ableitung nach DIN 1054:2005-01 der Mindestwert der Messergebnisse $(R_{c,m})_{\min}$ und damit der ξ -Wert aus Spalte 4, Tabelle 2.2 maßgebend. Bei der Ableitung nach Eurocode EC 7-1 werden die Streuungsfaktoren nach Gleichung 3.1 verwendet. Für starre Systeme wird bei der Ableitung nach DIN 1054:2005-01 bis $s_N / \bar{R}_m = 0,25$ der Mittelwert der Messergebnisse $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ und die Streuungsfaktoren in Spalte 2 und 3, Tabelle 2.2, sonst der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ und die ξ -Werte aus Spalte 4, Tabelle 2.2 maßgebend. Bei der Ableitung nach Eurocode EC 7-1 werden die ξ -Werte für starre System durch den Faktor 1,1 abgemindert.

Bezüglich der Interpretation der Tabellen 3.3 bis 3.9 ist zu berücksichtigen, das nach Gleichung 2.9 bzw. Eurocode EC 7-1 (Gleichung 7.11) aus den rück gerechneten Globalsicherheitsbeiwerten η^* noch nicht abschließend gesagt werden kann, dass hier immer max. $\eta_{1,2}^*$ bzw. $\eta_{5,6}^*$ maßgebend wird, sondern letztlich der sich daraus ergebende minimale charakteristische Pfahlwiderstand $\min R_{c;k}$. Deshalb wurden die Berechnungen nach Abschnitt 4 (fiktive, variable Probelastungsergebnisse) und Abschnitt 5 (reale Probelastungsergebnisse) durchgeführt. Diese Berechnungen haben gezeigt, dass bei der Auswertung nach Eurocode EC 7-1 als maßgebende Bezugsgröße der Messergebnisse oft der Mindestwert und damit der Streuungsfaktor ξ_6 bzw. ξ_6^* maßgebend wird. Für diesen Fall lassen sich weiche Systeme gut mit den Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01 vergleichen, da hier ebenfalls der Mindestwert

maßgebend wird. Bei starren Systemen und der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 muss beachtet werden, dass der Globalsicherheitsbeiwert η^* in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten s_N / \bar{R}_m auf einen Bezugswert bezogen werden muss. Bis zu einem Variationskoeffizienten $s_N / \bar{R}_m = 0,25$ ist der Mittelwert \bar{R}_{1m} der Messergebnisse maßgebend, erst bei Variationskoeffizienten $s_N / \bar{R}_m \geq 0,25$ wird $R_{1m,\min}$ maßgebend.

Der Globalsicherheitsbeiwert η^* wird in Abschnitt 4, Tabelle 4.2 unter Berücksichtigung der maßgeblichen Probelastungsergebnisse und der daraus abgeleiteten zulässigen Pfahlbelastung *zul.* F_k als η_3 definiert. Durch diese Definition wird der maßgebliche Streuungsfaktor berücksichtigt. Der Verlauf kann innerhalb der in Tabelle 3.4 bis 3.9 angegebenen Grenzen für $\eta_{\min}^* / \eta_{\max}^*$ (DIN 1054:1976-11) bzw. für η_1^* / η_2^* (Eurocode EC7-1) unstetig verlaufen. Dies muss bei der Interpretation der grafischen Darstellung beachtet werden.

3.2 Berechnungen für statische Pfahlprobelastungsergebnisse

Für die festgelegte maßgebliche mittlere Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$ nach Gleichung 2.15 sind nachfolgend in Tabelle 3.3 die Ergebnisse nach Gleichung 3.3 dargestellt.

Tabelle 3.3: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei statischen Probelastungen; Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$)

Weiches System						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ	η^*	ξ_1/ξ_2	η_1^*/η_2^*	ξ_1/ξ_2	η_1^*/η_2^*
1	1,15	1,93	1,40/1,40	2,16/2,16	1,35/1,35	2,08/2,08
2	1,05	1,76	1,30/1,20	2,00/1,85	1,25/1,15	1,93/1,77
3	1,00	1,68	1,20/1,05	1,85/1,62	1,15/1,00	1,77/1,54
4	1,00	1,68	1,10/1,00	1,69/1,54	1,05/1,00	1,62/1,54
5	1,00	1,68	1,00/1,00	1,54/1,54	1,00/1,00	1,54/1,54
Starres System						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ	η^*	ξ_1/ξ_2	η_1^*/η_2^*	ξ_1/ξ_2	η_1^*/η_2^*
1	1,15	1,93	1,27/1,27	1,96/1,96	1,23/1,23	1,89/1,89
2	1,05/1,10	1,76/1,85	1,18/1,09	1,82/1,68	1,14/1,05	1,75/1,61
3	1,00/1,05	1,68/1,76	1,09/0,95	1,68/1,47	1,05/0,91	1,61/1,40
4	1,00/1,05	1,68/1,76	1,00/0,91	1,54/1,40	1,00/0,91	1,54/1,40
5	1,00/1,05	1,68/1,76	1,00/0,91	1,54/1,40	1,00/0,91	1,54/1,40

3.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungsergebnisse

Analog zum Vorgehen nach Abschnitt 3.2 sind nachfolgend die Ergebnisse für dynamische Pfahlprobelastungen nach Gleichung 3.3 für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abhängigkeit von der Qualität der Kalibrierung in 3 Kategorien getrennt und sowohl für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung als auch für das direkte Verfahren aufgeführt. Sämtliche Berechnungen wurden für weiche und starre Systeme durchgeführt. Maß-

gebende Streuungsfaktoren sind Tabelle 3.2 zu entnehmen. Daraus ergeben sich Folgende zu untersuchende Situationen:

- Kalibrierung der dynamischen Ergebnisse an Ergebnissen statischer Probelastungen am gleichen Baufeld, siehe Tabelle 3.4 und 3.5.
- Kalibrierung an Ergebnissen statischer Probelastungen von ähnlichen Baumaßnahme mit vergleichbaren Baugrundverhältnissen, siehe Tabelle 3.6 und 3.7.
- Kalibrierung aufgrund von allgemeinen Erfahrungswerten, siehe Tabelle 3.8 und 3.9.

Tabelle 3.4: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung an statischen Pfahlprobelastungen auf dem gleichen Baufeld, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), weiches System

erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ	η^*	ξ_5/ξ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,15	1,93	-	-	1,36/1,28	2,09/1,96
4	1,05	1,76	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,36/1,28	2,09/1,96
5	1,00	1,68			1,28/1,15	1,96/1,77
10	1,00	1,68	-	-	1,23/1,11	1,89/1,70
15	1,00	1,68	-	-	1,21/1,06	1,86/1,64
20	1,00	1,68	-	-	1,19/1,06	1,83/1,64
direktes Verfahren						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ_{\min}/ξ_{\max}	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ξ_5/ξ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,25	2,10	-	-	1,60/1,50	2,46/2,31
4	1,15	1,93	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,60/1,50	2,46/2,31
5	1,10	1,85			1,50/1,35	2,31/2,08
10	1,10	1,85	-	-	1,45/1,30	2,23/2,02
15	1,10	1,85	-	-	1,42/1,25	2,19/2,00
20	1,10	1,85	-	-	1,40/1,25	2,16/1,93

Tabelle 3.5: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung an statischen Pfahlprobelastungen auf dem gleichen Baufeld, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), starres System

erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	$\zeta_{\min}/\zeta_{\max}$	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,15	1,93	-	-	1,24/1,16	1,91/1,79
4	1,05/1,10	1,76/1,85	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,24/1,16	1,91/1,79
5	1,00/1,05	1,68/1,76			1,16/1,04	1,79/1,60
10	1,00/1,05	1,68/1,76	-	-	1,12/1,00	1,72/1,54
15	1,00/1,05	1,68/1,76	-	-	1,10/0,97	1,69/1,49
20	1,00/1,05	1,68/1,76	-	-	1,08/0,97	1,66/1,49
direktes Verfahren						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	$\zeta_{\min}/\zeta_{\max}$	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,25	2,10	-	-	1,45/1,36	2,23/2,09
4	1,15/1,20	1,93/2,01	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,45/1,36	2,23/2,09
5	1,10/1,15	1,85/1,93			1,36/1,23	2,09/1,89
10	1,10/1,15	1,85/1,93	-	-	1,32/1,18	2,03/1,82
15	1,10/1,15	1,85/1,93	-	-	1,29/1,14	1,99/1,76
20	1,10/1,15	1,85/1,93			1,27/1,14	1,96/1,76

Tabelle 3.6: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung an statischen Pfahlprobelastungen an einer vergleichbaren Baumaßnahme, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), weiches System

erweiterte Auswertung der Ergebnisse mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ζ	η^*	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,20	2,02	-	-	1,45/1,36	2,23/2,09
4	1,10	1,85	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,45/1,36	2,23/2,09
5	1,05	1,76			1,36/1,23	2,09/1,89
10	1,05	1,76	-	-	1,32/1,19	2,03/1,83
15	1,05	1,76	-	-	1,29/1,15	1,99/1,77
20	1,05	1,76	-	-	1,28/1,15	1,96/1,77
direkte Auswertung der Ergebnisse						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	$\zeta_{\min}/\zeta_{\max}$	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,30	2,18	-	-	1,70/1,60	2,62/2,46
4	1,20	2,02	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,70/1,60	2,62/2,46
5	1,15	1,93			1,60/1,45	2,46/2,23
10	1,15	1,93	-	-	1,55/1,40	2,39/2,16
15	1,15	1,93	-	-	1,52/1,35	2,34/2,08
20	1,15	1,93	-	-	1,50/1,35	2,31/2,08

Tabelle 3.7: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung an statischen Pfahlprobelastungen an einer vergleichbaren Baumaßnahme, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), starres System

erweiterte Auswertung der Ergebnisse mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	$\zeta_{\min}/\zeta_{\max}$	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,20	2,02	-	-	1,31/1,24	2,02/1,91
4	1,10/1,15	1,85/1,93	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,31/1,24	2,02/1,91
5	1,05/1,10	1,76/1,85			1,24/1,12	1,91/1,72
10	1,05/1,10	1,76/1,85	-	-	1,20/1,08	1,85/1,66
15	1,05/1,10	1,76/1,85	-	-	1,17/1,04	1,80/1,60
20	1,05/1,10	1,76/1,85	-	-	1,16/1,04	1,79/1,80
direkte Auswertung der Ergebnisse						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	$\zeta_{\min}/\zeta_{\max}$	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ζ_5/ζ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,30	2,18	-	-	1,55/1,45	2,39/2,23
4	1,20/1,25	2,02/2,10	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,55/1,45	2,39/2,23
5	1,15/1,20	1,93/2,02			1,45/1,32	2,23/2,03
10	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,41/1,27	2,17/1,96
15	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,38/1,23	2,13/1,89
20	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,36/1,23	2,09/1,89

Tabelle 3.8: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung aufgrund allgemeiner Erfahrungswerte, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), weiches System

erweiterte Auswertung der Ergebnisse mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ	η^*	ξ_5/ξ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,30	2,18	-	-	1,70/1,62	2,62/2,49
4	1,20	2,02	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,70/1,62	2,62/2,49
5	1,15	1,93			1,62/1,49	2,49/2,29
10	1,15	1,93	-	-	1,57/1,45	2,42/2,23
15	1,15	1,93	-	-	1,55/1,40	2,39/2,16
20	1,15	1,93	-	-	1,53/1,40	2,36/2,16

Tabelle 3.9: Globalsicherheitsbeiwerte η^* aus Vergleichsberechnungen für $\gamma_{G,Q} = 1,40$ bei dynamischen Probelastungen und für Kalibrierung aufgrund allgemeiner Erfahrungswerte, Bezug DIN 1054:1976-11; $\eta = 2,0$ ($n = 1$) bzw. $\eta = 1,75$ ($n \geq 2$), starres System

erweiterte Auswertung der Ergebnisse mit vollständiger Modellbildung						
n	DIN 1054:2005-01		Eurocode EC 7-1 vorhandene Werte		Eurocode EC 7-1 nationaler Vorschlag	
	ξ_{\min}/ξ_{\max}	$\eta_{\min}^*/\eta_{\max}^*$	ξ_5/ξ_6	η_5^*/η_6^*	ξ_5^*/ξ_6^*	η_5^*/η_6^*
2	1,30	2,18	-	-	1,55/1,47	2,38/2,27
4	1,20/1,25	2,02/2,10	nicht zulässig bzw. nicht geregelt		1,55/1,47	2,38/2,27
5	1,15/1,20	1,93/2,02			1,47/1,35	2,27/2,09
10	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,43/1,31	2,20/2,03
15	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,41/1,28	2,17/1,97
20	1,15/1,20	1,93/2,02	-	-	1,39/1,28	2,14/1,97

4 Vergleichsberechnung mit vorgegebenem Mittelwert und variabler Streuung an fiktiven Pfahlprobebelastungsergebnissen

4.1 Allgemeines

Eine Herangehensweise zur Bestimmung des Globalsicherheitsbeiwertes η nach Gleichung 3.3 berücksichtigt die Streuung für die Ableitung der Pfahlwiderstände nur teilweise. Für weitere Vergleichs- und Kalibrierungsarbeiten wurde daher eine fiktive Datengrundlage geschaffen. Für $n = 2$ bis 5 Messergebnisse statischer Pfahlprobebelastungen und $n = 2$ bis 20 Ergebnisse dynamischer Pfahlprobebelastungen wurden Werte generiert, die bis max. $\Delta R = 40\%$ um einen fest vorgegebenen Mittelwert \bar{R}_m schwanken. Auszugsweise sind diese Ergebnisse in Tabelle 4.1 für $n = 2$ Pfahlprobebelastungen dargestellt. Die entsprechenden Werte für $n \geq 2$ sind in der Anlage aufgeführt. Die fiktiven Ergebnisse (Tabelle 4.1 und Anlagen) wurden bei der Ableitung statischer Probelastungen als Messergebnisse statischer Probelastungen und bei Ableitung dynamischer Probelastungen als Ergebnis dynamischer Probelastungen aufgefasst.

Mit dieser fiktiven Datengrundlage können Berechnungen durchgeführt werden, die den Einfluss einer variablen Streuung erfassen.

Tabelle 4.1: Fiktive Ergebnisse von $n = 2$ Pfahlprobebelastungen mit vorgegebenen Mittelwert und variabler Streuung

$R_{m,1}$ in kN	$R_{m,2}$ in kN	R_{mittel} in kN	s_N/R_{mittel} in %	$\Delta R = (R_{\text{mittel}} - R_{m,i} /R_{\text{mittel}}) \cdot 100\%$ in %
975	1025	1000	0,04	2,5
950	1050	1000	0,07	5
925	1075	1000	0,11	7,5
900	1100	1000	0,14	10
875	1125	1000	0,18	12,5
825	1175	1000	0,25	17,5
815	1185	1000	0,26	18,5
700	1300	1000	0,42	30
690	1310	1000	0,44	31
600	1400	1000	0,57	40

Im Folgenden werden mit der fiktiven Datengrundlage von Tabelle 4.1 zulässige Pfahlbelastungen $zul. Q$ und $zul. F_k$ nach Gleichung 4.1 für die Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$

berechnet. Daraus abgeleitet werden nach Tabelle 4.2 verschiedene Sicherheitsbeiwerte, die sich hinsichtlich ihres Bezugswertes unterscheiden.

Die zulässige Pfahlbelastung *zul. Q* nach DIN 1054:1976-11 (Gleichung 2.1) ergibt sich aus der maßgebenden Grenzlast Q_g und dem Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 2.1.

Die zulässige Pfahlbelastung *zul. F_k* im Teilsicherheitskonzept entspricht nach Gleichung 4.1 der maximal zulässigen Größe der Einwirkung, die in der Summe aus ständigen und veränderlichen charakteristischen Einwirkungen nicht überschritten werden darf und ist aus der Grenzzustandsbedingung $E_d = R_d$ abgeleitet.

$$\text{zul } F_k = \frac{R_k}{\gamma_R \cdot \gamma_{G,Q}} \quad (4.1)$$

ANMERKUNG: Die Abkürzungen und Indizes für die entsprechenden charakteristischen Widerstände R_k und Teilsicherheitsbeiwerte γ_R sind in Eurocode EC 7-1 und DIN 1054:2005-01 verschieden und daher in der allgemeinen Gleichung 4.1 entsprechend anzupassen.

Analog zu den Vergleichsberechnungen mit vorgegebenen Streuungsfaktoren (Kapitel 3) werden für die weiteren Berechnungen die in Tabelle 3.1 und 3.2 aufgeführten Werte und Präzisierungen verwendet.

Die gewählte Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q}$ hat nach Gleichung 4.1 direkten Einfluss auf *zul. F_k* und η_i . Die entsprechenden zulässigen Lasten *zul. F_k*, die sich für den theoretischen Fall einer rein ständigen Einwirkung $\gamma_G = 1,35$ und einer rein veränderlichen Last $\gamma_Q = 1,50$ und den fiktiven Probelastungsergebnissen nach Tabelle 4.1 ergeben, sind in Bild 4.1 exemplarisch für weiche und starre Systeme dargestellt. Es fällt auf, dass die Differenz der maximalen und minimal zulässigen Last *zul. F_k* in etwa gleich ist. Damit verhält sich DIN 1054:2005-01 äquivalent zu Eurocode EC 7-1, was auch zu erwarten ist, da beide Vorgehensweisen die gleichen Teilsicherheitsbeiwerte auf der einwirkenden Seite aufweisen. Lediglich der entsprechende Absolutwert wird angehoben oder abgesenkt. Für die weiteren Kalibrierarbeiten wird daher die wahrscheinlichste Kombination aus ständigen und veränderlichen Lasten $\gamma_{G,Q} = 1,40$ gezielt untersucht.

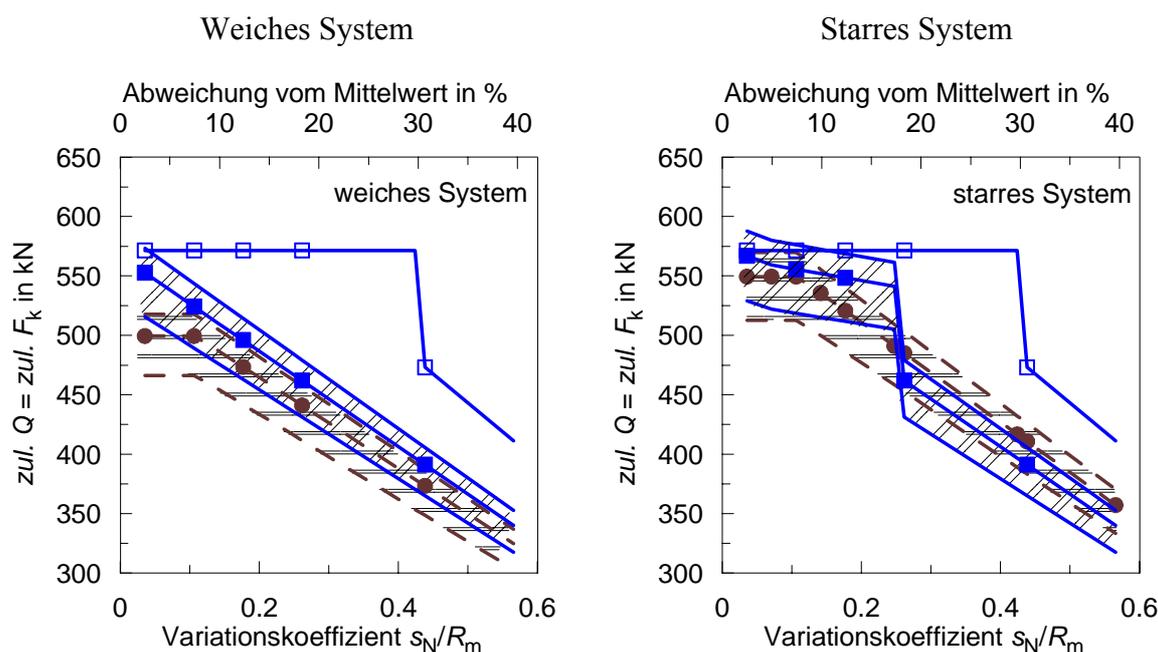


Bild 4.1: Einfluss der Einwirkungskombination auf $zul. F_k$ nach DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1 für $n = 2$ statische Probelastungen für weiche und starre Systeme

- DIN 1054:1976-11
- DIN 1054:2005-01 mit $\gamma_{G,Q} = 1,40$
- DIN 1054:2005-01 mit $\gamma_{G,Q} = 1,35$ und $1,50$
- Eurocode EC7-1 mit $\gamma_{G,Q} = 1,40$
- Eurocode EC7-1 mit $\gamma_{G,Q} = 1,35$ und $1,50$

4.2 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen

Exemplarisch sind für zwei Pfahlprobelastungsergebnisse ($n = 2$) die zulässigen Einwirkungen $zul. Q$ bzw. $zul. F_k$ in Bild 4.2 dargestellt, wie sie sich nach Tabelle 4.1 bei Anwendung der DIN 1054:1976-11, DIN 1054:2005-01 und des Eurocodes EC 7-1 mit Originalwerten sowie mit den Streufaktoren des nationalen Vorschlags nach Tabelle 3.1 ergeben. Vergleicht man die Ergebnisse fällt folgendes auf:

- Für DIN 1054:1976-11 bleibt der Mittelwert bis zu einer Abweichung von 30 % vom Mittelwert maßgebende Größe zur Berechnung der zulässigen Pfahltragfähigkeit, danach der 1,2-fach erhöhte Kleinstwert. Dies macht sich in einem Knick der entsprechenden Kurve bemerkbar. Diese Bilinearität ist aus sicherheitstechnischer Sicht nicht plausibel und begründbar.
- Für DIN 1054:2005-01 wird für weiche Systeme der Mindestwert der Ergebnisse als maßgebende Größe relevant. Die zulässige Größe der Einwirkung $zul. F_k$ wird mit größer

werdender Streuung kleiner, was nachvollziehbar ist. Nicht optimal ist die Kurve, die sich für starre Systeme ergibt. Nach Tabelle 2.2 wird ab dem Variationskoeffizienten $s_N/\bar{R}_m = 0,25$ der Mindestwert R_{\min} maßgebend. Dies führt ebenfalls zu einem Sprung bei der zulässigen Einwirkung.

- Nach Eurocode EC 7-1 kann sowohl der Mittel- als auch der Kleinstwert maßgebend werden. Die Kurven der Berechnungen für $n = 2$ weisen keinen Sprung, sondern einen Knick auf. Dieser entsteht, wenn statt des Mittelwertes der Kleinstwert in Gleichung 2.4 maßgebend wird. Bei den durchgeführten Berechnungen tritt dieser Knick bereits bei kleinen Variationskoeffizienten auf. Danach nimmt die zulässige Einwirkung stetig ab. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist dieses Vorgehen der DIN 1054:1976-11 vorzuziehen.

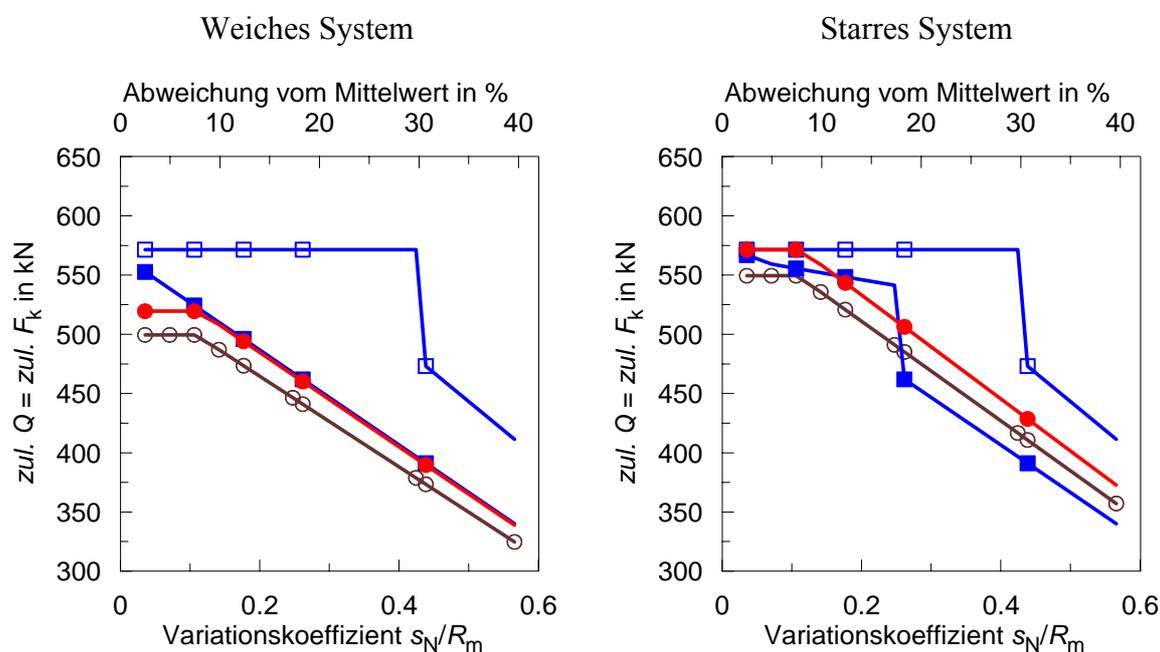


Bild 4.2: Zulässige Belastung $zul. Q$ und $zul. F_k$ für $n = 2$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q} = 1,40$ für weiche und starre Systeme

- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- ◻— DIN 1054:1976-11

Die berechneten zulässigen Einwirkungen in eine globale Sicherheit umzurechnen und über die Streuung der Pfahlprobelastungsergebnisse darzustellen hat sich als problematisch herausgestellt. Definiert man die globale Sicherheit als Quotient zwischen vorhandenem Widerstand und zulässiger Einwirkung, so ist die Wahl des maßgeblichen Widerstandes nicht eindeutig. In Tabelle 4.2 sind drei mögliche Sicherheitsdefinitionen für Globalsicherheits-

beiwerte η_1 bis η_3 dargestellt, die für die weitere Auswertung herangezogen wurden. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Definition des Bezugswertes wie folgt:

- Die Sicherheit η_1 wird immer auf die zulässige Grenzlast Q_g der DIN 1054:1976-11 bezogen. Diese entspricht bis zu einer Abweichung von maximal 30 % zum Mittelwert dem Mittelwert selbst, danach dem 1,2-fachen erhöhten Kleinstwert der Pfahlprobebelastungsergebnisse.
- Die Sicherheit η_2 bezieht sich immer, unabhängig von der Abweichung, auf den Mittelwert der Pfahlprobebelastung.
- Damit unterscheiden sich die Sicherheitsdefinitionen η_1 und η_2 erst ab einer Abweichung von 30 % zum Mittelwert.
- Die Sicherheit η_3 geht nun den Weg, dass die Messwerte (wie beim Globalsicherheitskonzept, allerdings andere Definition der maßgeblichen Grenzlast abhängig von den Streuungen) der Grenzlast bezogen werden auf die sich nach den Regeln von DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1 ergebenden charakteristischen Einwirkungen auf den Pfahlkopf $zul. F_k$

Tabelle 4.2: Mögliche Sicherheitsdefinitionen zum Vergleich der Ergebnisse aus Global- und Teilsicherheitskonzept

DIN 1054:1976-11	DIN 1054:2005-01	Eurocode EC 7-1
$\eta_1 = \frac{Q_g}{zul. Q}$	$\eta_1 = \frac{Q_g \text{ (DIN 1054:1976)}}{zul. F_k \text{ (DIN 1054:2005)}}$	$\eta_1 = \frac{Q_g \text{ (DIN 1054:1976)}}{zul. F_k \text{ (EC 7-1)}}$
$\eta_2 = \frac{Q_g \text{ (Mittel)}}{zul. Q}$	$\eta_2 = \frac{\bar{R}_{1,m}}{zul. F_k \text{ (DIN 1054 : 2005)}}$	$\eta_2 = \frac{(R_{c,m})_{\text{mitt}}}{zul. F_k \text{ (EC 7-1)}}$
$\eta_3 = \frac{Q_g}{zul. Q}$	$\eta_3 = \frac{\text{maßg. } R_{1,k} \text{ (DIN1054:2005)} \cdot \xi_{\text{maßg.}}}{zul. F_k \text{ (DIN1054:2005)}}$	$\eta_3 = \frac{\text{maßg. } (R_{c,k}) \cdot \xi_{\text{maßg.}}}{zul. F_k \text{ (EC 7-1)}}$

Für $n = 2$, weiche und starre Systeme sind die sich daraus ergebenden Sicherheiten in Bild 4.3 dargestellt. Den Ergebnissen liegt ein Kombinationsbeiwert $\gamma_{G,Q} = 1,40$ zugrunde.

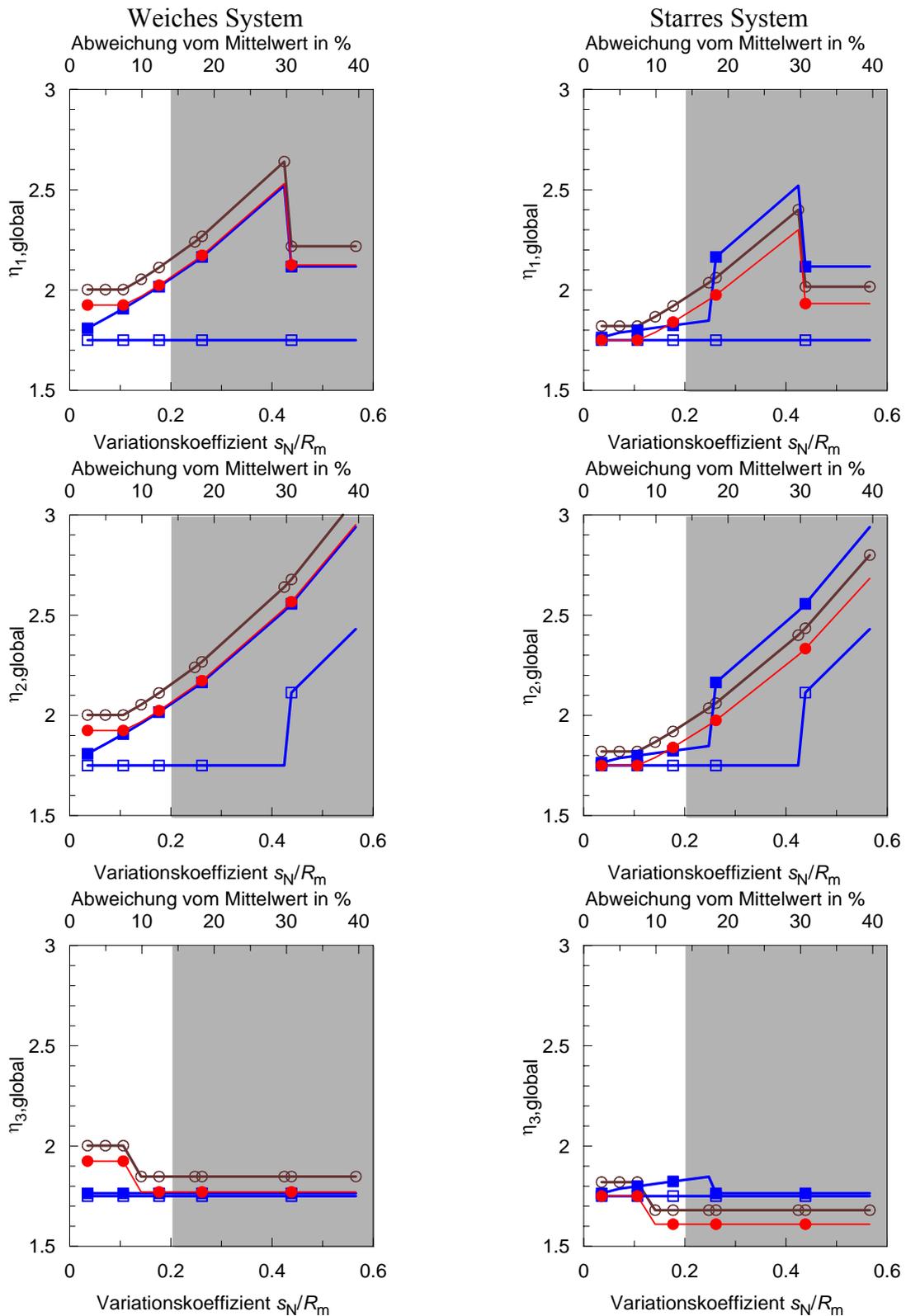


Bild 4.3: $\eta_1 - \eta_3$ für $n = 2$ statische Probelastungen $\gamma_{G,Q} = 1,40$, für weiche und starre Systeme

- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Bereiche mit großer Streuung der Messergebnisse – für die Praxis nicht relevant

Wie die Auswertungen realer Probelastungsergebnisse (Kapitel 5) gezeigt haben, liegen die Ergebnisse vergleichbarer Probelastungen dicht beieinander. In der Regel beträgt der Variationskoeffizient s_N / \bar{R}_m nicht mehr als 0,20. Da die Abweichung der Messergebnisse damit unter 30 % liegt, wird der Mittelwert maßgebender Bezugswert von η_1 und η_2 (Tabelle 4.2) Bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse sind die entsprechenden Kurven von η_1 und η_2 daher für diesen Bereich identisch. Bei größeren Streuungen der Messergebnisse, die in der Realität nicht zu erwarten sind, kann es bei η_1 bedingt durch den Wechsel der Bezugsgröße zu einem Sprung der Sicherheit bei einer Abweichung der Probelastungsergebnisse von 30 % kommen. Diese Bereiche werden nicht relevant und sind in Bild 4.3 grau hinterlegt.

Wertet man die Ergebnisse aus, die sich mit den angepassten Streuungsfaktoren ξ des nationalen Vorschlages (Tabelle 3.1) ergeben, werden sowohl beim weichen System als auch beim starren System die zulässigen charakteristischen Einwirkungen *zul.* F_k deutlich angehoben. Damit kommt es zu einer Absenkung der Sicherheitsbeiwerte η_1 bis η_3 (vergleiche Bild 4.2 und 4.3 für $n = 2$ und die Anlagen 1.1.1 bis 1.2.5). Im Einzelnen lassen sich für die durchgeführten Berechnungen bei weichen Systemen folgende Aussagen treffen:

- Vergleicht man die zulässigen Einwirkungen *zul.* F_k und Sicherheiten η_1 bis η_3 für $n = 2$ Probelastungen ergeben sich beim weichen System nach Eurocode EC 7-1 fast die selben Ergebnisse wie für DIN 1054:2005-01. Für kleine Variationskoeffizienten liegen die zulässigen Einwirkungen *zul.* F_k sogar noch höher und befinden sich in der Nähe der Werte, die sich nach DIN 1054:1976-11 ergeben.
- Beim Vergleich von Bild 4.3 mit den entsprechenden Anlagen (z.B.: Anlage 1.1.5) ist festzustellen, dass *zul.* F_k für weiche Systeme mit größer werdender Anzahl n durchgeführter Probelastungen kontinuierlich anwächst und für $n = 5$ deutlich über den Ergebnissen der DIN 1054:2005-01 und für kleine Variationskoeffizienten auch über den Werten der DIN 1054:1976-11 liegt

Die Zusammenhänge bei starren Systemen sind mit denen der weichen Systeme vergleichbar. Allerdings werden die Streuungsfaktoren mit dem Faktor 1,1 abgemindert, wodurch *zul.* F_k größer bzw. die entsprechenden Sicherheiten η_1 bis η_3 nach Tabelle 4.2 kleiner werden. Darüber hinaus kann folgendes festgestellt werden:

- Bereits für $n = 3$ Probelastungen werden bei starren Systemen nach Eurocode EC 7-1 deutlich größere Werte für *zul.* F_k berechnet als nach DIN 1054:2005-01 (Anlage 1.2.3).
- Ab $n = 4$ Probelastungen unterscheiden sich bei starren Systemen die Streuungsfaktoren des nationalen Vorschlags und die Streuungsfaktoren des Eurocodes EC 7-1 nicht mehr.

Die maßgeblichen Probelastungsergebnisse entsprechen somit $(R_{c,m})_{\text{mitt}}/\xi_1 = (R_{c,m})_{\text{min}}/1$ oder $(R_{c,m})_{\text{min}}/\xi_2 = (R_{c,m})_{\text{min}}/0,97$.

4.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen

4.3.1 Allgemeines

Bei der Ableitung zulässiger Widerstände aus dynamischen Pfahlprobelastungsergebnissen gelten die gleichen Annahmen wie bereits unter 3.3 beschrieben. Ausgewertet werden $n = 2$ bis 20 Probelastungsergebnisse, sowohl für weiche als auch starre Systeme. Die Pfahlprobelastungsergebnisse basieren auf der gleichen Datengrundlage wie bereits in 4.2 beschrieben. Der Eurocode EC 7-1 gibt Streuungsfaktoren bis zu einer Anzahl von $n = 20$ Pfahlprobelastungen vor. Die Anzahl $n = 5$ bis 20 wird erfasst, indem die fiktiven Ergebnisse für $n = 2$ bis 5 als Untergruppen von je 4 Pfahlprobelastungen zusammengefasst werden. Der entsprechende Mittelwert bleibt dabei gleich, lediglich die Änderung der Anzahl n hat einen Einfluss auf den Variationskoeffizienten.

Zum Vergleich werden in den Bildern 4.6 bis 4.11 Ergebnisse dargestellt, die sich ergeben, wenn vergleichbare statische Probelastungen ausgeführt und ausgewertet werden. Die maximale Anzahl der in Tabelle 3.1 und 3.2 aufgeführten Probelastungen unterscheidet sich bei statischen ($n = 5$) und dynamischen Probelastungen ($n = 20$). Allerdings wird die jeweils betrachtete Anzahl in 5 Gruppen gegliedert. Die jeweilige Einteilung der Gruppen wird im Folgenden als Kriterium für die Vergleichbarkeit herangezogen. Der Anzahl $n = 5$ dynamischer Messergebnisse werden $n = 2$ statische Probelastungen gegenübergestellt (rote, nicht durchgezogene Linie). Da die Anzahl der durchgeführten Probelastungen n Einfluss auf den Variationskoeffizienten hat, ergeben sich für $n = 2$ statische Probelastungen bei gleichem Variationskoeffizient höhere zulässige Einwirkungen $zul. F_k$. Aus diesem Grund verlaufen die Kurven für $n = 2$ statische Probelastungen flacher als die entsprechenden Kurven für $n = 5$. Aus dem gleichen Grund gilt die Skalierung der oberen Abszisse (Abweichung vom Mittelwert in Prozent) nicht für $n = 2$. Als Vergleichswert für $n = 20$ dynamische Probelastungen ist in den Bildern 4.6 bis 4.11 die zulässige Einwirkung $zul. F_k$ dargestellt, die sich bei Auswertung der fiktiven Datengrundlage für $n = 5$ statische Probelastungen ergibt (rote, nicht durchgezogene Linie mit offenen Punkten).

Das Vorgehen zur Ableitung charakteristischer Werte aus dynamischen Pfahlprobelastungsergebnissen nach DIN 1054:2005-01 ist schematisch in Bild 4.4 zusammengefasst.

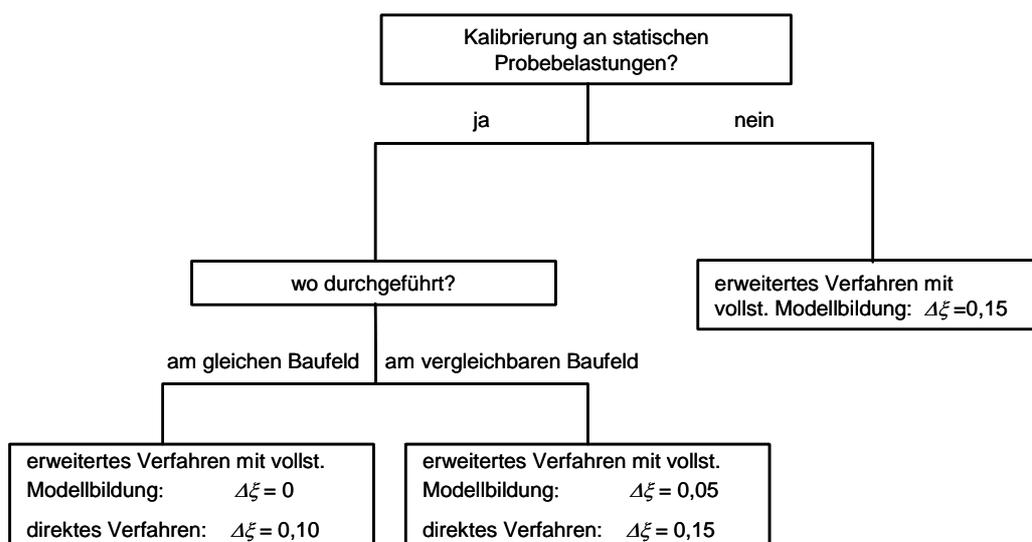
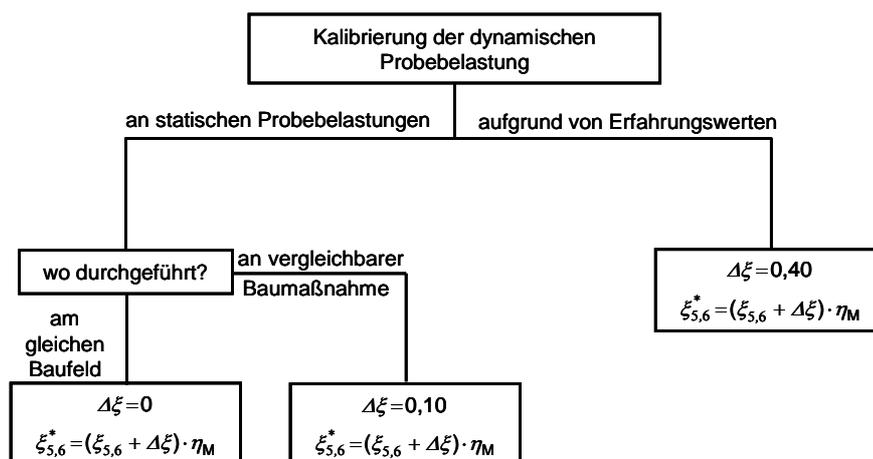


Bild 4.4: Zuschläge $\Delta\xi$ nach DIN 1054:2005-01 für die Ableitung charakteristischer Werte aus dynamischen Probebelastungsergebnissen bei verschiedener Kalibrierung und Auswerteverfahren

Der Eurocode EC 7-1 differenziert bei der Ableitung charakteristischer Widerstände hier nicht so detailliert wie DIN 1054:2005-01 (Bild 4.4). Die weitere Vorgehensweise (Bild 4.5) orientiert sich an den Empfehlungen der DIN 1054:2005-01. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Die originalen Zahlenwerte des Eurocodes EC 7-1 gelten für die Kalibrierung an statischen Probebelastungen am gleichen Baufeld und die Auswertung mit dem direkten Verfahren.
- Bei der Auswertung mit einem erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung dürfen die Werte mit dem Faktor $\eta_M = 0,85$ multipliziert werden.
- Im Falle einer Kalibrierung an statischen Probebelastungen an vergleichbaren Baugrundverhältnissen sind die Werte abhängig vom Auswerteverfahren zu erhöhen. Im Falle der Auswertung mit dem direkten Verfahren sind die Werte um $\Delta\xi = 0,20$ und für die Auswertung mit dem erweiterten Verfahren um $\Delta\xi = 0,10$ zu erhöhen. Der Modellfaktor η_M darf bei der Auswertung mit dem erweiterten Verfahren auch auf $\Delta\xi$ angewandt werden.
- Sollten die Ergebnisse dynamischer Pfahlprobebelastungen aufgrund belegbaren oder allgemeiner Erfahrungswerte abgeleitet werden, ist nur das erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung anwendbar. Die vorgegebenen ξ -Werte sind um $\Delta\xi = 0,20$ zu erhöhen. Der Modellfaktor η_M darf nicht angewendet werden.
- Bezüglich der Einteilung in starre und weiche Systeme gilt Abschnitt 3.2 sinngemäß.



•Für den Modellfaktor gilt:

- $\eta_M = 1,0$ für das direkte Verfahren,
- $\eta_M = 0,85$ für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung

•Bei Tragwerken, die Lasten von "weichen" zu "starrten" Pfählen umlagern können, darf $\xi_{5,6}^*$ durch 1,1 dividiert werden.

Bild 4.5: Empfehlung zur Ableitung charakteristischer Werte aus dynamischen Probelastungsergebnissen nach Eurocode EC 7-1

4.3.2 Kalibrierung an statischen Probelastungen auf dem gleichen Baufeld

Exemplarisch sind in Bild 4.6 und 4.7 für die Anzahl von $n = 5$ und $n = 20$ Pfahlprobelastungen die zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* dargestellt, die sich für die Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$ in Abhängigkeit der Auswerteverfahren bzw. der Steifigkeit und Festigkeit des Tragwerkes (weiches bzw. starres System) ergeben. Mögliche Sicherheiten wurden nach Tabelle 4.2 berechnet und sind in den Anlagen aufgeführt.

Vergleicht man die Werte von *zul. F_k* , die sich für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung und dem direkten Verfahren bei einer Kalibrierung auf dem gleichen Baufeld für weiche Systeme ergeben, können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

Erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung:

- Beim Eurocode EC 7-1 wird nur der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ der Probelastungsergebnisse maßgebend. Für die Darstellung der zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* über s_N / \bar{R}_m führt das zu einem parallelen Verlauf der Kurven, die entsprechend der DIN 1054:2005-01 und des Eurocodes EC 7-1 berechnet wurden.
- Ab einer Anzahl von $n = 5$ Probelastungen ändern sich die Werte der DIN 1054:2005-01 nicht mehr. Der Eurocode EC 7-1 berücksichtigt maximal $n = 20$ Probelastungen.

- *Zul. F_k* liegt bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag und $n = 5$ leicht unter den Ergebnissen für die Auswertung nach DIN 1054-2005:01, $n = 5$.
- *Zul. F_k* liegt bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag und $n = 20$ leicht oberhalb der Ergebnisse für die Auswertung nach DIN 1054-2005:01, $n = 5$.
- Für $n \approx 10-15$ Probelastungen sind die Ergebnisse nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag identisch mit den Ergebnissen die sich bei entsprechender Auswertung nach DIN 1054:2005-01 ergeben (siehe etwa Anlage 2.2.5a,b).

Direktes Verfahren:

- Sämtliche Kurven verlaufen parallel und sind gut vergleichbar. Unabhängig vom Auswerteverfahren und dem jeweiligen Regelwerk wird wieder der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ maßgebend.

Selbst für $n = 20$ Probelastungen liegen die Werte für *zul. F_k* bei der Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag unter den Ergebnissen, die sich für $n = 5$ und der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 ergeben. Bei der Auswertung der Datengrundlage für starren Systemen werden die Streuungsfaktoren durch 1,1 geteilt (siehe Bild 4.5). Die Ergebnisse können folgendermaßen interpretiert werden:

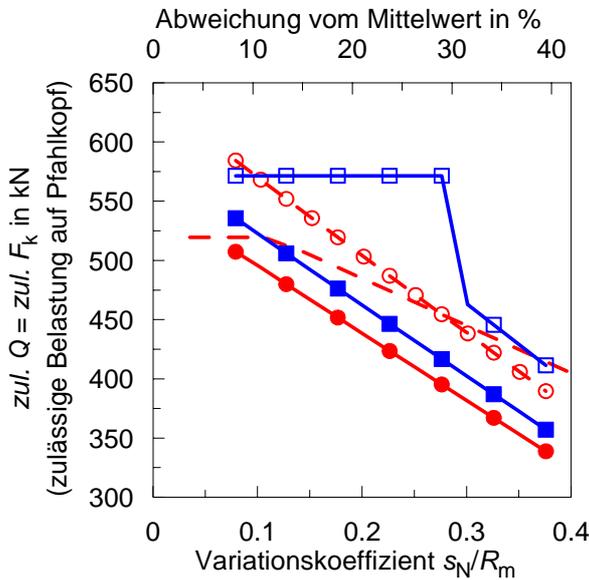
Erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung:

- Beim Eurocode EC 7-1 wird nur der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ der Probelastungsergebnisse maßgebend. Das führt zu einem linearen Verlauf der Kurve für *zul. F_k* . Die Darstellung der zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* nach DIN 1054:2005-01 verläuft unstetig. Dies ist mit den entsprechenden ξ -Werten für starre Systeme zu begründen (Tabelle 2.2, Spalte 2,3 bzw.4).
- Der entsprechende Kurvenverlauf nach Eurocodes EC 7-1 nimmt mit zunehmendem Variationskoeffizienten ab und nähert sich für größere Variationskoeffizienten der Kurve der DIN 1054:2005-01 an.
- Bei einer Anzahl von $n = 5$ Probelastungen stimmen die Werte der DIN 1054:2005-01 und des Eurocode EC 7-1 für kleine Variationskoeffizienten annähernd überein.

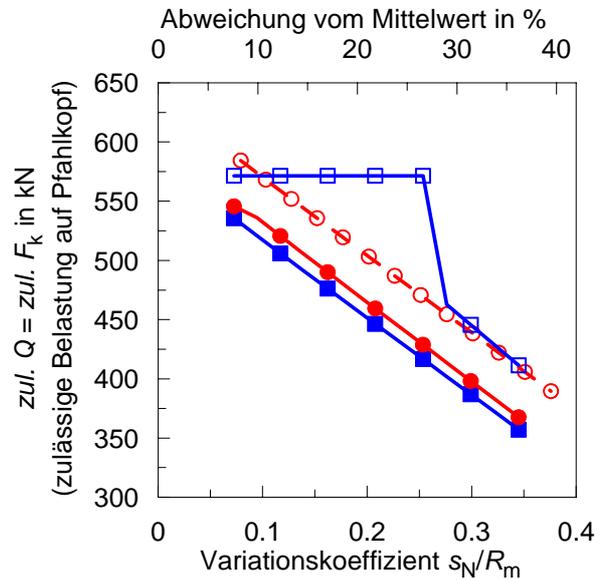
Direktes Verfahren:

- Es ist ein linearer Verlauf festzustellen, siehe erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung, weiches System.
- Unabhängig von der Anzahl n der Probelastungen liegen die Werte für *zul. F_k* bei der Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nat. Vorschlag, mit Ausnahme hoher Variationskoeffizienten und großer Anzahl Probelastungen n immer unter den Ergebnissen, die sich bei Auswertung nach DIN 1054:2005-01 ergeben.

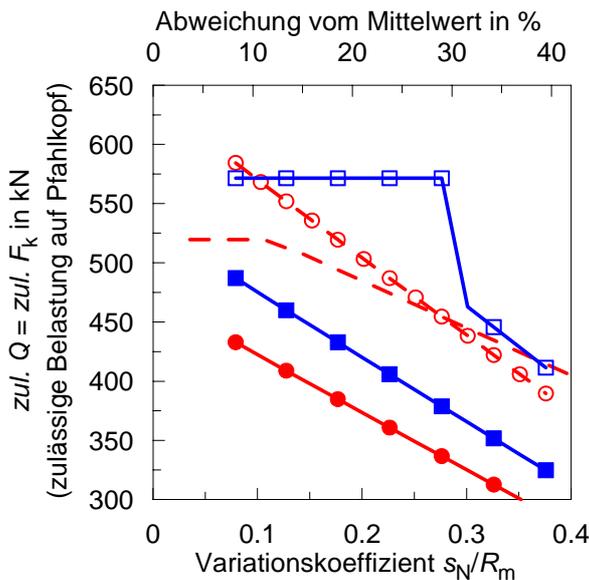
$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 5$, direktes Verfahren



$n = 20$, direktes Verfahren

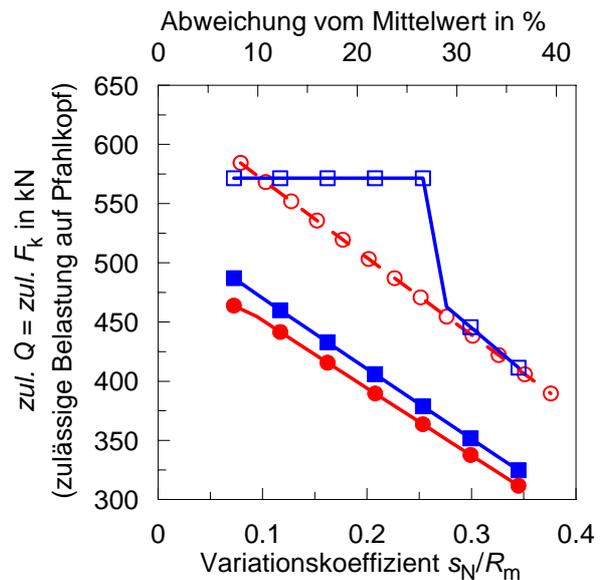


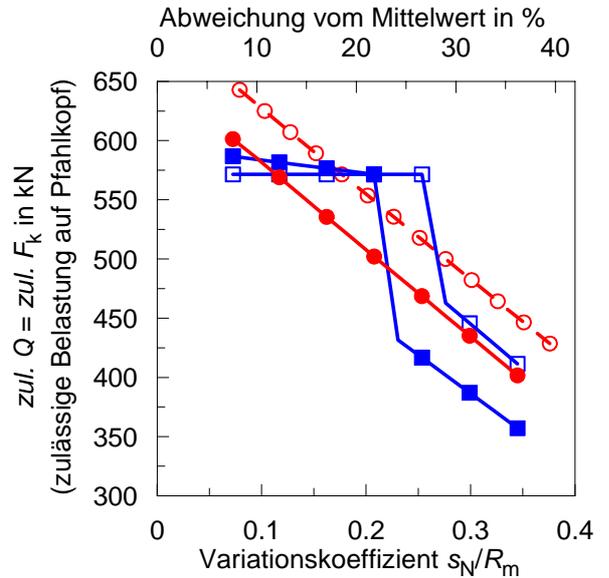
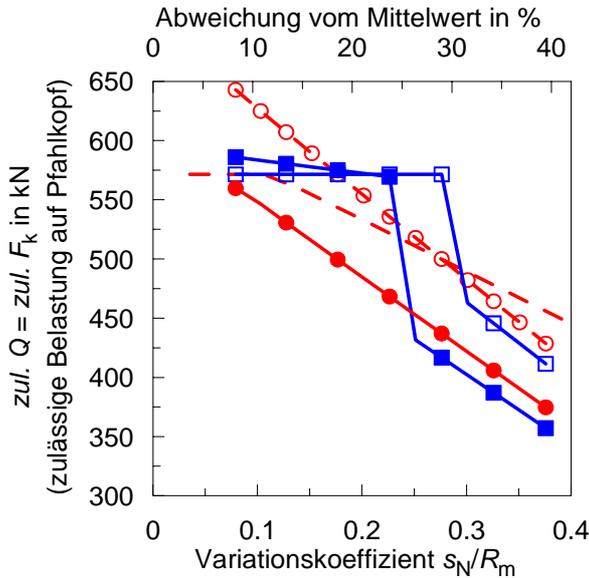
Bild 4.6: Zulässige Belastung $\text{zul. } Q$ und $\text{zul. } F_k$ für $n = 5$ und $n = 20$ dyn. Probelastungen und Kalibrierung an statischen Probelastungen auf dem gleichen Baufeld, $\gamma_{G,Q} = 1,40$, weiches System

- EC 7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11; $n \geq 2$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 5$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 2$

Exemplarisch ist in Bild 4.7 für die Anzahl von $n = 5$ und $n = 20$ Pfahlprobelbelastungen $zul. F_k$ dargestellt, die sich für die Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$ in Abhängigkeit der Auswerteverfahren ergibt. Sicherheiten nach Tabelle 4.2 sind im Anhang aufgeführt.

$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung

$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 5$, direktes Verfahren

$n = 20$, direktes Verfahren

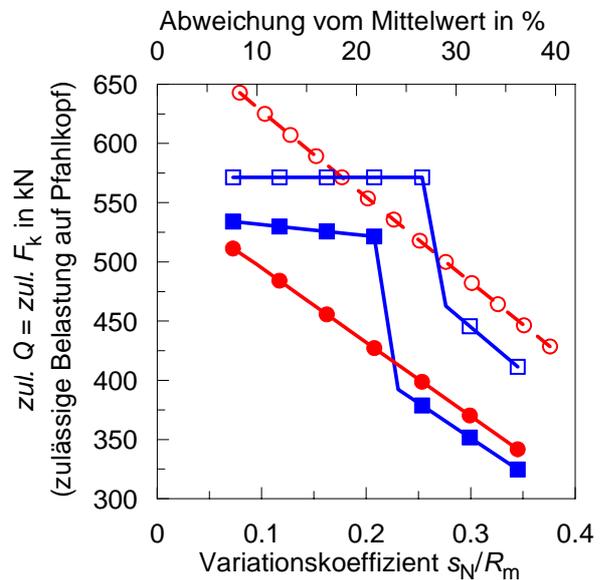
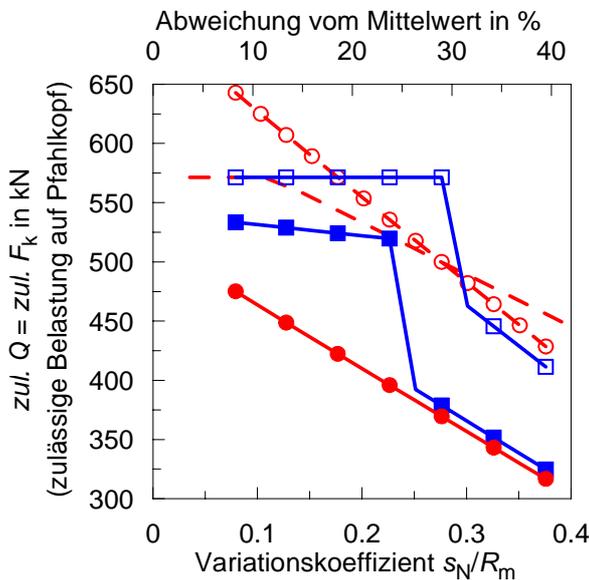


Bild 4.7: Zulässige Belastung $zul. Q$ und $zul. F_k$ für $n = 5$ und $n = 20$ dyn. Probelbelastungen und Kalibrierung an statischen Probelbelastungen auf dem gleichen Baufeld, $\gamma_{G,Q} = 1,40$, starre Systeme

- EC 7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11; $n \geq 2$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelbelastung mit $n = 5$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelbelastung mit $n = 2$

4.3.3 Kalibrierung an statischen Probelastungen vergleichbarer Baugrundverhältnisse

Im Falle der Kalibrierung an einem vergleichbaren Baufeld ist *zul. F_k* in Bild 4.8 für weiche und Bild 4.9 für starre Systeme dargestellt. Darüber hinaus gelten die selben Annahmen wie in Abschnitt 4.3.2.

Vergleicht man die Werte von *zul. F_k* , die sich für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung und dem direkten Verfahren bei einer Kalibrierung an einem vergleichbarem Baufeld für weiche Systeme ergeben, können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

Erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung:

- Beim Eurocode EC 7-1 wird nur der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ der Probelastungsergebnisse maßgebend. Für die Darstellung der zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* über s_N / \bar{R}_{1m} führt das zu einem parallelen Verlauf der Kurven nach DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1.
- Ab einer Anzahl von $n = 5$ Probelastungen ändern sich die Werte der DIN 1054:2005-01 nicht mehr. Der Eurocode EC 7-1 berücksichtigt maximal $n = 20$ Probelastungen.
- *Zul. F_k* liegt bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag und $n = 5$ deutlich unter den Ergebnissen für die Auswertung nach DIN 1054-2005:01, $n = 5$.
- *Zul. F_k* ergibt bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag und $n = 20$ die selben Ergebnisse wie die Auswertung nach DIN 1054-2005:01, $n = 5$.

Direktes Verfahren:

- Sämtliche Kurven verlaufen parallel und sind gut vergleichbar.
- Unabhängig von der Anzahl n der Probelastungen liegen die Werte für *zul. F_k* bei der Auswertung nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag, deutlich unter den Ergebnissen, die sich für die Auswertung nach DIN 1054:2005-01 ergeben.

Für starre Systeme sind die zulässigen Pfahlbelastungen *zul. F_k* in Bild 4.9 dargestellt. Es gelten die selben Annahmen wie in Abschnitt 4.3.2.

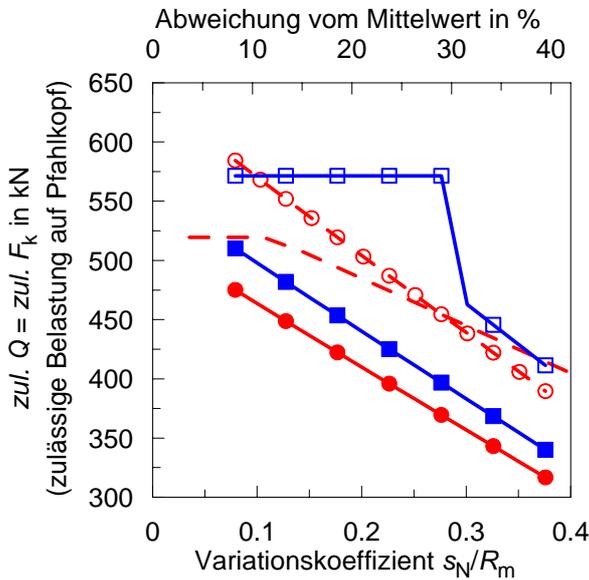
Erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung:

- Die entsprechenden Kurven weisen den selben qualitativen Verlauf auf, wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben. Erwartungsgemäß fallen die Werte für *zul. F_k* niedriger aus.

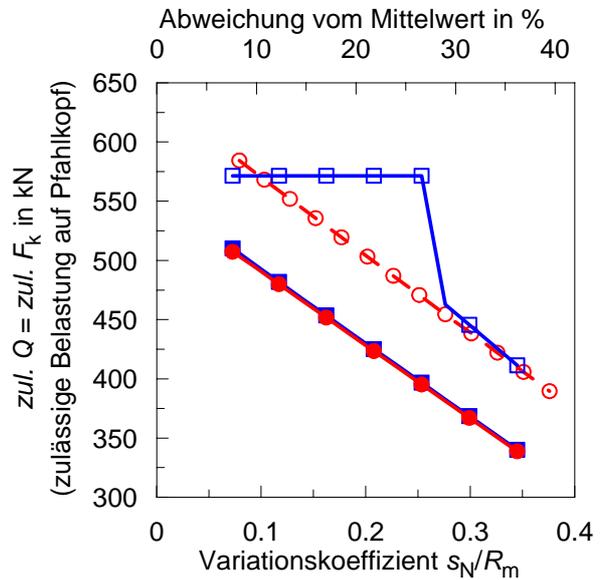
Direktes Verfahren:

- Die entsprechenden Kurven weisen den selben qualitativen Verlauf auf, wie in Abschnitt 4.3.5 beschrieben. Für eine geringe Anzahl durchgeführter Probelastungen ergeben sich um etwa 30 % geringere Werte für *zul. F_k* .

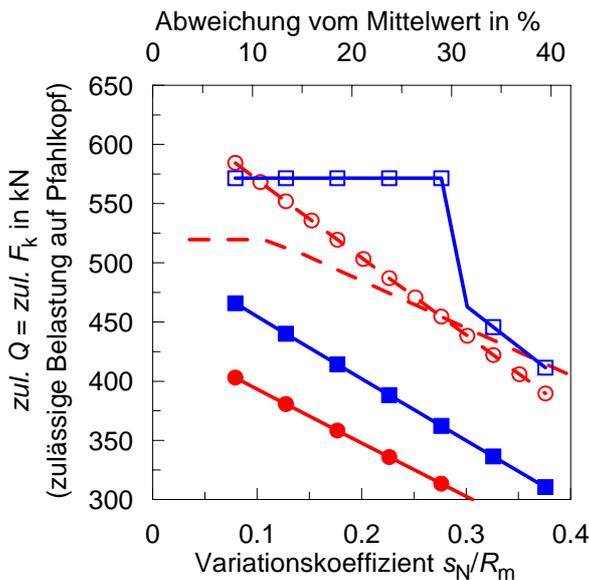
$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 5$, direktes Verfahren



$n = 20$, direktes Verfahren

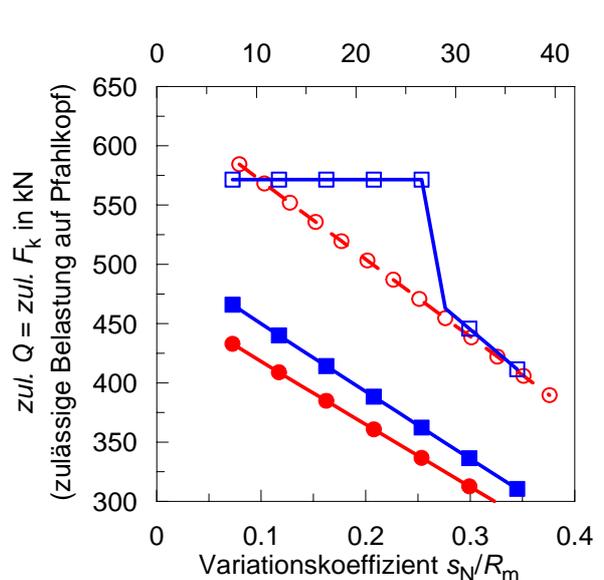
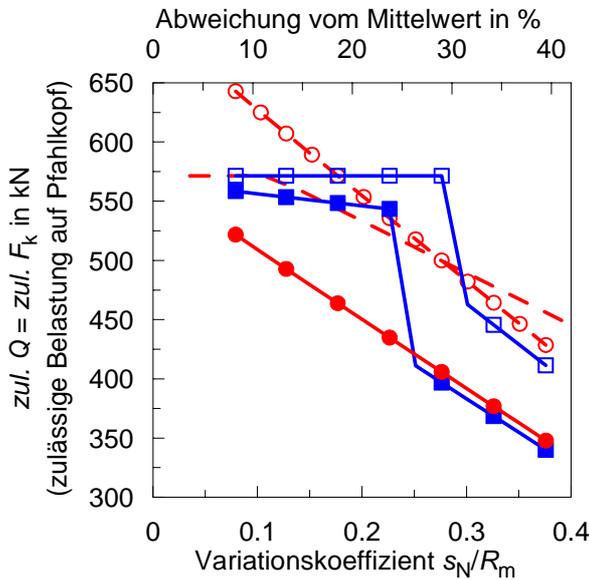


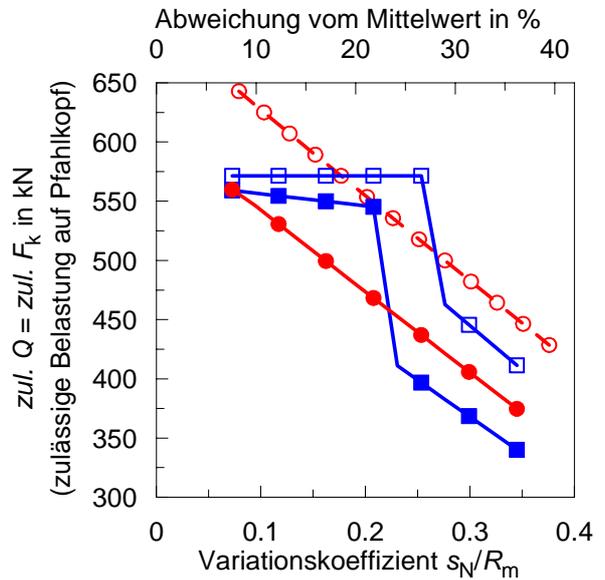
Bild 4.7: Zulässige Belastung $zul. Q$ und $zul. F_k$ für $n = 5$ und $n = 20$ dyn. Probelastungen und Kalibrierung an statischen Probelastungen an vergleichbaren Baugrundverhältnissen, $\gamma_{G,Q} = 1,40$, weiches System

- EC 7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11; $n \geq 2$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 5$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 2$

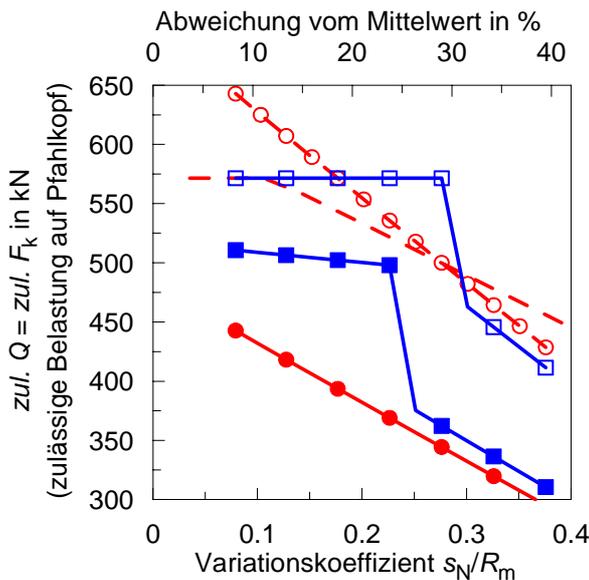
$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung



$n = 5$, direktes Verfahren



$n = 20$, direktes Verfahren

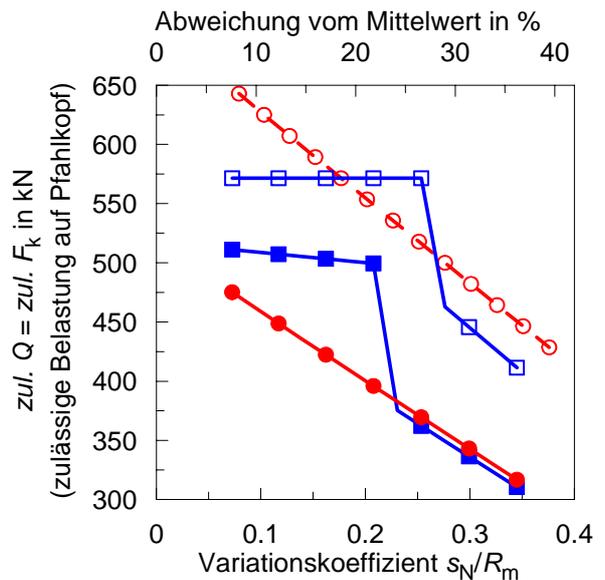


Bild 4.10: Zulässige Belastung $zul. Q$ und $zul. F_k$ für $n = 5$ und $n = 20$ dyn. Probelastungen und Kalibrierung an statischen Probelastungen an vergleichbaren Baugrundverhältnissen, $\gamma_{G,Q} = 1,40$, starres System

- EC 7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11; $n \geq 2$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 5$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 2$

4.3.4 Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten

Werden dynamische Probelastungen aufgrund von Erfahrungswerten und nicht an Ergebnissen statischer Probelastungen kalibriert, ist nur eine Auswertung nach einem erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung zulässig. Dabei sind sowohl nach DIN 1054:2005-01 als auch nach Eurocode EC 7-1 die Streuungsfaktoren ξ um einen Faktor $\Delta\xi$ zu erhöhen (Bild 4.4 und 4.5). Eine Unterscheidung in starre und weiche System darf dennoch vorgenommen werden.

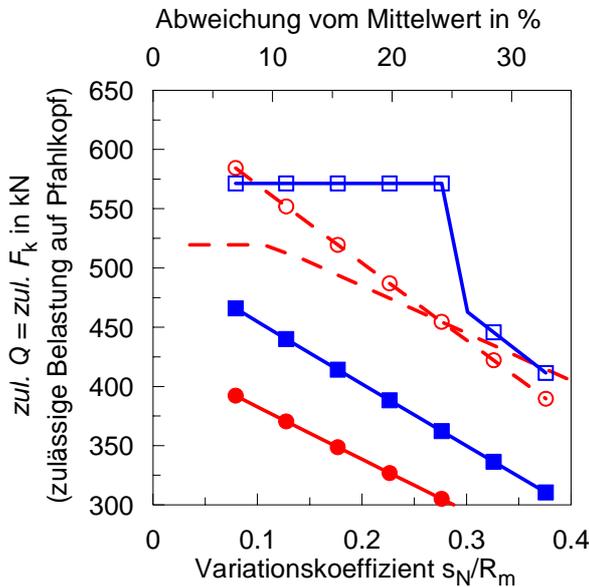
Für die Anzahl von $n = 5$ und $n = 20$ Pfahlprobelastungen wird in Bild 4.11 *zul. F_k* dargestellt, die sich für die Einwirkungskombination $\gamma_{G,Q} = 1,40$ in Abhängigkeit der Auswerteverfahren für weiche und starre Systeme ergibt.

Vergleicht man die Werte von *zul. F_k* , die sich für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung bei einer Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten ergeben, gilt sowohl für weiche als auch starre Systeme:

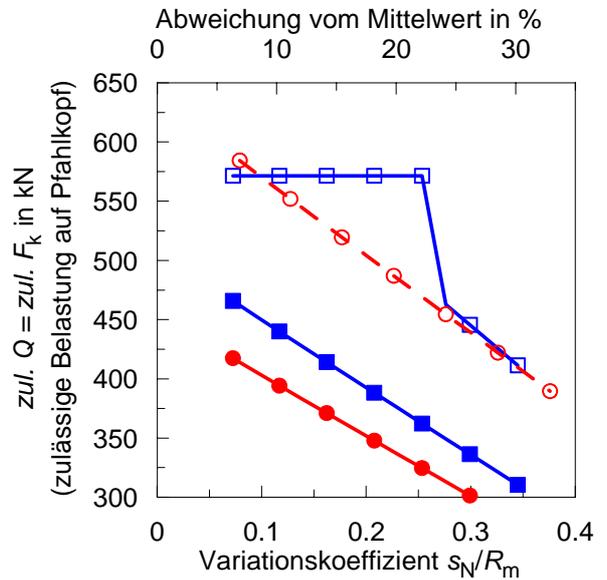
- Beim Eurocode EC 7-1 wird nicht immer der Mindestwert $(R_{c,m})_{\min}$ der Probelastungsergebnisse maßgebend. Dennoch verläuft die Darstellung der zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* über s_N / \bar{R}_{1m} , die sich nach DIN 1054:2005-01 Eurocode EC 7-1 ergeben, größtenteils parallel.
- Die Werte des Eurocodes EC 7-1 liegen selbst für $n = 20$ unterhalb der Ergebnisse der DIN 1054:2005-01 (siehe Bild 4.12 und 4.13).

ANMERKUNG: Die Auswertung aufgrund von Erfahrungswerten nach DIN 1054:2005-01 mit einem erweiterten Verfahren und vollständiger Modellbildung liefert die selben Ergebnisse, wie die Auswertung der nach einem direkten Verfahren bei Kalibrierung an vergleichbaren Baugrundverhältnissen. In etwa die selben Zusammenhänge ergeben sich, wenn die entsprechenden Ergebnisse nach den Vorgaben des Eurocodes EC 7-1 ausgewertet werden.

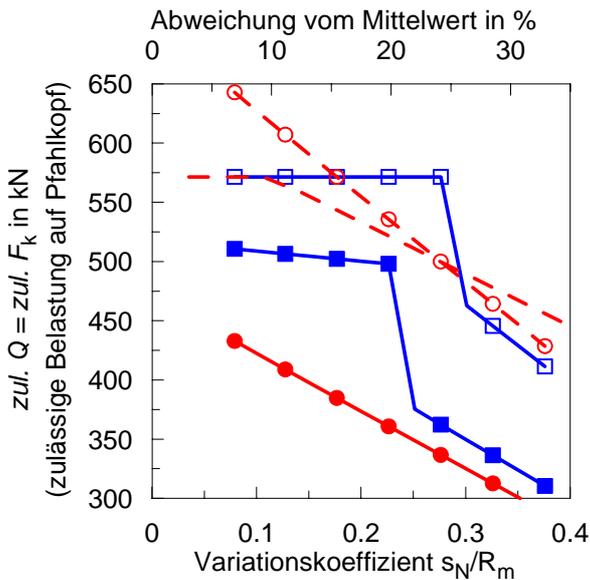
$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung, weiches System



$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung, weiches System



$n = 5$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung, starres System



$n = 20$, erweitertes Verfahren mit vollständiger Modellbildung, starres System

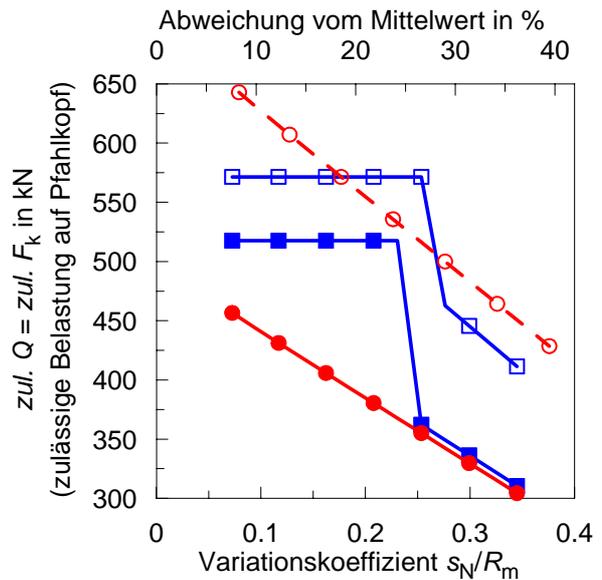


Bild 4.11: Zulässige Belastung $zul. Q$ und $zul. F_k$ für $n = 5$ und $n = 20$ dyn. Probelastungen und Kalibrierung aufgr. von Erfahrungswerten, $\gamma_{G,Q} = 1,40$, weiches und starres System

- EC 7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11; $n \geq 2$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 5$
- Auswertung nach EC 7-1(nat. Vorschlag) als statische Probelastung mit $n = 2$

4.3.5 Einfluss der Anzahl und der Qualität der Kalibrierung auf die Ergebnisse dynamischer Probelastungen bei Auswertung nach Eurocode EC 7-1

Die Balkendiagramme in Bild 4.12 zeigen exemplarisch für $n = 5$ und $n = 20$ durchgeführte dynamische Probelastungen das Verhältnis der ermittelten zulässigen Pfahltragfähigkeiten $zul. F_k$ für die Auswertung nach DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1. Die entsprechenden Größen können Abschnitt 4.3.2 bis 4.3.4 entnommen werden. Alle Möglichkeiten der Kalibrierung wurden berücksichtigt. Bezugsgröße ist jeweils der entsprechende Wert, der sich bei Auswertung nach DIN 1054:2005-01 für die Datenbasis mit $n = 5$ und $n = 20$ ergibt. Diese Bezugsgröße ist in Bild 4.12 als gestrichelte horizontale Linie bei 100 % dargestellt. Ergeben sich nach Eurocode EC 7-1 kleinere zulässige Pfahltragfähigkeiten $zul. F_k$, erreichen die Balken die gestrichelte Linie bei 100 % nicht, bei höheren zulässigen Pfahltragfähigkeiten $zul. F_k$ überragen die jeweiligen Balken des Diagrammes die gestrichelte Linie bei 100 %

Für weiche Systeme verlaufen die Werte für $zul. F_k$, unabhängig vom Variationskoeffizienten s_N / \bar{R}_m annähernd parallel, daher gilt die prozentuale Änderung für die gesamte Datengrundlage unabhängig von der Höhe des Variationskoeffizienten s_N / \bar{R}_m . Bei starren Systemen ist dies nicht der Fall (siehe z.B. Bild 4.11). In diesem Fall liegen Bild 4.12 die berechneten Ergebnisse für $s_N / \bar{R}_m \approx 0,10$ zugrunde.

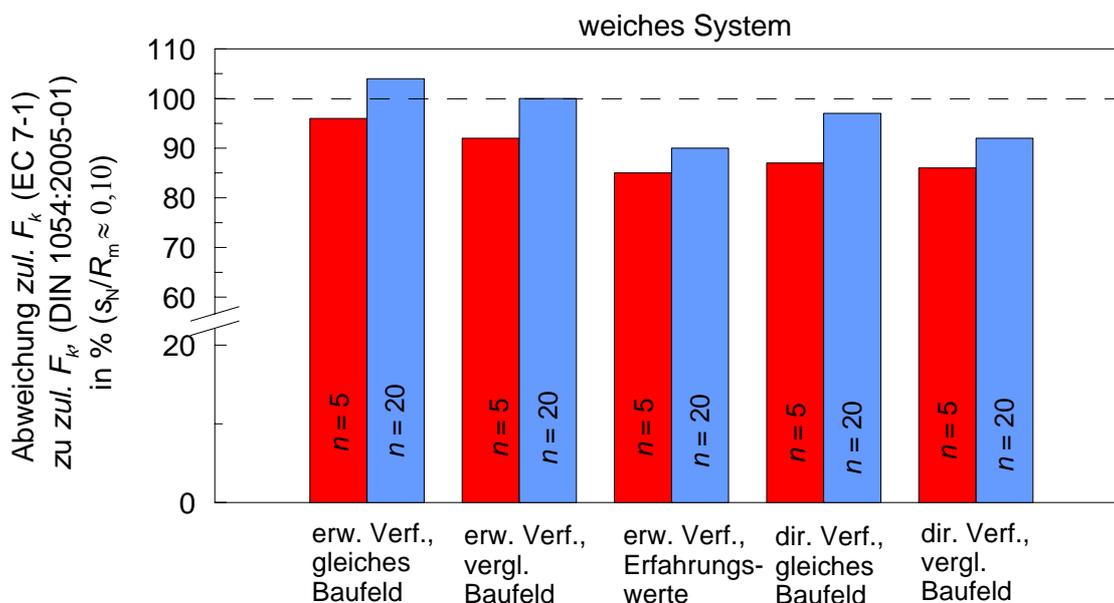


Bild 4.12a: Prozentuale Änderung bei Auswertung dyn. Probelastungen nach Eurocode EC 7-1 im Vergleich mit der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 (dargestellt für $n = 5$ und $n = 20$, weiches System)

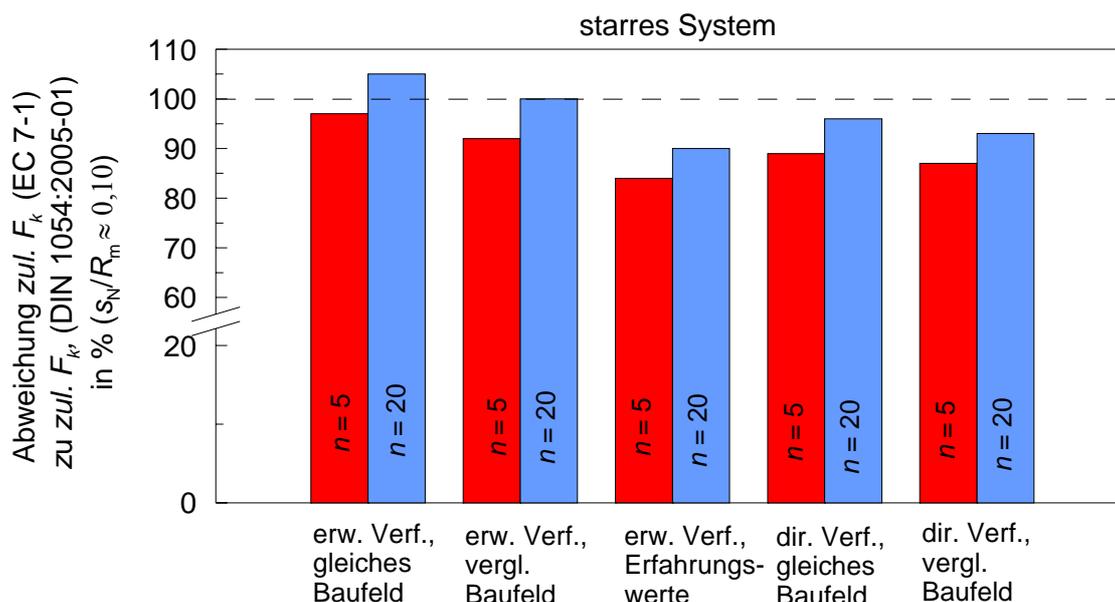


Bild 4.12b: Prozentuale Änderung bei Auswertung dyn. Probelastungen nach Eurocode EC 7-1 im Vergleich mit der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 (dargestellt für $n = 5$ und $n = 20$, starres System)

Wertet man Bild 4.12a und 4.12b aus, kann Folgendes festgestellt werden:

- Die Art der Kalibrierung hat auf weiche und starre Systeme in etwa den gleichen Einfluss. Dies ist zu erwarten, da für starre Systeme die selben, jedoch durch den Faktor 1,1 dividierten Streuungsfaktoren der weichen Systeme zur Anwendung kommen.
- Für die Auswertung mit einem erweiterten Verfahren und vollständiger Modellbildung zeigt für die Kalibrierung am gleichen Baufeld gute Übereinstimmung zur DIN 1054:2005-01. Gleiches gilt für die Kalibrierung an vergleichbaren Baugrundverhältnissen.
- Bei der Auswertung der direkten Verfahren liegen die zulässigen Pfahltragfähigkeiten $zul. F_k$ für die Kalibrierung am gleichen Baufeld und der Kalibrierung an vergleichbaren Baumassnahmen leicht unterhalb der Ergebnisse, die sich bei der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 ergeben. Hier ergibt sich eine geringfügig höhere Sicherheit.
- Die Auswertung von dynamischen Probelastungen nach dem direkten Verfahren und Kalibrierung an vergleichbaren Baugrundverhältnissen ist vergleichbar mit der Auswertung nach einem erweiterten Verfahren und Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten.

Die in den Bildern 4.12 a) und b) gezeigten Tendenzen mit den vorgenommenen nationalen Erweiterungen gehen über die ursprünglichen Regelungen des Eurocodes EC 7-1 hinaus, berücksichtigen aber die nationale Praxis. Weiterhin liegen Sie in der Grundtendenz von Eurocode EC 7-1, der eigentlich nur Kalibrierungen an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld zulässt. Wenn hier eine Erweiterung ohne Kalibrierung an statischen Probelastungen auf dem gleichen Baufeld vorgenommen wird, müssen aus sicherheitstechnischen Überlegungen die zulässigen Pfahlbelastungen etwas reduziert und damit der Gesamtsicherheitsbeiwert erhöht werden. Insofern war die DIN 1054:2005-01 offenbar etwas zu optimistisch.

5 Vergleichsberechnung für reale Pfahlprobelastungsergebnisse

5.1 Allgemeines

Im Folgenden werden reale Pfahlversuche an verschiedenen Pfahlssystemen nach den Verfahren des Eurocode EC 7-1 ausgewertet und den Ergebnissen der DIN 1054:1976-11 und DIN 1054:2005-01 gegenübergestellt. Die Probelastungen werden dabei nach den Gesichtspunkten der Vergleichbarkeit des Pfahltyps und der Baugrundverhältnisse aus der Datenbank der Universität Kassel ausgewählt. Die Datenbank enthält im Wesentlichen Pfahlprobelastungsergebnisse aus dem norddeutschen Raum. Darüber hinaus werden nur Probelastungsergebnisse von Pfählen mit näherungsweise gleichen Abmessungen verwendet.

Die Vergleichsberechnungen werden für das realistische Verhältnis ständiger und veränderlicher Lasten mit der Einwirkungskombination nach Gleichung 2.15 mit $\gamma_{G,Q} = 1,40$ durchgeführt, wie in Abschnitt 2.5.2 beschrieben. Die Berechnungsergebnisse werden nachfolgend mit den Definitionen der Bezeichnung nach Eurocode EC 7-1 angegeben, Indizes und griechische Kleinbuchstaben sind bei der Betrachtung der Berechnungsergebnisse nach DIN 1054:1976-11 bzw. DIN 1054:2005-01 im Text und den Diagrammen sinngemäß zu übertragen.

5.2 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen

5.2.1 Allgemeines

Für statische Probelastungen werden die Vergleichsberechnungen für die Pfahlssysteme

- Fertigrammpfähle aus Stahlbeton,
- Bohrpfähle,
- Ortbetonrammpfähle (Simplexpfähle) und
- Schraubpfähle (Atlaspfähle)

durchgeführt.

Am Beispiel eines Baufeldes mit $n = 4$ vergleichbaren Probelastungsergebnissen an Fertigrammpfählen aus Stahlbeton werden zunächst die Auswirkungen der Streuung der Ergebnisse auf die Ermittlung der Pfahltragfähigkeit in Abhängigkeit des verwendeten Berechnungsverfahrens dargestellt. Hierbei werden für das Baufeld alle möglichen Kombinationen von Pro-

bebelastungsergebnissen untersucht, die sich aus den 4 Ergebnissen konstruieren lassen. Anschließend werden für reale Probelastungsergebnisse der verschiedenen o.g. Pfahlssysteme Vergleichsberechnungen nach den jeweiligen Verfahren durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt.

5.2.2 Variation der Kombination von Probelastungsergebnissen auf einem Baufeld

Anhand eines Baufeldes mit $n = 4$ statischen Probelastungen an Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton werden beispielhaft die Auswirkungen der Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren dargestellt. Die detaillierten Angaben zu den Probelastungen sind der Tabelle 5.1 zu entnehmen. Es handelt sich hierbei um ein Baufeld aus Hamburg mit quadratischen Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton mit einer Seitenlänge $a_s = 0,34$ m, einer mittleren Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund $d = 7,40$ m und den typischen norddeutschen Baugrundverhältnissen. Der mittlere charakteristische Sondierspitzenwiderstand im Bereich des tragfähigen Baugrundes beträgt für die einzelnen Pfähle zwischen $q_{c;k;i.M.} = 14,60$ und $17,50$ MN/m².

Tabelle 5.1: Probelastungsergebnisse von Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton (FRP-STB)

Nr.	Abmessung in m		$q_{c;k;i.M.}$ in MN/m ²	$R_{c;m}$ in kN	Pfahleinbringung	Standzeit Δt in d	Ort
	a_s	d					
FRP-STB_6.1	0,34	7,20	14,60	2286	20.05.1980	6	Hamburg, Hoesch
FRP-STB_6.2	0,34	7,50	15,00	2901	1980	k.A.	
FRP-STB_6.3	0,34	7,70	15,00	2815	1980	k.A.	
FRP-STB_6.4	0,34	7,20	17,50	2573	20.05.1980	6	

Es bedeuten:

Nr. - Bezeichnung der Probelastung (Pfahlssystem_Baufeld-Nr.Probelastung-Nr)

a_s - Seitenlänge des Fertigrampfpfahls mit quadratischen Querschnitt,

d - Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund,

$q_{c;k;i.M.}$ - Mittlerer charakteristischer Sondierspitzenwiderstand des tragfähigen Baugrundes

$R_{c;m}$ - Messwert des Druckwiderstandes aus der Probelastung

Für das Baufeld mit $n = 4$ Probelastungsergebnisse werden alle möglichen Kombinationen von Probelastungsergebnissen gebildet, die sich bei einer Auswertung für $n = 2$ ergeben und anschließend jeweils mit einem weiteren Versuchsergebnis zu $n = 3$ und schließlich zu $n = 4$ ergänzt werden. Durch Variation der Probelastungsergebnisse sind

- für $n = 2$ insgesamt 6 verschiedene Kombinationen,
- für $n = 3$ insgesamt 4 verschiedene Kombinationen und
- für $n = 4$ eine Kombination

möglich. Auf diese Weise können in Abhängigkeit der Verwendung der Probelastungsergebnisse für das Baufeld mit $n = 4$ insgesamt 12 verschiedene Kombinationspfade gebildet werden, die beginnend mit zwei Versuchsergebnissen jeweils mit einer dritten und anschließend der vierten Probelastung ergänzt werden. Die aus der Variation der Probelastungsergebnisse von einem Baufeld mit $n = 4$ resultierenden Kombinationspfade sind in Tabelle 5.2 mit den dazugehörigen Messwerten der Druckwiderstände $R_{c;m;i}$ zusammengestellt. Des Weiteren enthält Tabelle 5.2 auch den Mittelwert $\bar{R}_{c;m}$, das Minimum $R_{c;m;\min}$ und das Maximum $R_{c;m;\max}$ der untersuchten Druckwiderstände und darüber hinaus die maximale Abweichung vom Mittelwert $\Delta R_{c;m}$ und den Variationskoeffizienten $s_N / \bar{R}_{c;m}$.

Die Berechnung der zulässigen Belastung *zul.* F_k bzw. *zul.* Q unter Berücksichtigung der Variation der Probelastungsergebnisse von einem Baufeld wird nach den jeweiligen Normen durchgeführt, siehe Abschnitt 2.2 bis 2.4, und ist für weiche Systeme in Bild 5.1 und für starre Systeme in Bild 5.2 dargestellt, detaillierte Berechnungsergebnisse sind Anlagen 3.1.1 und 3.1.2 zu entnehmen.

Bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse ist folgendes zu beachten:

- Ein Kombinationspfad nach Tabelle 5.2 besteht aus jeweils einem Berechnungsergebnis für $n = 2$, $n = 3$ und $n = 4$ Probelastungen.
- Jeder Kombinationspfad führt zu einer für das Baufeld mit $n = 4$ Probelastungen maßgebenden zulässigen Belastung *zul.* $Q_{(n=4)}$ bzw. *zul.* $F_{k(n=4)}$, dargestellt mit gestrichelter Linie.
- Symbole entsprechen einem Berechnungsergebnis für *zul.* $Q_{(n=i)}$ nach Gleichung 2.1 bzw. *zul.* $F_{k(n=i)}$ nach Gleichung 4.1, welches für die entsprechenden Kombination der Probelastungsergebnisse für das Baufeld gerade maßgebend sein könnte.

Zunächst weist der Vergleich der zulässigen Belastungen *zul.* $Q_{(n=4)}$ bzw. *zul.* $F_{k(n=4)}$, die sich unter Berücksichtigung von allen Probelastungsergebnissen ($n = 4$) nach den jeweiligen Berechnungsverfahren für weiche Systeme ergeben, eine Diskrepanz zwischen DIN 1054:1976-11 und DIN 1054:2005-01 auf. Die zulässige Belastung nach DIN 1054:2005-01 ist mit *zul.* $F_{k(n=4)} = 1361,0$ kN in etwa 11 % geringer als nach DIN 1054:1976-11 mit *zul.* $Q_{(n=4)} = 1511,0$ kN. Demgegenüber entsprechen die Ergebnisse nach den Verfahren des Eurocodes EC 7-1 und EC 7-1, nationaler Vorschlag, mit *zul.* $F_{k(n=4)} = 1484,0$ kN und einer Abweichung von lediglich 2 % sehr gut dem Ergebnis nach DIN 1054:1976-11.

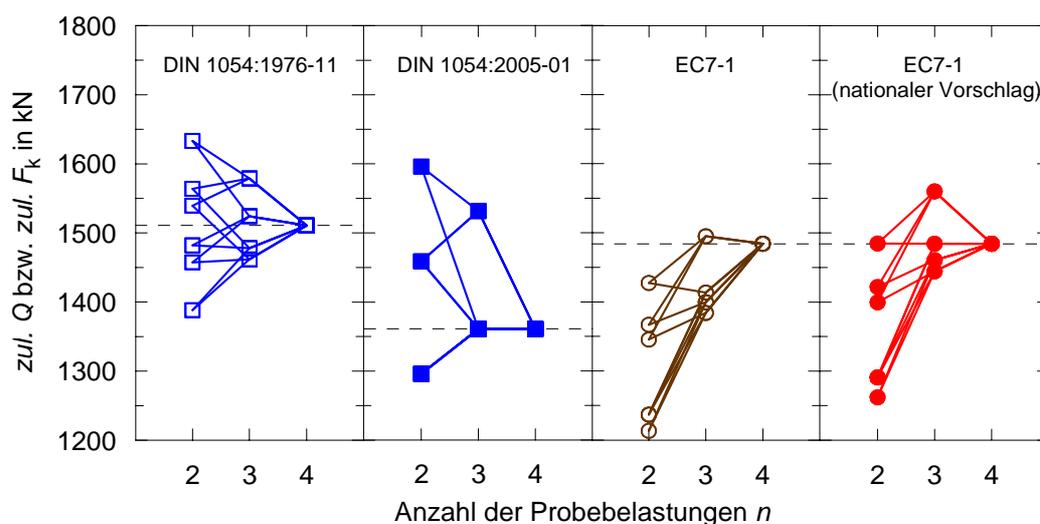


Bild 5.1: Zulässige Belastungen von Fertigrammpfählen nach Variation der Kombination von Probelastungsergebnissen bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Für den Vergleich der möglichen Kombinationspfade bei einer Variation der Probelastungsergebnisse wird auf die geringe Streuung der Messergebnisse des untersuchten Baufeldes hingewiesen, siehe auch Tabelle 5.2. Hieraus folgt für die Berechnung der zulässigen Belastung $zul. Q$ nach DIN 1054:1976-11, dass im vorliegenden Fall bei allen Kombinationen der Mittelwert der Probelastungsergebnisse maßgebend ist. Aus diesem Grund resultieren in Abhängigkeit der Variation der Probelastungsergebnisse für die Berechnung nach DIN 1054:1976-11 erhebliche Schwankungen bei den zulässigen Belastungen. So resultiert z.B. bei einer Verwendung der beiden schwächsten Probelastungsergebnisse des Baufeldes $R_{c,m;1}$ und $R_{c,m;2}$ die geringste zulässige Belastung $zul. Q_{(n=2)} = 1388,0$ kN und für die beiden stärksten Messergebnisse $R_{c,m;3}$ und $R_{c,m;4}$ die größte mit $zul. Q_{(n=2)} = 1633,0$ kN. Die Abweichung der beiden Extremwerte von der für das Baufeld maßgebenden zulässigen Belastung $zul. Q_{(n=4)}$ ist erwartungsgemäß gleichgroß und beträgt in etwa 8 %. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die zulässigen Belastungen, die für $n = 2$ Probelastungen erhebliche Streuungen aufweisen, mit zunehmender Anzahl der Probelastungen sich gleichmäßig der zulässigen Belastung annähern, die aus dem Mittelwert für $n = 4$ Messwerte resultiert.

Die Ermittlung der zulässigen Belastungen $zul. F_k$ nach DIN 1054:2005-01 basiert für weiche Systeme auf den Mindestwerten der Probelastungsergebnisse, so dass gegenüber der DIN 1054:1976-11 die Berücksichtigung der Probelastungen mit der geringsten Tragfähigkeit einen erheblichen Einfluss auf die zulässige Belastung hat. Die Auswertung der verschiedenen Kombinationen nach DIN 1054:2005-01 führt daher bei gleicher Anzahl der Probelastungen n zu identischen Berechnungsergebnissen, sofern der Mindestwert in der jeweiligen Kombination unverändert bleibt. So z.B. entspricht der untere in Bild 5.1 dargestellte Kombinationspfad für $zul. F_k$ nach DIN 1054:2005-01 den Kombinationen, die immer die

schwächste Probelastung $R_{c;m;1}$ des Baufeldes einschließen. Insgesamt repräsentiert dieser Kombinationspfad die Berechnungsergebnisse von 6 verschiedenen möglichen Kombinationspfaden, die aufgrund des maßgebenden Mindestwertes identisch sind, vgl. hierzu Kombinationspfade Nr. 1 bis 6 nach Tabelle 5.2 und Anlage 3.1.1. Der Zuwachs von $zul. F_{k(n=2)} = 1296,0$ kN auf $zul. F_{k(n=3,4)} = 1361,0$ kN für diesen Kombinationspfad resultiert aus der Reduzierung des Streuungsfaktors nach Tabelle 2.2 auf $\xi = 1,0$ für $n > 2$ Probelastungen.

Werden für die Auswertung nach DIN 1054:2005-01 die beiden stärksten Probelastungsergebnisse $R_{c;m;3}$ und $R_{c;m;4}$ berücksichtigt, ergibt sich für $zul. F_{k(n=2)} = 1596,0$ kN eine Abweichung von in etwa 17 % von der für das Baufeld maßgebenden zulässigen Belastung $zul. F_{k(n=4)} = 1361,0$ kN.

Das Verfahren des EC 7-1 verwendet zur Ermittlung der zulässigen Belastung den Mindestwert aus dem Mittelwert und dem Kleinstwert, siehe Abschnitt 2.4. Dies führt zu einer mit der Anzahl der Probelastungsergebnissen zunehmenden zulässigen Belastung. Allerdings ist auch bei der Auswertung nach EC 7-1 bei 3 Kombinationspfaden ein Abnahme der zulässigen Belastung zu erkennen, sobald alle 4 Probelastung zur Ermittlung der Tragfähigkeit verwendet werden. Die Ursache liegt in der Verwendung der 3 stärksten Probelastungsergebnisse $R_{c;m;2}$, $R_{c;m;3}$ und $R_{c;m;4}$ für die Ermittlung der zulässigen Belastungen $zul. F_{k(n=3)} = 1495,0$ kN der 3 Kombinationspfade, das schwächste Ergebnis wird hier für $n = 3$ nicht berücksichtigt führt aber für $n = 4$ zur Abnahme der zulässigen Belastung auf $zul. F_{k(n=4)} = 1484,0$ kN. Die Abweichung ist allerdings mit 1 % vernachlässigbar klein.

Die Ergebnisse nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) mit veränderten Streuungsfaktoren weisen die gleichen Tendenzen wie die Werte nach Eurocode EC 7-1 auf, liegen aber etwas höher, was auch bei zunehmender Anzahl der Probelastungen erwünscht ist. Die maßgebende zulässige Belastung $zul. F_{k(n=4)} = 1484,0$ kN für das Baufeld ist identisch mit dem Ergebnis nach EC 7-1, da im vorliegenden Fall bei beiden Verfahren der Mindestwert maßgebend ist und der Streuungsfaktor für $n = 4$ nach Tabelle 3.1 einheitlich $\xi_2 = 1,0$ beträgt.

Tabelle 5.2: Mögliche Kombinationen an gemessenen Probelastungsergebnissen auf einem Baufeld

Kombinations- pfade	n	$R_{c,m;1}$ in kN	$R_{c,m;2}$ in kN	$R_{c,m;3}$ in kN	$R_{c,m;4}$ in kN	$\bar{R}_{c,m}$ in kN	$R_{c,m;\min}$ in kN	$R_{c,m;\max}$ in kN	$\Delta R_{c,m}$ in %	$s_N / \bar{R}_{c,m}$
1	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	2901	11,86	0,17
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	2901	14,30	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
2	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	2901	11,86	0,17
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	2901	12,15	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
3	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	2815	10,37	0,15
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	2901	14,30	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
4	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	2815	10,37	0,15
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	2815	10,63	0,10
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
5	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	2573	5,91	0,08
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	2901	12,15	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
6	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	2573	5,91	0,08
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	2815	10,63	0,10
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
7	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	2901	1,50	0,02
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	2901	6,88	0,06
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
8	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	2901	1,50	0,02
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	2901	14,30	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
9	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	2901	5,99	0,08
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	2901	12,15	0,12
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
10	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	2901	5,99	0,08
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	2901	6,88	0,06
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
11	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	2815	4,49	0,06
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	2815	10,63	0,10
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10
12	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	2815	4,49	0,06
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	2901	6,88	0,06
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	2901	13,53	0,10

Die Auswertung nach DIN 1054:1976-11 unterscheidet nicht zwischen starren oder weichen Systemen, so dass die Werte hierfür in Bild 5.2 mit denen in Bild 5.1 übereinstimmen. Für die Berechnung nach DIN 1054:2005-01 bei starren Systemen werden die Mittelwerte der Probelastungsergebnisse verwendet. Der Variationskoeffizient s_N / \bar{R}_{1m} beeinflusst hierbei nach Abschnitt 2.3 den Streuungsfaktor ξ .

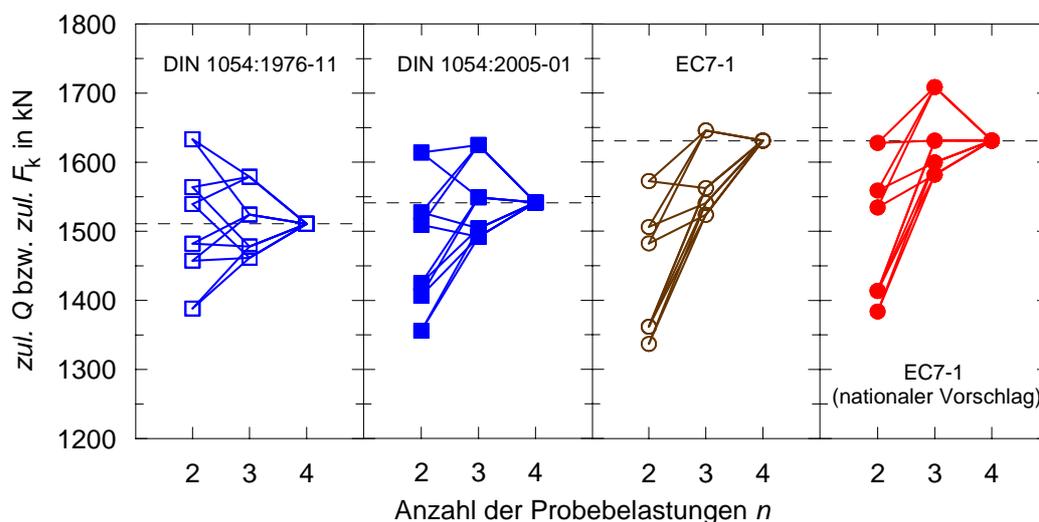


Bild 5.2: Zulässige Belastungen von Fertigrammpfählen nach Variation der Kombination von Probelastungsergebnissen bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Insgesamt ist festzustellen, dass die maßgebenden zulässigen Belastungen $zul. F_{k(n=4)}$ für starre Systeme erwartungsgemäß größer sind. Bezogen auf die zulässige Belastung $zul. Q_{(n=4)} = 1511,0 \text{ kN}$ nach DIN 1054:1976-11 ist $zul. F_{k(n=4)} = 1541,0 \text{ kN}$ nach DIN 1054:2005-01 in etwa 2 % und $zul. F_{k(n=4)} = 1631,0 \text{ kN}$ nach EC 7-1 und EC 7-1 (nationaler Vorschlag) in etwa 8 % größer.

Zur weiteren Veranschaulichung werden für $zul. F_k$ bzw. $zul. Q$ der möglichen Kombinationspfade aus Bild 5.1 bzw. 5.2, die durch Variation der Probelastungsergebnisse von einem Baufeld entstehen, die Mittelwerte der zulässigen Belastungen in Bild 5.3 für weiche Systeme und Bild 5.4 für starre Systeme dargestellt. Die daraus resultierenden mittleren Kombinationspfade werden in Bild 5.3a) bzw. Bild 5.4a) zusammengefasst. In den Bildern 5.3b)-d) bzw. Bilder 5.4b)-d) werden in Abhängigkeit der Anzahl der Probelastungen die Streuungen der jeweiligen Kombinationen dargestellt. Die Berechnungsergebnisse sind Tabelle 5.3 bzw. 5.4 zu entnehmen.

Besonders deutlich wird die Auswirkung der zufälligen Kombination der Probelastungsergebnisse auf die zulässige Belastung bei der Berechnung für weiche Systeme, siehe Bild 5.3. Während nach DIN 1054:1976-11 bei einer Abweichung vom Mittelwert kleiner 30 % immer

der Mittelwert maßgebend ist, wird bei der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 bei weichen Systemen der Mindestwert verwendet. Da bei den Berechnungsverfahren nach EC 7-1 und EC 7-1 (nationaler Anhang) das Minimum aus Kleinstwert und Mittelwert maßgebend ist, nimmt die zulässige Belastung mit zunehmender Anzahl n der Probelastungsergebnisse zu und liefert für beide Verfahren mit $n = 4$ und für das Verfahren nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) bereits für $n = 3$ zulässige Belastungen, die in etwa dem Ergebnis nach dem Globalsicherheitskonzept entsprechen. In Bild 5.3b) sind für alle möglichen Kombinationen mit $n = 2$, in Bild 5.3c) für $n = 3$ und in Bild 5.3d) für $n = 4$ die zulässigen Belastungen in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten dargestellt. Hierbei ist erwartungsgemäß mit zunehmender Streuung eine Abnahme der zulässigen Belastung festzustellen.

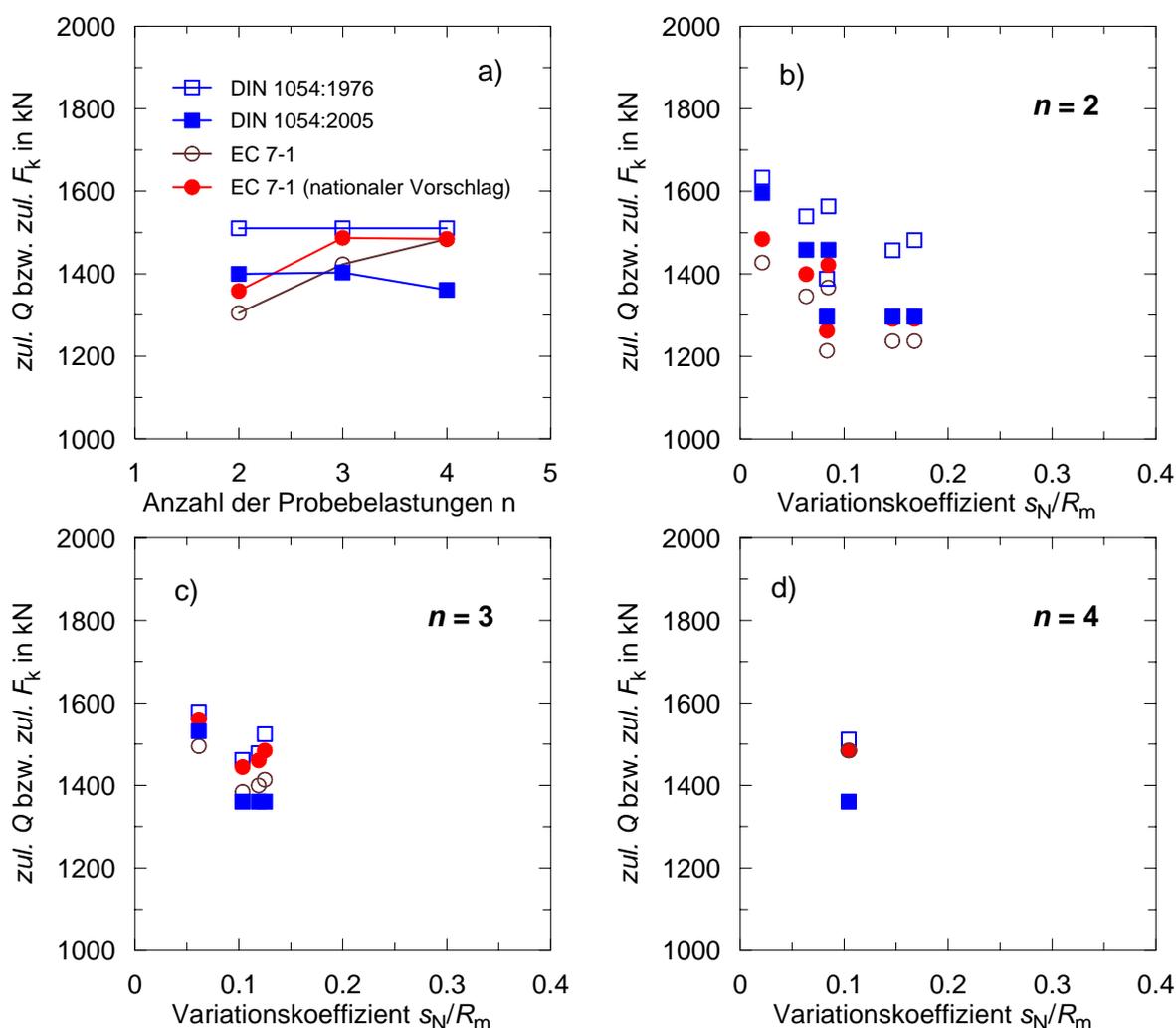


Bild 5.3: Mittlere zulässige Belastungen von Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton bei Variation der Kombination der Probelastungsergebnisse eines Baufeldes für weiche Systeme und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ a) Mittelwerte, b) $n = 2$, c) $n = 3$ und d) $n = 4$

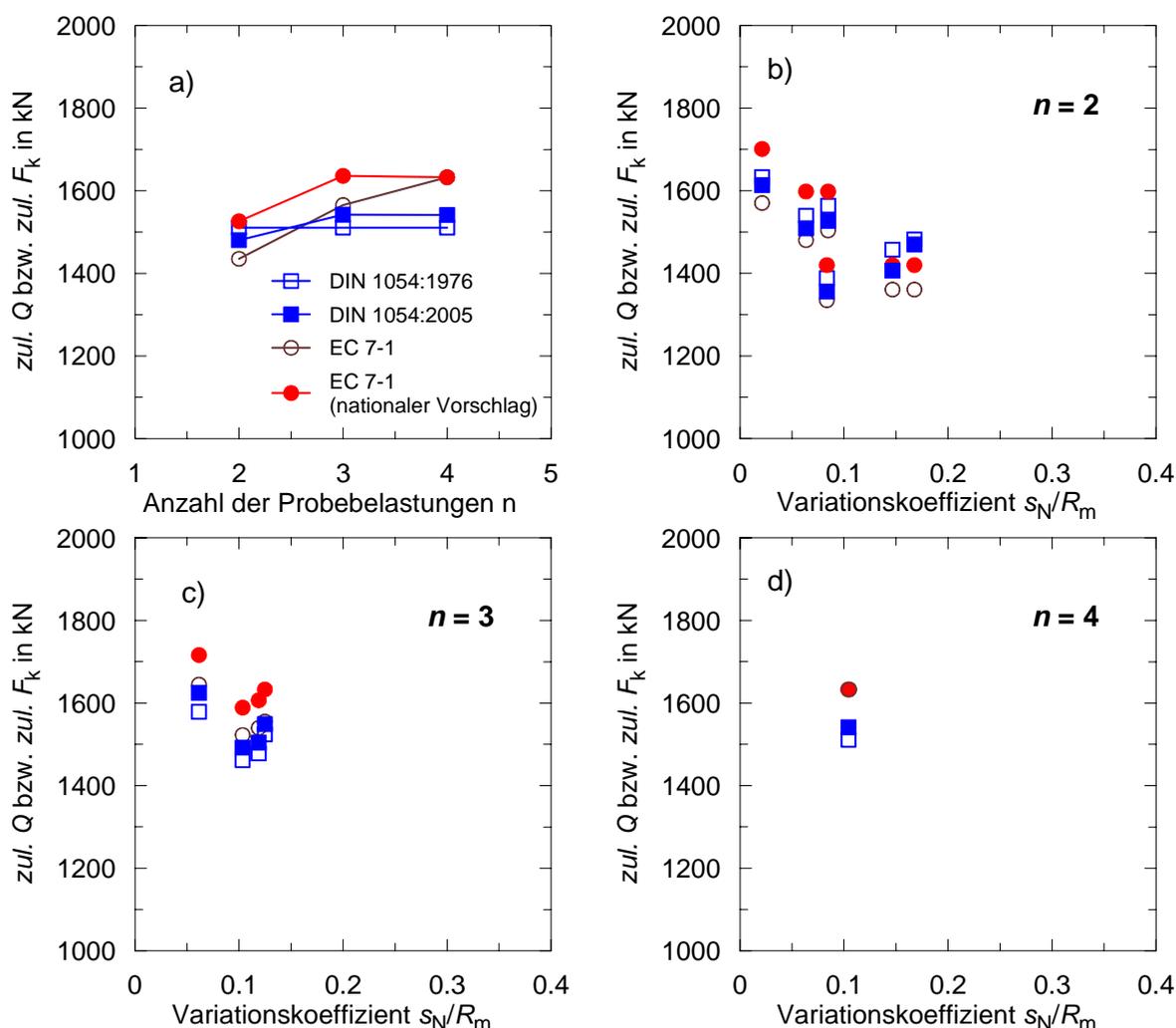


Bild 5.4: Zulässige Belastungen von Fertigrammpfählen bei Variation der Kombination der Probelastungsergebnisse eines Baufeldes für starre Systeme und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ a) Mittelwerte, b) $n = 2$, c) $n = 3$ und d) $n = 4$

Die Ergebnisse für die Auswertung von starren Systemen liefern für das Verfahren nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ebenso wie bereits bei den weichen Systemen eine Zunahme der zulässigen Belastung mit steigender Anzahl n der Probelastungen und liegen bereits für $n = 2$ in etwa 3 % über den Werten nach DIN 1054:2005-01.

Die Ergebnisse der Auswertung der möglichen Kombinationen von realen Probelastungsergebnissen verdeutlichen zum einen, dass die Streuungen auf einem Baufeld mit homogenen Baugrundverhältnissen erwartungsgemäß gering ist und zum anderen, dass mit zunehmender Streuung die zulässige Belastung bei allen Verfahren tendenziell abnimmt. Bei weichen Systemen sind die Ergebnisse nach DIN 1054:2005-01 generell geringer als nach dem Global sicherheitskonzept und nehmen aufgrund der Mindestwertbetrachtung bei Berücksichtigung aller Probelastungen sogar noch ab.

Tabelle 5.3: Mittlere zulässige Belastungen bei Variation der Kombinationen der Probebelastungsergebnisse auf einem Baufeld für weiche Systeme und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

n	$R_{c,m;1}$ in kN	$R_{c,m;2}$ in kN	$R_{c,m;3}$ in kN	$R_{c,m;4}$ in kN	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	DIN 1054:1976		DIN 1054:2005		EC 7-1		EC 7-1 (nat. Vors.)	
						zul.Q	zul.Q̄	zul.F _k	zul.F̄ _k	zul.F _k	zul.F̄ _k	zul.F _k	zul.F̄ _k
2	2286	-	-	2901	0,17	1482	1511	1296	1400	1237	1305	1291	1358
	2286	-	2815	-	0,15	1457		1296		1237		1291	
	2286	2573	-	-	0,08	1388		1296		1214		1262	
	-	-	2815	2901	0,02	1633		1596		1428		1485	
	-	2573	-	2901	0,08	1564		1459		1367		1422	
	-	2573	2815	-	0,06	1539		1459		1346		1399	
3	2286	-	2815	2901	0,12	1524	1511	1361	1403	1414	1423	1484	1487
	2286	2573	-	2901	0,12	1478		1361		1400		1461	
	2286	2573	2815	-	0,10	1462		1361		1384		1444	
	2573	-	2815	2901	0,06	1579		1532		1495		1560	
4	2286	2901	2815	2573	0,10	1511	1511	1361	1361	1484	1484	1484	1484

Tabelle 5.4: Mittlere zulässige Belastungen bei Variation der Kombinationen der Probebelastungsergebnisse auf einem Baufeld für starre Systeme und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

n	$R_{c,m;1}$ in kN	$R_{c,m;2}$ in kN	$R_{c,m;3}$ in kN	$R_{c,m;4}$ in kN	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	DIN 1054:1976		DIN 1054:2005		EC 7-1		EC 7-1 (nat. Vors.)	
						zul.Q	zul.Q̄	zul.F _k	zul.F̄ _k	zul.F _k	zul.F̄ _k	zul.F _k	zul.F̄ _k
2	2286	-	-	2901	0,17	1482	1511	1470	1480	1361	1435	1420	1526
	2286	-	2815	-	0,15	1457		1407		1361		1420	
	2286	2573	-	-	0,08	1388		1356		1335		1420	
	-	-	2815	2901	0,02	1633		1614		1570		1701	
	-	2573	-	2901	0,08	1564		1527		1504		1598	
	-	2573	2815	-	0,06	1539		1509		1480		1598	
3	2286	-	2815	2901	0,12	1524	1511	1549	1542	1555	1566	1633	1636
	2286	2573	-	2901	0,12	1478		1504		1540		1607	
	2286	2573	2815	-	0,10	1462		1492		1523		1589	
	2573	-	2815	2901	0,06	1579		1625		1645		1716	
4	2286	2901	2815	2573	0,10	1511	1511	1541	1542	1633	1633	1633	1633

Die beiden Berechnungsverfahren nach EC 7-1 liefern sowohl für weiche als auch für starre Systeme plausible Ergebnisse, die mit zunehmender Anzahl n von Probelastungen auch eine zunehmende zulässige Belastung ergeben. Hierbei können für das Verfahren EC 7-1 (nationaler Vorschlag) aufgrund der modifizierten Anpassungsfaktoren im Allgemeinen gute Übereinstimmungen mit dem alten Globalsicherheitskonzept erzielt werden. Für weiche Systeme sind die Abweichungen vernachlässigbar klein und bei den starren Systemen, die von DIN 1054:1976-11 nicht berücksichtigt werden, ergeben sich etwas größere zulässige Belastungen mit zunehmender Anzahl der Probelastungen.

5.2.3 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Fertigrammpfählen aus Stahlbeton an verschiedenen Standorten

Die zulässigen Belastungen für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton werden in Bild 5.5 für weiche und Bild 5.6 für starre Systeme dargestellt. Die detaillierten Angaben zu den Probelastungen an unterschiedlichen Standorten (Baufelder) sind der Tabelle 5.5 und zu den Berechnungsergebnissen der Anlage 3.2.1 zu entnehmen. Die Angabe Nr. in Bild 5.5 und 5.6 bezieht sich auf die Baufeld-Nr. in Tabelle 5.5.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen *zul.* F_k nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt. Die Abszisse des Balkendiagramms enthält Angaben zur Anzahl der untersuchten Probelastungsergebnisse n , den Variationskoeffizienten $s_N / \bar{R}_{c;m}$ und der Abweichung vom Mittelwert ΔR .

ANMERKUNG Den ausführlichen Erläuterungen in Abschnitt 5.2.2 bezüglich möglicher Kombinationen und Streuungen liegt das Baufeld Nr. 6 zugrunde.

Die untersuchten Probelastungsergebnisse der Fertigrammpfähle aus Stahlbeton ergeben bei der Auswertung für weiche Systeme nach den Verfahren des Teilsicherheitskonzeptes generell geringere Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ als nach dem Globalsicherheitskonzept, da in DIN 1054:1976-11 eine Unterscheidung zwischen weichen und starren Systemen noch nicht gegeben war.

Lediglich für das Baufeld Nr. 5, welches eine äußerst geringe Streuung der Ergebnisse aufweist, werden nach DIN 1054:2005-01 vergleichbare Ergebnisse erzielt.

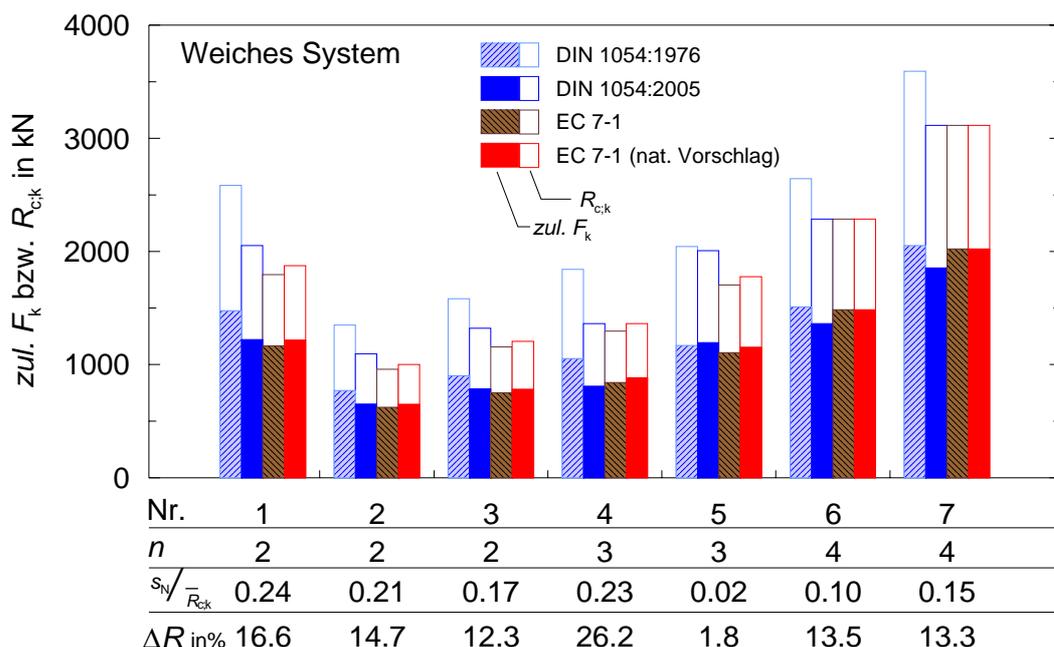


Bild 5.5: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Fertigrampfpfählen (Stahlbeton) bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungen

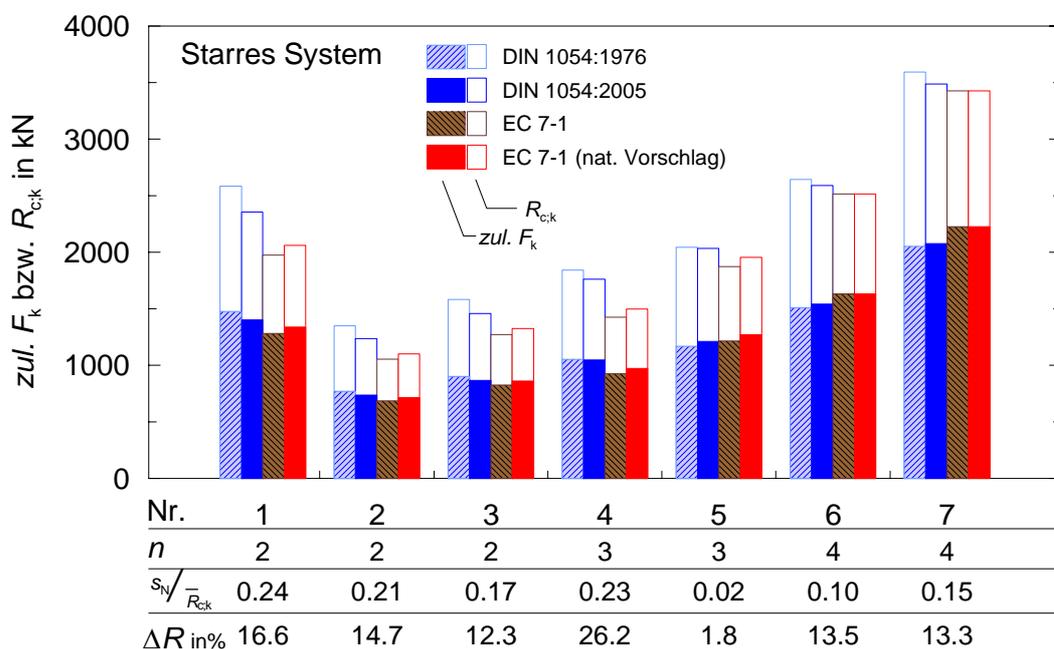


Bild 5.6: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Fertigrampfpfählen (Stahlbeton) bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungen

Der Vergleich der zulässigen Belastung $zul. F_k$ unter Berücksichtigung einer realistischen Einwirkungskombination mit $\gamma_{G,Q} = 1,40$ liefert für die Baufelder Nr. 2, 3, 5, 6 und 7 mit einer Abweichung ΔR bis in etwa 15 % vom Mittelwert gute Übereinstimmungen für alle Nach-

weisverfahren. Für die Baufelder Nr. 1 und 4 mit $\Delta R > 15\%$ resultieren allerdings für die Ergebnisse nach DIN 1054:1976-11 höhere zulässige Belastungen, als für die übrigen Berechnungsverfahren. Die Ergebnisse nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) nähern sich mit Ausnahme der beiden zuvor genannten Baufelder gut den zulässigen Belastungen nach dem Globalsicherheitskonzept an.

Tabelle 5.5: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton (FRP-STB)

Nr.	Abmessung in m		$q_{c;k,i,M}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahlherstellung	Standzeit Δt in d	Ort
	a_s	d					
FRP-STB_1.1	0,34	5,00	20,00	3014	1970	-	Hamburg, Köhlbrandhöft
FRP-STB_1.2	0,34	5,00	20,00	2155	1970	-	
FRP-STB_2.1	0,38	6,30	7,50	1151	10.01.1969	7	Moorburg, HEW
FRP-STB_2.2	0,38	6,00	8,00	1548	20.07.1969	2	
FRP-STB_3.1	0,30	5,45	12,50	1775	01/1979	-	Hamburg, Finkenwerder
FRP-STB_3.2	0,30	4,60	12,50	1387	08.01.1979	9	
FRP-STB_4.1	0,34	3,50	10,00	1975	1974	-	Hamburg, Deutsche Veedol
FRP-STB_4.2	0,34	3,00	10,00	1361	04.11.1974	1	
FRP-STB_4.3	0,34	4,00	12,50	2193	04.11.1974	8	
FRP-STB_5.1	0,35	5,60	15,00	2023	24.11.1978	9	Hamburg, Finkenwerder
FRP-STB_5.2	0,35	5,40	12,50	2101	01.03.1979	-	
FRP-STB_5.3	0,35	4,00	20,00	2007	24.06.1981	16	
FRP-STB_6.1	0,34	7,20	14,60	2286	20.05.1980	6	Hamburg, Hoesch
FRP-STB_6.2	0,34	7,50	15,00	2901	1980	-	
FRP-STB_6.3	0,34	7,70	15,00	2815	1980	-	
FRP-STB_6.4	0,34	7,20	17,50	2573	20.05.1980	6	
FRP-STB_7.1	0,34	4,70	10,70	3115	22.09.1970	6	Hamburg, Finkenwerder Reynolds
FRP-STB_7.2	0,34	4,80	17,50	4158	11.10.1970	4	
FRP-STB_7.3	0,34	3,70	20,00	3966	22.10.1970	10	
FRP-STB_7.4	0,34	4,20	10,00	3134	22.09.1970	7	

Erwartungsgemäß sind bei den starren Systemen genauso wie bei den weichen Systemen die Grenztragfähigkeiten $R_{c,k}$ nach dem Teilsicherheitskonzept infolge der Berücksichtigung der

unterschiedlichen Streuungsfaktoren geringer als nach dem Globalsicherheitskonzept. Allerdings sind die Abweichung bei einer Auswertung für starre Systeme kleiner als für weiche Systeme. Die zulässigen Belastungen der verschiedenen Verfahren weisen geringe Unterschiede auf, wobei die Ergebnisse nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) für die Baufelder Nr. 1 bis 4 mit 2 bzw. 3 Probelastungsergebnissen geringfügig kleiner und für Nr. 5 bis 7 mit 3 bzw. 4 Pfahlversuchen etwas größer sind als nach DIN 1054:1976-11.

5.2.4 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Bohrpfählen an verschiedenen Standorten

Die zulässigen Belastungen für Bohrpfähle aus realen Probelastungsergebnissen an verschiedenen Standorten werden in Bild 5.7 für weiche und Bild 5.8 für starre Systeme dargestellt. Die Angaben zu den Probelastungen sind der Tabelle 5.6 und zu den Berechnungsergebnissen der Anlage 3.2.2 zu entnehmen.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen $zul. F_k$ nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt.

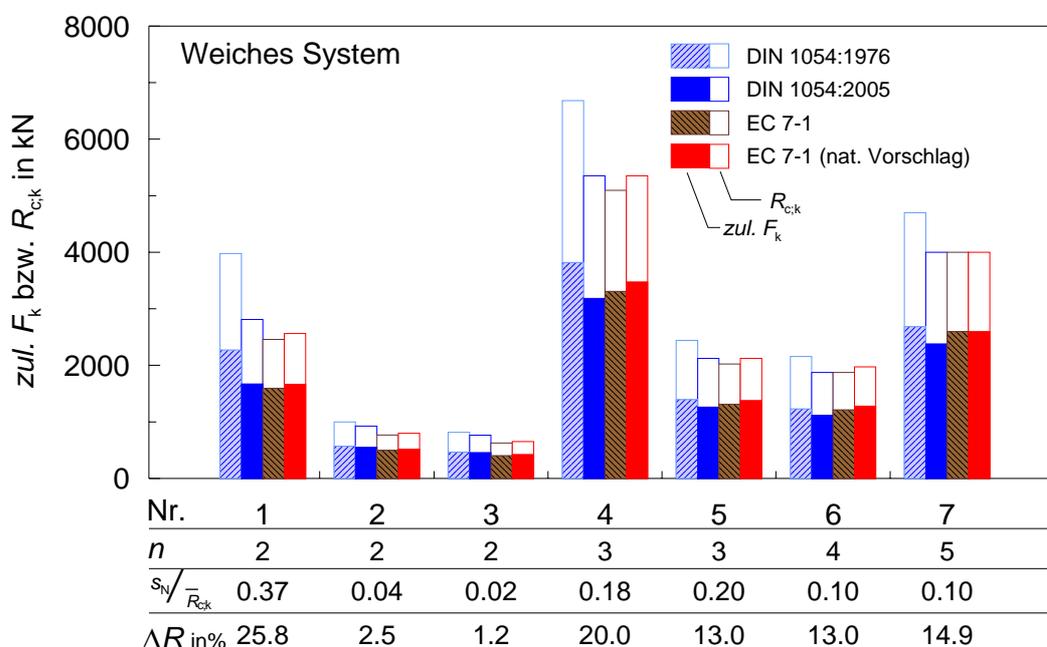


Bild 5.7: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Bohrpfählen bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

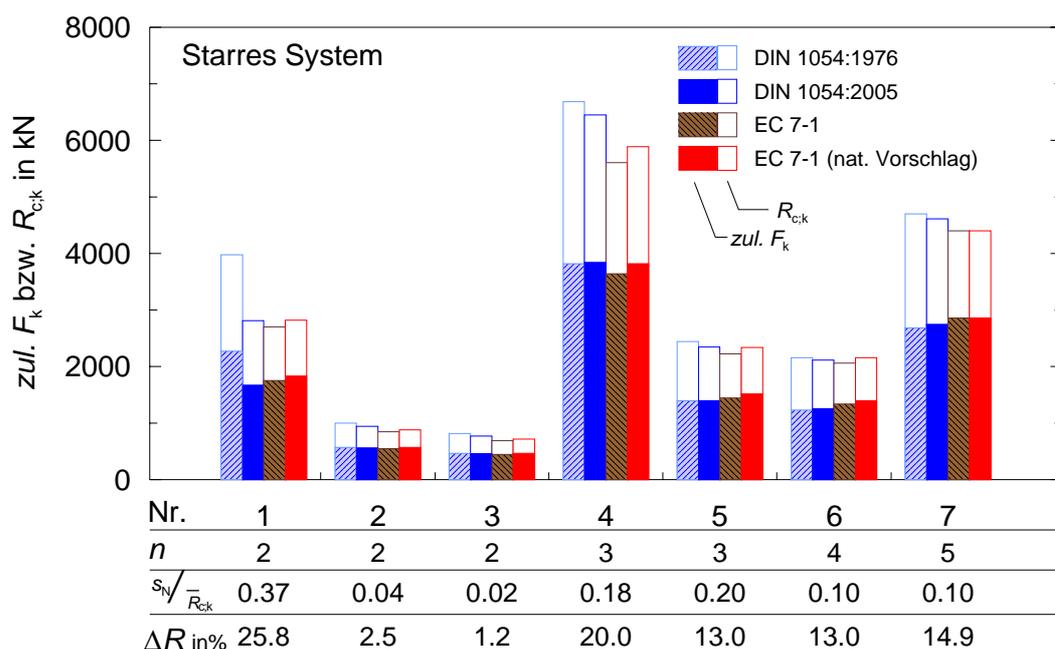


Bild 5.8: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Bohrpfählen bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

Die Untersuchungsergebnisse für die Bohrpfähle weisen bei der Auswertung für weiche Systeme für alle Nachweisverfahren mit Ausnahme der Baufelder Nr. 1 und 4, deren Ergebnisse mit $\Delta R > 20\%$ erhebliche Abweichungen vom Mittelwert beschreiben, sehr gute Übereinstimmungen für die zulässigen Belastungen auf. Wie bereits zuvor in Abschnitt 5.2.3 festgestellt wird, nehmen mit steigender Anzahl von Probelastungen die zulässigen Belastungen nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) zu.

Die Auswertung für starre Systeme ergibt für die zulässigen Belastungen nach den jeweiligen Verfahren vergleichbare Ergebnisse. Am Beispiel des Baufeldes Nr. 1 mit 2 Probelastungsergebnissen ist die Auswirkung des Verfahrens nach EC 7-1 erkennbar, da hier in diesem Fall genauso wie bei der Auswertung für weiche Systeme der Kleinstwert aus den Probelastungen maßgebend ist und nicht wie bei der „alten“ DIN 1054 der Mittelwert der Probelastungsergebnisse. Aufgrund des größeren Variationskoeffizienten wird auch für das Verfahren nach DIN 1054:2005-01 zur Ermittlung der zulässigen Belastung ebenso der Mindestwert maßgebend, der in etwa zu einem 10 % kleineren Ergebnis führt als nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag).

Tabelle 5.6: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Bohrpfähle (BP)

Nr.	Abmessung in m		$q_{c;k,i.M.}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahl- herstellung	Baustelle
	D_s/D_b	d				
BP_1.1	0,90/0,90	9,05	7,50	5005	1968	Bremen, C.- Franke-Straße
BP_1.2	0,90/0,90	9,30	7,50	2950	1968	
BP_2.1	0,40/0,40	5,85	20,00	1025	1959	Bremerhaven
BP_2.2	0,40/0,40	5,83	20,00	975	1959	
BP_3.1	0,38/0,38	6,22	20,00	805	1959	Bremerhaven
BP_3.2	0,38/0,38	6,30	20,00	805	1959	
BP_4.1	1,10/1,10	9,00	20,00	7000	1977	Süderelbe, Pumpwerk
BP_4.2	1,10/1,10	9,00	18,00	7700	1977	
BP_4.3	1,10/1,10	9,50	20,00	5350	1977	
BP_5.1	0,62/1,15	6,20	7,50	3000	1969	Köln, Römisch- Germanisches Museum
BP_5.2	0,62/1,15	6,40	7,50	2200	1969	
BP_5.3	0,62/1,15	6,60	6,00	2125	1969	
BP_6.1	0,32/0,80	6,20	20,00	2350	1959	Bremerhaven
BP_6.2	0,32/0,80	6,05	20,00	2300	1959	
BP_6.3	0,32/0,80	6,20	20,00	2100	1959	
BP_6.4	0,32/0,80	6,22	20,00	1875	1959	
BP_7.1	1,20/1,20	8,50	20,00	4000	1983	Berlin, DEGEB0
BP_7.2	1,20/1,20	8,50	20,00	4700	1983	
BP_7.3	1,20/1,20	8,50	20,00	4750	1983	
BP_7.4	1,20/1,20	8,20	20,00	5250	1983	
BP_7.5	1,20/1,20	8,50	20,00	4800	1983	

5.2.5 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Simplexpfählen an verschiedenen Standorten

Die zulässigen Belastungen für Simplexpfähle aus realen Probelastungsergebnissen an verschiedenen Standorten werden in Bild 5.9 für weiche und Bild 5.10 für starre Systeme dargestellt. Die Angaben zu den Probelastungen sind der Tabelle 5.7 und zu den Berechnungsergebnissen der Anlage 3.2.3 zu entnehmen.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen $zul. F_k$ nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt.

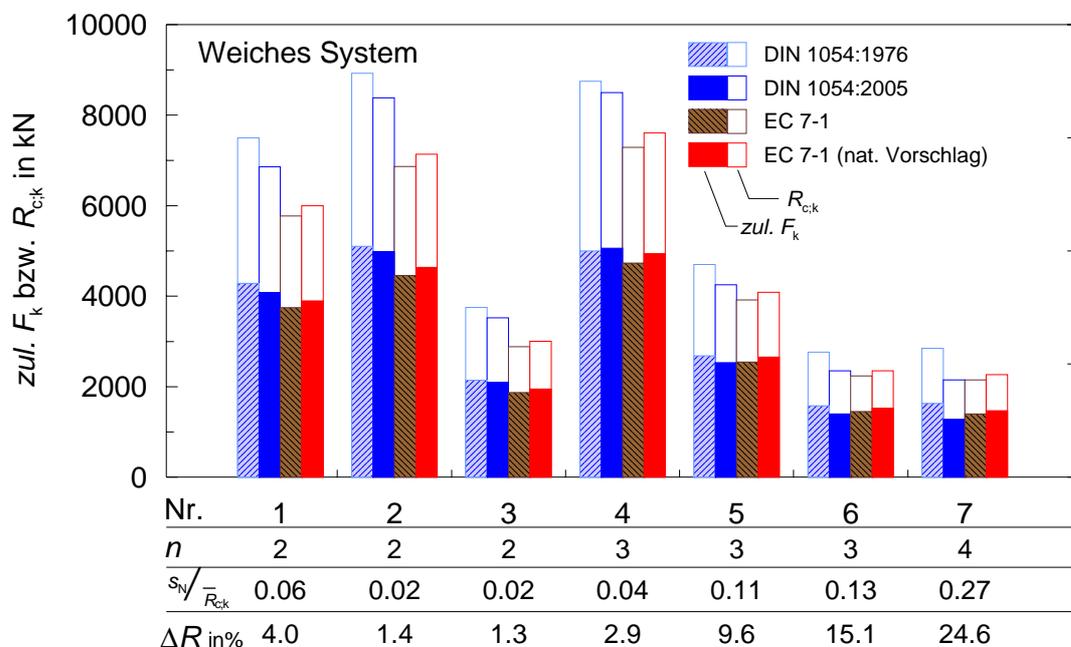


Bild 5.9: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Simplexpfählen bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

Die zulässigen Belastungen für die Simplexpfähle unterscheiden sich nur gering für die weichen Systeme. Für das Baufeld Nr. 7 mit einer großen Streuung der Probelastungsergebnisse kann mit dem Verfahren nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) eine gute Übereinstimmung mit dem Verfahren nach DIN 1054:1976-11 erzielt werden.

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass die Streuungen der hier untersuchten Ortbetonrammpfähle sehr gering ist, lediglich Baufeld Nr. 7 mit 4 Probelastungsergebnissen variiert stärker in den Pfahlversuchsergebnissen. Trotz dieser Streuung bei Baufeld Nr. 7 wird mit dem Verfahren nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) in etwa eine vergleichbare zulässige Belastung wie nach dem Globalsicherheitskonzept berechnet. Gleiches gilt auch für die übrigen Baufelder mit geringerer Streuung. Die Abweichung von DIN 1054:1976-11 ist i.d.R. kleiner als 10 %.

Bei den starren Systemen stimmen die zulässigen Belastungen nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) mit denen nach DIN 1054:1976-11 sehr gut überein. Bei den Baufeldern 4, 5 und 6 sind sie bis zu 10 % größer.

Tabelle 5.7: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Simplexpfähle (SP)

Nr.	Abmessung in m		$q_{c;k,i,M}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahl- herstellung	Baustelle
	D_s/D_b	d				
SP_1.1	0,56/0,66	23,70	20,00	7800	23.01.1996	Cuxhaven, Amerikahafen
SP_1.2	0,56/0,66	23,70	20,00	7200	11.06.1996	
SP_2.1	0,60/0,64	23,20	13,00	8800	30.07.1986	Brake, Mittelpier
SP_2.2	0,60/0,64	23,20	13,00	9050	02.08.1986	
SP_3.1	0,42/0,46	19,00	14,00	3700	26.07.1993	Bunde- Westerstede
SP_3.2	0,42/0,46	19,00	16,00	3800	26.07.1993	
SP_4.1	0,61/0,68	18,25	20,00	9000	13.12.1993	Lübeck-Siems, KW
SP_4.2	0,61/0,68	18,00	20,00	8500	13.12.1993	
SP_5.1	0,42/0,42	29,00	13,00	5250	25.04.2002	Wismar, Seehafen
SP_5.2	0,42/0,42	27,50	13,00	4250	29.04.2002	
SP_5.3	0,42/0,42	26,00	13,00	4600	29.12.2002	
SP_6.1	0,42/0,47	15,50	14,00	3050	15.04.1978	-
SP_6.2	0,42/0,47	16,75	20,00	3900	11.05.1978	
SP_6.3	0,42/0,47	16,00	16,00	2350	22.02.1979	
SP_7.1	0,42/0,55	25,00	12,00	2250	25.01.1979	Emden
SP_7.2	0,42/0,55	26,80	22,00	3400	19.03.1979	
SP_7.3	0,42/0,55	20,80	7,00	2150	23.03.1979	
SP_7.4	0,42/0,55	23,60	10,00	3600	07.08.1979	

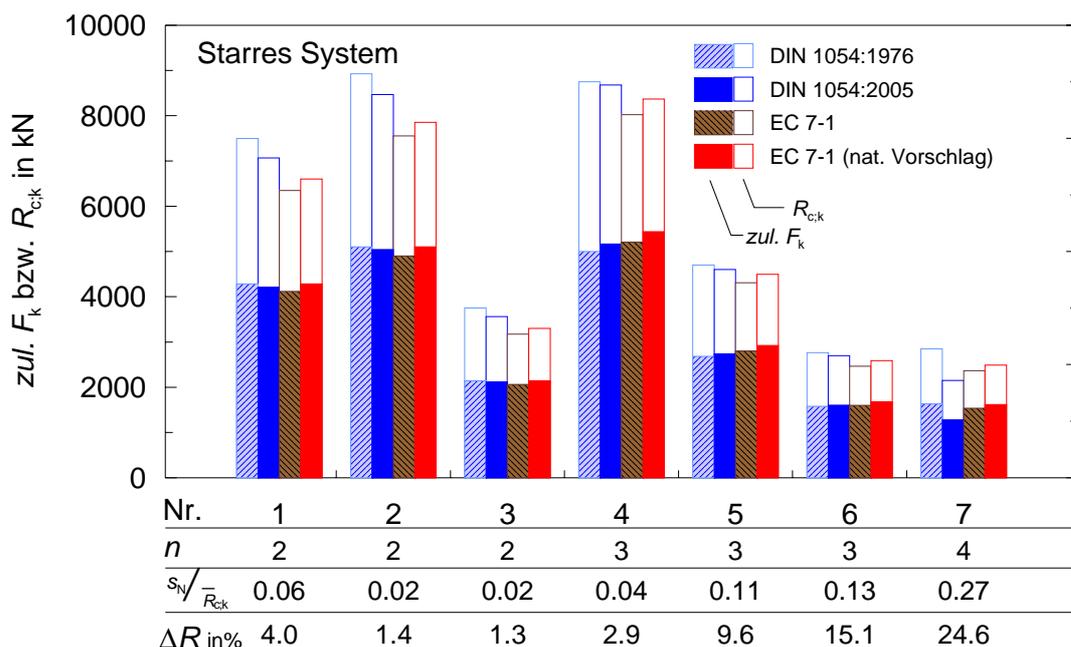


Bild 5.10: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Simplexpfählen bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

5.2.6 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Atlaspfählen an verschiedenen Standorten

Die zulässigen Belastungen für Atlaspfähle aus realen Probelastungsergebnissen an verschiedenen Standorten werden in Bild 5.11 für weiche und Bild 5.12 für starre Systeme dargestellt. Die Angaben zu den Probelastungen sind der Tabelle 5.8 und zu den Berechnungsergebnissen der Anlage 3.2.4 zu entnehmen.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen $zul. F_k$ nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt.

Die Ergebnisse der Auswertung von realen Probelastungsversuchen an Atlaspfählen unterscheiden sich nur gering von den bereits dargestellten Pfahlssystemen. Die Streuung der Probelastungsergebnisse ist mit Ausnahme von Baufeld Nr. 3 sehr gering und die zulässigen Belastungen sowohl für weiche als auch für starre Systeme sind nach den jeweiligen Nachweisverfahren ausgewertet vergleichbar. Für die Ergebnisse nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ergeben sich für weiche Systeme nur sehr geringe Unterschreitungen der Werte nach DIN 1054:1976-11 und für starre Systeme sind die zulässigen Belastungen i.d.R. größer, zumindest aber gleich groß wie die Werte nach „alter“ und „neuer“ DIN 1054.

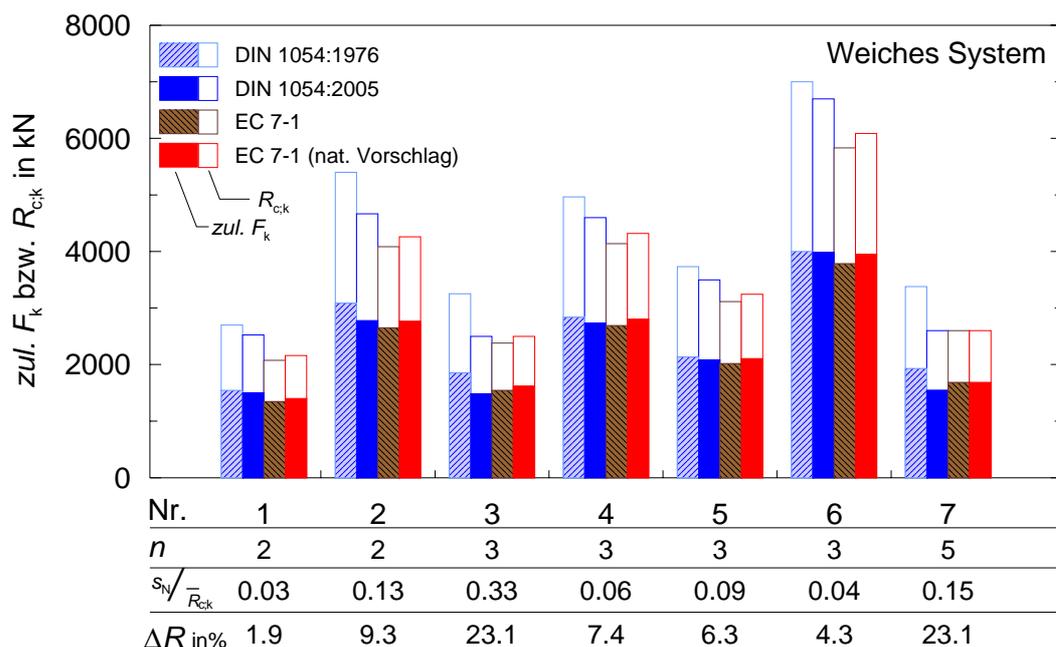


Bild 5.11: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Atlaspfählen bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

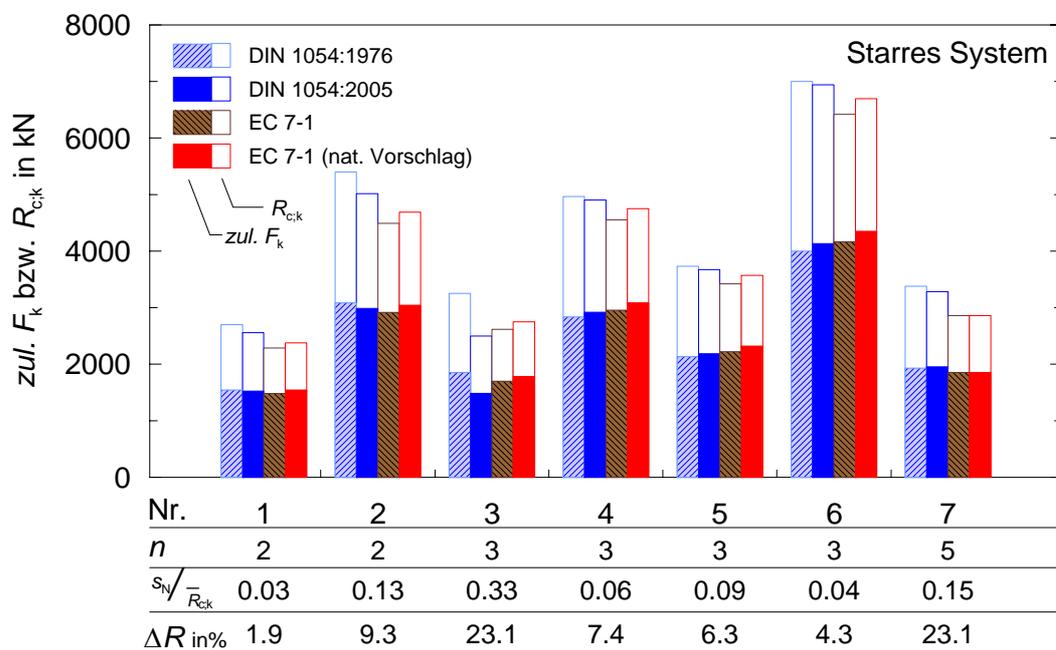


Bild 5.12: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Atlaspfählen bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

Tabelle 5.8: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Atlaspfähle

Nr.	Abmessung in		$q_{c;k,i.M.}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahl- herstellung	Baustelle
	D_s/D_b	d				
AP_1.1	0,41/0,51	12,85	9,00	2750	21.06.1993	Bunde
AP_1.2	0,41/0,51	12,85	10,00	2650	21.06.1993	
AP_2.1	0,46/0,56	17,80	5,00	5900	01.12.1993	Jever, Amtgericht
AP_2.2	0,46/0,56	17,80	4,50	4900	01.12.1993	
AP_3.1	0,46/0,56	6,10	22,00	4000	13.08.1986	Bremen
AP_3.2	0,46/0,56	6,55	23,00	2500	20.08.1986	
AP_3.3	0,46/0,56	7,45	18,00	3600	20.08.1986	
AP_4.1	0,46/0,56	20,95	16,00	5100	15.01.1991	Cuxhaven
AP_4.2	0,46/0,56	20,95	15,00	5200	15.01.1991	
AP_4.3	0,46/0,56	20,95	14,00	4600	16.01.1991	
AP_5.1	0,41/0,51	8,35	16,00	3600	26.07.1999	Bad Doberan, Gymnasium
AP_5.2	0,41/0,51	8,35	16,00	4100	27.07.1999	
AP_5.3	0,41/0,51	7,45	16,00	3500	27.07.1999	
AP_6.1	0,46/0,56	9,70	20,00	7300	28.11.1996	Oldenburg, LZB
AP_6.2	0,46/0,56	10,60	20,00	7000	28.11.1996	
AP_6.3	0,46/0,56	9,25	20,00	6700	29.11.1996	
AP_7.1	0,41/0,51	10,60	17,00	3400	23.01.1998	Wolfenbüttel, Klärwerk
AP_7.2	0,41/0,51	10,60	17,00	3700	23.01.1998	
AP_7.3	0,41/0,51	10,60	18,00	2600	26.01.1998	
AP_7.4	0,41/0,51	9,70	27,00	3900	26.01.1998	
AP_7.5	0,41/0,51	9,25	27,00	3300	26.01.1998	

5.3 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen

5.3.1 Allgemeines

Für dynamische Probelastungen werden die Vergleichsberechnungen für die Pfahlsysteme

- Stahlrohrpfähle und
- Fertigrammpfähle aus Stahlbeton

durchgeführt.

Die Berechnung der Pfahlwiderstände auf der Grundlage von dynamischen Pfahlversuchen erfolgt analog zu Kapitel 3 und 4 für DIN 1054:1976-11, DIN 1054:2005-01 und Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag). Die Auswertung erfolgt für weiche und starre Systeme, wobei die Berechnung nach DIN 1054:1976-11 eine Lastumlagerung nicht berücksichtigt und somit nicht zwischen weichen und starren Systemen unterscheidet. Weiterhin sei nochmals darauf hingewiesen, dass DIN 1054:1976-11 keine dynamischen Probelastungen beinhaltet. Hier also eine Auswertung wie bei statischen Probelastungen erfolgt ist.

Die untersuchten dynamischen Probelastungen sind nach dem CAPWAP-Verfahren, einem erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung, ausgewertet. Beispielhaft wird eine Kalibrierung an vergleichbaren Probelastungen und Baugrundverhältnissen angenommen. Hierdurch wird für das Verfahren nach DIN 1054:2005-01 eine Erhöhung der Streuungsfaktoren ξ um $\Delta\xi = 0,05$ und für das Verfahren nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) eine Erhöhung um $\Delta\xi = 0,10$ erforderlich, siehe Bild 4.4 und Bild 4.5. Nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) sind sämtliche, erhöhte Streuungsfaktoren ξ aufgrund des gewählten Verfahrens zur Auswertung nach Tabelle 3.2 mit dem Modellfaktor $\eta_M = 0,85$ zu multiplizieren.

Zur Berücksichtigung von Lastumlagerungen bei starren Systemen wird für die hier vorliegenden Pfahlprobelastungen nach DIN 1054:2005-01 ausschließlich der Mittelwert der Probelastungsergebnisse zur Berechnung der zulässigen Belastung verwendet. Nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) hingegen wird ebenso wie bei weichen Systemen das Minimum aus Mittelwert und Kleinstwert maßgebend. Allerdings werden die jeweiligen Streuungsfaktoren gegenüber den weichen Systemen nach Abschnitt 2.4 reduziert, siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.

5.3.2 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Stahlrohrpfählen an verschiedenen Standorten

Die zulässigen Belastungen für Stahlrohrpfähle aus realen Probelastungsergebnissen an verschiedenen Standorten werden in Bild 5.13 für weiche Systeme und in Bild 5.14 für starre Systeme dargestellt. Die Angaben zu den Probelastungen sind Tabelle 5.9 und die Berechnungsergebnisse Anlage 3.3.1 zu entnehmen.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen *zul.* F_k nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt.

Der Vergleich der dynamischen Probelastungsergebnisse von Stahlrohrpfählen wird an 6 verschiedenen Baufeldern durchgeführt, die alle nur geringe Streuungen aufweisen.

Für das Baufeld Nr. 1 konnten insgesamt 20 dynamische Probelastungen ausgewertet werden. Die Streuung ist mit einem Variationskoeffizienten von 0,11 gering. Die zulässige Belastung nach EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ist mit einer Abweichung 5 kN nahezu identisch mit der nach DIN 1054:2005-01. Demgegenüber beträgt der Unterschied zur DIN 1054:1976-11 mit einer Abweichung von 920 kN bereits 25 %. Nach dem Globalsicherheitskonzept wird der Mittelwert der 20 Probelastungen für die Ermittlung der zulässigen Belastung maßgebend und nach DIN 1054:2005-01 der Kleinstwert. Bei dem Verfahren nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ist in diesem Fall ebenso der Kleinstwert maßgebend.

Mit Ausnahme von Baufeld Nr. 1, sind die Ergebnisse mit dem Nachweisverfahren EC 7-1 (nationaler Vorschlag) geringer als nach DIN 1054:2005-01. Für das Baufeld Nr. 5 ergibt sich eine maximale Abweichung der zulässigen Belastung von etwa 18 % bzw. 560 kN.

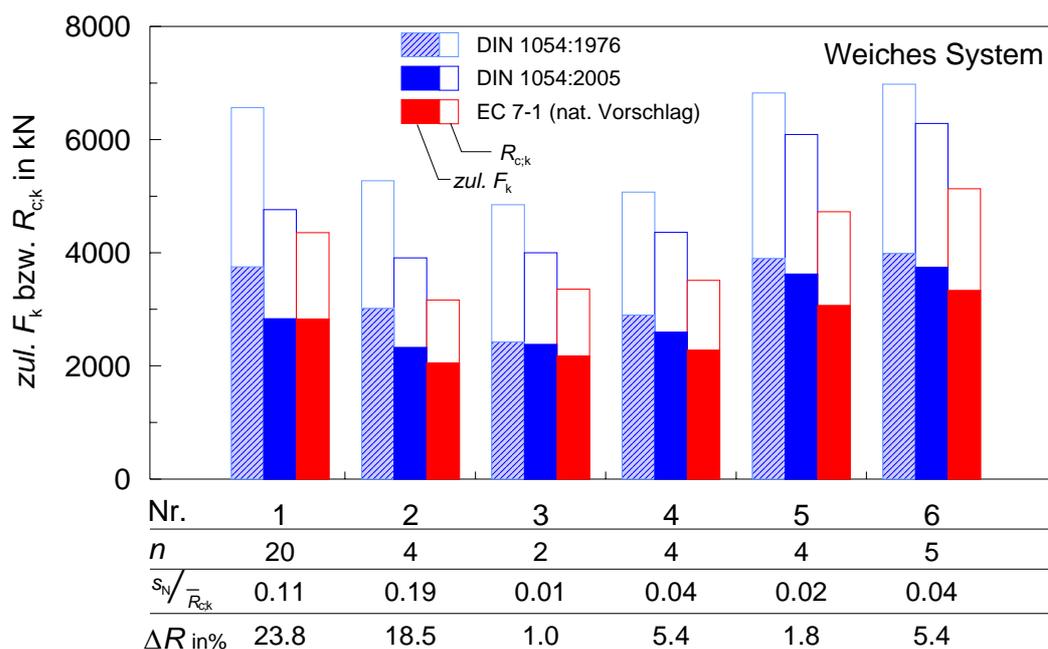


Bild 5.13: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Stahlrohrpfählen bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

Die Vergleichsberechnung für die starren Systeme weist die gleichen Tendenzen wie bei den weichen Systemen auf. Die zulässigen Belastungen nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) sind kleiner als nach DIN 1054:2005-01 und nach DIN 1054:1976-11. Die Unterschiede werden kleiner, so beträgt etwa für das Baufeld Nr. 3 die maximale Abweichung der DIN 1054:2005-01 bezogen auf DIN 1054:1976-11 nur noch 16 %. Für das Verfahren nach

Eurocode EC 7-1 beträgt die Abweichung zur DIN 1054:1976-11 im Mittel in etwa 15 %, wobei für das Baufeld Nr. 2 die maximale Abweichung 25 % bzw. 760 kN beträgt.

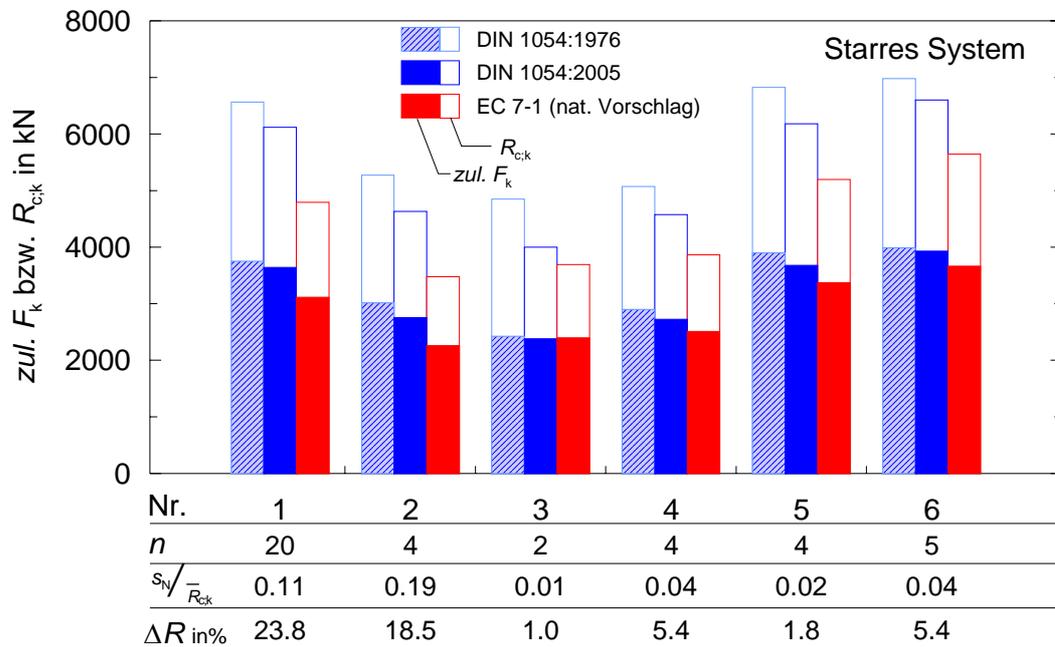


Bild 5.14: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Stahlrohrpfählen bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$ aus verschiedenen Probelastungsergebnissen

Tabelle 5.9: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Stahlrohrpfähle

Nr.	Abmessung in		$q_{c,k,i.M.}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahl- herstellung	Standzeit Δt in d	Baustelle
	D_s m	d m					
FRP-STR_1.1	1,42	18,60	12,00	6100	19.10.1998	20	Hamburg, Europakai
FRP-STR_1.2	1,42	20,60	13,00	5600	19.10.1998	20	
FRP-STR_1.3	1,42	18,60	15,00	7300	16.11.1998	42	
FRP-STR_1.4	1,42	18,60	14,00	6200	19.10.1998	14	
FRP-STR_1.5	1,42	18,60	14,00	7400	17.11.1998	41	
FRP-STR_1.6	1,42	20,60	13,50	7500	17.11.1998	36	
FRP-STR_1.7	1,42	18,60	12,00	7500	18.11.1998	37	
FRP-STR_1.8	1,42	18,60	12,00	7400	18.11.1998	36	
FRP-STR_1.9	1,42	18,60	11,00	7200	18.11.1998	36	
FRP-STR_1.10	1,42	18,60	12,00	7300	18.11.1998	34	
FRP-STR_1.11	1,42	18,60	12,00	6800	18.11.1998	34	
FRP-STR_1.12	1,42	20,60	15,00	6500	11.11.1998	21	
FRP-STR_1.13	1,42	20,60	16,00	6400	11.11.1998	21	
FRP-STR_1.14	1,42	18,60	15,00	6700	11.11.1998	19	
FRP-STR_1.15	1,42	20,60	15,00	6800	11.11.1998	19	
FRP-STR_1.16	1,42	20,60	17,00	5000	11.11.1998	5	
FRP-STR_1.17	1,42	18,60	17,00	5400	16.11.1998	3	
FRP-STR_1.18	1,42	20,60	17,00	6100	04.01.1999	53	
FRP-STR_1.19	1,42	20,60	17,00	6100	04.01.1999	45	
FRP-STR_1.20	1,42	20,60	17,00	6000	04.01.1999	46	
FRP-STR_2.1	1,42	17,40	12,50	4300	05.12.2000	0	Hamburg, Kaimauer Kamerunkai
FRP-STR_2.2	1,42	17,40	12,50	6000	05.12.2000	0	
FRP-STR_2.3	1,42	17,40	12,50	4500	05.12.2000	0	
FRP-STR_2.4	1,42	17,40	12,50	6300	05.12.2000	0	
FRP-STR_3.1	1,42	25,20	8,00	4800	26.04.1995	6	Hamburg, Fa. Wallmann
FRP-STR_3.2	1,42	26,50	5,00	4900	26.04.1995	18	
FRP-STR_4.1	1,22	16,60	12,00	5200	10.04.1995	19	Hamburg, Sandtorhafen- brücke
FRP-STR_4.2	1,22	16,60	12,00	5300	10.04.1995	18	
FRP-STR_4.3	1,22	18,60	12,00	4800	28.04.1995	35	
FRP-STR_4.4	1,22	18,60	12,00	5000	28.04.1995	35	
FRP-STR_5.1	1,37	27,00	20,00	6900	02.10.1990	40	Hamburg, Strandkai
FRP-STR_5.2	1,37	27,00	20,00	7000	02.10.1990	35	
FRP-STR_5.3	1,37	27,00	20,00	6700	02.10.1990	35	
FRP-STR_5.4	1,37	27,00	20,00	6700	02.10.1990	43	
FRP-STR_6.1	1,32	27,00	20,00	7200	03.09.1990	6	Hamburg, Strandkai
FRP-STR_6.2	1,32	27,00	20,00	6600	03.09.1990	11	
FRP-STR_6.3	1,32	27,00	20,00	6900	03.09.1990	6	
FRP-STR_6.4	1,32	27,00	20,00	7000	03.09.1990	6	
FRP-STR_6.5	1,32	27,00	20,00	7200	03.09.1990	14	

5.3.3 Pfahlprobelastungsergebnisse mit Fertigrammpfählen aus Stahlbeton auf einem Baufeld

Die zulässigen Belastungen für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton aus realen Probelastungsergebnissen von einem Baufeld werden in Bild 5.15 für weiche Systeme und in Bild 5.16 für starre Systeme dargestellt. Die Angaben zu den Probelastungen sind Tabelle 5.10 und die Berechnungsergebnisse der Anlage 3.3.2 zu entnehmen.

In den Diagrammen werden zum direkten Vergleich sowohl die Pfahltragfähigkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit $R_{c;k}$ nach Abschnitt 2.2 bis Abschnitt 2.4 mit durchgezogenen Linien und die zulässigen Belastungen $zul. F_k$ nach Gleichung 4.1 mit ausgefüllten Balken für die untersuchten Baufelder dargestellt.

Für die Fertigrammpfähle aus Stahlbeton wird die Vergleichsberechnung exemplarisch für ein Baufeld mit $n = 3$ Probelastungen durchgeführt. Wie bei allen anderen hier untersuchten Baufeldern ist die Streuung mit einem Variationskoeffizienten von 0,10 und einer Abweichung $\Delta R = 10,9 \%$ vom Mittelwert eher gering.

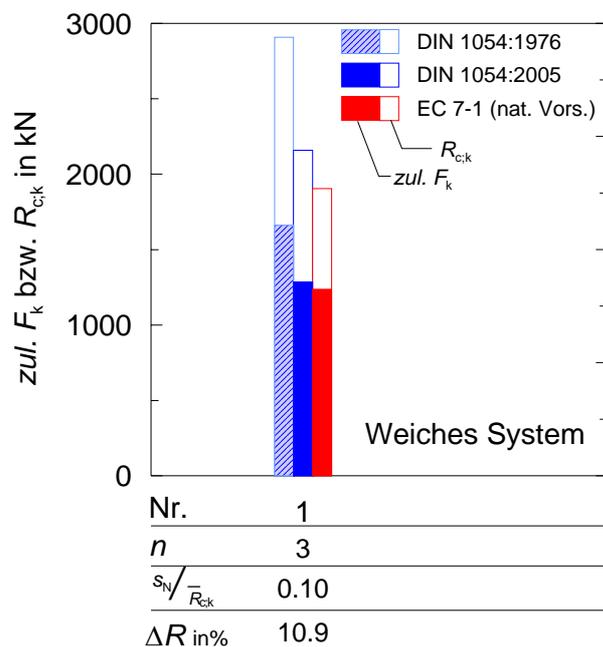


Bild 5.15: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Fertigrammpfählen aus Stahlbeton bei weichen Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Die Ergebnisse der Auswertung für die Fertigrammpfähle aus Stahlbeton von einem Baufeld sind vergleichbar mit denen der Stahlrohrpfähle. Die zulässigen Belastungen nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ist mit einer Abweichung von 4 % geringfügig kleiner als nach DIN 1054:2005-01 und um in etwa 25 % geringer als nach DIN 1054:1976-11.

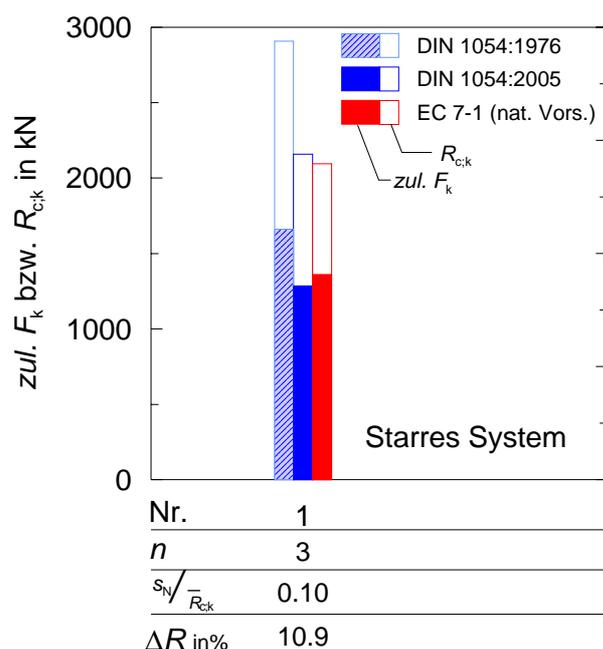


Bild 5.16: Pfahlwiderstände und zulässige Belastungen von Fertigrampfpfählen aus Stahlbeton bei starren Systemen und $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Da das untersuchte Baufeld nur 3 Probelastungen aufweist, wird für das Verfahren nach DIN 1054:2005-01 für starre Systeme ebenso wie für weiche Systeme der Kleinstwert maßgebend, siehe Tabelle 2.2. Hierdurch sind die dargestellten Ergebnisse in Bild 5.15 und Bild 5.16 identisch. Die zulässige Belastung nach Eurocode EC 7-1 (nationaler Vorschlag) ist bei den starren Systemen 18 % bzw. 300 kN geringer als nach DIN 1054:1976-11.

Tabelle 5.10: Probelastungsergebnisse von verschiedenen Baufeldern für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton (FRP-STB)

Nr.	Abmessung in		$q_{c;k;i.M.}$ in MN/m ²	$R_{c,m}$ in kN	Pfahl- herstellung	Baustelle
	a_s m	d m				
FRP-STB_1.1	0,40	20,10	15,00	3170	2002	Hamburg, Finkenwerder
FRP-STB_1.2	0,40	22,00	15,00	2590	2002	
FRP-STB_1.3	0,40	21,10	15,00	2960	2002	

6 Tendenzen bei verschiedenen Lastfällen und Bemessungssituationen

In den vorstehenden Kapiteln wurde zunächst eine Kalibrierung der Streuungsfaktoren sowie die Vergleichsberechnungen bezüglich der unterschiedlichen Normen nur für den Lastfall 1 (BS-P) vorgenommen.

Für die Lastfälle 2 und 3 (BS-T und BS-A) ergeben sich analog zu Abschnitt 2.5.2 und Kapitel 3 andere globale Sicherheiten, da die Teilsicherheitsbeiwerte entsprechend Tabelle 6.1 gewählt werden müssen.

Tabelle 6.1: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (nach Tabelle A 2-1 aus DIN 1054:2008, Anwendungsregel zu EC 7-1)

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-P	BS-P
STR, GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen				
Beanspruchung aus ständigen Einwirkungen, allgemein	γ_G	1,35	1,25	1,10
Beanspruchung aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10

Für den Lastfall 2 (BS-T) ergibt sich nach Gleichung 2.15 als wahrscheinliche Einwirkungs-

kombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 6.1 $\gamma_{G,Q} = \frac{2}{3} \cdot 1,25 + \frac{1}{3} \cdot 1,30 = 1,27$.

Anhand einiger ausgewählter Berechnungen wird der Einfluss des Lastfalles/der Bemessungssituation dargestellt:

a) statische Pfahlprobebelastungen

a1) weiches System

für $n = 1$ mit $\xi_1 = \xi_2 = 1,35$

$$\eta^* = 1,27 \cdot 1,35 \cdot 1,10 = 1,88 > 1,75 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,25$ und $\xi_2 = 1,15$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,25 \cdot 1,10 = 1,75 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 1,15 \cdot 1,10 = 1,60 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

a2) starres System

für $n = 1$ mit $\xi_1 = \xi_2 = 1,35/1,1 = 1,23$

$$\eta^* = 1,27 \cdot 1,23 \cdot 1,10 = 1,71 \approx 1,75 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,25/1,1 = 1,14$ und $\xi_2 = 1,15/1,1 = 1,05$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,14 \cdot 1,10 = 1,60 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 1,05 \cdot 1,10 = 1,46 \approx 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

b) dynamische Pfahlprobebelastungen, an gleichen Baufeld mit vollständigem Verfahren und erweiterter Modellbildung kalibriert

b1) weiches System

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,36$ und $\xi_2 = 1,28$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,36 \cdot 1,10 = 1,90 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 1,28 \cdot 1,10 = 1,78 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 20$ mit $\xi_1 = 1,19$ und $\xi_2 = 1,06$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,19 \cdot 1,10 = 1,66 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 1,06 \cdot 1,10 = 1,48 \approx 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

b2) starres System

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,24$ und $\xi_2 = 1,16$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,24 \cdot 1,10 = 1,73 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 1,16 \cdot 1,10 = 1,62 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 20$ mit $\xi_1 = 1,08$ und $\xi_2 = 0,97$

$$\eta_1^* = 1,27 \cdot 1,08 \cdot 1,10 = 1,51 > 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,27 \cdot 0,97 \cdot 1,10 = 1,35 < 1,50 \text{ (DIN 1054:1976)}$$

Für den Lastfall 3 (BS-A) ergibt sich nach Gleichung 2.15 als wahrscheinliche Einwirkungskombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 6.1 $\gamma_{G,Q} = \frac{2}{3} \cdot 1,10 + \frac{1}{3} \cdot 1,10 = 1,10$.

Analog zum Lastfall 2 wird mit denselben ausgewählten Berechnungskombinationen der Einfluss des Lastfalles/der Bemessungssituation dargestellt:

a) statische Pfahlprobelastungen

a1) weiches System

für $n = 1$ mit $\xi_1 = \xi_2 = 1,35$

$$\eta^* = 1,10 \cdot 1,35 \cdot 1,10 = 1,63 > 1,75 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,25$ und $\xi_2 = 1,15$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,25 \cdot 1,10 = 1,51 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1,10 = 1,39 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

a2) starres System

für $n = 1$ mit $\xi_1 = \xi_2 = 1,35/1,1 = 1,23$

$$\eta^* = 1,10 \cdot 1,23 \cdot 1,10 = 1,49 \approx 1,50 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,25/1,1 = 1,14$ und $\xi_2 = 1,15/1,1 = 1,05$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,14 \cdot 1,10 = 1,38 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,10 \cdot 1,05 \cdot 1,10 = 1,21 \approx 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

b) dynamische Pfahlprobelastungen, an gleichen Baufeld mit vollständigem Verfahren und erweiterter Modellbildung kalibriert

b1) weiches System

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,36$ und $\xi_2 = 1,28$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,36 \cdot 1,10 = 1,65 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,10 \cdot 1,28 \cdot 1,10 = 1,55 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 20$ mit $\xi_1 = 1,19$ und $\xi_2 = 1,06$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,19 \cdot 1,10 = 1,44 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,1 \cdot 1,06 \cdot 1,10 = 1,28 \approx 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

b2) starres System

für $n = 2$ mit $\xi_1 = 1,24$ und $\xi_2 = 1,16$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,24 \cdot 1,10 = 1,50 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,10 \cdot 1,16 \cdot 1,10 = 1,40 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

für $n = 20$ mit $\xi_1 = 1,08$ und $\xi_2 = 0,97$

$$\eta_1^* = 1,10 \cdot 1,08 \cdot 1,10 = 1,31 > 1,30 \text{ (DIN 1054:1976-11)}$$

$$\eta_2^* = 1,10 \cdot 0,97 \cdot 1,10 = 1,17 < 1,50 \text{ (DIN 1054:1976)}$$

Damit ist auch für die gewählten Teilsicherheitsbeiwerte in den Lastfällen LF 2 (BS-T) und LF 3 (BS-A) in Eurocode EC 7-1 (DIN 1054:2008) ein ausreichendes und teilweise auch vergleichbares Sicherheitsniveau gegeben.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

7.1 Allgemeines

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden die Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Probelastungen und Erfahrungswerten für den Eurocode EC 7-1 abgeleitet. Mit diesen Werten werden die Ergebnisse an das bisherige nationale Sicherheitsniveau der DIN 1054:1976-11 und DIN 1054:2005-01 angepasst bzw. überprüft (kalibriert). Aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweise der jeweiligen Regelwerke sowie der Einführung des Teilsicherheitskonzeptes ist dies jedoch nur bereichsweise möglich bzw. führt dies bei bestimmten Kombinationen zu abweichenden vergleichbaren Globalsicherheitsbeiwerte bzw. zul. charakteristischen Pfahltragfähigkeiten, was aber unvermeidlich ist. Sämtliche Berechnungen wurden für den Lastfall 1/BS-P durchgeführt. Ausgewählte Berechnungen für die Lastfälle LF 2 (BS-T) und LF 3 (BS-A) in Kapitel 6 haben gezeigt, dass auch für diese Lastfälle ein ausreichendes und teilweise auch vergleichbares Sicherheitsniveau gegeben ist.

Zusammenfassend wird der Einfluss beschrieben, den die vorgeschlagene nationale Anpassung der Streuungsfaktoren im Vergleich zu den in Eurocode EC 7-1 empfohlenen Werten auf die zulässigen Einwirkungen *zul. F_k* ausübt. Grundlage hierfür sind die Berechnungen in Kapitel 3 und 4, sowie die Berechnung realer Probelastungen in Kapitel 5. Sämtliche Schlussfolgerungen gelten sinngemäß auch für die im Text erwähnten Sicherheitsdefinitionen η^* bzw. η_1 bis η_3 .

7.2 Kalibrierung der Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobelastungen

Alle Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus statischen Pfahlprobelastungsergebnissen wurden im Vergleich zu den ursprünglich in Eurocode EC 7-1 empfohlenen Werten für die nationale Anwendung im Mittel um 0,05 reduziert (Tabelle 3.1). Damit ergeben sich sowohl für das weiche System als auch für das starre System größere zulässige Einwirkungen *zul. F_k* als für die ursprünglichen Vorgaben des Eurocodes EC 7-1. Aufgrund der Definition, dass ξ_i bei Division durch 1,1 nicht kleiner 1,0 werden darf, können sich für $n = 4$ bzw. 5 Probelastungen die selben Ergebnisse mit den ursprünglichen und den angepassten Streuungsfaktoren ξ ergeben. Darüber hinaus zeigt sich für beide Tragsysteme, eine

kontinuierliche Zunahme der zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$ mit der Anzahl n der durchgeführten Probelastungen.

Die maximale Anzahl der in DIN 1054:2005-01 berücksichtigten Probelastungen ist mit $n = 2$ kleiner als $n = 5$ bei Eurocode EC 7-1. Für $n = 2$ ergeben sich nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag, leicht geringfügigere zulässige Tragfähigkeiten als nach DIN 1054:2005-01. Für $n = 5$ ergeben sich nach Eurocode EC 7-1, nationaler Vorschlag im Vergleich zur DIN 1054:2005-01, höhere Tragfähigkeiten (siehe Anlage 1.1.2 und 1.1.5), was so auch gewünscht ist.

7.3 Kalibrierung der Streuungsfaktoren ξ zur Ableitung charakteristischer Werte aus dynamischen Pfahlprobelastungen

Für die Auswertung von Probelastungsergebnissen, die an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld kalibriert wurden, werden die gleichen, wie ursprünglich von Eurocode EC 7-1 angegebenen Streuungsfaktoren, national zur Anwendung empfohlen. Mit diesen Streuungsfaktoren werden für eine geringe Anzahl von Probelastungen etwas niedrigere zulässige Einwirkungen $zul. F_k$ berechnet, als dies bei der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 der Fall ist. Bei höherer Anzahl durchgeführter Probelastungen ergeben sich jedoch höhere zulässige Einwirkungen $zul. F_k$ (Bild 4.5 und 4.7). Für die Auswertung nach einem erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung ergeben sich für $n = 5$ und geringe Variationskoeffizienten zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$ die in der Größenordnung liegen, die sich für vergleichbare statische Probelastungen und $n = 2$ ergeben. Bei den bezüglich ihrer Ergebnisse mit größerer Unsicherheit behafteten direkten Verfahren ist die Differenz zu vergleichbaren statischen Ergebnissen größer.

Da Eurocode EC 7-1 die in der nationalen Praxis weit verbreitete Vorgehensweise der Kalibrierung von dynamischen Probelastungen an statischen Probelastungen von anderen, aber vergleichbaren Baufeldern sowie anhand von Erfahrungswerten aus der Literatur nicht behandelt, wurden dazu neue nationale Vorschläge in Anlehnung an die DIN 1054:2005-01 mit Modifikationen erarbeitet.

Für die Auswertung von Probelastungsergebnissen, die an statischen Probelastungen von vergleichbaren Baumaßnahmen kalibriert wurden, werden im Vergleich zu den ursprünglich empfohlenen Streuungsfaktoren um $\Delta\xi = 0,10$ erhöhte Streuungsfaktoren zur Anwendung empfohlen. Damit ergeben sich für eine geringe Anzahl von Probelastungen etwas niedrigere zulässige Einwirkungen $zul. F_k$, als dies bei der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 der

Fall ist. Bei höherer Anzahl durchgeführter Probelastungen ergeben sich ungefähr die gleichen zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$, die auch entsprechend der Auswertung nach DIN 1054:2005-01 zu erwarten sind. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit zu entsprechenden statischen Probelastungen kann festgestellt werden, dass die erweiterten Verfahren näher an den Ergebnissen statischer Probelastungen liegen als direkte Verfahren, wobei die zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$ aufgrund der größeren Unsicherheiten bei der Kalibrierung an vergleichbaren Baumaßnahmen generell niedriger ausfallen als bei Kalibrierungen am gleichen Baufeld.

Für die Auswertung von Probelastungsergebnissen, die lediglich aufgrund von Erfahrungswerten kalibriert wurden, werden im Vergleich zu den ursprünglich empfohlenen Streuungsfaktoren um $\Delta\xi = 0,40$ erhöhte Streuungsfaktoren zur Anwendung empfohlen. Mit diesem Streuungsfaktor ergeben sich die selben Ergebnisse, wie bei der Auswertung dynamischer Probelastungen dem direkten Verfahren, die an statischen Probelastungen von vergleichbaren Baumaßnahmen kalibriert wurden. Genau der gleiche Zusammenhang zwischen Kalibrierung an vergleichbaren Baugrundverhältnissen mit direkter Auswertung und Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten mit einer Auswertung nach einem erweiterten Verfahren findet sich in DIN 1054:2005-01 wieder.

Die angepassten Streuungsfaktoren von Tabelle 3.1 und die Präzisierungen aus Tabelle 3.2 führen insgesamt zu etwa vergleichbaren Resultaten wie die bisherige DIN 1054:2005-01. Die Vorzüge des Verfahrens nach Eurocode EC 7-1 liegen in der konsequenten Verringerung der Streuungsfaktoren mit zunehmender Anzahl der Probelastungen, wodurch der Aufwand, mehrere Probelastungen durchzuführen „belohnt“ wird. Gleichzeitig ergeben sich bei dieser Herangehensweise keine technisch unplausiblen Sprünge bei der berechneten zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$ bzw. den Sicherheiten η_1 bis η_3 , wie dies in den bisherigen Regelungen der DIN 1054:2005-01 und der DIN 1054:1976-11 der Fall war.

7.4 Überprüfung der nationalen Vorschläge an realen Probelastungen

Die einzelnen Vorgehensweisen aus den unterschiedlichen Normen wurden anhand von zahlreichen realen Probelastungen aus Projekten, für die an unserem Fachgebiet Datenbanken vorliegen, überprüft.

Danach konnte die Brauchbarkeit der nationalen Vorschläge zum Eurocode EC 7-1 im Hinblick auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit bestätigt werden.

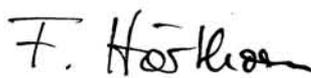
7.5 Schlussbemerkung

Dieser Forschungsbericht wurde am 22.10.2007 dem Pfahlnomenausschuss NA 005-05-07 AA auf einer Sitzung in Hamburg vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Hinweise und Anregungen wurden aufgenommen.

Vom NA 005-05-07 AA wurden damit gegen die hier dokumentierten Ergebnisse und Vorschläge für die nationale Anwendung von Eurocode EC 7-1 keine Einwände erhoben.



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Kempfert



Dipl.-Ing. F. Hörtkorn



Dipl.-Ing. P. Becker

8 Literaturverzeichnis

DIN 1054:1976-11: Baugrund, zulässige Belastung des Baugrunds.

DIN 1054:2005-01: Baugrund-Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.

DIN EN 1990:2002-10: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002.

DIN EN 1997-1:2005-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004.

EA-Pfähle (2007): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“; 1. Auflage, Hrsg. AK 2.1 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin.

Kempfert, H.-G. (2005): Vortrag an der TU München: „Berechnung von Pfahlgründungen nach DIN 1054 neu und Eurocode EC 7-1“.

Vogt, N. (2007): Kombinationsbeiwerte und Auswirkungen auf Teilsicherheitsbeiwerte. Brief an die Mitglieder des ad-hoc Ausschusses DIN 1054:2008 (unveröffentlicht).

Anlagen zum Abschlussbericht

- 1 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen
- 1.1 Anlagen für weiche Systeme, $n = 2-5$, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

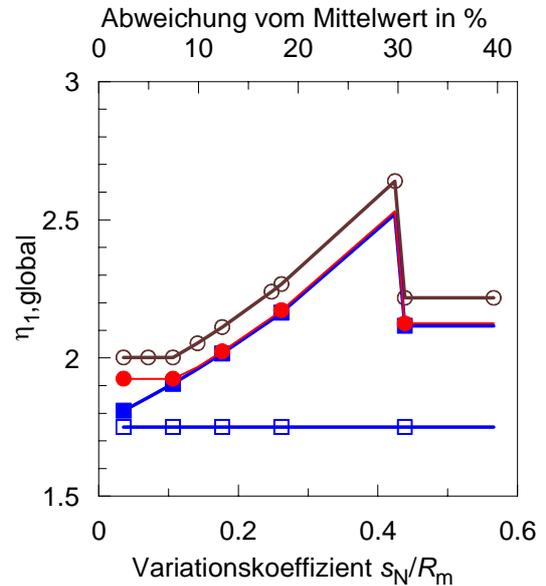
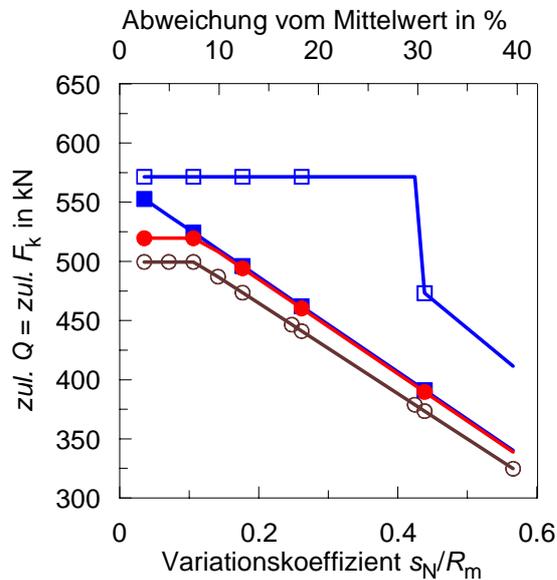
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q} = 1,40$, $n=2-5$, weiches System

weiche Systeme						DIN 1054:1976-11						DIN 1054:2005-01						EC 7-1 (nat. Vorschlag)						EC 7-1 (orig. Werte)											
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_{R}/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} / R_{mittel} \cdot 100\%$	$z_{ul} F_k$	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	$z_{ul} F_k$	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	$z_{ul} F_k$	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	$z_{ul} F_k$	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6
975	1025				1000	0,04	2,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	553	1,81	1,81	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	519	1,93	1,93	1,93	1,93	500	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		
950	1050				1000	0,07	5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	539	1,86	1,86	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	519	1,93	1,93	1,93	1,93	500	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		
925	1075				1000	0,11	7,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	524	1,91	1,91	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	519	1,93	1,93	1,93	1,93	500	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		
900	1100				1000	0,14	10	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	510	1,96	1,96	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	508	1,97	1,97	1,97	1,97	487	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	1,85		
875	1125				1000	0,18	12,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	496	2,02	2,02	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	494	2,02	2,02	2,02	2,02	473	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	1,85		
825	1175				1000	0,25	17,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	468	2,14	2,14	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	486	2,15	2,15	2,15	2,15	446	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	1,85		
815	1185				1000	0,26	18,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	462	2,16	2,16	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	480	2,17	2,17	2,17	2,17	441	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	1,85		
700	1300				1000	0,42	30	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	397	2,52	2,52	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	395	2,53	2,53	2,53	2,53	379	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	1,85		
690	1310				1000	0,44	31	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	391	2,12	2,56	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	390	2,13	2,57	2,57	2,57	373	2,22	2,68	2,68	2,68	2,68	1,85		
600	1400				1000	0,57	40	411	1,75	2,43	1,75	2,43	1,75	340	2,12	2,94	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	339	2,13	2,95	2,95	2,95	373	2,22	3,08	3,08	3,08	3,08	1,85		
950	1000	1050			1000	0,05	5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	565	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	585	1,77	1,77	1,77	1,77	541	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85		
900	1000	1100			1000	0,10	10	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	536	1,87	1,87	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	565	1,77	1,77	1,77	1,77	541	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85		
850	1000	1150			1000	0,15	15	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	506	1,98	1,98	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	552	1,81	1,81	1,81	1,81	526	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,62		
800	1000	1200			1000	0,20	20	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	476	2,10	2,10	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	519	1,93	1,93	1,93	1,93	486	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	1,62		
750	1000	1250			1000	0,25	25	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	446	2,24	2,24	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	487	2,05	2,05	2,05	2,05	464	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	1,62		
740	1000	1260			1000	0,26	26	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	440	2,27	2,27	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	481	2,08	2,08	2,08	2,08	458	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	1,62		
700	1000	1300			1000	0,30	30	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	417	2,40	2,40	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	455	2,20	2,20	2,20	2,20	433	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	1,62		
690	1000	1310			1000	0,31	31	473	1,75	2,11	1,75	2,11	1,75	411	2,02	2,43	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	448	1,85	2,23	2,23	2,23	427	1,94	2,34	2,34	2,34	2,34	1,62		
600	1000	1400			1000	0,40	40	411	1,75	2,43	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	390	1,85	2,57	2,57	2,57	371	1,94	2,70	2,70	2,70	2,70	1,62		
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	565	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	617	1,62	1,62	1,62	1,62	590	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69		
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	551	1,82	1,82	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	601	1,66	1,66	1,66	1,66	590	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69		
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	536	1,87	1,87	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	584	1,71	1,71	1,71	1,71	564	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,54		
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	521	1,92	1,92	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	568	1,76	1,76	1,76	1,76	548	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,54		
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	506	1,98	1,98	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	552	1,81	1,81	1,81	1,81	536	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,54		
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	491	2,04	2,04	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	536	1,87	1,87	1,87	1,87	519	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,54		
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	476	2,10	2,10	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	519	1,93	1,93	1,93	1,93	503	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,54		
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	461	2,17	2,17	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	503	1,99	1,99	1,99	1,99	503	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,54		
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	446	2,24	2,24	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	487	2,05	2,05	2,05	2,05	487	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	1,54		
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	432	2,32	2,32	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	471	2,12	2,12	2,12	2,12	471	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	1,54		
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	417	2,40	2,40	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	455	2,20	2,20	2,20	2,20	455	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	1,54		
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	463	1,75	2,16	1,75	2,16	1,75	402	2,02	2,49	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	438	1,85	2,28	2,28	2,28	438	1,85	2,28	2,28	2,28	2,28	1,54		
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	446	1,75	2,24	1,75	2,24	1,75	387	2,02	2,58	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	422	1,85	2,37	2,37	2,37	422	1,85	2,37	2,37	2,37	2,37	1,54		
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	429	1,75	2,33	1,75	2,33	1,75	372	2,02	2,69	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	406	1,85	2,46	2,46	2,46	406	1,85	2,46	2,46	2,46	2,46	1,54		
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	411	1,75	2,43	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	390	1,85	2,57	2,57	2,57	390	1,85	2,57	2,57	2,57	2,57	1,54		
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	536	1,87	1,87	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	584	1,71	1,71	1,71	1,71	584	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,54		
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	521	1,92	1,92	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	568	1,76	1,76	1,76	1,76	568	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,54		
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	506	1,98	1,98	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	552	1,81	1,81	1,81	1,81	552	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,54		
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	491	2,04	2,04	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	536	1,87	1,87	1,87	1,87	536	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,54		
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	571	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	476	2,10	2																			

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=2$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



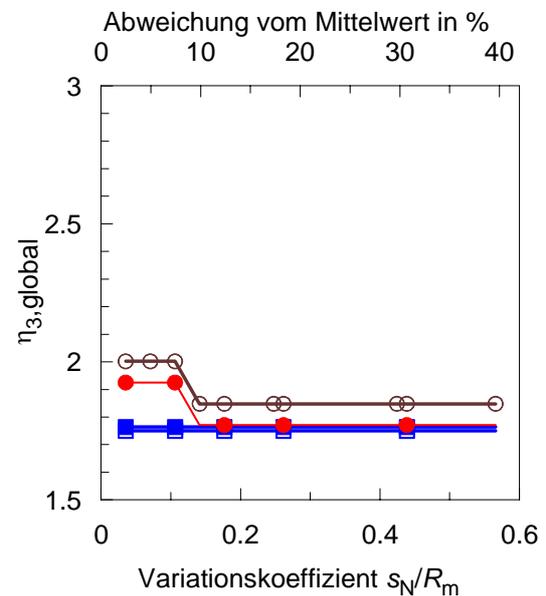
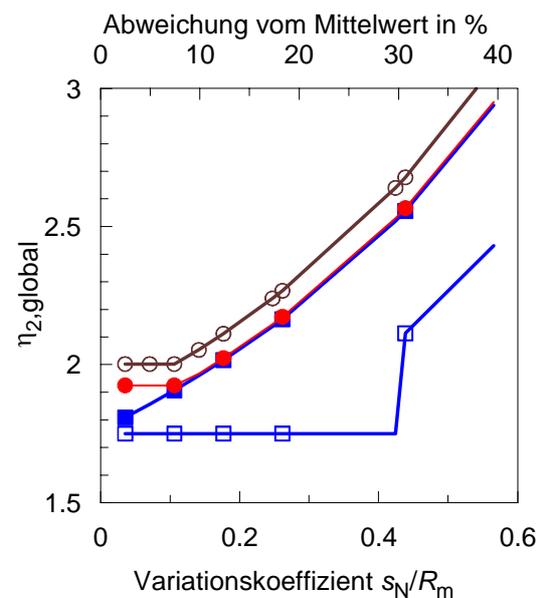
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

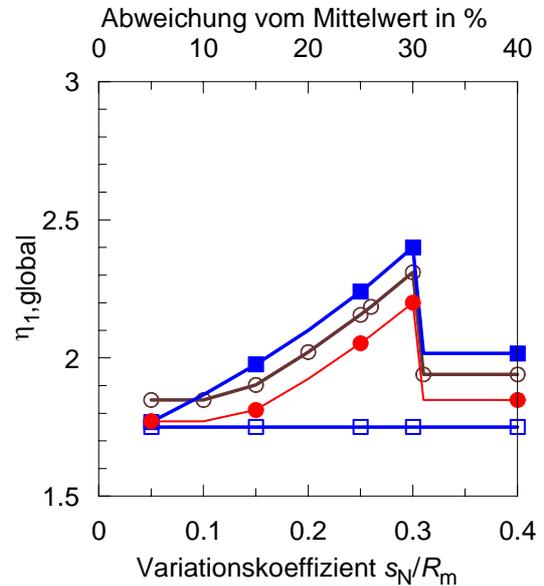
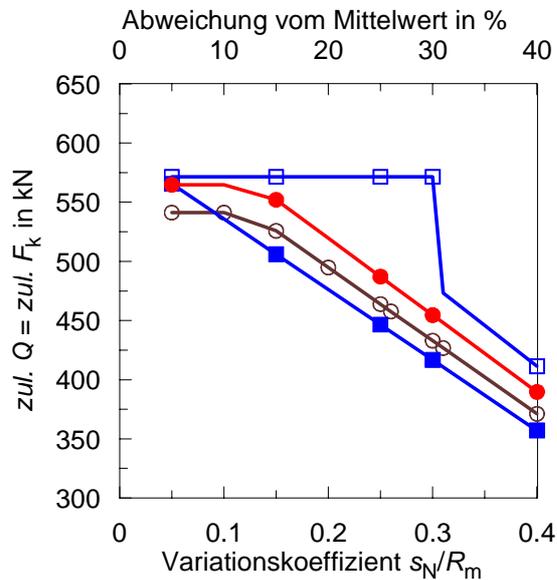
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=3$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



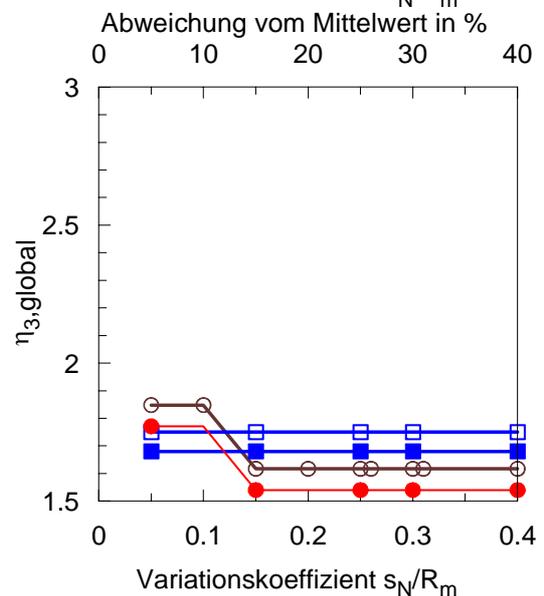
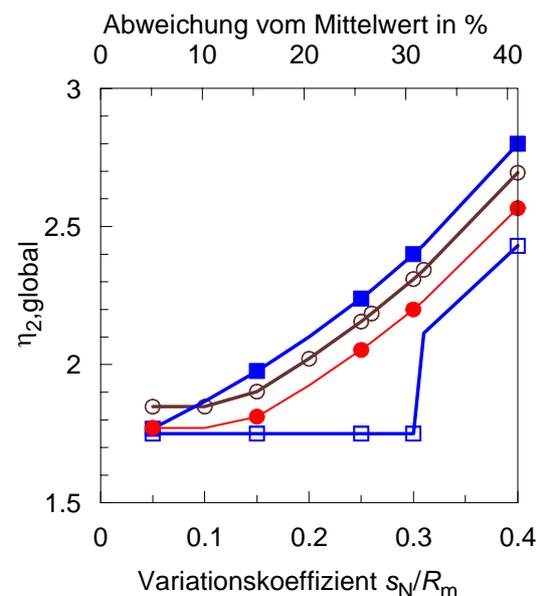
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

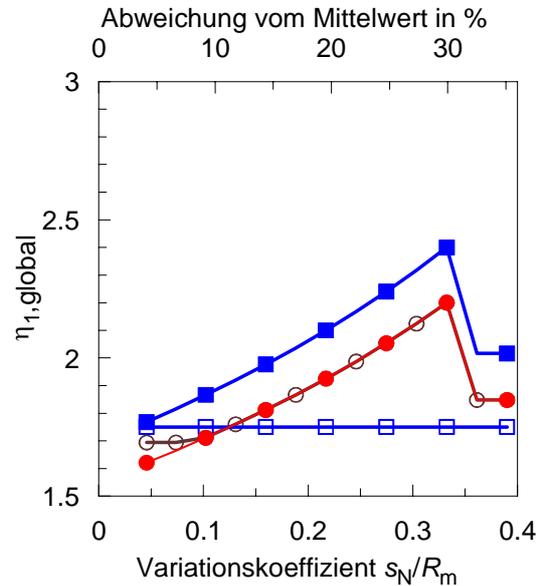
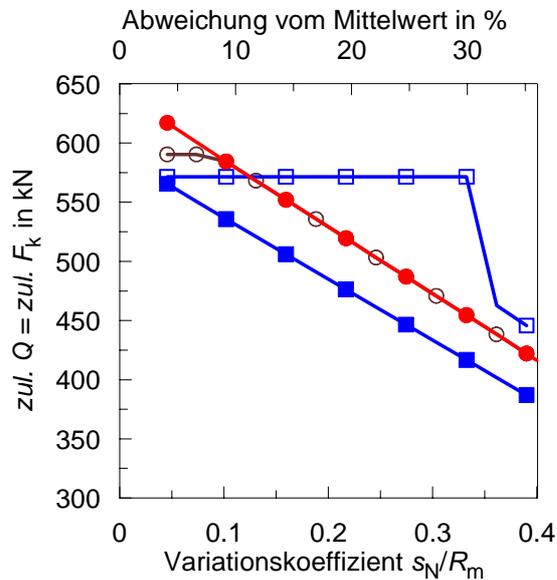
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



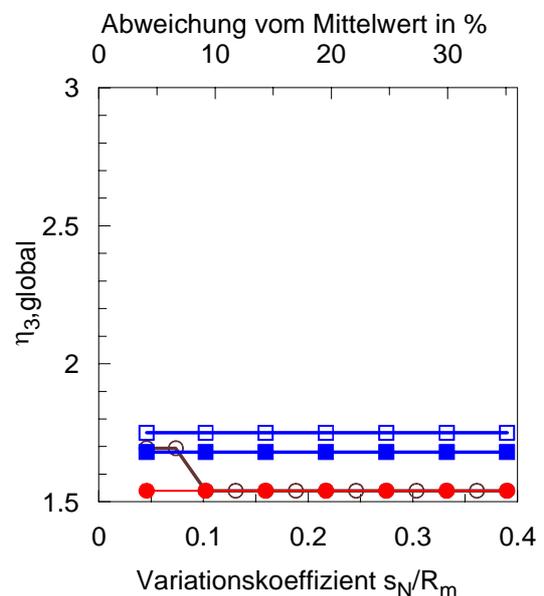
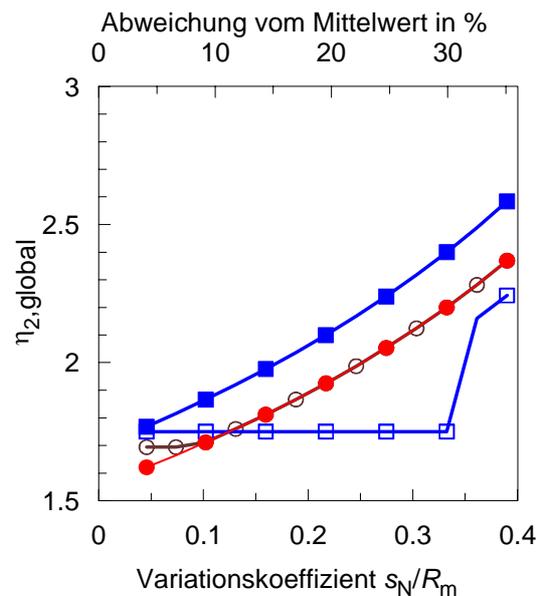
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

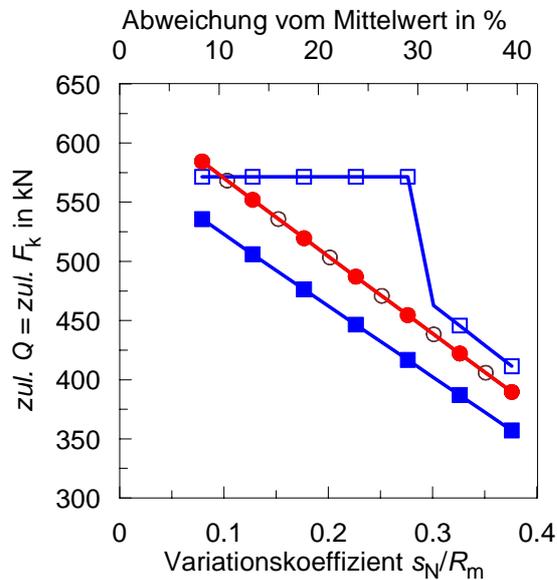
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



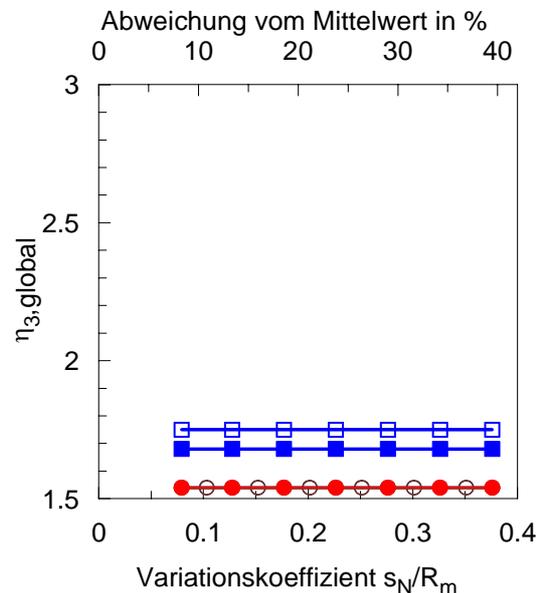
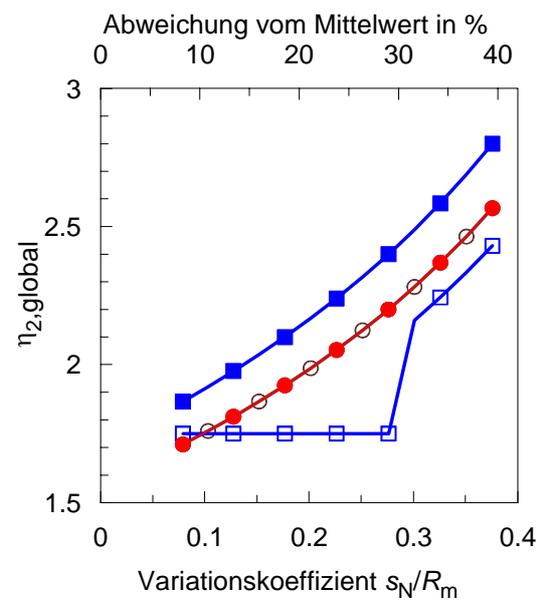
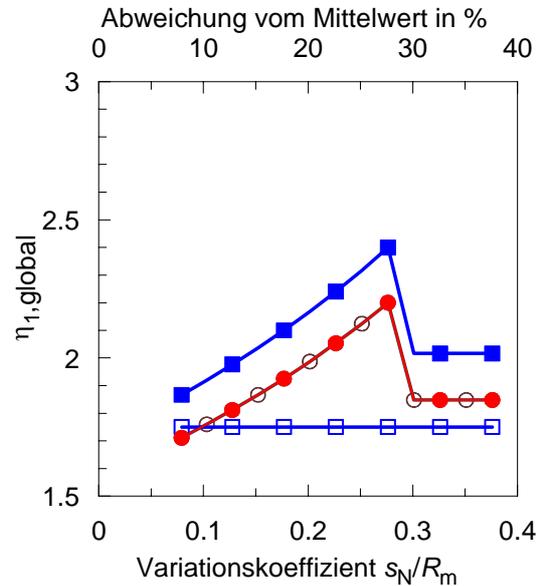
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 1 Berechnung für statische Pfahlprobelastungen
- 1.2 Anlagen für starre Systeme, $n = 2-5$, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

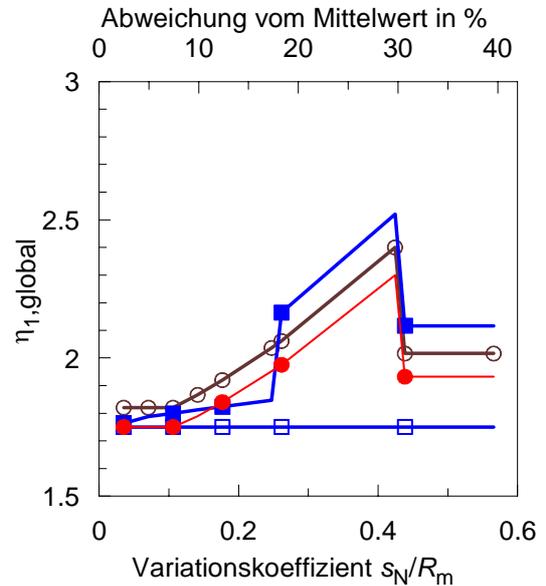
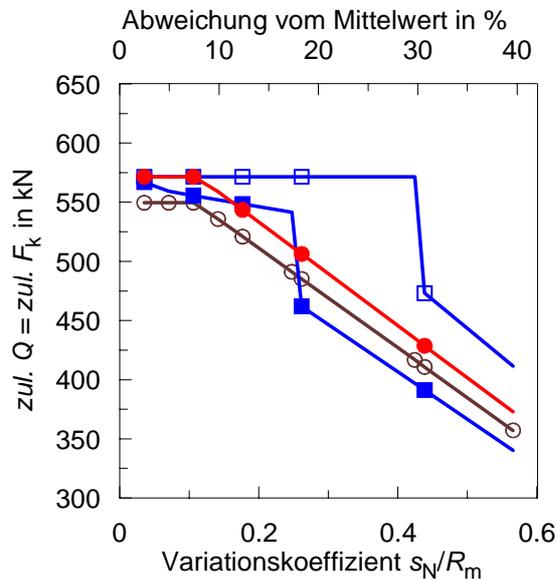
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

starre Systeme				DIN 1054:1976-11				DIN 1054:2005-01				EC 7-1 (nat. Vorschlag)				EC 7-1 (orig. Werte)				
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	$R_{m,6}$	$R_{m,7}$	$R_{m,8}$	$\Delta R_{m,i}/R_{m,i}^{nominal} \cdot 100\%$	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025							2,5	571	1,75	1,75	1,75	567	1,76	1,76	1,76	571	1,75	1,75	1,75
950	1050							5	571	1,75	1,75	1,75	550	1,79	1,79	1,79	571	1,75	1,75	1,75
925	1075							7,5	571	1,75	1,75	1,75	556	1,80	1,80	1,80	571	1,75	1,75	1,75
900	1100							10	571	1,75	1,75	1,75	552	1,81	1,81	1,81	569	1,79	1,79	1,79
875	1125							12,5	571	1,75	1,75	1,75	548	1,82	1,82	1,82	543	1,84	1,84	1,84
850	1150							15	571	1,75	1,75	1,75	541	1,85	1,85	1,85	512	1,95	1,95	1,95
825	1175							17,5	571	1,75	1,75	1,75	541	1,85	1,85	1,85	512	1,95	1,95	1,95
800	1200							20	571	1,75	1,75	1,75	462	2,16	2,16	2,16	506	1,98	1,98	1,98
775	1225							22,5	571	1,75	1,75	1,75	397	2,52	2,52	2,52	435	2,30	2,30	2,30
750	1250							25	473	1,75	2,11	1,75	391	2,12	2,56	1,76	429	1,93	2,33	1,61
725	1275							27,5	473	1,75	2,43	1,75	340	2,12	2,94	1,76	373	1,93	2,68	1,61
700	1300							30	411	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,68	429	1,68	2,33	1,40
675	1325							32,5	571	1,75	1,75	1,75	589	1,70	1,70	1,70	621	1,61	1,61	1,61
650	1350							35	571	1,75	1,75	1,75	584	1,71	1,71	1,71	621	1,61	1,61	1,61
625	1375							37,5	571	1,75	1,75	1,75	578	1,73	1,73	1,73	607	1,65	1,65	1,65
600	1400							40	571	1,75	1,75	1,75	572	1,75	1,75	1,75	571	1,75	1,75	1,75
950	1000	1050						5	571	1,75	1,75	1,75	590	1,70	1,70	1,70	649	1,54	1,54	1,54
925	1025	1075						7,5	571	1,75	1,75	1,75	587	1,70	1,70	1,70	649	1,54	1,54	1,54
900	1050	1100						10	571	1,75	1,75	1,75	583	1,71	1,71	1,71	643	1,56	1,56	1,56
875	1075	1125						12,5	571	1,75	1,75	1,75	560	1,72	1,72	1,72	625	1,60	1,60	1,60
850	1100	1150						15	571	1,75	1,75	1,75	577	1,73	1,73	1,73	607	1,65	1,65	1,65
825	1125	1175						17,5	571	1,75	1,75	1,75	574	1,74	1,74	1,74	599	1,70	1,70	1,70
800	1150	1200						20	571	1,75	1,75	1,75	570	1,75	1,75	1,75	571	1,75	1,75	1,75
775	1175	1225						22,5	571	1,75	1,75	1,75	567	1,76	1,76	1,76	554	1,81	1,81	1,81
750	1200	1250						25	571	1,75	1,75	1,75	446	2,24	2,24	2,24	536	1,87	1,87	1,87
725	1225	1275						27,5	571	1,75	1,75	1,75	432	2,32	2,32	2,32	518	1,93	1,93	1,93
700	1250	1300						30	571	1,75	1,75	1,75	417	2,40	2,40	2,40	500	2,00	2,00	2,00
675	1275	1325						32,5	463	1,75	2,16	1,75	402	2,02	2,49	1,68	482	1,68	2,07	1,40
650	1300	1350						35	446	1,75	2,24	1,75	387	2,02	2,58	1,68	464	1,68	2,15	1,40
625	1325	1375						37,5	429	1,75	2,33	1,75	372	2,02	2,69	1,68	446	1,68	2,24	1,40
600	1350	1400						40	411	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,68	429	1,68	2,33	1,40
900	950	1000	1050	1100				10	571	1,75	1,75	1,75	586	1,71	1,71	1,71	643	1,56	1,56	1,56
875	925	1000	1075	1125	1000			12,5	571	1,75	1,75	1,75	583	1,71	1,71	1,71	625	1,60	1,60	1,60
850	900	1000	1100	1150	1000			15	571	1,75	1,75	1,75	560	1,72	1,72	1,72	607	1,65	1,65	1,65
825	875	1000	1125	1175	1000			17,5	571	1,75	1,75	1,75	578	1,73	1,73	1,73	599	1,70	1,70	1,70
800	850	1000	1150	1200	1000			20	571	1,75	1,75	1,75	575	1,74	1,74	1,74	571	1,75	1,75	1,75
775	825	1000	1175	1225	1000			22,5	571	1,75	1,75	1,75	572	1,75	1,75	1,75	554	1,81	1,81	1,81
750	800	1000	1200	1250	1000			25	571	1,75	1,75	1,75	569	1,76	1,76	1,76	536	1,87	1,87	1,87
725	775	1000	1225	1275	1000			27,5	571	1,75	1,75	1,75	567	1,76	1,76	1,76	518	1,93	1,93	1,93
700	750	1000	1250	1300	1000			30	571	1,75	1,75	1,75	417	2,40	2,40	2,40	500	2,00	2,00	2,00
675	725	1000	1275	1325	1000			32,5	463	1,75	2,16	1,75	402	2,02	2,49	1,68	482	1,68	2,07	1,40
650	700	1000	1300	1350	1000			35	446	1,75	2,24	1,75	387	2,02	2,58	1,68	464	1,68	2,15	1,40
625	675	1000	1325	1375	1000			37,5	429	1,75	2,33	1,75	372	2,02	2,69	1,68	446	1,68	2,24	1,40
600	650	1000	1350	1400	1000			40	411	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,68	429	1,68	2,33	1,40
900	950	1000	1050	1100				10	571	1,75	1,75	1,75	586	1,71	1,71	1,71	643	1,56	1,56	1,56
875	925	1000	1075	1125	1000			12,5	571	1,75	1,75	1,75	583	1,71	1,71	1,71	625	1,60	1,60	1,60
850	900	1000	1100	1150	1000			15	571	1,75	1,75	1,75	560	1,72	1,72	1,72	607	1,65	1,65	1,65
825	875	1000	1125	1175	1000			17,5	571	1,75	1,75	1,75	578	1,73	1,73	1,73	599	1,70	1,70	1,70
800	850	1000	1150	1200	1000			20	571	1,75	1,75	1,75	575	1,74	1,74	1,74	571	1,75	1,75	1,75
775	825	1000	1175	1225	1000			22,5	571	1,75	1,75	1,75	572	1,75	1,75	1,75	554	1,81	1,81	1,81
750	800	1000	1200	1250	1000			25	571	1,75	1,75	1,75	569	1,76	1,76	1,76	536	1,87	1,87	1,87
725	775	1000	1225	1275	1000			27,5	571	1,75	1,75	1,75	567	1,76	1,76	1,76	518	1,93	1,93	1,93
700	750	1000	1250	1300	1000			30	571	1,75	1,75	1,75	417	2,40	2,40	2,40	500	2,00	2,00	2,00
675	725	1000	1275	1325	1000			32,5	463	1,75	2,16	1,75	402	2,02	2,49	1,68	482	1,68	2,07	1,40
650	700	1000	1300	1350	1000			35	446	1,75	2,24	1,75	387	2,02	2,58	1,68	464	1,68	2,15	1,40
625	675	1000	1325	1375	1000			37,5	429	1,75	2,33	1,75	372	2,02	2,69	1,68	446	1,68	2,24	1,40
600	650	1000	1350	1400	1000			40	411	1,75	2,43	1,75	357	2,02	2,80	1,68	429	1,68	2,33	1,40

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=2$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



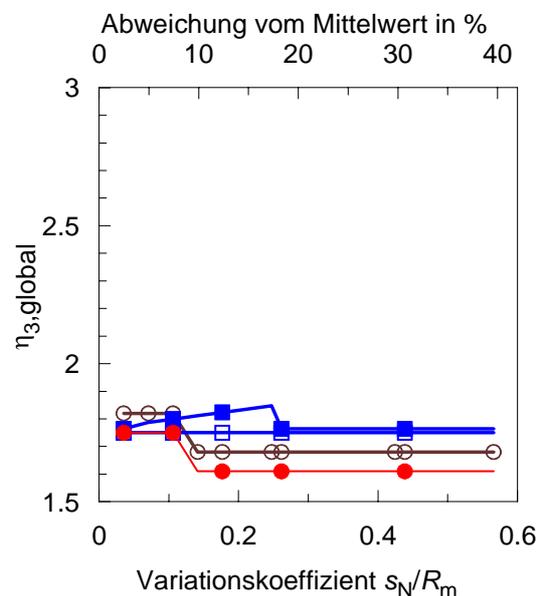
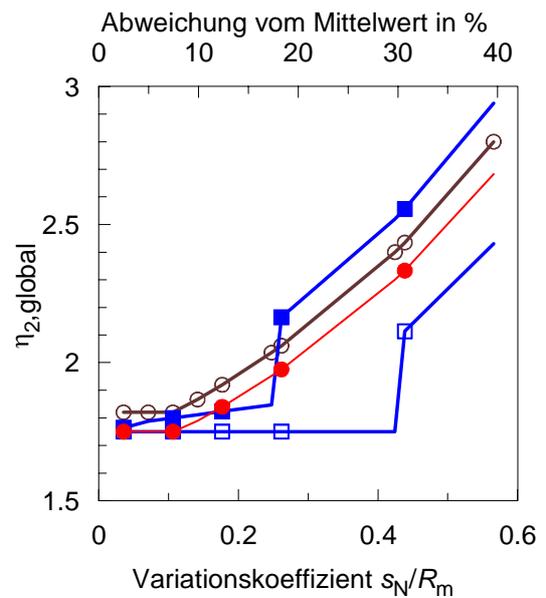
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

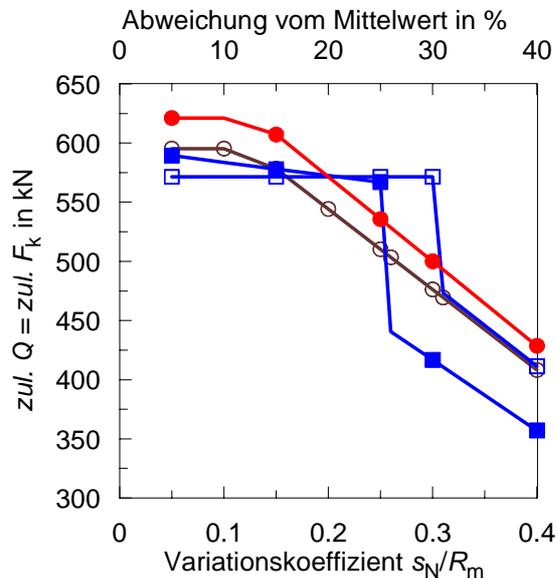
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=3$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



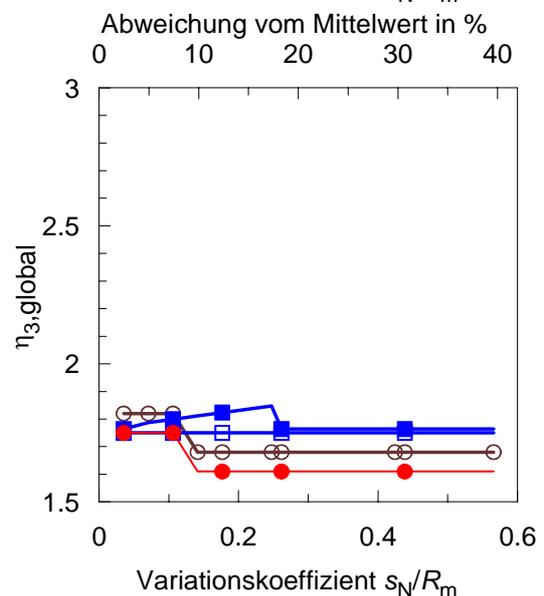
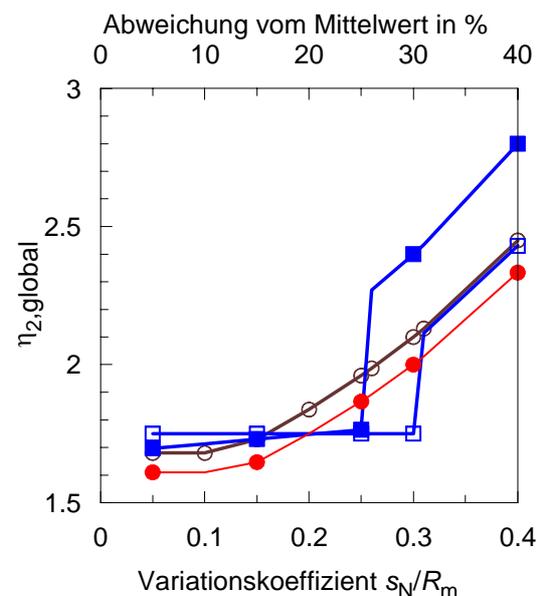
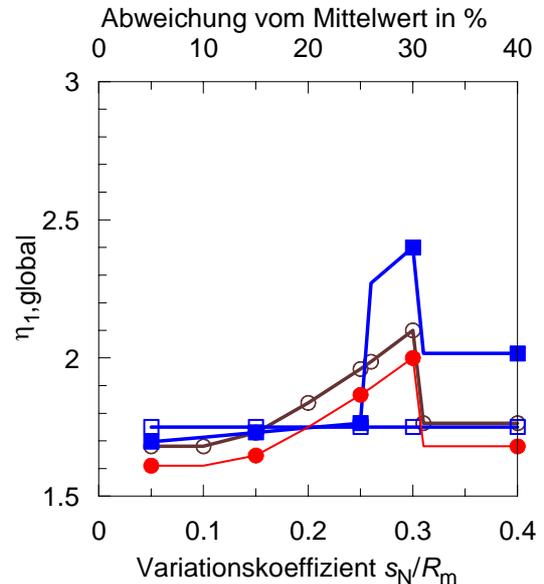
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

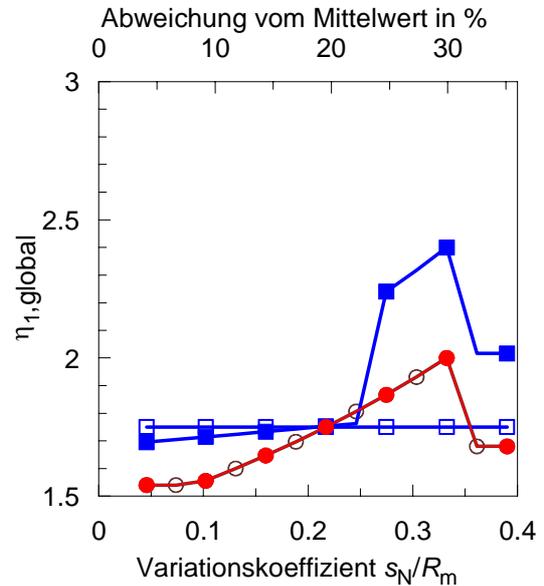
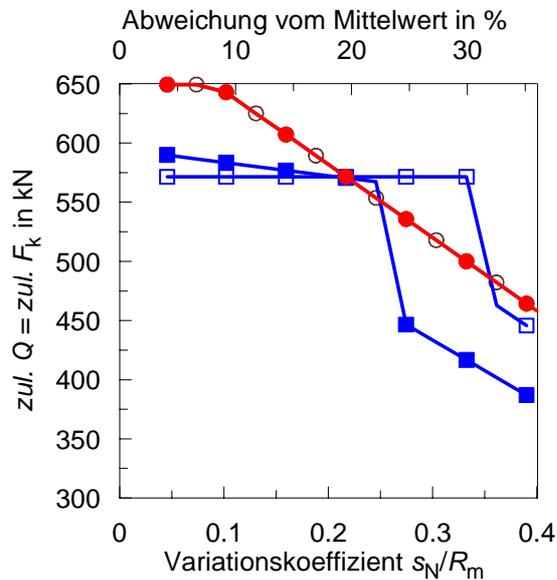
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



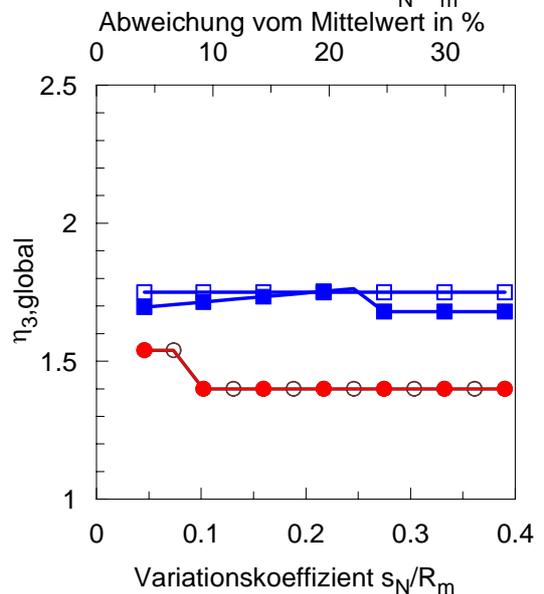
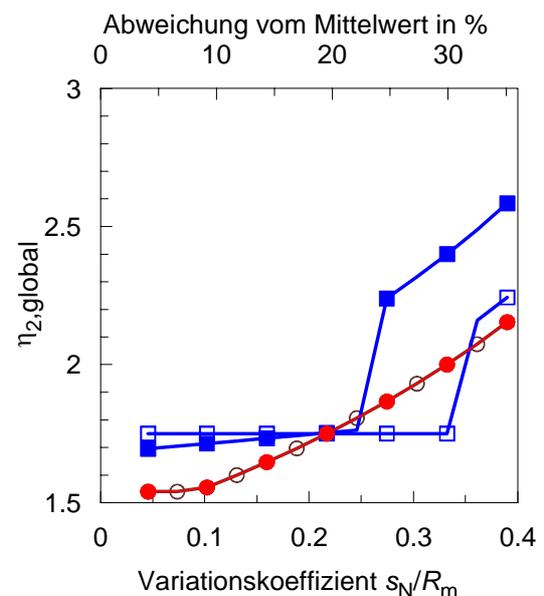
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

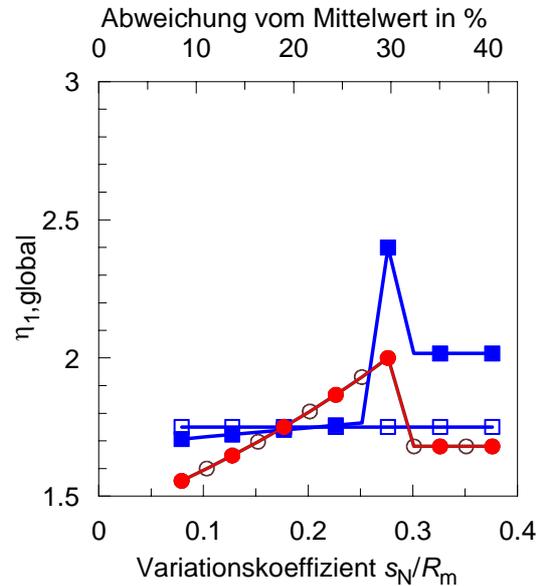
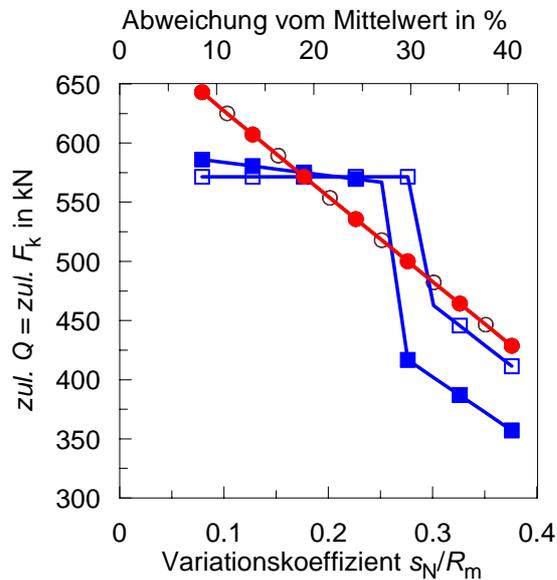
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ statische Probelastungen, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



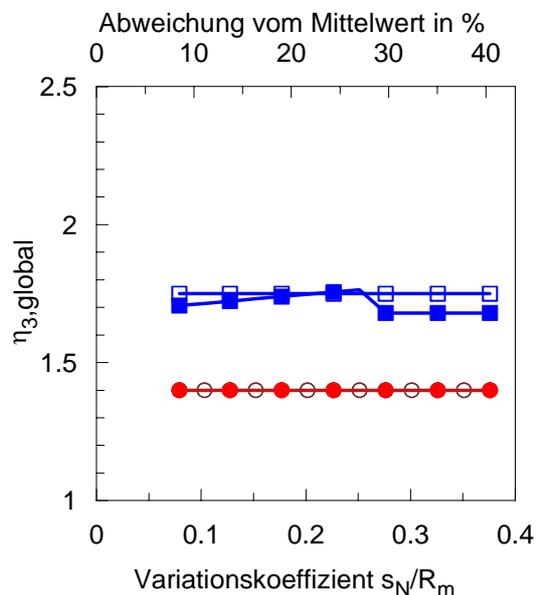
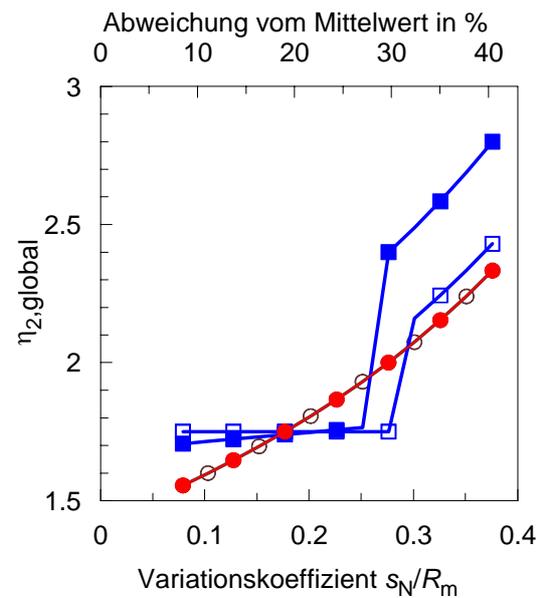
- nationaler Vorschlag zu Eurocode EC7-1
- Eurocode EC7-1
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 2 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen
- 2.1 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, weiches System

								DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung			
								$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_F = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_{10}/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	505	1,98	1,98	1,93	477	2,09	2,09	2,09
950	1050				1000	0,07	5	492	2,03	2,03	1,93	477	2,09	2,09	2,09
925	1075				1000	0,11	7,5	479	2,09	2,09	1,93	469	2,13	2,13	1,97
900	1100				1000	0,14	10	466	2,15	2,15	1,93	457	2,19	2,19	1,97
875	1125				1000	0,18	12,5	453	2,21	2,21	1,93	444	2,25	2,25	1,97
825	1175				1000	0,25	17,5	427	2,34	2,34	1,93	419	2,39	2,39	1,97
815	1185				1000	0,26	18,5	422	2,37	2,37	1,93	413	2,42	2,42	1,97
700	1300				1000	0,42	30	362	2,76	2,76	1,93	355	2,82	2,82	1,97
690	1310				1000	0,44	31	357	2,32	2,80	1,93	350	2,37	2,86	1,97
600	1400				1000	0,57	40	311	2,32	3,22	1,93	304	2,37	3,29	1,97
950	1000	1050			1000	0,05	5	492	2,03	2,03	1,93	477	2,09	2,09	2,09
900	1000	1100			1000	0,10	10	466	2,15	2,15	1,93	457	2,19	2,19	1,97
850	1000	1150			1000	0,15	15	440	2,27	2,27	1,93	431	2,32	2,32	1,97
800	1000	1200			1000	0,20	20	414	2,42	2,42	1,93	406	2,46	2,46	1,97
750	1000	1250			1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	380	2,63	2,63	1,97
740	1000	1260			1000	0,26	26	383	2,61	2,61	1,93	375	2,66	2,66	1,97
700	1000	1300			1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	355	2,82	2,82	1,97
690	1000	1310			1000	0,31	31	357	2,32	2,80	1,93	350	2,37	2,86	1,97
600	1000	1400			1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	304	2,37	3,29	1,97
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	539	1,86	1,86	1,76	477	2,09	2,09	2,09
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	524	1,91	1,91	1,76	469	2,13	2,13	1,97
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	510	1,96	1,96	1,76	457	2,19	2,19	1,97
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	496	2,02	2,02	1,76	444	2,25	2,25	1,97
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	482	2,08	2,08	1,76	431	2,32	2,32	1,97
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	468	2,14	2,14	1,76	419	2,39	2,39	1,97
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	454	2,21	2,21	1,76	406	2,46	2,46	1,97
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	439	2,28	2,28	1,76	393	2,54	2,54	1,97
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	425	2,35	2,35	1,76	380	2,63	2,63	1,97
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	411	2,43	2,43	1,76	368	2,72	2,72	1,97
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	397	2,52	2,52	1,76	355	2,82	2,82	1,97
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	383	2,12	2,61	1,76	342	2,37	2,92	1,97
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	368	2,12	2,71	1,76	330	2,37	3,03	1,97
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	354	2,12	2,82	1,76	317	2,37	3,15	1,97
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	340	2,12	2,94	1,76	304	2,37	3,29	1,97
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	536	1,87	1,87	1,68	507	1,97	1,97	1,97
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	521	1,92	1,92	1,68	494	2,02	2,02	1,77
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	506	1,98	1,98	1,68	480	2,08	2,08	1,77
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	491	2,04	2,04	1,68	466	2,15	2,15	1,77
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	476	2,10	2,10	1,68	452	2,21	2,21	1,77
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	461	2,17	2,17	1,68	438	2,29	2,29	1,77
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	446	2,24	2,24	1,68	423	2,36	2,36	1,77
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	432	2,32	2,32	1,68	409	2,44	2,44	1,77
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	417	2,40	2,40	1,68	395	2,53	2,53	1,77
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	402	2,02	2,49	1,68	381	2,13	2,62	1,77
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	387	2,02	2,58	1,68	367	2,13	2,72	1,77
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	372	2,02	2,69	1,68	353	2,13	2,83	1,77
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	357	2,02	2,80	1,68	339	2,13	2,95	1,77

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

								DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System $\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System $\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	563	1,78	1,78	1,78	524	1,91	1,91	1,91
950	1050				1000	0,07	5	559	1,79	1,79	1,79	524	1,91	1,91	1,91
925	1075				1000	0,11	7,5	556	1,80	1,80	1,80	518	1,93	1,93	1,79
900	1100				1000	0,14	10	552	1,81	1,81	1,81	504	1,98	1,98	1,79
875	1125				1000	0,18	12,5	548	1,82	1,82	1,82	490	2,04	2,04	1,79
825	1175				1000	0,25	17,5	468	2,14	2,14	1,76	462	2,17	2,17	1,79
815	1185				1000	0,26	18,5	462	2,16	2,16	1,76	456	2,19	2,19	1,79
700	1300				1000	0,42	30	397	2,52	2,52	1,76	392	2,55	2,55	1,79
690	1310				1000	0,44	31	391	2,12	2,56	1,76	386	2,14	2,59	1,79
600	1400				1000	0,57	40	340	2,12	2,94	1,76	336	2,14	2,98	1,79
950	1000	1050			1000	0,05	5	562	1,78	1,78	1,78	524	1,91	1,91	1,91
900	1000	1100			1000	0,10	10	556	1,80	1,80	1,80	504	1,98	1,98	1,79
850	1000	1150			1000	0,15	15	551	1,81	1,81	1,81	476	2,10	2,10	1,79
800	1000	1200			1000	0,20	20	546	1,83	1,83	1,83	448	2,23	2,23	1,79
750	1000	1250			1000	0,25	25	425	2,35	2,35	1,76	420	2,38	2,38	1,79
740	1000	1260			1000	0,26	26	420	2,38	2,38	1,76	414	2,41	2,41	1,79
700	1000	1300			1000	0,30	30	397	2,52	2,52	1,76	392	2,55	2,55	1,79
690	1000	1310			1000	0,31	31	391	2,12	2,56	1,76	386	2,14	2,59	1,79
600	1000	1400			1000	0,40	40	340	2,12	2,94	1,76	336	2,14	2,98	1,79
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	562	1,78	1,78	1,78	524	1,91	1,91	1,91
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	559	1,79	1,79	1,79	518	1,93	1,93	1,79
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	556	1,80	1,80	1,80	504	1,98	1,98	1,79
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	553	1,81	1,81	1,81	490	2,04	2,04	1,79
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	550	1,82	1,82	1,82	476	2,10	2,10	1,79
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	547	1,83	1,83	1,83	462	2,17	2,17	1,79
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	544	1,84	1,84	1,84	448	2,23	2,23	1,79
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	439	2,28	2,28	1,76	434	2,31	2,31	1,79
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	425	2,35	2,35	1,76	420	2,38	2,38	1,79
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	411	2,43	2,43	1,76	406	2,46	2,46	1,79
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	397	2,52	2,52	1,76	392	2,55	2,55	1,79
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	383	2,12	2,61	1,76	378	2,14	2,65	1,79
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	368	2,12	2,71	1,76	364	2,14	2,75	1,79
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	354	2,12	2,82	1,76	350	2,14	2,86	1,79
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	340	2,12	2,94	1,76	336	2,14	2,98	1,79
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	586	1,71	1,71	1,71	560	1,79	1,79	1,79
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	583	1,71	1,71	1,71	546	1,83	1,83	1,60
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	580	1,72	1,72	1,72	531	1,88	1,88	1,60
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	578	1,73	1,73	1,73	515	1,94	1,94	1,60
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	575	1,74	1,74	1,74	500	2,00	2,00	1,60
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	572	1,75	1,75	1,75	484	2,07	2,07	1,60
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	569	1,76	1,76	1,76	468	2,14	2,14	1,60
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	432	2,32	2,32	1,68	453	2,21	2,21	1,60
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	417	2,40	2,40	1,68	437	2,29	2,29	1,60
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	402	2,02	2,49	1,68	421	1,92	2,37	1,60
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	387	2,02	2,58	1,68	406	1,92	2,46	1,60
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	372	2,02	2,69	1,68	390	1,92	2,56	1,60
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	357	2,02	2,80	1,68	375	1,92	2,67	1,60

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung						EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung			
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	580	1,72	1,72	1,68	507	1,97	1,97	1,97
950	1050				1000	0,05	5	565	1,77	1,77	1,68	507	1,97	1,97	1,97
925	1075				1000	0,08	7,5	551	1,82	1,82	1,68	507	1,97	1,97	1,97
900	1100				1000	0,11	10	536	1,87	1,87	1,68	507	1,97	1,97	1,97
875	1125				1000	0,13	12,5	521	1,92	1,92	1,68	494	2,02	2,02	1,77
825	1175				1000	0,19	17,5	491	2,04	2,04	1,68	466	2,15	2,15	1,77
815	1185				1000	0,20	18,5	485	2,06	2,06	1,68	460	2,17	2,17	1,77
700	1300				1000	0,32	30	417	2,40	2,40	1,68	395	2,53	2,53	1,77
690	1310				1000	0,33	31	411	2,02	2,43	1,68	390	2,13	2,57	1,77
600	1400				1000	0,43	40	357	2,02	2,80	1,68	339	2,13	2,95	1,77
950	1000	1050			1000	0,04	5	565	1,77	1,77	1,68	528	1,89	1,89	1,89
900	1000	1100			1000	0,09	10	536	1,87	1,87	1,68	527	1,90	1,90	1,71
850	1000	1150			1000	0,13	15	506	1,98	1,98	1,68	497	2,01	2,01	1,71
800	1000	1200			1000	0,17	20	476	2,10	2,10	1,68	468	2,14	2,14	1,71
750	1000	1250			1000	0,21	25	446	2,24	2,24	1,68	439	2,28	2,28	1,71
740	1000	1260			1000	0,22	26	440	2,27	2,27	1,68	433	2,31	2,31	1,71
700	1000	1300			1000	0,26	30	417	2,40	2,40	1,68	410	2,44	2,44	1,71
690	1000	1310			1000	0,26	31	411	2,02	2,43	1,68	404	2,05	2,48	1,71
600	1000	1400			1000	0,34	40	357	2,02	2,80	1,68	351	2,05	2,85	1,71
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	565	1,77	1,77	1,68	537	1,86	1,86	1,86
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	551	1,82	1,82	1,68	537	1,86	1,86	1,86
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	536	1,87	1,87	1,68	537	1,86	1,86	1,86
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	521	1,92	1,92	1,68	537	1,86	1,86	1,86
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	506	1,98	1,98	1,68	523	1,91	1,91	1,63
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	491	2,04	2,04	1,68	507	1,97	1,97	1,63
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	476	2,10	2,10	1,68	492	2,03	2,03	1,63
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	461	2,17	2,17	1,68	477	2,10	2,10	1,63
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	446	2,24	2,24	1,68	461	2,17	2,17	1,63
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	432	2,32	2,32	1,68	446	2,24	2,24	1,63
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	417	2,40	2,40	1,68	430	2,32	2,32	1,63
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	402	2,02	2,49	1,68	415	1,95	2,41	1,63
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	387	2,02	2,58	1,68	400	1,95	2,50	1,63
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	372	2,02	2,69	1,68	384	1,95	2,60	1,63
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	357	2,02	2,80	1,68	369	1,95	2,71	1,63
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	536	1,87	1,87	1,68	546	1,83	1,83	1,83
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	521	1,92	1,92	1,68	536	1,87	1,87	1,63
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	506	1,98	1,98	1,68	521	1,92	1,92	1,63
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	491	2,04	2,04	1,68	505	1,98	1,98	1,63
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	476	2,10	2,10	1,68	490	2,04	2,04	1,63
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	461	2,17	2,17	1,68	475	2,11	2,11	1,63
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	446	2,24	2,24	1,68	459	2,18	2,18	1,63
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	432	2,32	2,32	1,68	444	2,25	2,25	1,63
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	417	2,40	2,40	1,68	429	2,33	2,33	1,63
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	402	2,02	2,49	1,68	414	1,96	2,42	1,63
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	387	2,02	2,58	1,68	398	1,96	2,51	1,63
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	372	2,02	2,69	1,68	383	1,96	2,61	1,63
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	357	2,02	2,80	1,68	368	1,96	2,72	1,63

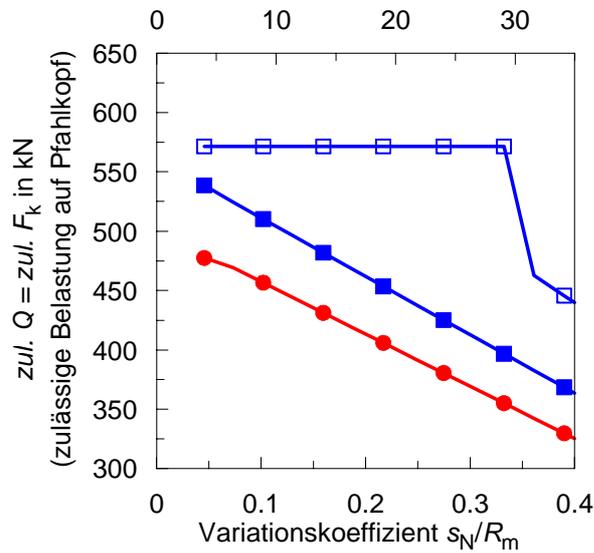
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, starres System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung						EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System			
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_{R}/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	592	1,69	1,69	1,69	560	1,79	1,79	1,79
950	1050				1000	0,05	5	589	1,70	1,70	1,70	560	1,79	1,79	1,79
925	1075				1000	0,08	7,5	586	1,71	1,71	1,71	560	1,79	1,79	1,79
900	1100				1000	0,11	10	583	1,72	1,72	1,72	560	1,79	1,79	1,79
875	1125				1000	0,13	12,5	580	1,72	1,72	1,72	546	1,83	1,83	1,60
825	1175				1000	0,19	17,5	491	2,04	2,04	1,68	515	1,94	1,94	1,60
815	1185				1000	0,20	18,5	485	2,06	2,06	1,68	509	1,97	1,97	1,60
700	1300				1000	0,32	30	417	2,40	2,40	1,68	437	2,29	2,29	1,60
690	1310				1000	0,33	31	411	2,02	2,43	1,68	431	1,92	2,32	1,60
600	1400				1000	0,43	40	357	2,02	2,80	1,68	375	1,92	2,67	1,60
950	1000	1050			1000	0,04	5	590	1,69	1,69	1,69	580	1,72	1,72	1,72
900	1000	1100			1000	0,09	10	585	1,71	1,71	1,71	580	1,72	1,72	1,72
850	1000	1150			1000	0,13	15	580	1,72	1,72	1,72	552	1,81	1,81	1,54
800	1000	1200			1000	0,17	20	576	1,74	1,74	1,74	519	1,93	1,93	1,54
750	1000	1250			1000	0,21	25	446	2,24	2,24	1,68	487	2,05	2,05	1,54
740	1000	1260			1000	0,22	26	440	2,27	2,27	1,68	481	2,08	2,08	1,54
700	1000	1300			1000	0,26	30	417	2,40	2,40	1,68	455	2,20	2,20	1,54
690	1000	1310			1000	0,26	31	411	2,02	2,43	1,68	448	1,85	2,23	1,54
600	1000	1400			1000	0,34	40	357	2,02	2,80	1,68	390	1,85	2,57	1,54
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	590	1,69	1,69	1,69	590	1,69	1,69	1,69
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	588	1,70	1,70	1,70	590	1,69	1,69	1,69
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	585	1,71	1,71	1,71	590	1,69	1,69	1,69
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	582	1,72	1,72	1,72	586	1,71	1,71	1,49
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	579	1,73	1,73	1,73	569	1,76	1,76	1,49
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	576	1,74	1,74	1,74	552	1,81	1,81	1,49
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	573	1,75	1,75	1,75	536	1,87	1,87	1,49
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	461	2,17	2,17	1,68	519	1,93	1,93	1,49
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	446	2,24	2,24	1,68	502	1,99	1,99	1,49
726	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	432	2,32	2,32	1,68	485	2,06	2,06	1,49
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	417	2,40	2,40	1,68	469	2,13	2,13	1,49
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	402	2,02	2,49	1,68	452	1,79	2,21	1,49
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	387	2,02	2,58	1,68	435	1,79	2,30	1,49
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	372	2,02	2,69	1,68	418	1,79	2,39	1,49
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	357	2,02	2,80	1,68	402	1,79	2,49	1,49
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	587	1,70	1,70	1,70	601	1,66	1,66	1,66
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	584	1,71	1,71	1,71	586	1,71	1,71	1,49
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	582	1,72	1,72	1,72	569	1,76	1,76	1,49
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	579	1,73	1,73	1,73	552	1,81	1,81	1,49
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	577	1,73	1,73	1,73	536	1,87	1,87	1,49
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	574	1,74	1,74	1,74	519	1,93	1,93	1,49
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	571	1,75	1,75	1,75	502	1,99	1,99	1,49
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	432	2,32	2,32	1,68	485	2,06	2,06	1,49
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	417	2,40	2,40	1,68	469	2,13	2,13	1,49
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	402	2,02	2,49	1,68	452	1,79	2,21	1,49
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	387	2,02	2,58	1,68	435	1,79	2,30	1,49
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	372	2,02	2,69	1,68	418	1,79	2,39	1,49
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	357	2,02	2,80	1,68	402	1,79	2,49	1,49

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Ausw. mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

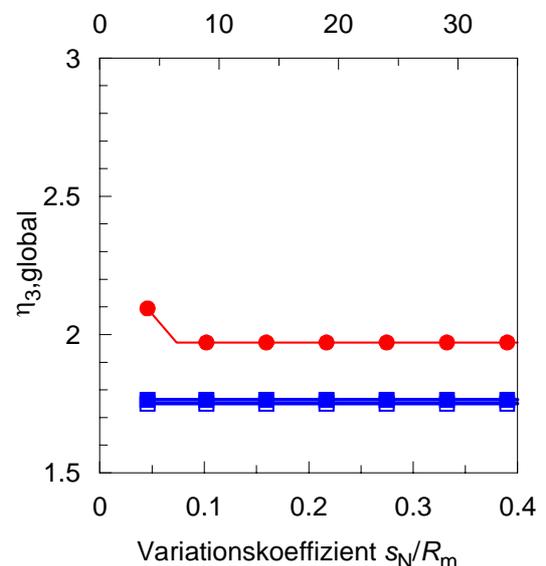
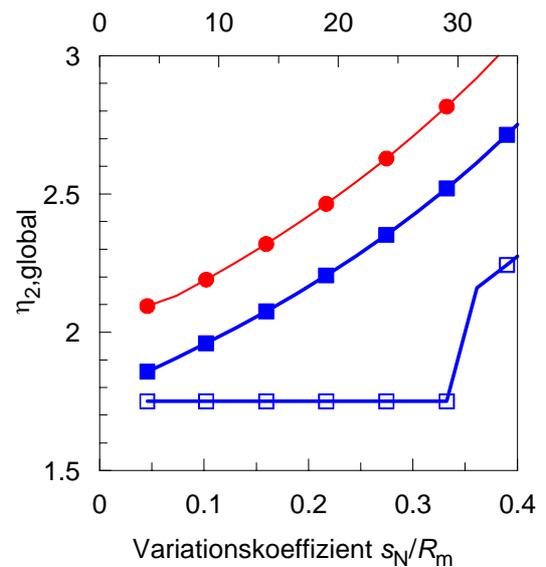
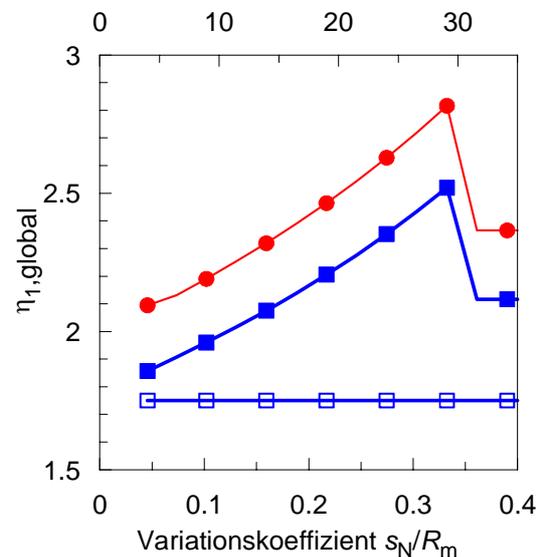


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

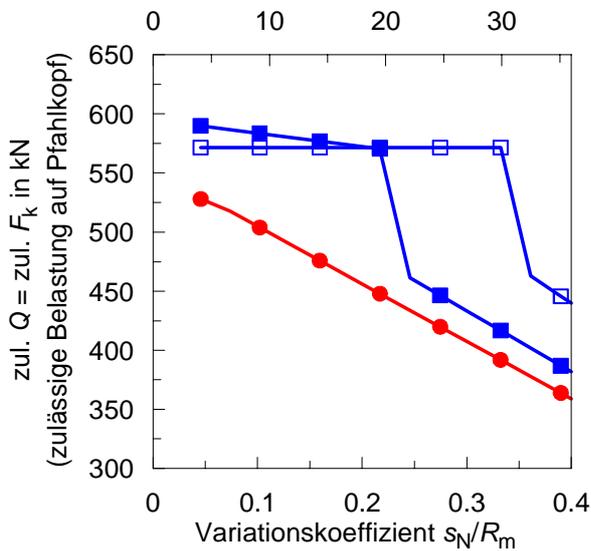
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Ausw. mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



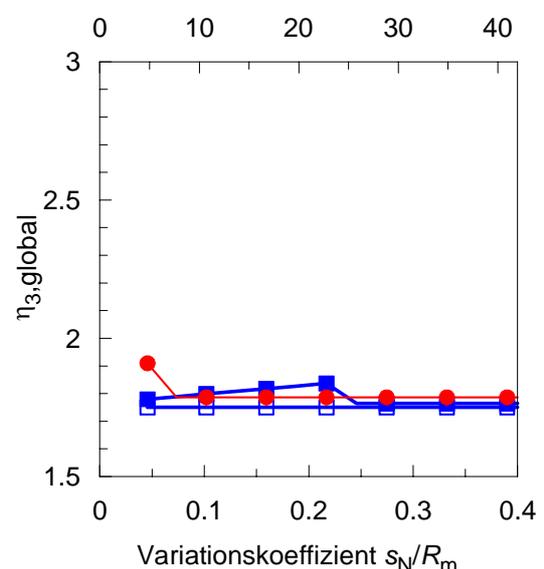
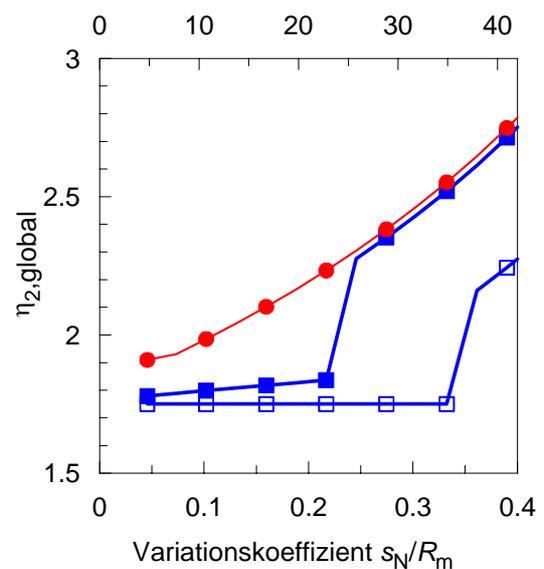
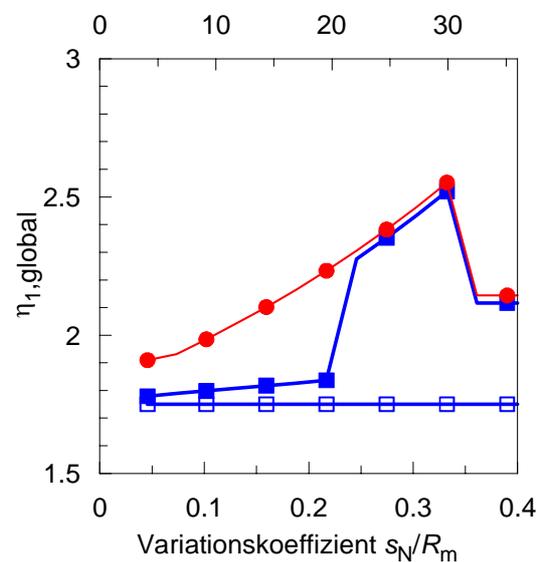
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ▣ DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

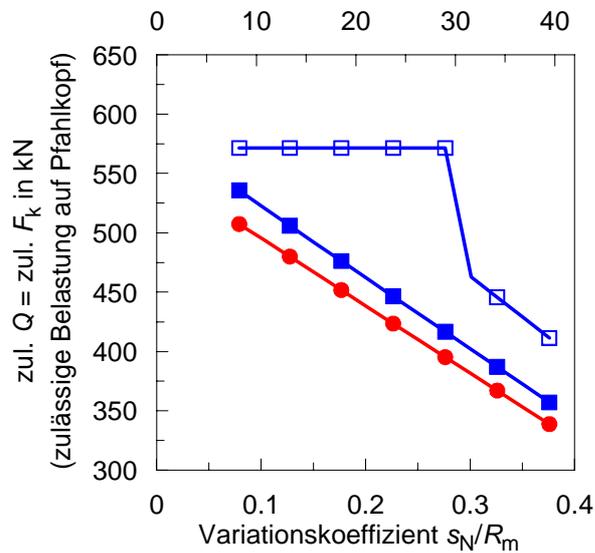
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



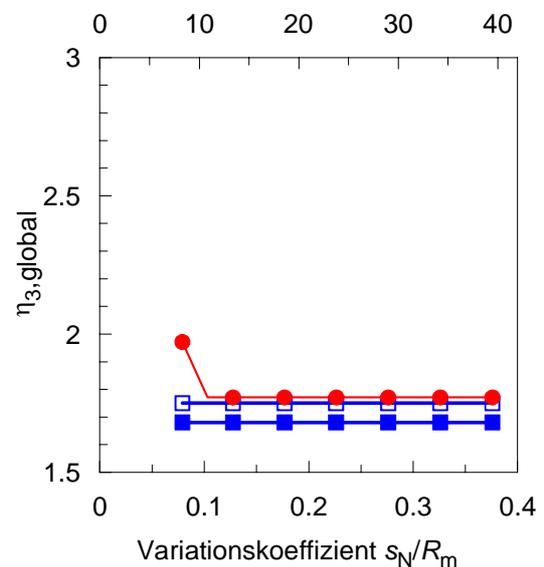
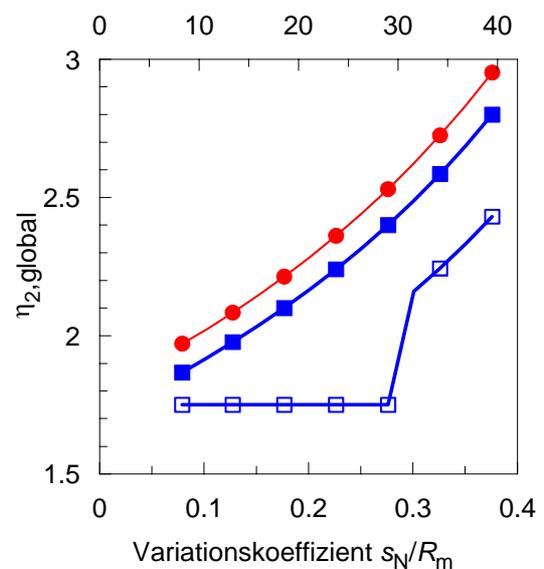
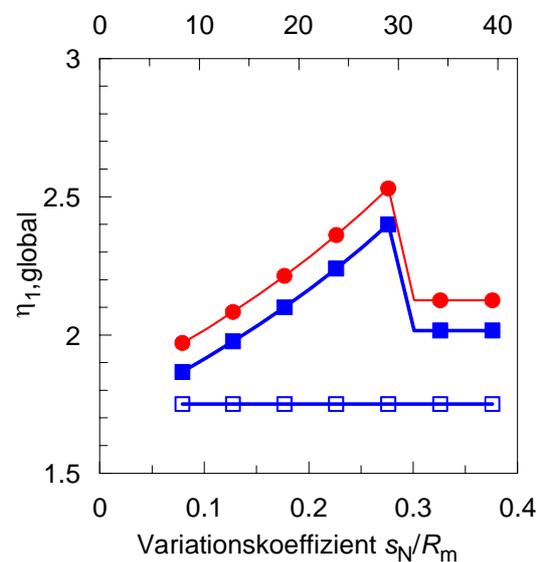
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

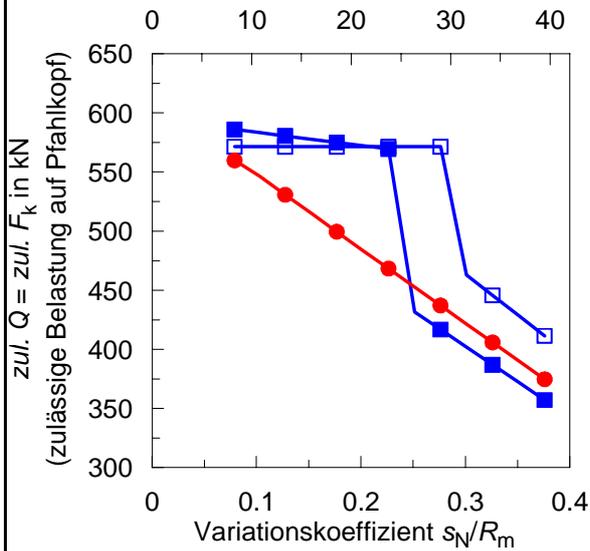
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



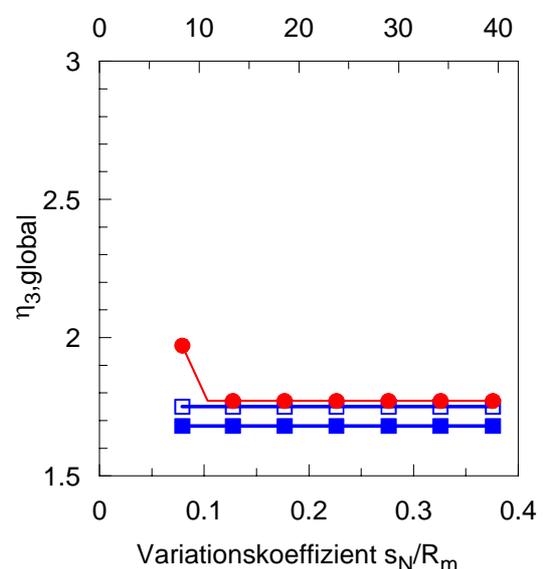
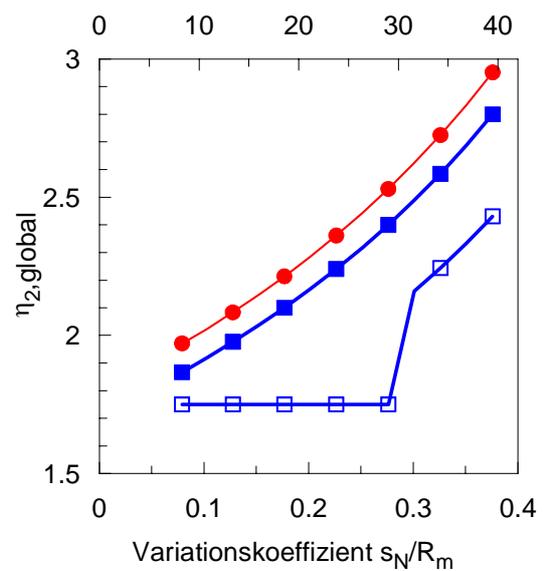
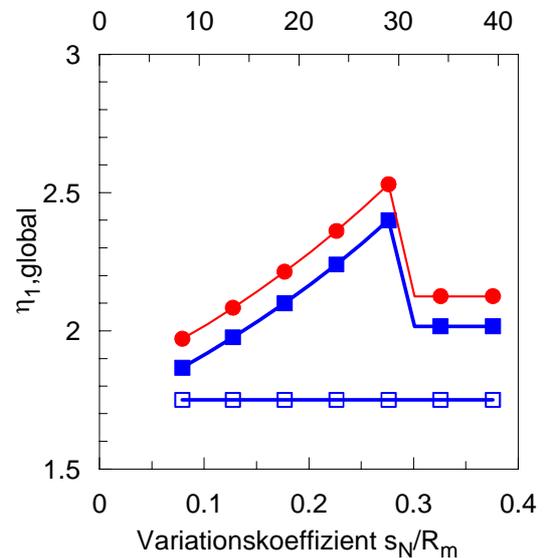
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

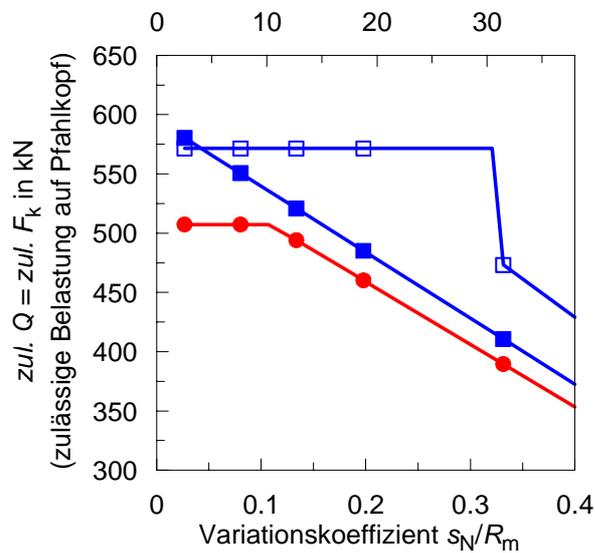
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

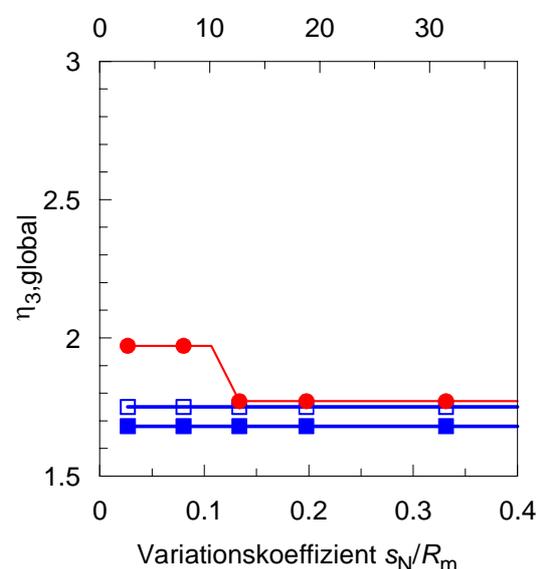
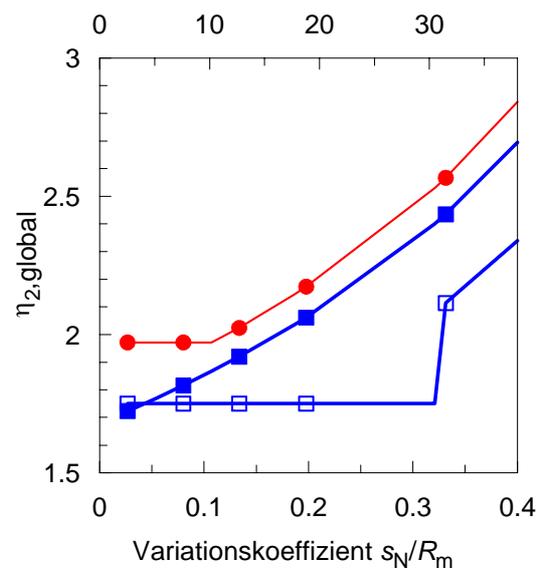
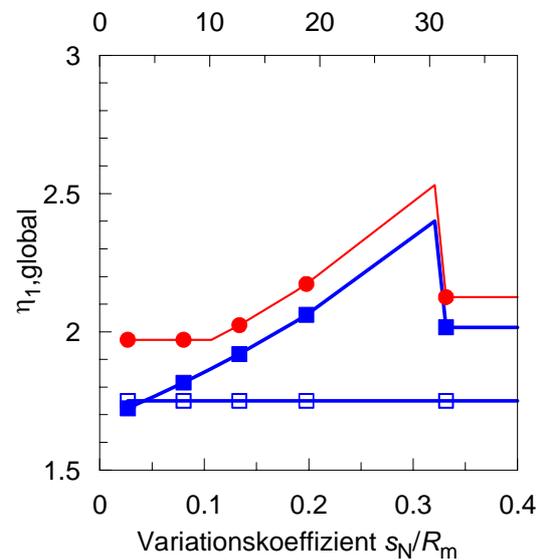


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

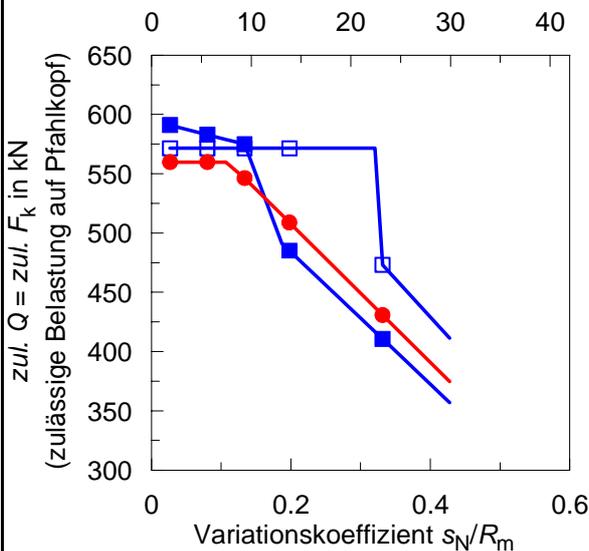
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



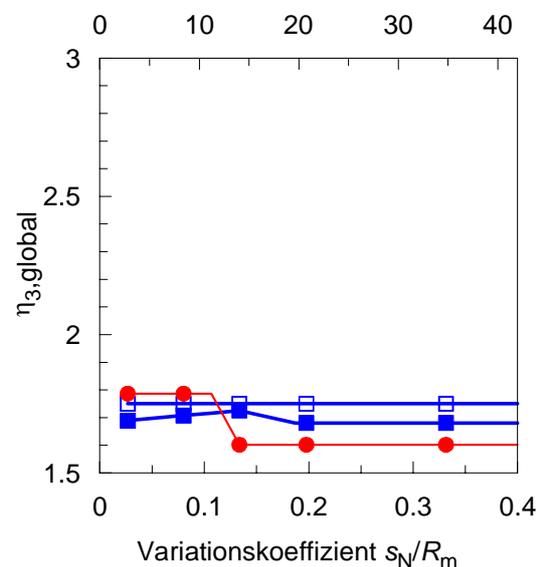
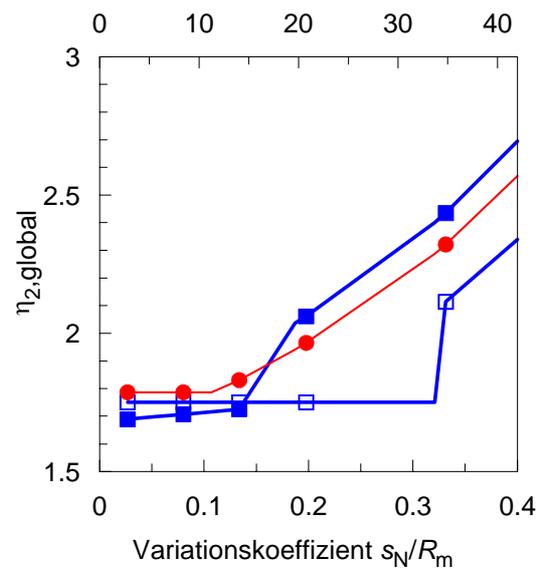
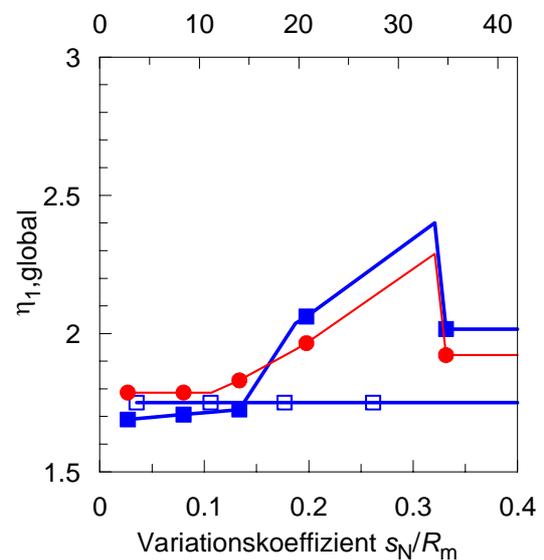
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

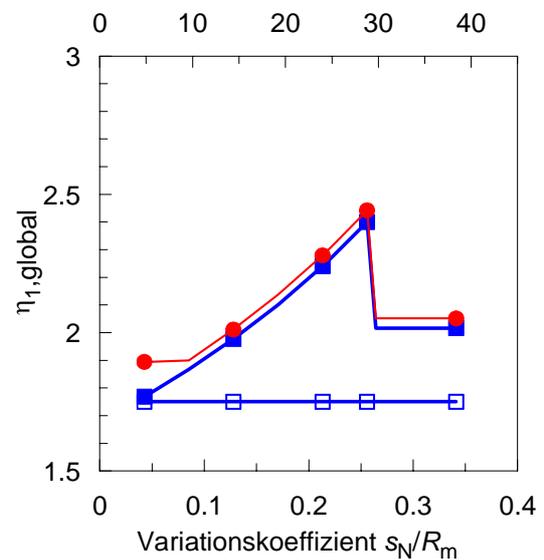
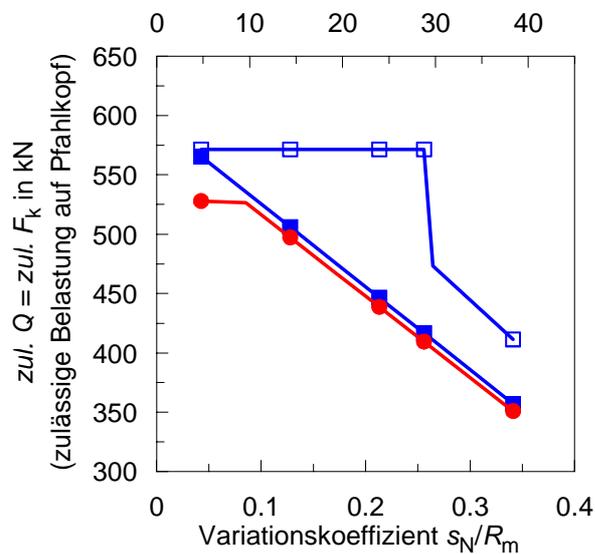
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



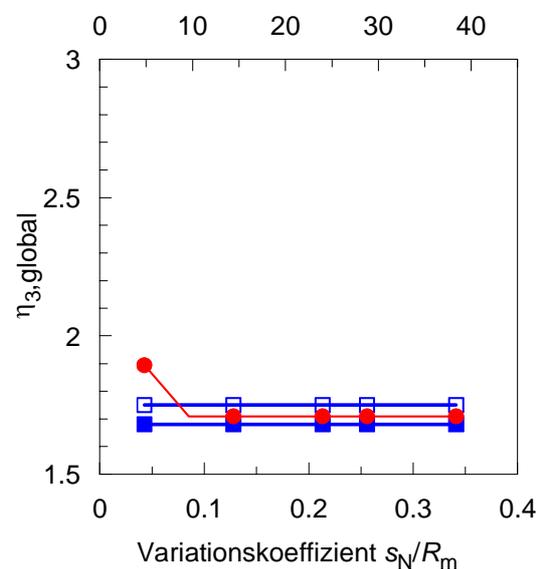
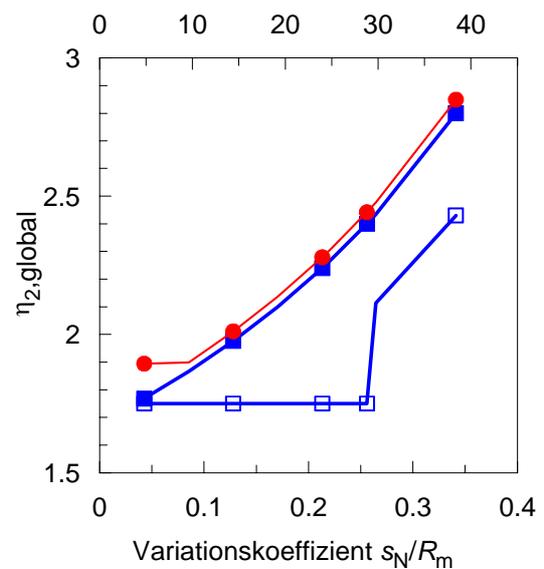
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

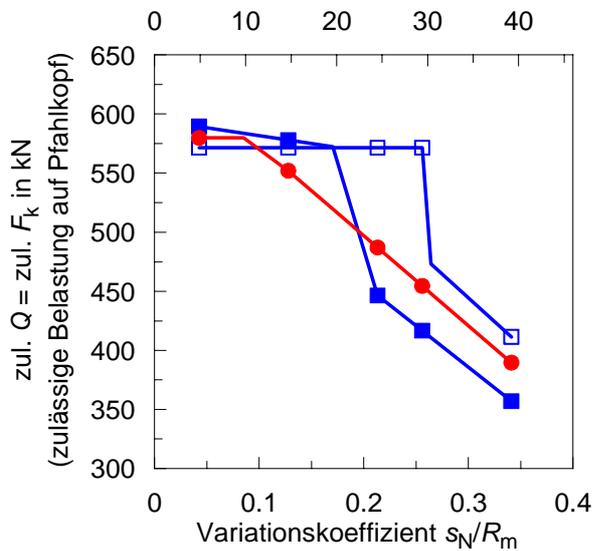
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

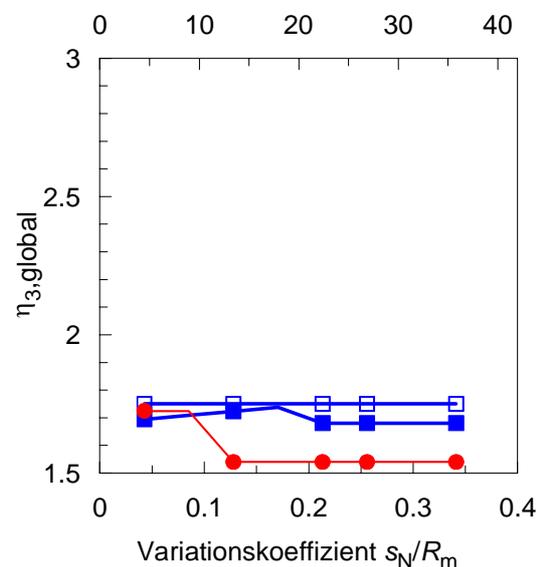
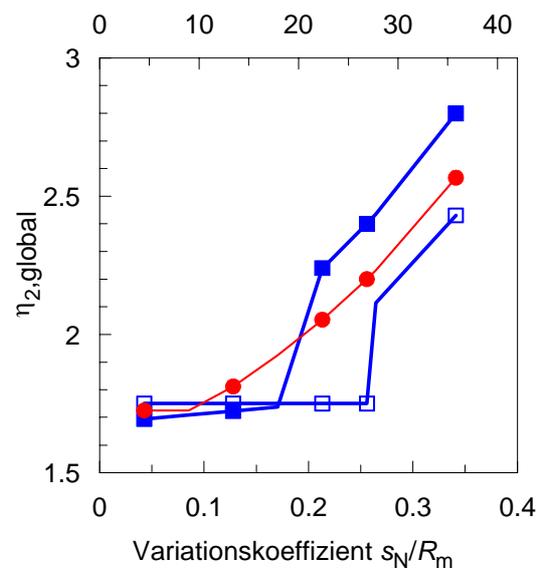
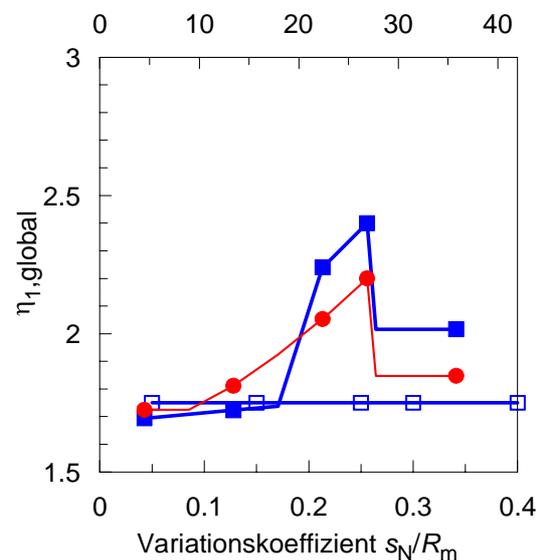


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

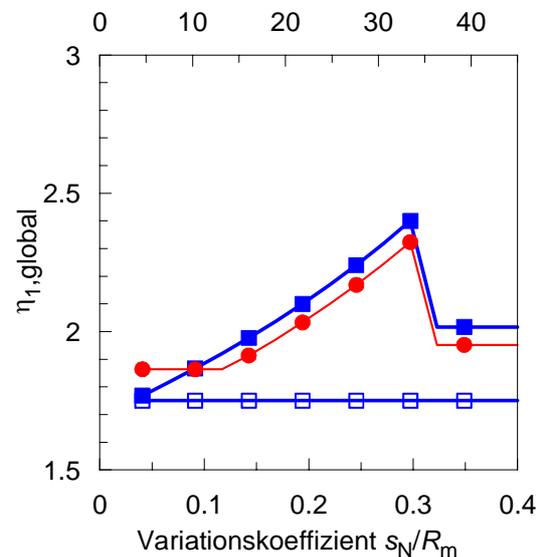
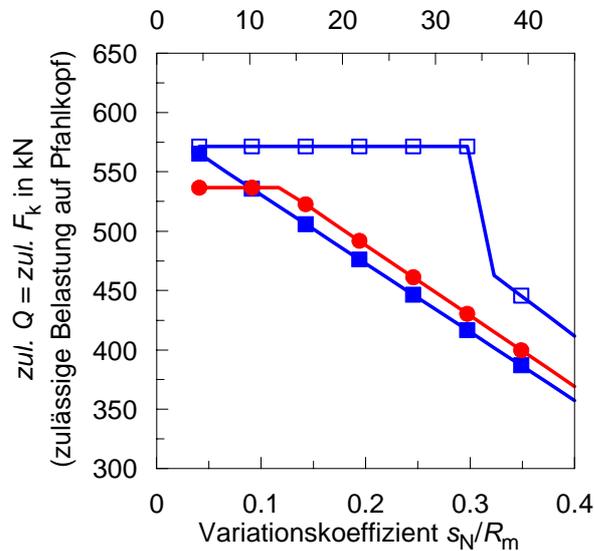
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

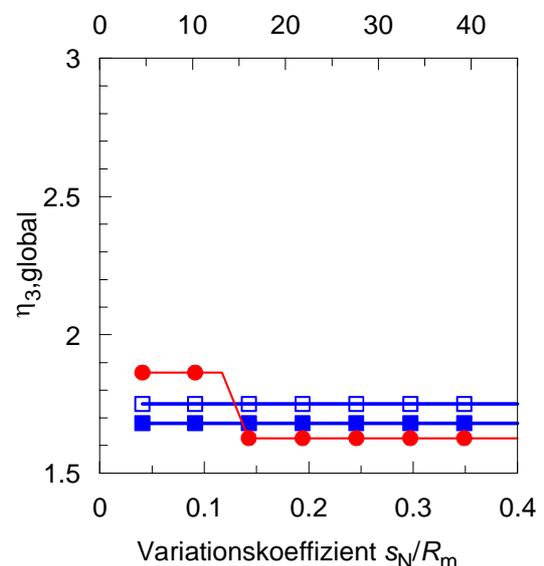
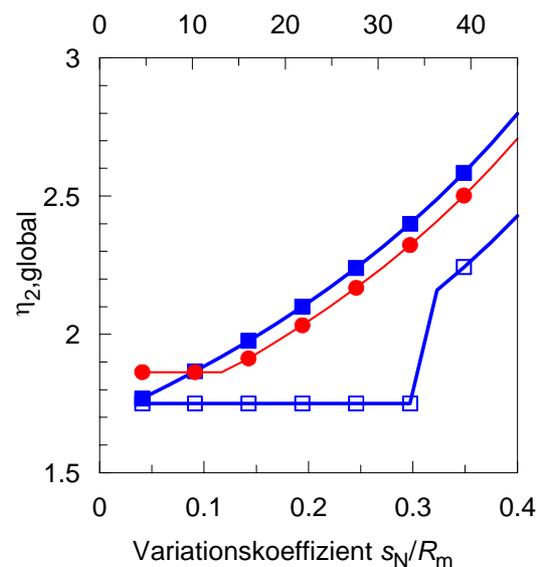
Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

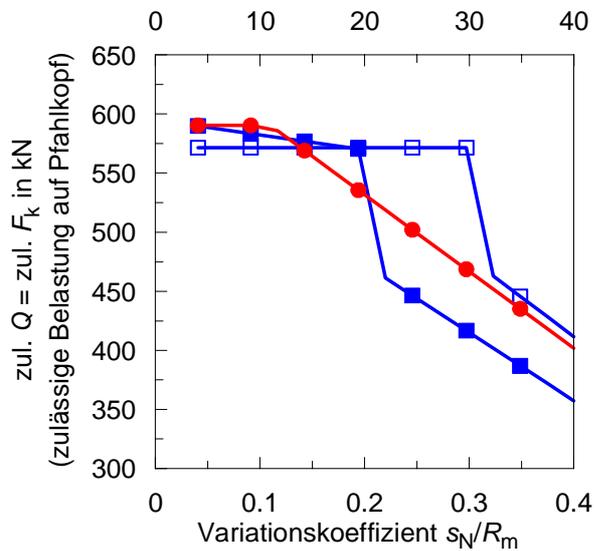
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01



$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



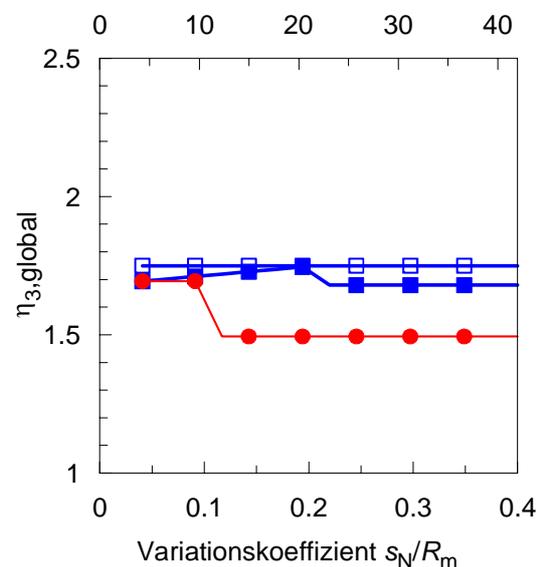
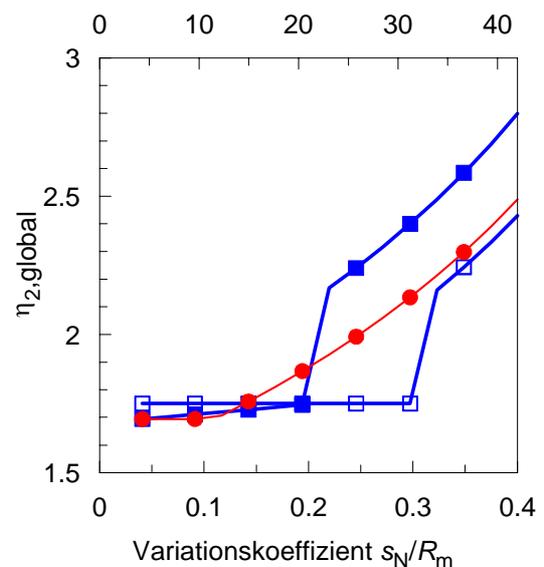
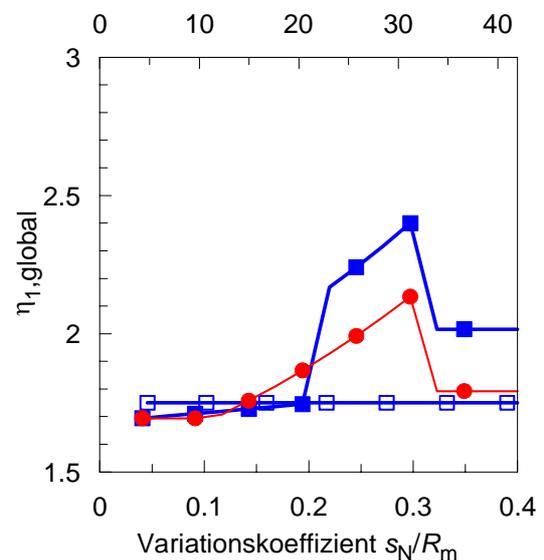
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

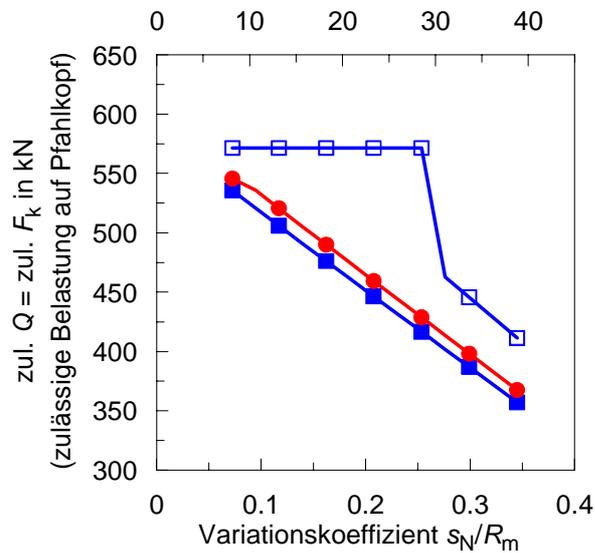
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



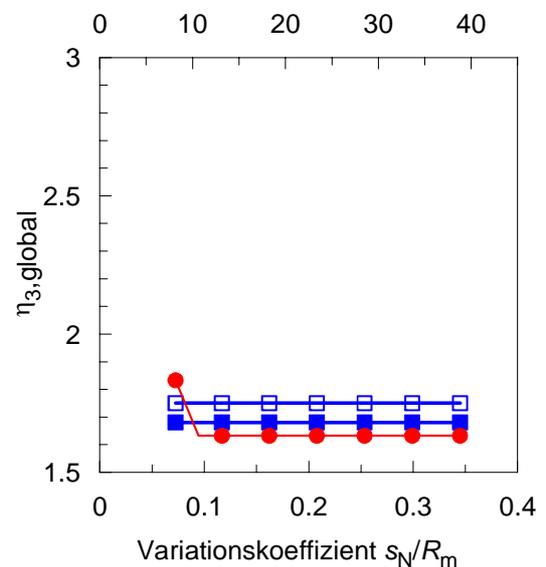
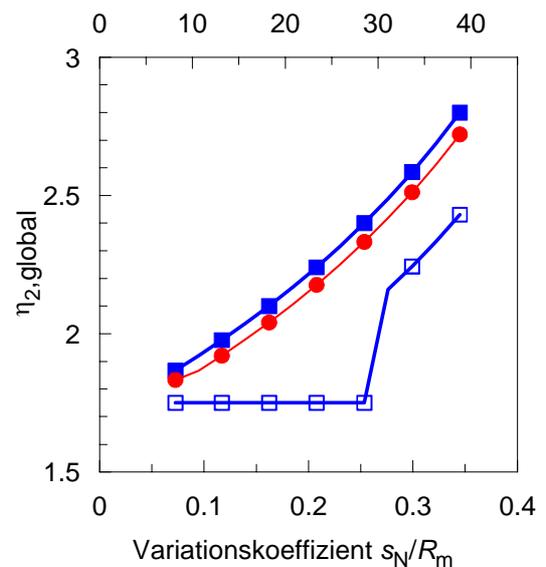
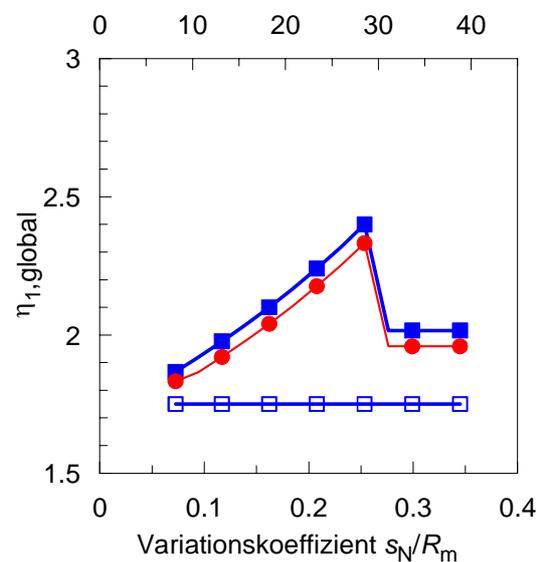
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

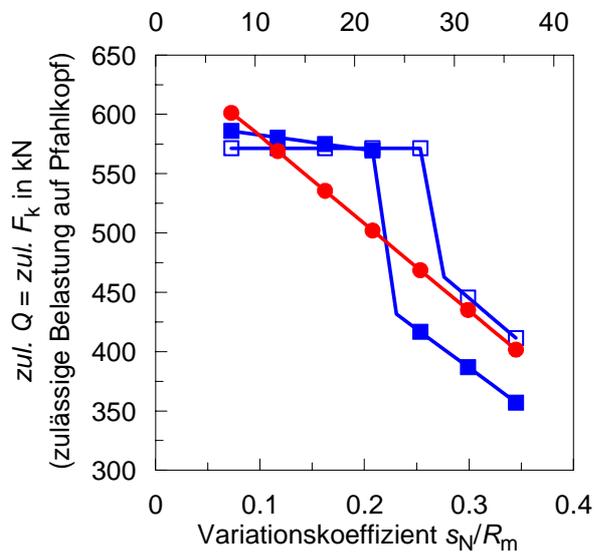
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



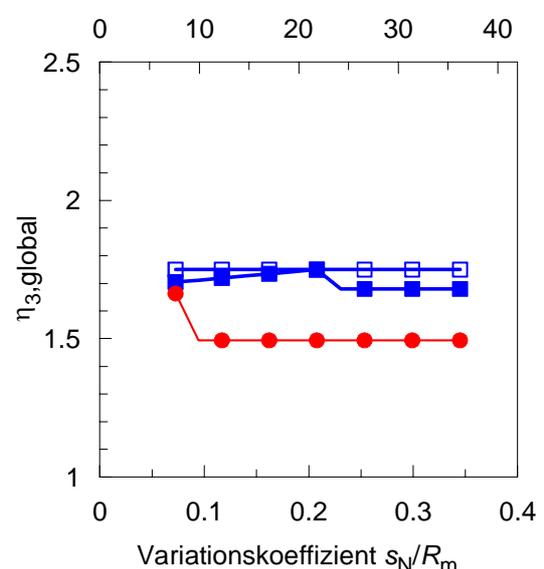
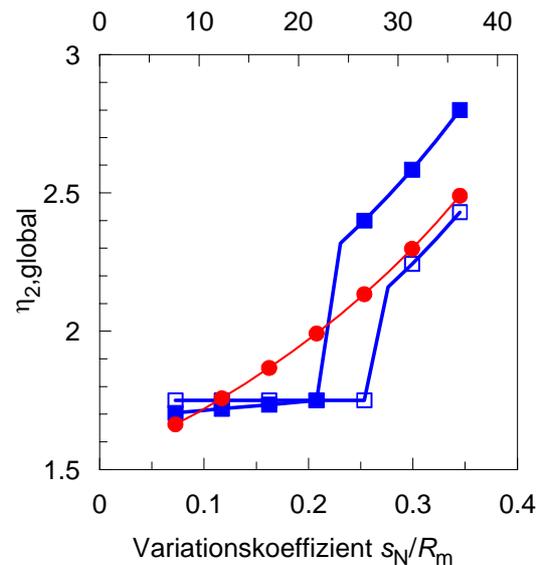
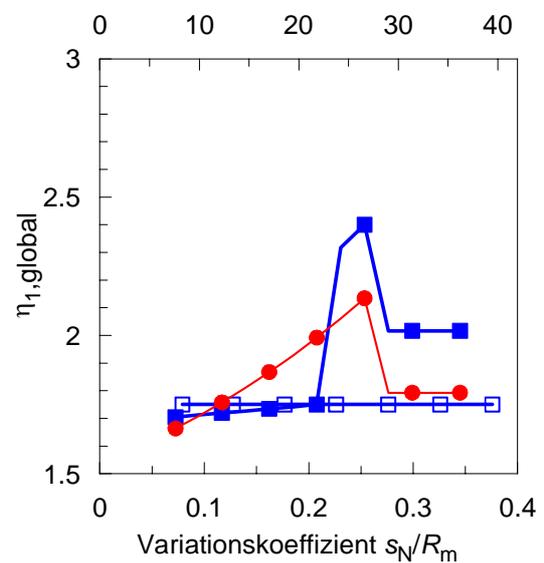
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ◻— DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 2 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen
- 2.2 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, direktes Verfahren						EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, direktes Verfahren			
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	464	2,15	2,15	2,10	406	2,46	2,46	2,46
950	1050				1000	0,07	5	452	2,21	2,21	2,10	406	2,46	2,46	2,46
925	1075				1000	0,11	7,5	440	2,27	2,27	2,10	400	2,50	2,50	2,31
900	1100				1000	0,14	10	429	2,33	2,33	2,10	390	2,57	2,57	2,31
875	1125				1000	0,18	12,5	417	2,40	2,40	2,10	379	2,64	2,64	2,31
825	1175				1000	0,25	17,5	393	2,55	2,55	2,10	357	2,80	2,80	2,31
815	1185				1000	0,26	18,5	388	2,58	2,58	2,10	353	2,83	2,83	2,31
700	1300				1000	0,42	30	333	3,00	3,00	2,10	303	3,30	3,30	2,31
690	1310				1000	0,44	31	329	2,52	3,04	2,10	299	2,77	3,35	2,31
600	1400				1000	0,57	40	286	2,52	3,50	2,10	260	2,77	3,85	2,31
950	1000	1050			1000	0,08	5	452	2,21	2,21	2,10	406	2,46	2,46	2,46
900	1000	1100			1000	0,16	10	429	2,33	2,33	2,10	390	2,57	2,57	2,31
850	1000	1150			1000	0,24	15	405	2,47	2,47	2,10	368	2,72	2,72	2,31
800	1000	1200			1000	0,32	20	381	2,63	2,63	2,10	346	2,89	2,89	2,31
750	1000	1250			1000	0,40	25	357	2,80	2,80	2,10	325	3,08	3,08	2,31
740	1000	1260			1000	0,41	26	352	2,84	2,84	2,10	320	3,12	3,12	2,31
700	1000	1300			1000	0,47	30	333	3,00	3,00	2,10	303	3,30	3,30	2,31
690	1000	1310			1000	0,49	31	329	2,52	3,04	2,10	299	2,77	3,35	2,31
600	1000	1400			1000	0,63	40	286	2,52	3,50	2,10	260	2,77	3,85	2,31
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	492	2,03	2,03	1,93	406	2,46	2,46	2,46
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	479	2,09	2,09	1,93	400	2,50	2,50	2,31
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	466	2,15	2,15	1,93	390	2,57	2,57	2,31
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	453	2,21	2,21	1,93	379	2,64	2,64	2,31
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	440	2,27	2,27	1,93	368	2,72	2,72	2,31
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	427	2,34	2,34	1,93	357	2,80	2,80	2,31
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	414	2,42	2,42	1,93	346	2,89	2,89	2,31
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	401	2,49	2,49	1,93	335	2,98	2,98	2,31
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	388	2,58	2,58	1,93	325	3,08	3,08	2,31
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	375	2,66	2,66	1,93	314	3,19	3,19	2,31
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	362	2,76	2,76	1,93	303	3,30	3,30	2,31
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	349	2,86	2,86	1,93	292	3,42	3,42	2,31
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	336	2,97	2,97	1,93	281	3,55	3,55	2,31
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	323	3,09	3,09	1,93	271	3,70	3,70	2,31
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	311	3,22	3,22	1,93	260	3,85	3,85	2,31
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	487	2,05	2,05	1,85	433	2,31	2,31	2,08
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	473	2,11	2,11	1,85	421	2,38	2,38	2,08
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	460	2,17	2,17	1,85	409	2,45	2,45	2,08
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	446	2,24	2,24	1,85	397	2,52	2,52	2,08
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	433	2,31	2,31	1,85	385	2,60	2,60	2,08
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	419	2,38	2,38	1,85	373	2,68	2,68	2,08
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	406	2,46	2,46	1,85	361	2,77	2,77	2,08
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	392	2,55	2,55	1,85	349	2,87	2,87	2,08
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	379	2,64	2,64	1,85	337	2,97	2,97	2,08
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	365	2,74	2,74	1,85	325	3,08	3,08	2,08
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	352	2,84	2,84	1,85	313	3,20	3,20	2,08
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	338	2,96	2,96	1,85	301	3,33	3,33	2,08
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	325	3,08	3,08	1,85	289	3,47	3,47	2,08

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, direktes Verfahren, starres System				EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, direktes Verfahren, starres System					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	514	1,94	1,94	1,94	448	2,23	2,23	2,23
950	1050				1000	0,07	5	511	1,96	1,96	1,96	448	2,23	2,23	2,23
925	1075				1000	0,11	7,5	508	1,97	1,97	1,97	442	2,26	2,26	2,09
900	1100				1000	0,14	10	505	1,98	1,98	1,98	430	2,33	2,33	2,09
875	1125				1000	0,18	12,5	502	1,99	1,99	1,99	418	2,39	2,39	2,09
825	1175				1000	0,25	17,5	427	2,34	2,34	1,93	394	2,54	2,54	2,09
815	1185				1000	0,26	18,5	422	2,37	2,37	1,93	389	2,57	2,57	2,09
700	1300				1000	0,42	30	362	2,76	2,76	1,93	334	2,99	2,99	2,09
690	1310				1000	0,44	31	357	2,32	2,80	1,93	329	2,51	3,04	2,09
600	1400				1000	0,57	40	311	2,32	3,22	1,93	286	2,51	3,49	2,09
950	1000	1050			1000	0,05	5	513	1,95	1,95	1,95	448	2,23	2,23	2,23
900	1000	1100			1000	0,10	10	509	1,97	1,97	1,97	430	2,33	2,33	2,09
850	1000	1150			1000	0,15	15	504	1,98	1,98	1,98	406	2,46	2,46	2,09
800	1000	1200			1000	0,20	20	500	2,00	2,00	2,00	382	2,62	2,62	2,09
750	1000	1250			1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	358	2,79	2,79	2,09
740	1000	1260			1000	0,26	26	383	2,61	2,61	1,93	353	2,83	2,83	2,09
700	1000	1300			1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	334	2,99	2,99	2,09
690	1000	1310			1000	0,31	31	357	2,32	2,80	1,93	329	2,51	3,04	2,09
600	1000	1400			1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	315	2,28	3,17	1,90
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	514	1,95	1,95	1,95	448	2,23	2,23	2,23
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	511	1,96	1,96	1,96	442	2,26	2,26	2,09
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	509	1,97	1,97	1,97	430	2,33	2,33	2,09
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	506	1,98	1,98	1,98	418	2,39	2,39	2,09
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	504	1,99	1,99	1,99	406	2,46	2,46	2,09
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	501	2,00	2,00	2,00	394	2,54	2,54	2,09
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	499	2,00	2,00	2,00	382	2,62	2,62	2,09
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	401	2,49	2,49	1,93	370	2,70	2,70	2,09
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	388	2,58	2,58	1,93	358	2,79	2,79	2,09
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	375	2,66	2,66	1,93	346	2,89	2,89	2,09
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	362	2,76	2,76	1,93	334	2,99	2,99	2,09
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	349	2,32	2,86	1,93	322	2,51	3,10	2,09
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	336	2,32	2,97	1,93	310	2,51	3,22	2,09
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	323	2,32	3,09	1,93	298	2,51	3,35	2,09
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	311	2,32	3,22	1,93	286	2,51	3,49	2,09
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	533	1,87	1,87	1,87	475	2,10	2,10	1,89
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	531	1,88	1,88	1,88	462	2,16	2,16	1,89
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	529	1,89	1,89	1,89	449	2,23	2,23	1,89
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	527	1,90	1,90	1,90	436	2,30	2,30	1,89
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	524	1,91	1,91	1,91	422	2,37	2,37	1,89
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	522	1,92	1,92	1,92	409	2,44	2,44	1,89
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	520	1,92	1,92	1,92	396	2,53	2,53	1,89
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	392	2,55	2,55	1,85	383	2,61	2,61	1,89
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	379	2,64	2,64	1,85	370	2,71	2,71	1,89
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	365	2,22	2,74	1,85	356	2,27	2,81	1,89
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	352	2,22	2,84	1,85	343	2,27	2,91	1,89
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	338	2,22	2,96	1,85	330	2,27	3,03	1,89
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	325	2,22	3,08	1,85	317	2,27	3,16	1,89

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, direktes Verfahren				EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, direktes Verfahren					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	528	1,90	1,90	1,85	433	2,31	2,31	2,31
950	1050				1000	0,05	5	514	1,95	1,95	1,85	433	2,31	2,31	2,31
925	1075				1000	0,08	7,5	501	2,00	2,00	1,85	433	2,31	2,31	2,31
900	1100				1000	0,11	10	487	2,05	2,05	1,85	433	2,31	2,31	2,08
875	1125				1000	0,13	12,5	473	2,11	2,11	1,85	421	2,38	2,38	2,08
825	1175				1000	0,19	17,5	446	2,24	2,24	1,85	397	2,52	2,52	2,08
815	1185				1000	0,20	18,5	441	2,27	2,27	1,85	392	2,55	2,55	2,08
700	1300				1000	0,32	30	379	2,64	2,64	1,85	337	2,97	2,97	2,08
690	1310				1000	0,33	31	373	2,22	2,68	1,85	332	2,49	3,01	2,08
600	1400				1000	0,43	40	325	2,22	3,08	1,85	289	2,49	3,47	2,08
950	1000	1050			1000	0,04	5	514	1,95	1,95	1,85	448	2,23	2,23	2,23
900	1000	1100			1000	0,09	10	487	2,05	2,05	1,85	448	2,23	2,23	2,23
850	1000	1150			1000	0,13	15	460	2,17	2,17	1,85	425	2,36	2,36	2,00
800	1000	1200			1000	0,17	20	433	2,31	2,31	1,85	400	2,50	2,50	2,00
750	1000	1250			1000	0,21	25	406	2,46	2,46	1,85	375	2,67	2,67	2,00
740	1000	1260			1000	0,22	26	400	2,50	2,50	1,85	370	2,71	2,71	2,00
700	1000	1300			1000	0,26	30	379	2,64	2,64	1,85	350	2,86	2,86	2,00
690	1000	1310			1000	0,26	31	373	2,22	2,68	1,85	345	2,40	2,90	2,00
600	1000	1400			1000	0,34	40	325	2,22	3,08	1,85	300	2,40	3,34	2,00
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	514	1,95	1,95	1,85	457	2,19	2,19	2,19
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	501	2,00	2,00	1,85	457	2,19	2,19	2,19
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	487	2,05	2,05	1,85	457	2,19	2,19	2,19
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	473	2,11	2,11	1,85	455	2,20	2,20	1,93
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	460	2,17	2,17	1,85	442	2,26	2,26	1,93
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	446	2,24	2,24	1,85	429	2,33	2,33	1,93
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	433	2,31	2,31	1,85	416	2,41	2,41	1,93
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	419	2,38	2,38	1,85	403	2,48	2,48	1,93
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	406	2,46	2,46	1,85	390	2,57	2,57	1,93
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	392	2,55	2,55	1,85	377	2,66	2,66	1,93
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	379	2,64	2,64	1,85	364	2,75	2,75	1,93
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	365	2,22	2,74	1,85	351	2,31	2,85	1,93
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	352	2,22	2,84	1,85	338	2,31	2,96	1,93
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	338	2,22	2,96	1,85	325	2,31	3,08	1,93
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	325	2,22	3,08	1,85	312	2,31	3,21	1,93
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	487	2,05	2,05	1,85	464	2,16	2,16	2,16
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	473	2,11	2,11	1,85	455	2,20	2,20	1,93
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	460	2,17	2,17	1,85	442	2,26	2,26	1,93
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	446	2,24	2,24	1,85	429	2,33	2,33	1,93
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	433	2,31	2,31	1,85	416	2,41	2,41	1,93
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	419	2,38	2,38	1,85	403	2,48	2,48	1,93
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	406	2,46	2,46	1,85	390	2,57	2,57	1,93
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	392	2,55	2,55	1,85	377	2,66	2,66	1,93
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	379	2,64	2,64	1,85	364	2,75	2,75	1,93
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	365	2,22	2,74	1,85	351	2,31	2,85	1,93
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	352	2,22	2,84	1,85	338	2,31	2,96	1,93
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	338	2,22	2,96	1,85	325	2,31	3,08	1,93
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	325	2,22	3,08	1,85	312	2,31	3,21	1,93

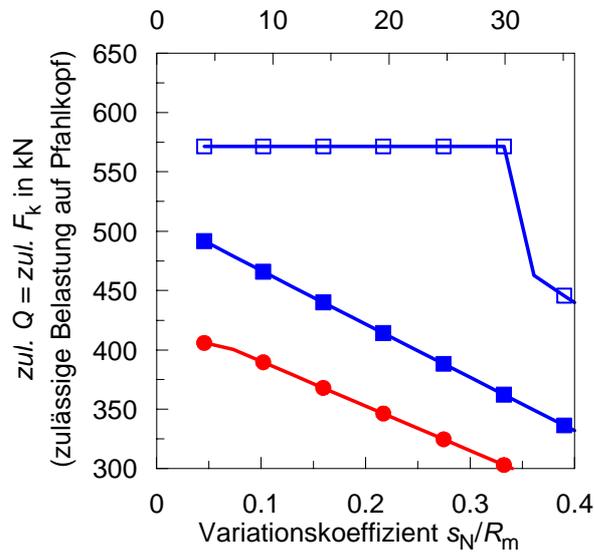
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, starres System

						DIN 1054:2005-01, gleiches Baufeld, direktes Verfahren						EC 7-1 (nat. Vorschlag), gleiches Baufeld, direktes Verfahren, starres System					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	$zul. F_k$	η_1	η_2	η_3	$zul. F_k$	η_1	η_2	η_3		
975	1025				1000	0,03	2,5	539	1,86	1,86	1,86	477	2,09	2,09	2,09		
950	1050				1000	0,05	5	536	1,87	1,87	1,87	477	2,09	2,09	2,09		
925	1075				1000	0,08	7,5	533	1,87	1,87	1,87	477	2,09	2,09	2,09		
900	1100				1000	0,11	10	531	1,88	1,88	1,88	475	2,10	2,10	1,89		
875	1125				1000	0,13	12,5	528	1,89	1,89	1,89	462	2,16	2,16	1,89		
825	1175				1000	0,19	17,5	446	2,24	2,24	1,85	436	2,30	2,30	1,89		
815	1185				1000	0,20	18,5	441	2,27	2,27	1,85	430	2,32	2,32	1,89		
700	1300				1000	0,32	30	379	2,64	2,64	1,85	370	2,71	2,71	1,89		
690	1310				1000	0,33	31	373	2,22	2,68	1,85	364	2,27	2,75	1,89		
600	1400				1000	0,43	40	325	2,22	3,08	1,85	317	2,27	3,16	1,89		
950	1000	1050			1000	0,04	5	537	1,86	1,86	1,86	492	2,03	2,03	2,03		
900	1000	1100			1000	0,09	10	533	1,88	1,88	1,88	492	2,03	2,03	2,03		
850	1000	1150			1000	0,13	15	529	1,89	1,89	1,89	468	2,14	2,14	1,82		
800	1000	1200			1000	0,17	20	525	1,91	1,91	1,91	440	2,27	2,27	1,82		
750	1000	1250			1000	0,21	25	406	2,46	2,46	1,85	413	2,42	2,42	1,82		
740	1000	1260			1000	0,22	26	400	2,50	2,50	1,85	407	2,46	2,46	1,82		
700	1000	1300			1000	0,26	30	379	2,64	2,64	1,85	385	2,60	2,60	1,82		
690	1000	1310			1000	0,26	31	373	2,22	2,68	1,85	380	2,18	2,63	1,82		
600	1000	1400			1000	0,34	40	325	2,22	3,08	1,85	330	2,18	3,03	1,82		
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	537	1,86	1,86	1,86	503	1,99	1,99	1,99		
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	535	1,87	1,87	1,87	503	1,99	1,99	1,99		
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	532	1,88	1,88	1,88	503	1,99	1,99	1,99		
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	530	1,89	1,89	1,89	498	2,01	2,01	1,76		
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	527	1,90	1,90	1,90	484	2,07	2,07	1,76		
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	525	1,90	1,90	1,90	470	2,13	2,13	1,76		
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	523	1,91	1,91	1,91	456	2,19	2,19	1,76		
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	419	2,38	2,38	1,85	441	2,27	2,27	1,76		
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	406	2,46	2,46	1,85	427	2,34	2,34	1,76		
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	392	2,55	2,55	1,85	413	2,42	2,42	1,76		
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	379	2,64	2,64	1,85	399	2,51	2,51	1,76		
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	365	2,22	2,74	1,85	384	2,11	2,60	1,76		
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	352	2,22	2,84	1,85	370	2,11	2,70	1,76		
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	338	2,22	2,96	1,85	356	2,11	2,81	1,76		
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	325	2,22	3,08	1,85	342	2,11	2,93	1,76		
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	534	1,87	1,87	1,87	511	1,96	1,96	1,96		
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	532	1,88	1,88	1,88	498	2,01	2,01	1,76		
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	530	1,89	1,89	1,89	484	2,07	2,07	1,76		
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	528	1,89	1,89	1,89	470	2,13	2,13	1,76		
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	526	1,90	1,90	1,90	456	2,19	2,19	1,76		
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	524	1,91	1,91	1,91	441	2,27	2,27	1,76		
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	521	1,92	1,92	1,92	427	2,34	2,34	1,76		
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	392	2,55	2,55	1,85	413	2,42	2,42	1,76		
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	379	2,64	2,64	1,85	399	2,51	2,51	1,76		
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	365	2,22	2,74	1,85	384	2,11	2,60	1,76		
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	352	2,22	2,84	1,85	370	2,11	2,70	1,76		
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	338	2,22	2,96	1,85	356	2,11	2,81	1,76		
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	325	2,22	3,08	1,85	342	2,11	2,93	1,76		

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

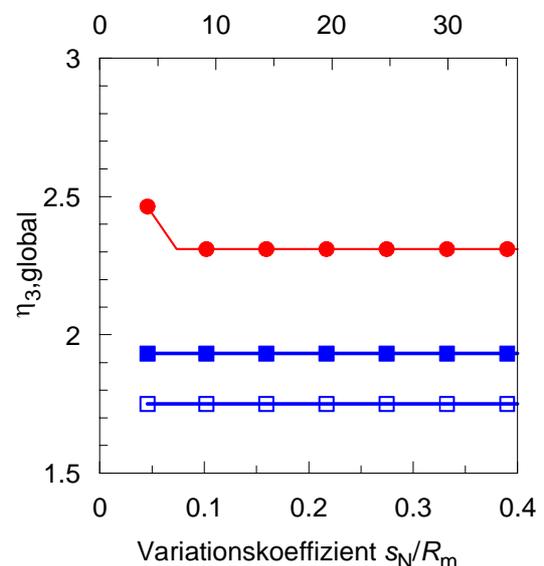
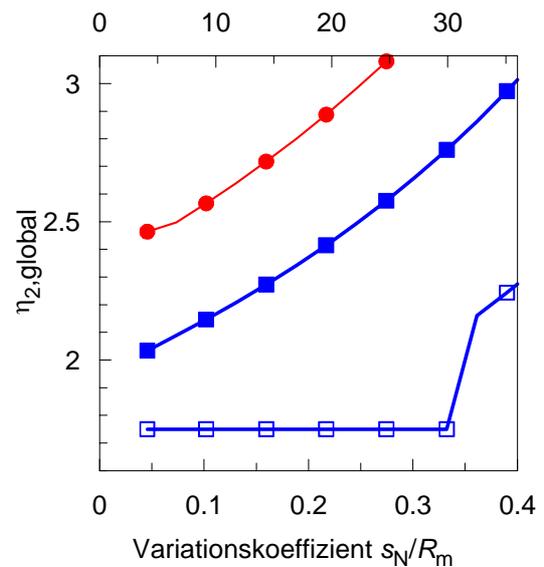
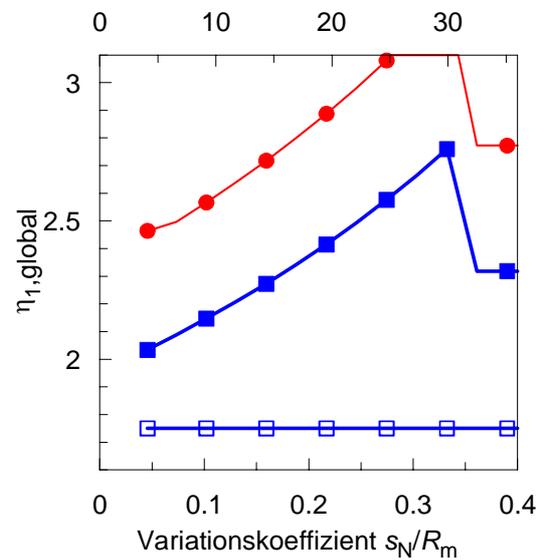


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

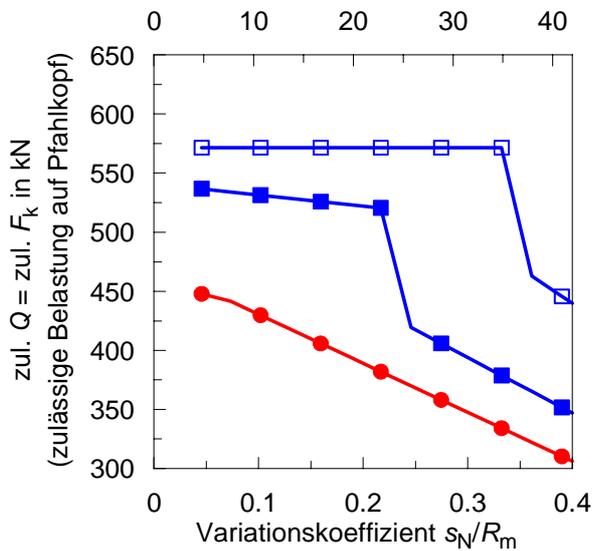
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

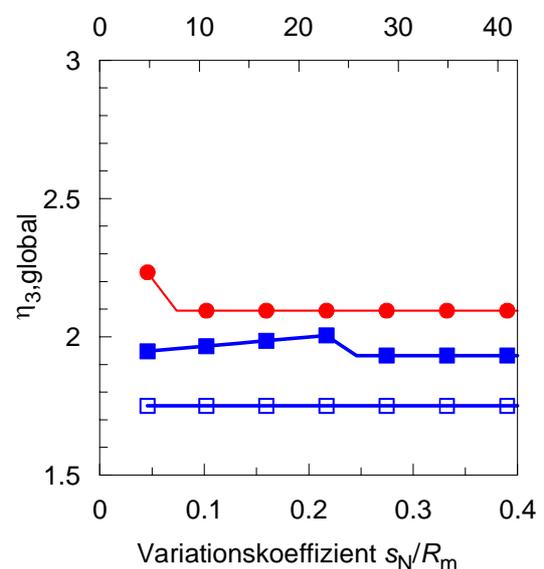
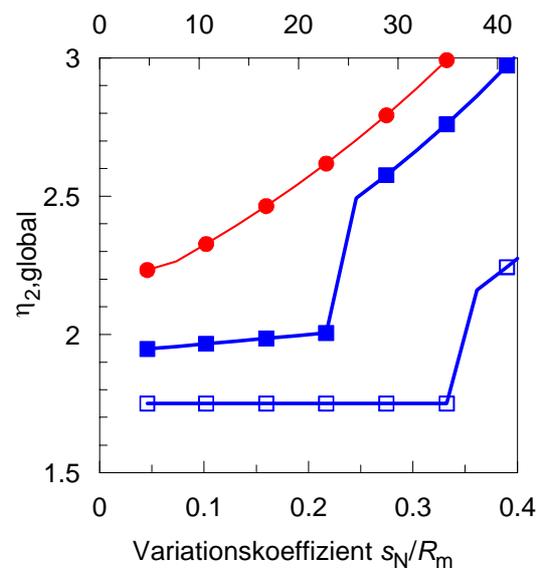
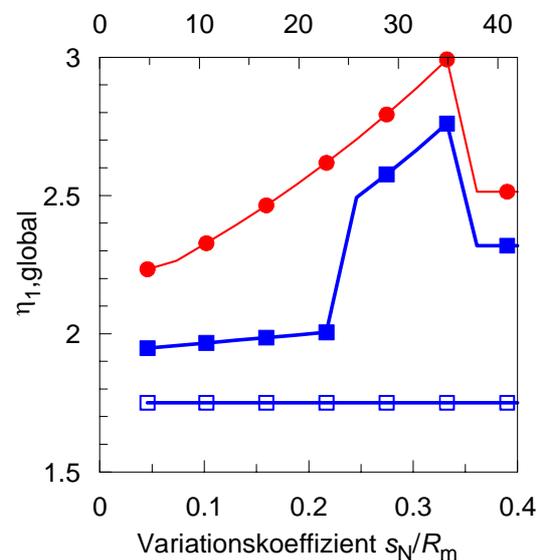


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

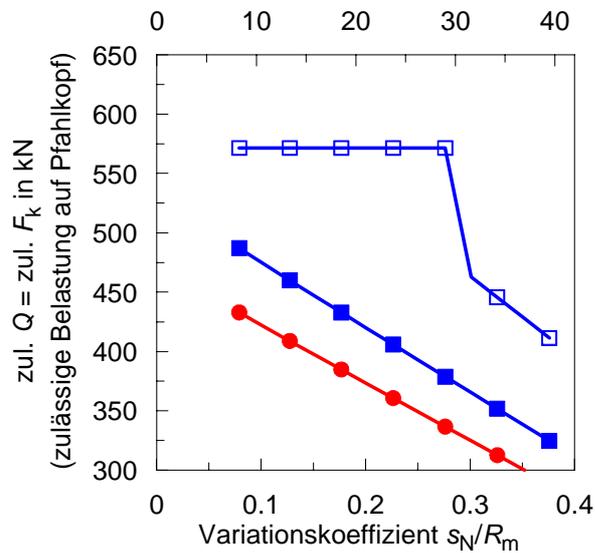
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf
 nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung)
 auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



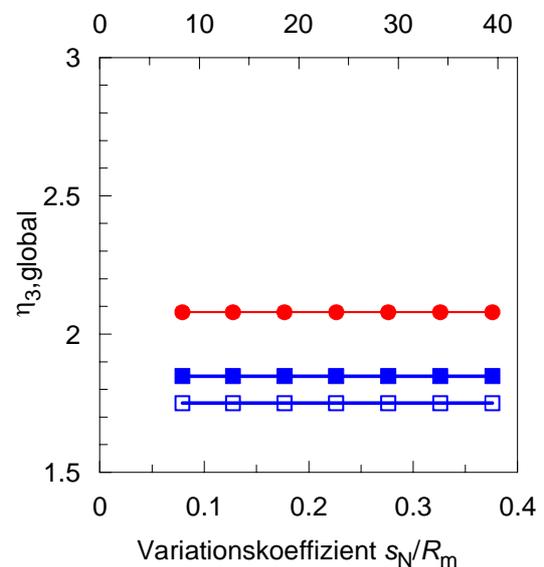
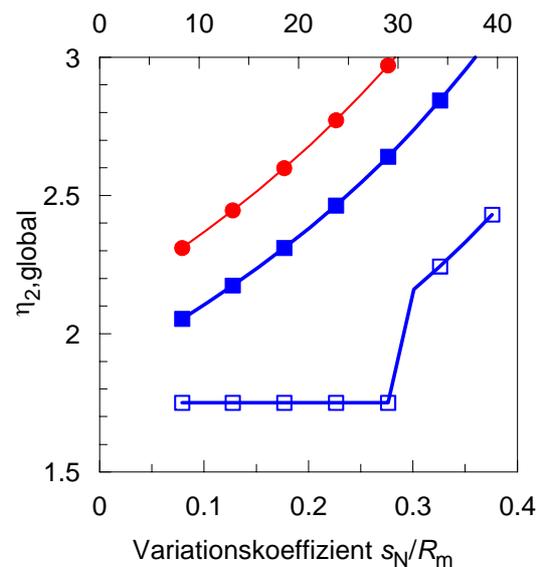
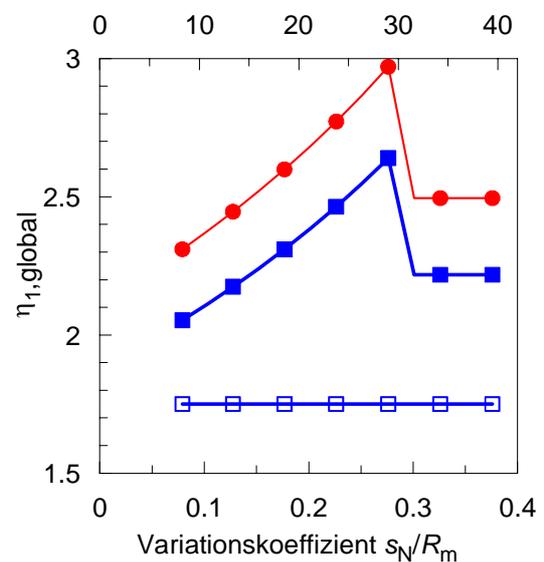
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

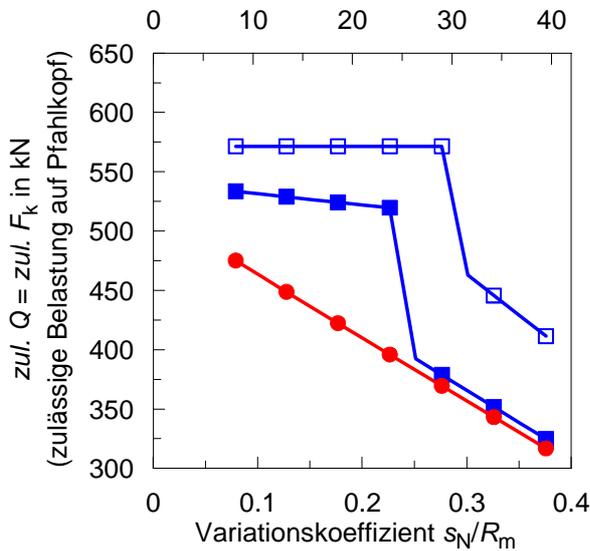
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



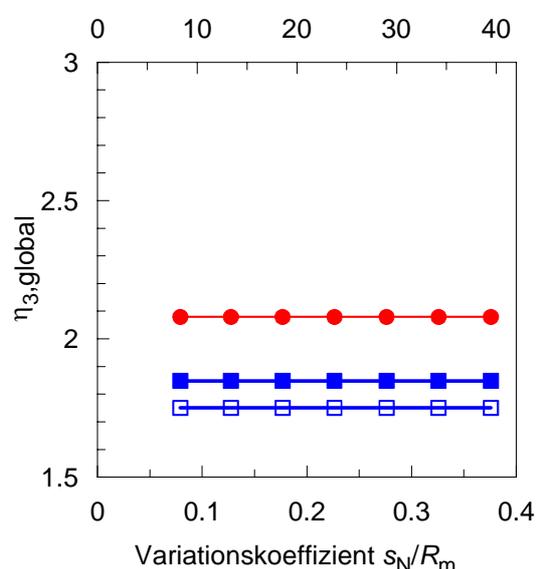
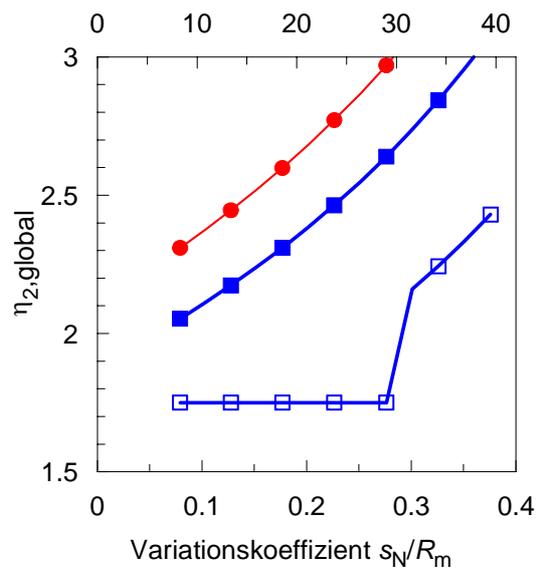
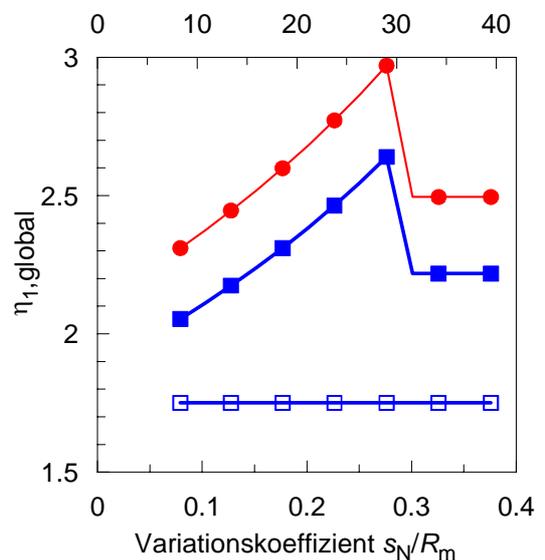
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

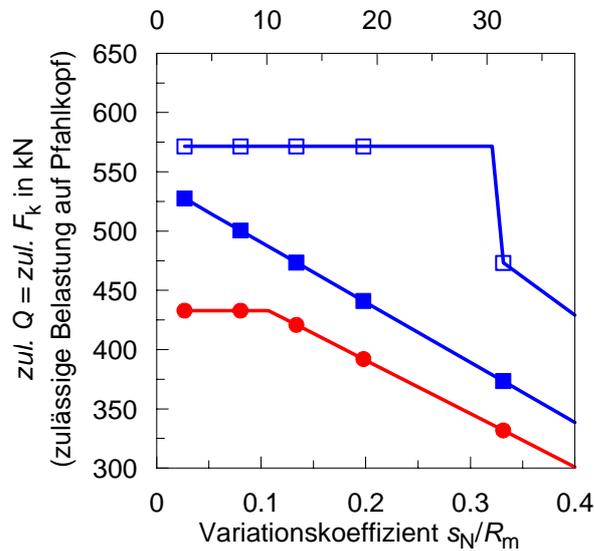
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



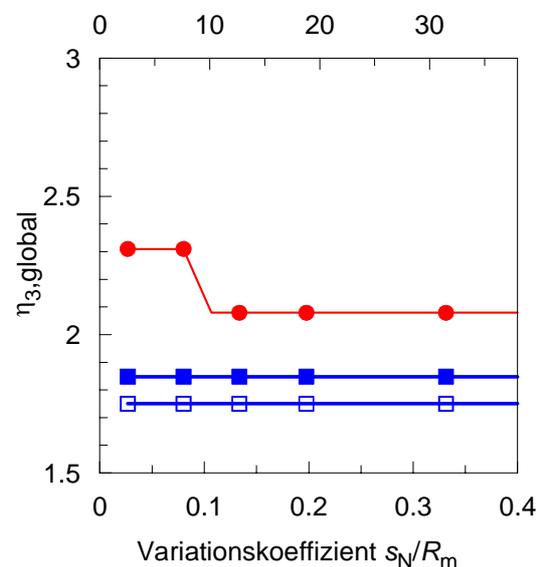
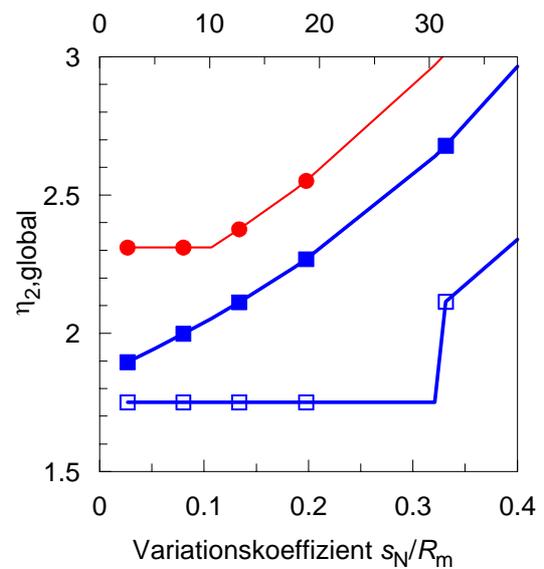
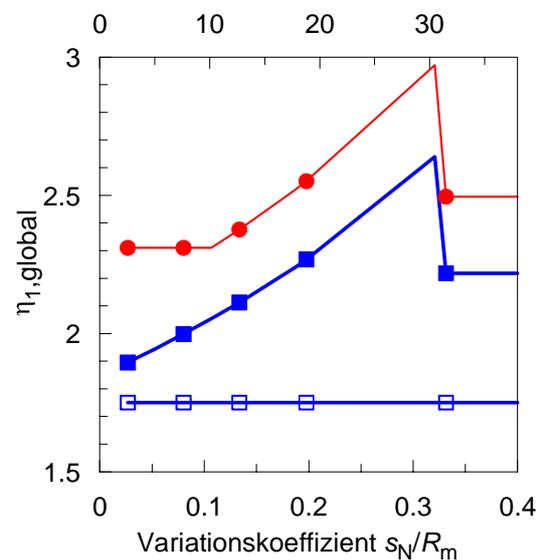
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

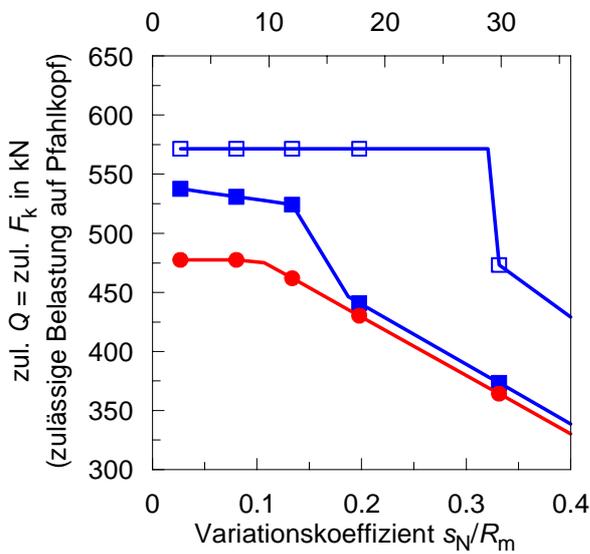
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



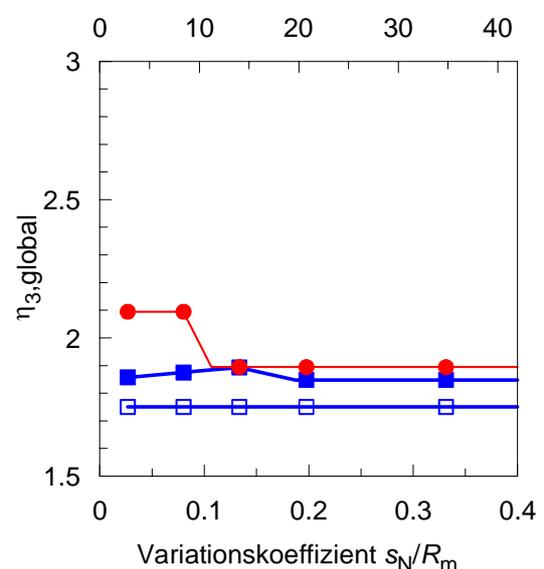
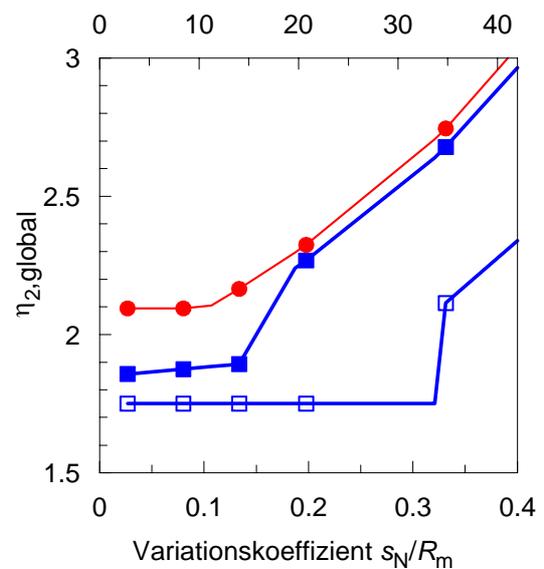
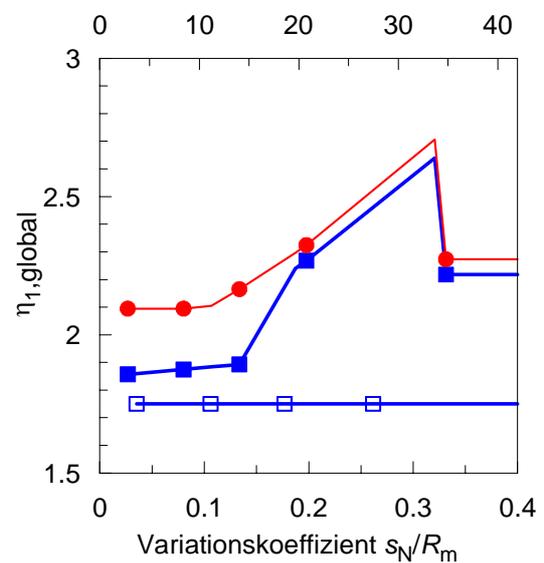
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

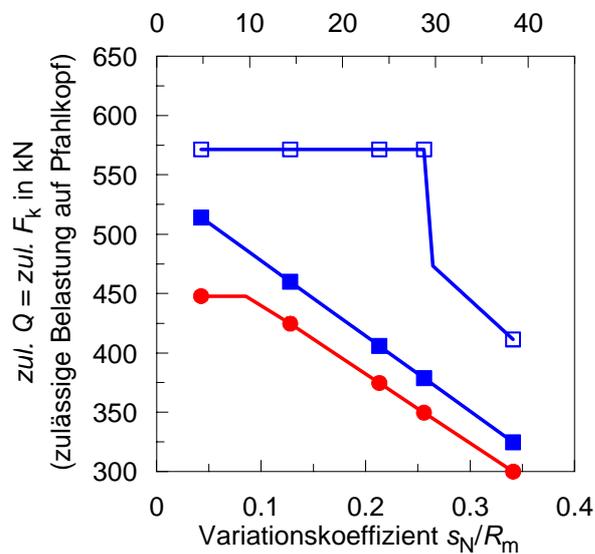
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



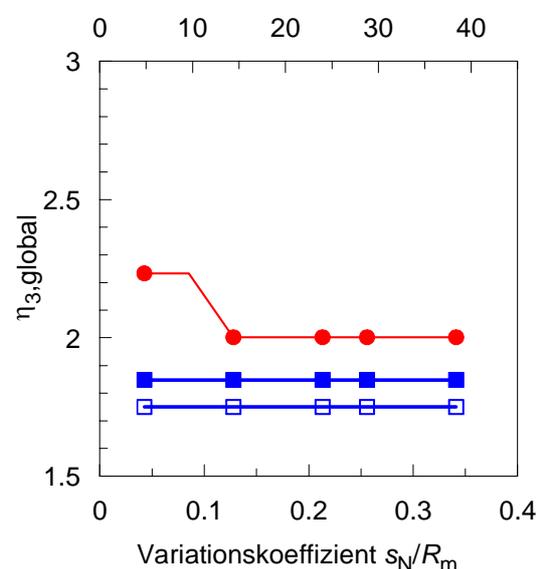
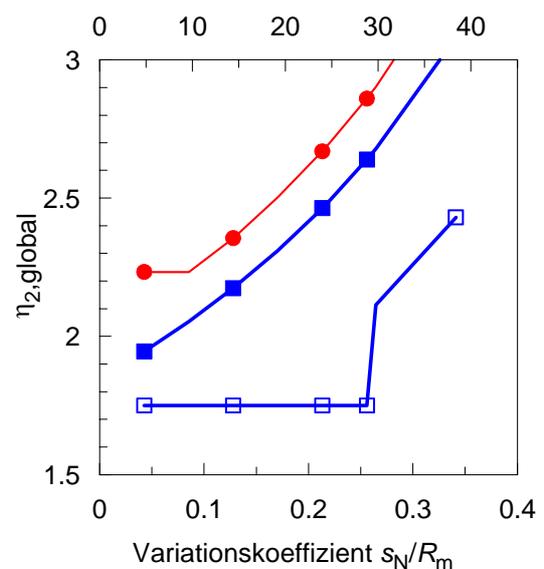
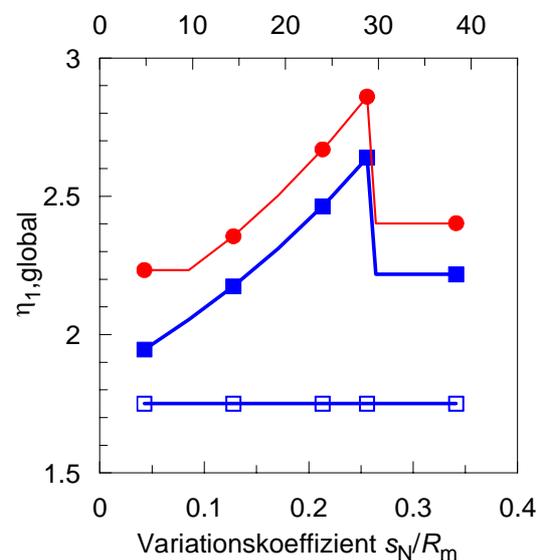
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

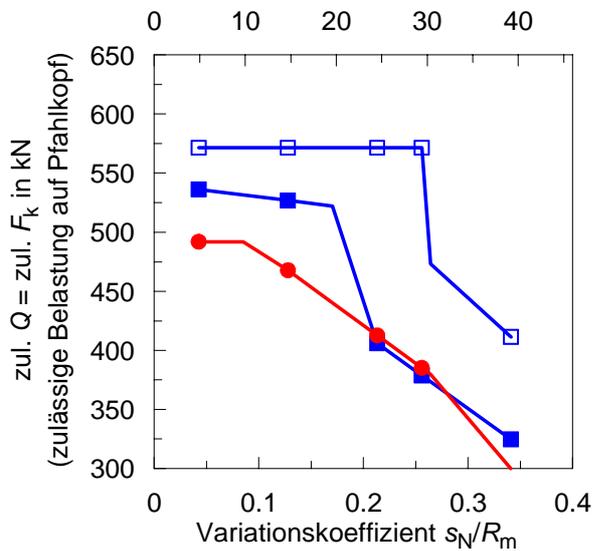
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



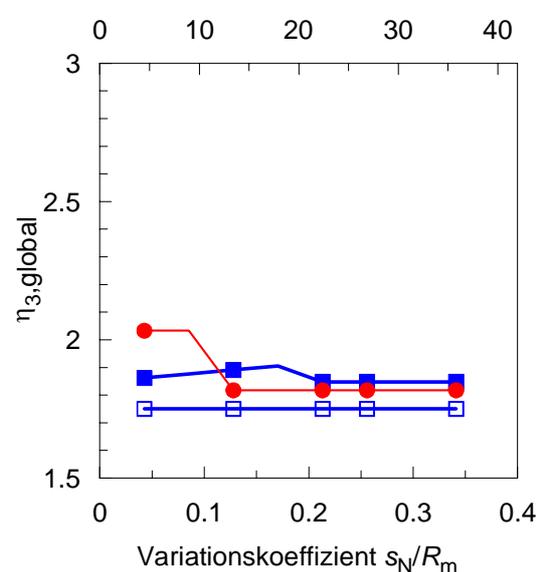
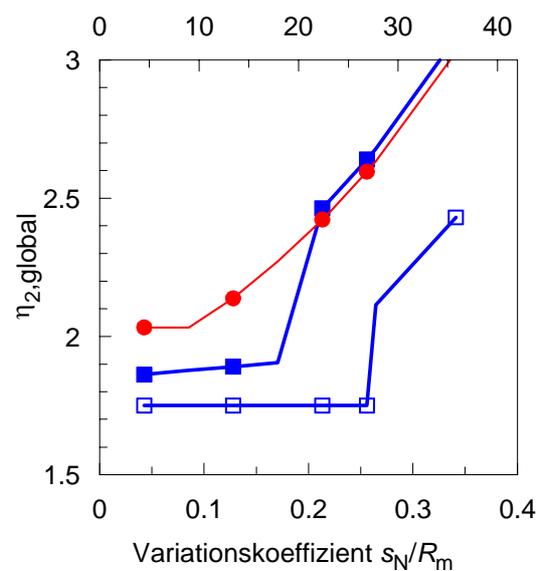
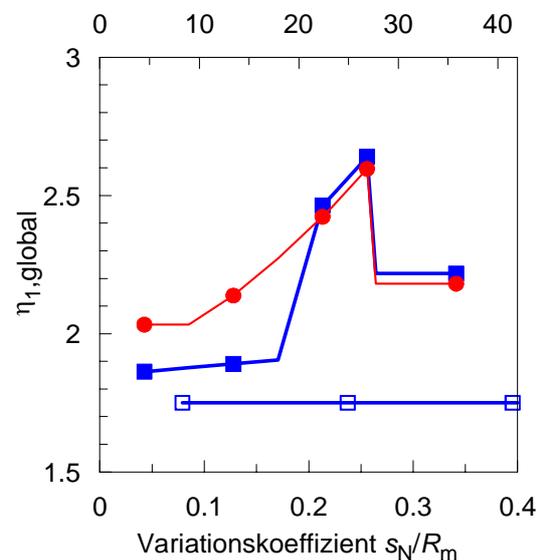
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

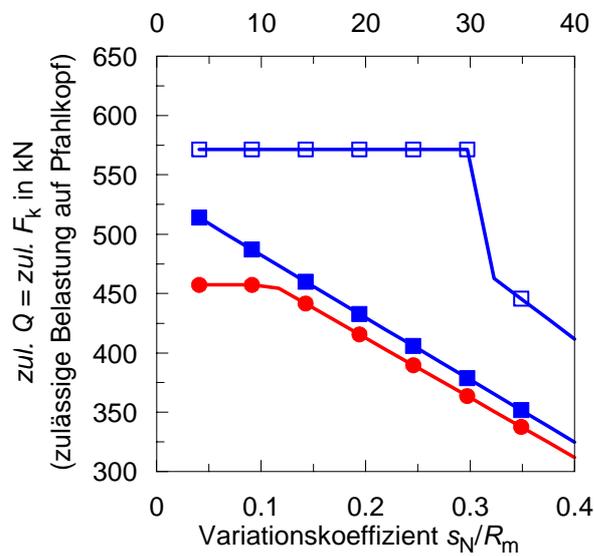
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



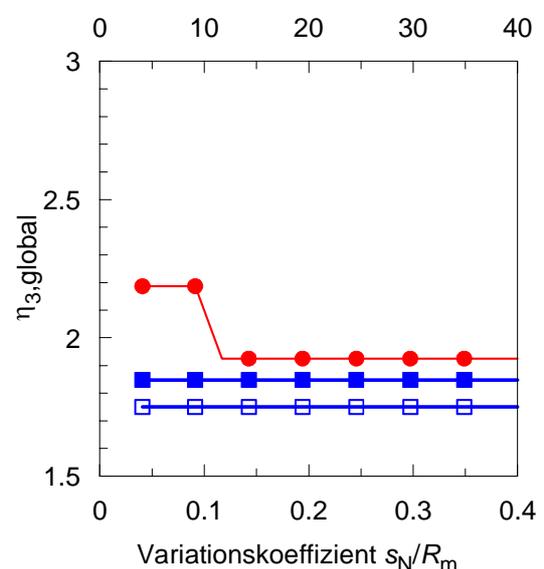
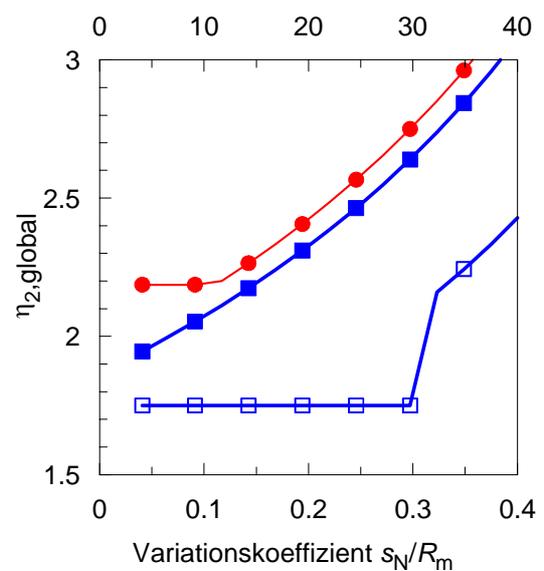
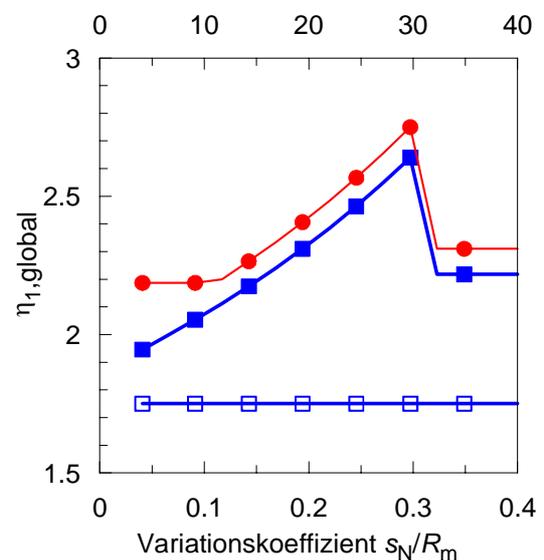
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

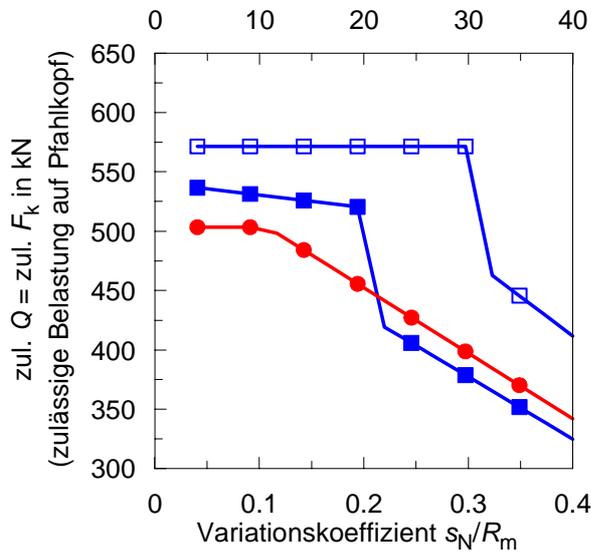
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

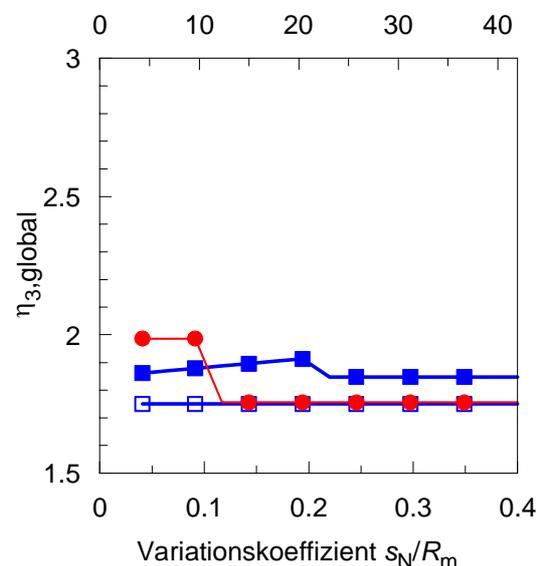
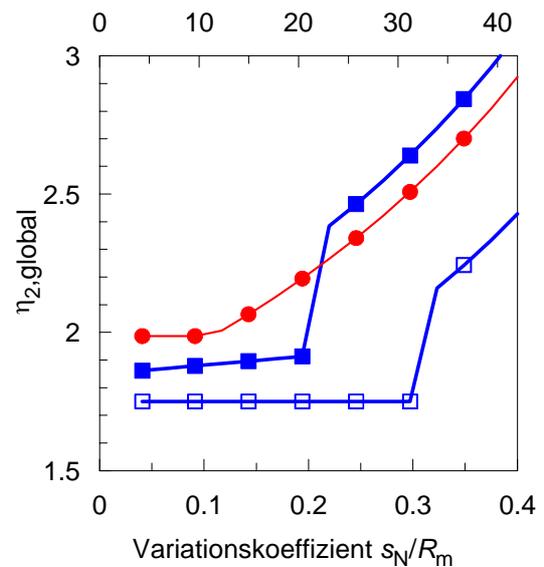
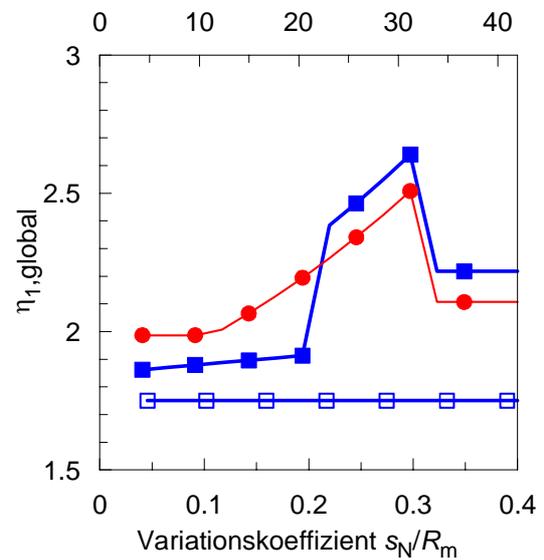


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

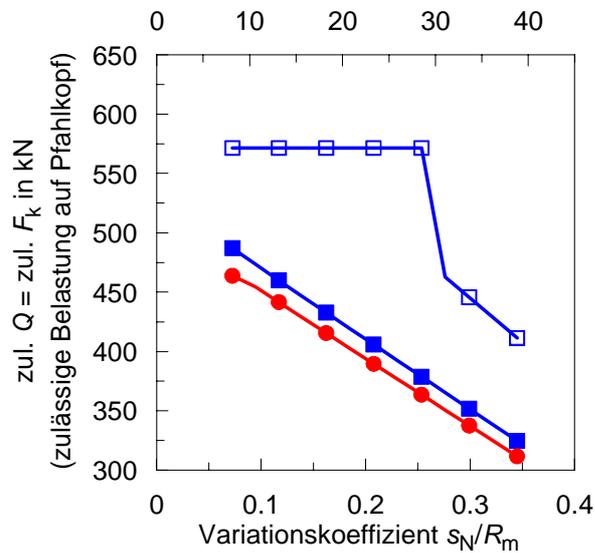
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



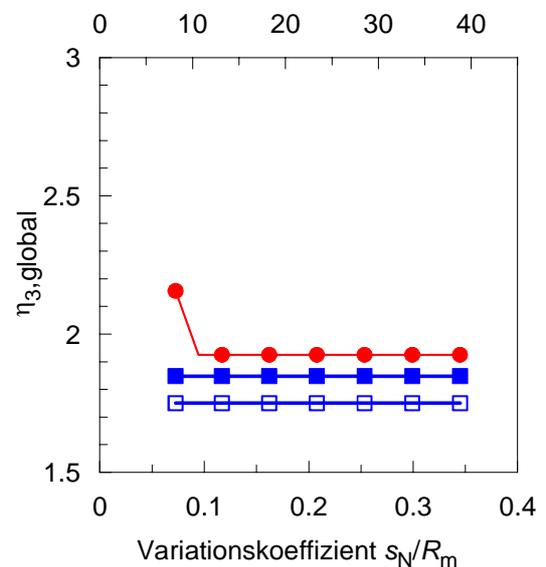
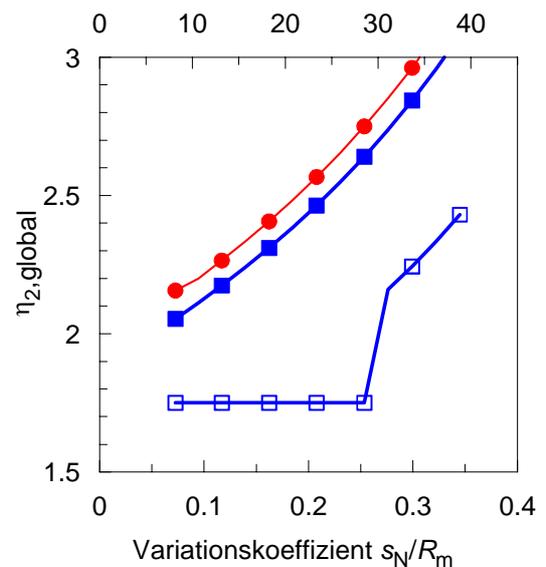
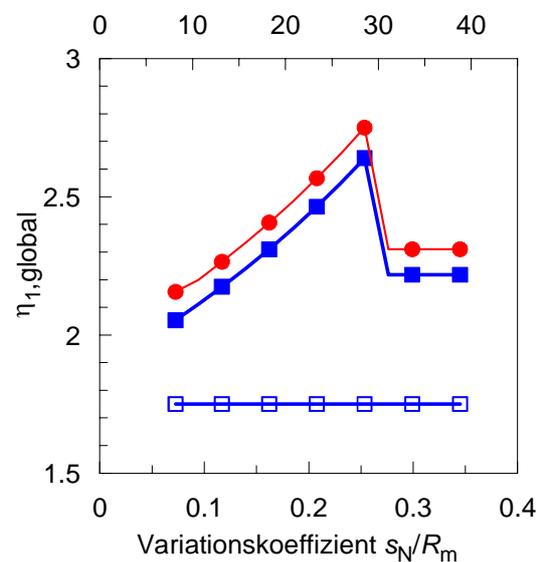
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

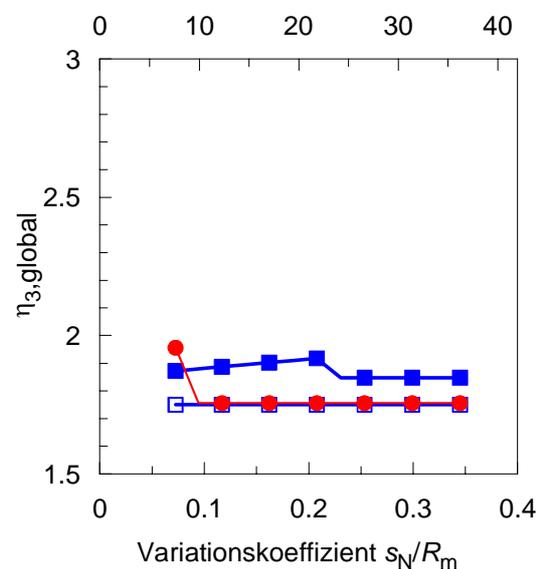
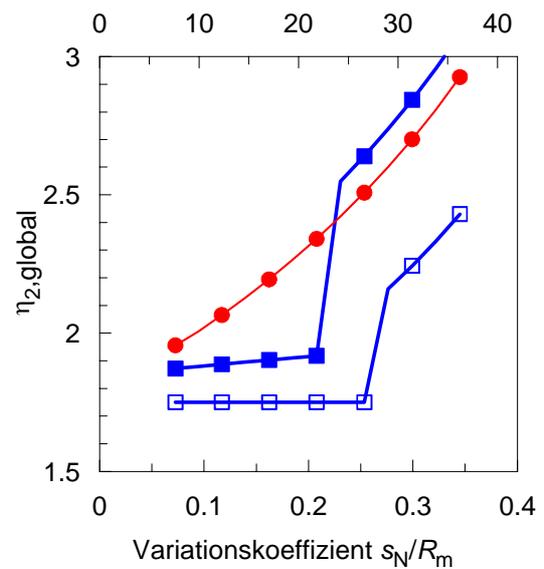
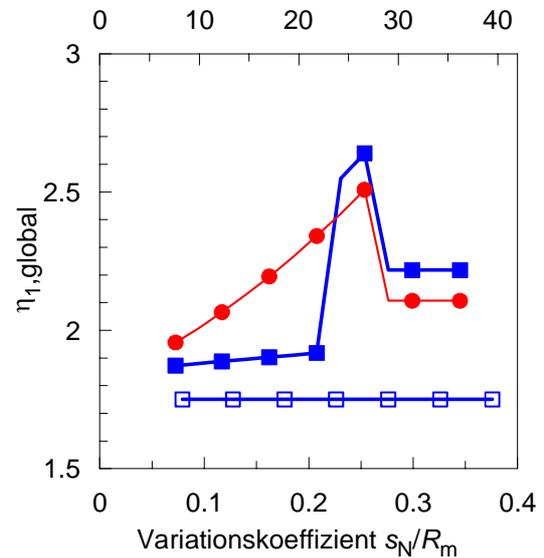
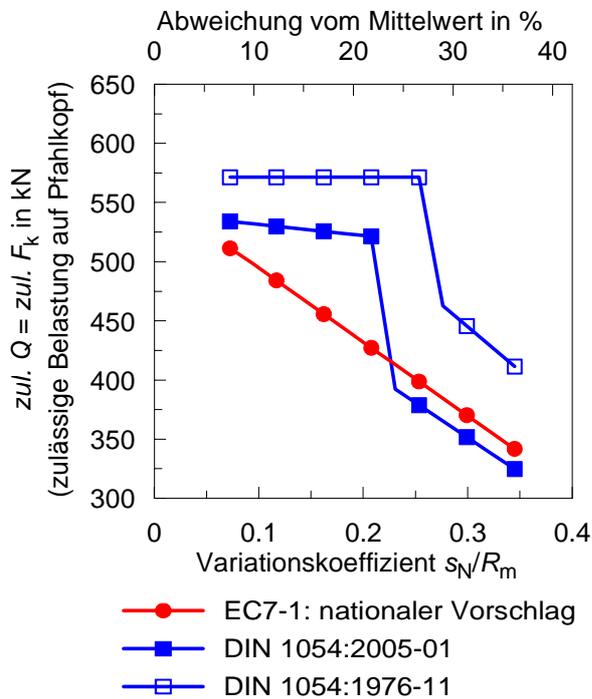
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB am gleichen Baufeld, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38

- 2 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen
- 2.3 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen aus einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} / R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	484	2,07	2,07	2,02	448	2,23	2,23	2,23
950	1050				1000	0,07	5	471	2,12	2,12	2,02	448	2,23	2,23	2,23
925	1075				1000	0,11	7,5	459	2,18	2,18	2,02	442	2,26	2,26	2,09
900	1100				1000	0,14	10	446	2,24	2,24	2,02	430	2,33	2,33	2,09
875	1125				1000	0,18	12,5	434	2,30	2,30	2,02	418	2,39	2,39	2,09
825	1175				1000	0,25	17,5	409	2,44	2,44	2,02	394	2,54	2,54	2,09
815	1185				1000	0,26	18,5	404	2,47	2,47	2,02	389	2,57	2,57	2,09
700	1300				1000	0,42	30	347	2,88	2,88	2,02	334	2,99	2,99	2,09
690	1310				1000	0,44	31	342	2,82	2,92	2,02	329	2,51	3,04	2,09
600	1400				1000	0,57	40	298	2,42	3,36	2,02	286	2,51	3,49	2,09
950	1000	1050			1000	0,05	5	471	2,12	2,12	2,02	448	2,23	2,23	2,23
900	1000	1100			1000	0,10	10	446	2,24	2,24	2,02	430	2,33	2,33	2,09
850	1000	1150			1000	0,15	15	422	2,37	2,37	2,02	406	2,46	2,46	2,09
800	1000	1200			1000	0,20	20	397	2,52	2,52	2,02	382	2,62	2,62	2,09
750	1000	1250			1000	0,25	25	372	2,69	2,69	2,02	358	2,79	2,79	2,09
740	1000	1260			1000	0,26	26	367	2,72	2,72	2,02	353	2,83	2,83	2,09
700	1000	1300			1000	0,30	30	347	2,88	2,88	2,02	334	2,99	2,99	2,09
690	1000	1310			1000	0,31	31	342	2,82	2,92	2,02	329	2,51	3,04	2,09
600	1000	1400			1000	0,40	40	298	2,42	3,36	2,02	286	2,51	3,49	2,09
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	514	1,95	1,95	1,85	448	2,23	2,23	2,23
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	501	2,00	2,00	1,85	442	2,26	2,26	2,09
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	487	2,05	2,05	1,85	430	2,33	2,33	2,09
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	473	2,11	2,11	1,85	418	2,39	2,39	2,09
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	460	2,17	2,17	1,85	406	2,46	2,46	2,09
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	446	2,24	2,24	1,85	394	2,54	2,54	2,09
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	433	2,31	2,31	1,85	382	2,62	2,62	2,09
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	419	2,38	2,38	1,85	370	2,70	2,70	2,09
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	406	2,46	2,46	1,85	358	2,79	2,79	2,09
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	392	2,55	2,55	1,85	346	2,89	2,89	2,09
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	379	2,64	2,64	1,85	334	2,99	2,99	2,09
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	365	2,72	2,74	1,85	322	2,51	3,10	2,09
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	352	2,79	2,84	1,85	310	2,51	3,22	2,09
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	338	2,87	2,96	1,85	298	2,51	3,35	2,09
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	325	2,95	3,08	1,85	286	2,51	3,49	2,09
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	510	1,96	1,96	1,76	475	2,10	2,10	1,89
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	496	2,02	2,02	1,76	462	2,16	2,16	1,89
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	482	2,08	2,08	1,76	449	2,23	2,23	1,89
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	468	2,14	2,14	1,76	436	2,30	2,30	1,89
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	454	2,21	2,21	1,76	422	2,37	2,37	1,89
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	439	2,28	2,28	1,76	409	2,44	2,44	1,89
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	425	2,35	2,35	1,76	396	2,53	2,53	1,89
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	411	2,43	2,43	1,76	383	2,61	2,61	1,89
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	397	2,52	2,52	1,76	370	2,71	2,71	1,89
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	383	2,61	2,61	1,76	356	2,77	2,81	1,89
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	368	2,70	2,71	1,76	343	2,87	2,91	1,89
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	354	2,79	2,82	1,76	330	2,97	3,03	1,89
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	340	2,88	2,94	1,76	317	3,07	3,16	1,89

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

							DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System				EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System				
							$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_F = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$				
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	538	1,86	1,86	1,86	496	2,02	2,02	2,02
950	1050				1000	0,07	5	534	1,87	1,87	1,87	496	2,02	2,02	2,02
925	1075				1000	0,11	7,5	531	1,88	1,88	1,88	484	2,06	2,06	1,91
900	1100				1000	0,14	10	528	1,90	1,90	1,90	471	2,12	2,12	1,91
875	1125				1000	0,18	12,5	524	1,91	1,91	1,91	458	2,18	2,18	1,91
825	1175				1000	0,25	17,5	446	2,24	2,24	1,85	432	2,31	2,31	1,91
815	1185				1000	0,26	18,5	441	2,27	2,27	1,85	427	2,34	2,34	1,91
700	1300				1000	0,42	30	379	2,64	2,64	1,85	367	2,73	2,73	1,91
690	1310				1000	0,44	31	373	2,22	2,68	1,85	361	2,29	2,77	1,91
600	1400				1000	0,57	40	325	2,22	3,08	1,85	314	2,29	3,18	1,91
950	1000	1050			1000	0,05	5	536	1,86	1,86	1,86	496	2,02	2,02	2,02
900	1000	1100			1000	0,10	10	531	1,88	1,88	1,88	471	2,12	2,12	1,91
850	1000	1150			1000	0,15	15	527	1,90	1,90	1,90	445	2,25	2,25	1,91
800	1000	1200			1000	0,20	20	522	1,92	1,92	1,92	419	2,39	2,39	1,91
750	1000	1250			1000	0,25	25	406	2,46	2,46	1,85	393	2,55	2,55	1,91
740	1000	1260			1000	0,26	26	400	2,50	2,50	1,85	388	2,58	2,58	1,91
700	1000	1300			1000	0,30	30	379	2,64	2,64	1,85	367	2,73	2,73	1,91
690	1000	1310			1000	0,31	31	373	2,22	2,68	1,85	361	2,29	2,77	1,91
600	1000	1400			1000	0,40	40	325	2,22	3,08	1,85	314	2,29	3,18	1,91
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	537	1,86	1,86	1,86	496	2,02	2,02	2,02
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	534	1,87	1,87	1,87	484	2,06	2,06	1,91
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	531	1,88	1,88	1,88	471	2,12	2,12	1,91
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	529	1,89	1,89	1,89	458	2,18	2,18	1,91
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	526	1,90	1,90	1,90	445	2,25	2,25	1,91
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	523	1,91	1,91	1,91	432	2,31	2,31	1,91
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	521	1,92	1,92	1,92	419	2,39	2,39	1,91
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	419	2,38	2,38	1,85	406	2,46	2,46	1,91
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	406	2,46	2,46	1,85	393	2,55	2,55	1,91
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	392	2,55	2,55	1,85	380	2,63	2,63	1,91
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	379	2,64	2,64	1,85	367	2,73	2,73	1,91
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	365	2,22	2,74	1,85	353	2,29	2,83	1,91
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	352	2,22	2,84	1,85	340	2,29	2,94	1,91
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	338	2,22	2,96	1,85	327	2,29	3,06	1,91
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	325	2,22	3,08	1,85	314	2,29	3,18	1,91
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	558	1,79	1,79	1,79	522	1,92	1,92	1,72
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	556	1,80	1,80	1,80	507	1,97	1,97	1,72
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	553	1,81	1,81	1,81	493	2,03	2,03	1,72
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	551	1,82	1,82	1,82	478	2,09	2,09	1,72
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	548	1,82	1,82	1,82	464	2,16	2,16	1,72
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	546	1,83	1,83	1,83	449	2,23	2,23	1,72
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	543	1,84	1,84	1,84	435	2,30	2,30	1,72
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	411	2,43	2,43	1,76	420	2,38	2,38	1,72
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	397	2,52	2,52	1,76	406	2,46	2,46	1,72
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	383	2,12	2,61	1,76	391	2,07	2,56	1,72
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	368	2,12	2,71	1,76	377	2,07	2,65	1,72
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	354	2,12	2,82	1,76	362	2,07	2,76	1,72
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	340	2,12	2,94	1,76	348	2,07	2,87	1,72

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung						EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel}^* - R_{m,i} /R_{mittel}^* \cdot 100\%$	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3		
975	1025				1000	0,03	2,5	553	1,81	1,81	1,76	477	2,09	2,09	2,09		
950	1050				1000	0,05	5	539	1,86	1,86	1,76	477	2,09	2,09	2,09		
925	1075				1000	0,08	7,5	524	1,91	1,91	1,76	477	2,09	2,09	2,09		
900	1100				1000	0,11	10	510	1,96	1,96	1,76	475	2,10	2,10	1,89		
875	1125				1000	0,13	12,5	496	2,02	2,02	1,76	462	2,16	2,16	1,89		
825	1175				1000	0,19	17,5	468	2,14	2,14	1,76	436	2,30	2,30	1,89		
815	1185				1000	0,20	18,5	462	2,16	2,16	1,76	430	2,32	2,32	1,89		
700	1300				1000	0,32	30	397	2,52	2,52	1,76	370	2,71	2,71	1,89		
690	1310				1000	0,33	31	391	2,12	2,56	1,76	364	2,27	2,75	1,89		
600	1400				1000	0,43	40	340	2,12	2,94	1,76	317	2,27	3,16	1,89		
950	1000	1050			1000	0,04	5	539	1,86	1,86	1,76	492	2,03	2,03	2,03		
900	1000	1100			1000	0,09	10	510	1,96	1,96	1,76	491	2,04	2,04	1,83		
850	1000	1150			1000	0,13	15	482	2,08	2,08	1,76	464	2,16	2,16	1,83		
800	1000	1200			1000	0,17	20	454	2,21	2,21	1,76	437	2,29	2,29	1,83		
750	1000	1250			1000	0,21	25	425	2,35	2,35	1,76	409	2,44	2,44	1,83		
740	1000	1260			1000	0,22	26	420	2,38	2,38	1,76	404	2,48	2,48	1,83		
700	1000	1300			1000	0,26	30	397	2,52	2,52	1,76	382	2,62	2,62	1,83		
690	1000	1310			1000	0,26	31	391	2,12	2,56	1,76	377	2,20	2,66	1,83		
600	1000	1400			1000	0,34	40	340	2,12	2,94	1,76	327	2,20	3,05	1,83		
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	539	1,86	1,86	1,76	503	1,99	1,99	1,99		
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	524	1,91	1,91	1,76	503	1,99	1,99	1,99		
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	510	1,96	1,96	1,76	503	1,99	1,99	1,99		
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	496	2,02	2,02	1,76	494	2,02	2,02	1,77		
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	482	2,08	2,08	1,76	480	2,08	2,08	1,77		
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	468	2,14	2,14	1,76	466	2,15	2,15	1,77		
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	454	2,21	2,21	1,76	452	2,21	2,21	1,77		
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	439	2,28	2,28	1,76	438	2,29	2,29	1,77		
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	425	2,35	2,35	1,76	423	2,36	2,36	1,77		
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	411	2,43	2,43	1,76	409	2,44	2,44	1,77		
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	397	2,52	2,52	1,76	395	2,53	2,53	1,77		
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	383	2,12	2,61	1,76	381	2,13	2,62	1,77		
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	368	2,12	2,71	1,76	367	2,13	2,72	1,77		
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	354	2,12	2,82	1,76	353	2,13	2,83	1,77		
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	340	2,12	2,94	1,76	339	2,13	2,95	1,77		
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	510	1,96	1,96	1,76	507	1,97	1,97	1,97		
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	496	2,02	2,02	1,76	494	2,02	2,02	1,77		
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	482	2,08	2,08	1,76	480	2,08	2,08	1,77		
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	468	2,14	2,14	1,76	466	2,15	2,15	1,77		
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	454	2,21	2,21	1,76	452	2,21	2,21	1,77		
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	439	2,28	2,28	1,76	438	2,29	2,29	1,77		
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	425	2,35	2,35	1,76	423	2,36	2,36	1,77		
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	411	2,43	2,43	1,76	409	2,44	2,44	1,77		
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	397	2,52	2,52	1,76	395	2,53	2,53	1,77		
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	383	2,12	2,61	1,76	381	2,13	2,62	1,77		
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	368	2,12	2,71	1,76	367	2,13	2,72	1,77		
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	354	2,12	2,82	1,76	353	2,13	2,83	1,77		
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	340	2,12	2,94	1,76	339	2,13	2,95	1,77		

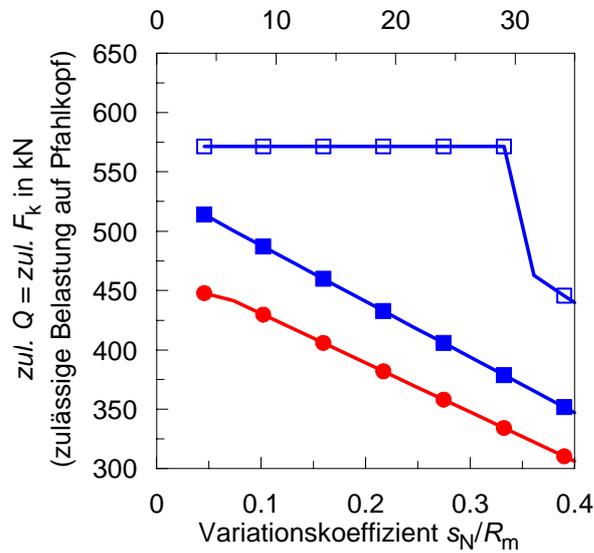
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, starres System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung, starres System					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} / R_{mittel} * 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	564	1,77	1,77	1,77	524	1,91	1,91	1,91
950	1050				1000	0,05	5	561	1,78	1,78	1,78	524	1,91	1,91	1,91
925	1075				1000	0,08	7,5	558	1,79	1,79	1,79	524	1,91	1,91	1,91
900	1100				1000	0,11	10	556	1,80	1,80	1,80	522	1,92	1,92	1,72
875	1125				1000	0,13	12,5	553	1,81	1,81	1,81	507	1,97	1,97	1,72
825	1175				1000	0,19	17,5	468	2,14	2,14	1,76	478	2,09	2,09	1,72
815	1185				1000	0,20	18,5	462	2,16	2,16	1,76	473	2,12	2,12	1,72
700	1300				1000	0,32	30	397	2,52	2,52	1,76	406	2,46	2,46	1,72
690	1310				1000	0,33	31	391	2,12	2,56	1,76	400	2,07	2,50	1,72
600	1400				1000	0,43	40	340	2,12	2,94	1,76	348	2,07	2,87	1,72
950	1000	1050			1000	0,04	5	562	1,78	1,78	1,78	541	1,85	1,85	1,85
900	1000	1100			1000	0,09	10	558	1,79	1,79	1,79	541	1,85	1,85	1,66
850	1000	1150			1000	0,13	15	553	1,81	1,81	1,81	511	1,96	1,96	1,66
800	1000	1200			1000	0,17	20	549	1,82	1,82	1,82	481	2,08	2,08	1,66
750	1000	1250			1000	0,21	25	425	2,35	2,35	1,76	451	2,22	2,22	1,66
740	1000	1260			1000	0,22	26	420	2,38	2,38	1,76	445	2,25	2,25	1,66
700	1000	1300			1000	0,26	30	397	2,52	2,52	1,76	421	2,38	2,38	1,66
690	1000	1310			1000	0,26	31	391	2,12	2,56	1,76	415	2,00	2,41	1,66
600	1000	1400			1000	0,34	40	340	2,12	2,94	1,76	361	2,00	2,77	1,66
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	563	1,78	1,78	1,78	555	1,80	1,80	1,80
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	560	1,79	1,79	1,79	555	1,80	1,80	1,80
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	557	1,79	1,79	1,79	555	1,80	1,80	1,80
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	555	1,80	1,80	1,80	546	1,83	1,83	1,60
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	552	1,81	1,81	1,81	531	1,88	1,88	1,60
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	549	1,82	1,82	1,82	515	1,94	1,94	1,60
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	547	1,83	1,83	1,83	500	2,00	2,00	1,60
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	439	2,28	2,28	1,76	484	2,07	2,07	1,60
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	425	2,35	2,35	1,76	468	2,14	2,14	1,60
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	411	2,43	2,43	1,76	453	2,21	2,21	1,60
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	397	2,52	2,52	1,76	437	2,29	2,29	1,60
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	383	2,12	2,61	1,76	421	1,92	2,37	1,60
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	368	2,12	2,71	1,76	406	1,92	2,46	1,60
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	354	2,12	2,82	1,76	390	1,92	2,56	1,60
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	340	2,12	2,94	1,76	375	1,92	2,67	1,60
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	559	1,79	1,79	1,79	560	1,79	1,79	1,79
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	557	1,80	1,80	1,80	546	1,83	1,83	1,60
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	555	1,80	1,80	1,80	531	1,88	1,88	1,60
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	552	1,81	1,81	1,81	515	1,94	1,94	1,60
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	550	1,82	1,82	1,82	500	2,00	2,00	1,60
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	548	1,83	1,83	1,83	484	2,07	2,07	1,60
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	545	1,83	1,83	1,83	468	2,14	2,14	1,60
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	411	2,43	2,43	1,76	453	2,21	2,21	1,60
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	397	2,52	2,52	1,76	437	2,29	2,29	1,60
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	383	2,12	2,61	1,76	421	1,92	2,37	1,60
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	368	2,12	2,71	1,76	406	1,92	2,46	1,60
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	354	2,12	2,82	1,76	390	1,92	2,56	1,60
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	340	2,12	2,94	1,76	375	1,92	2,67	1,60

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

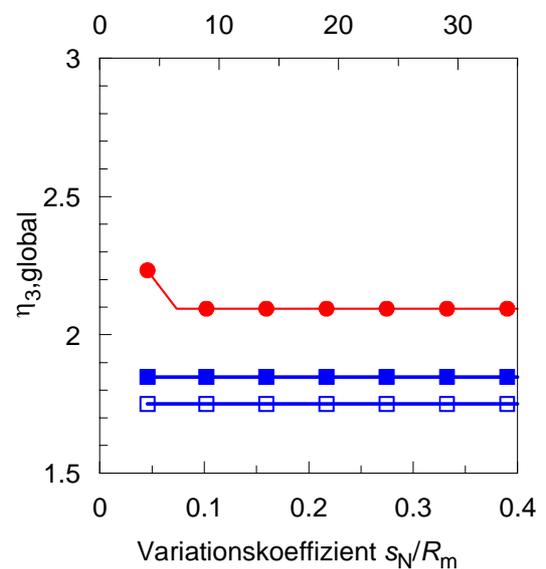
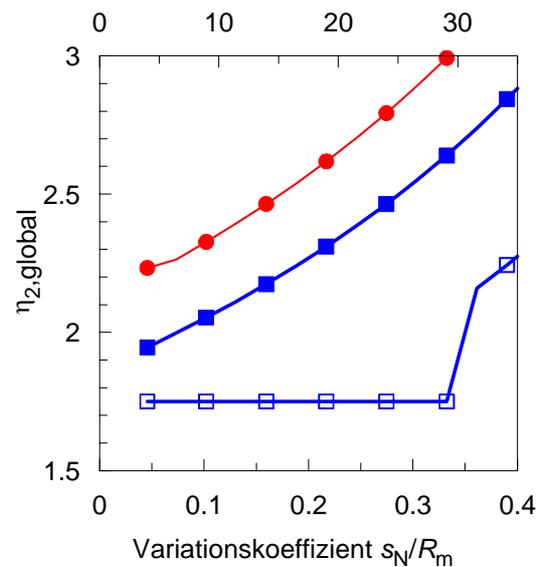
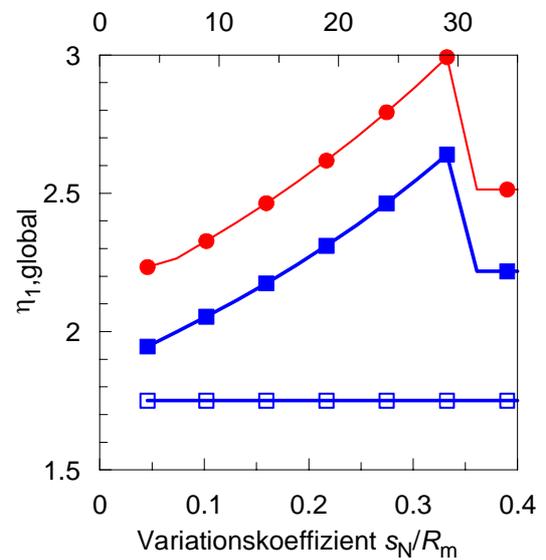


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

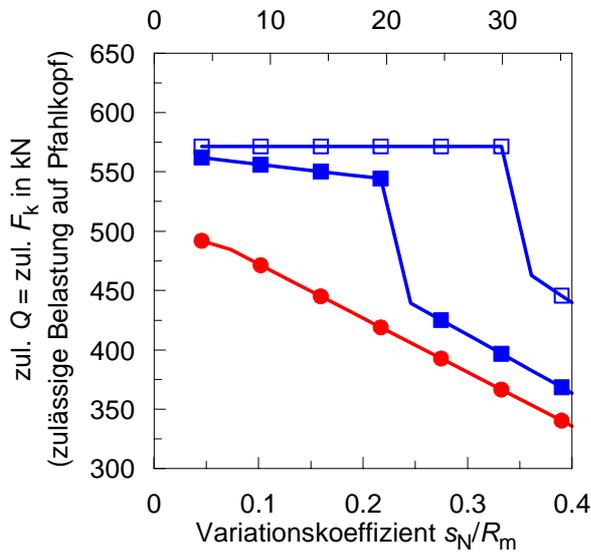
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



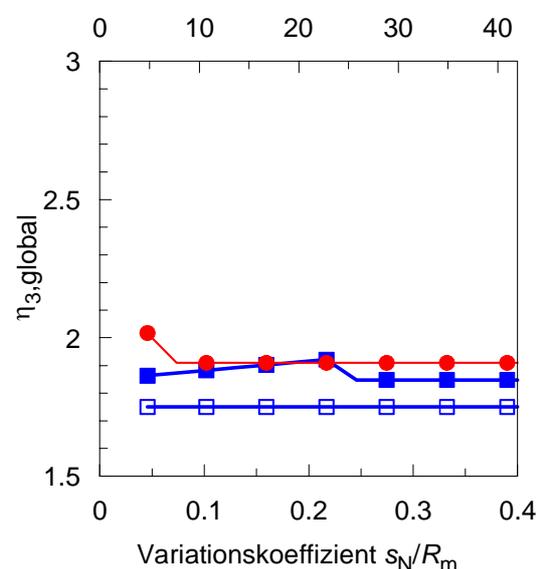
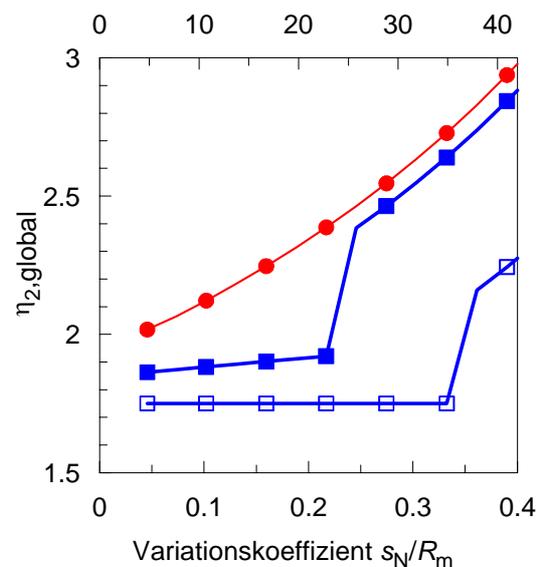
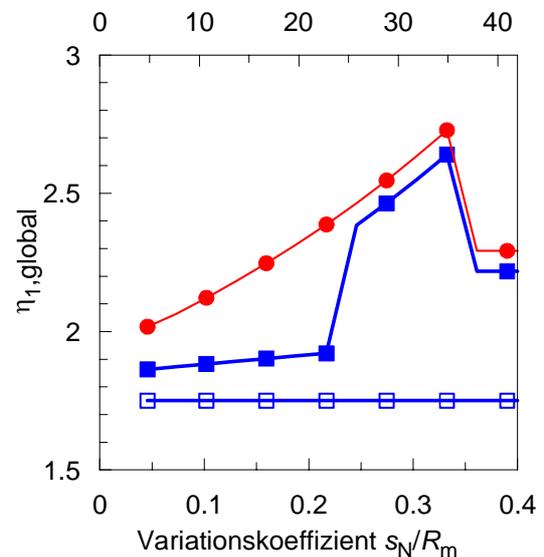
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

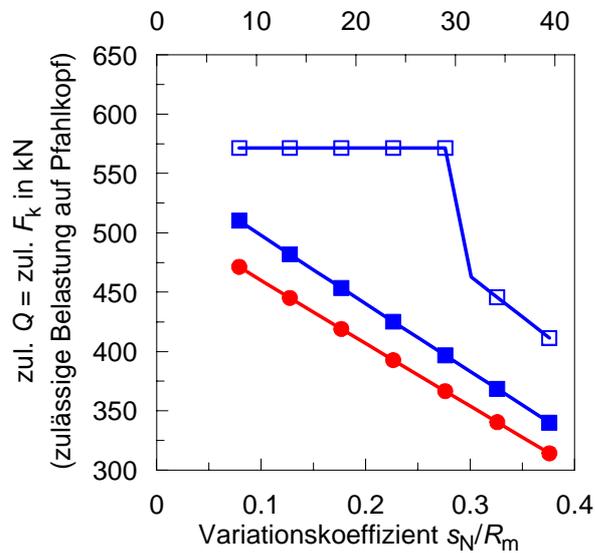
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



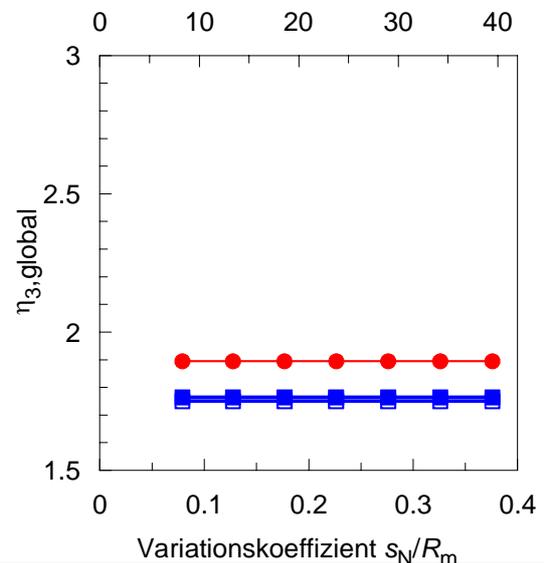
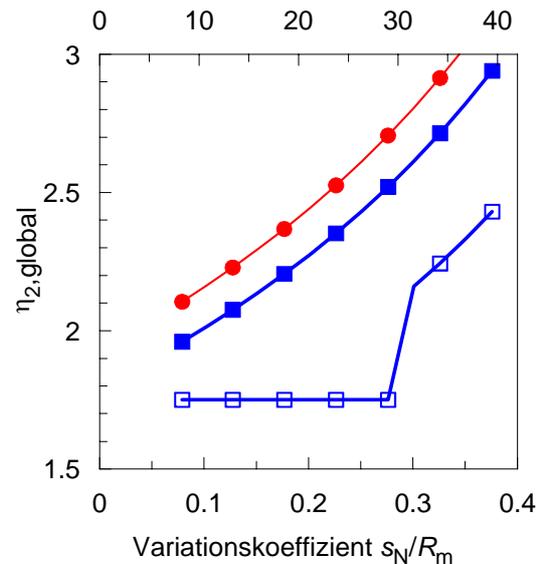
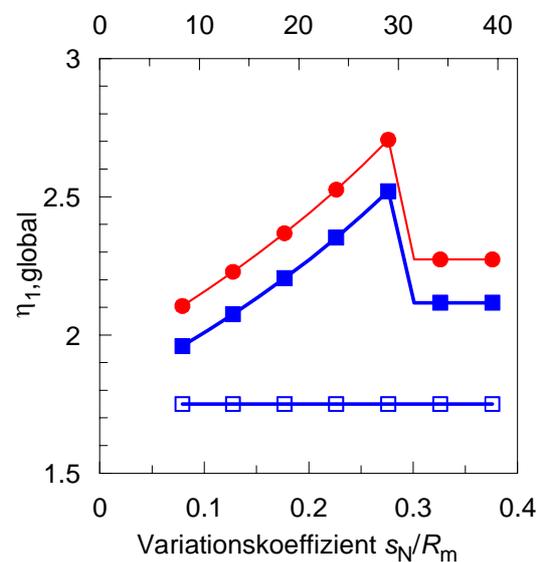
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ⊠ DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

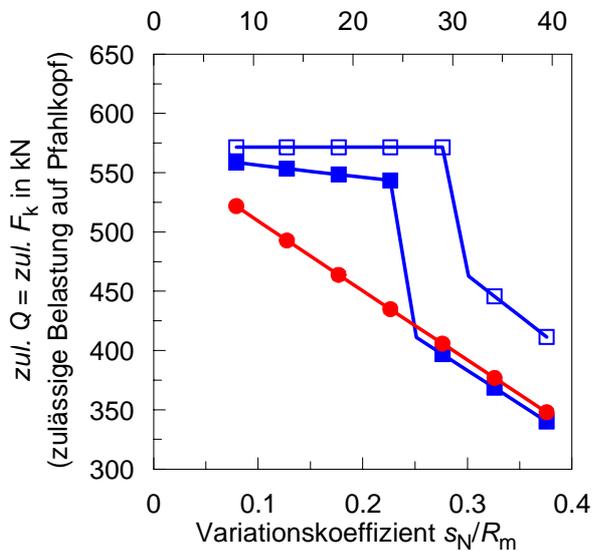
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



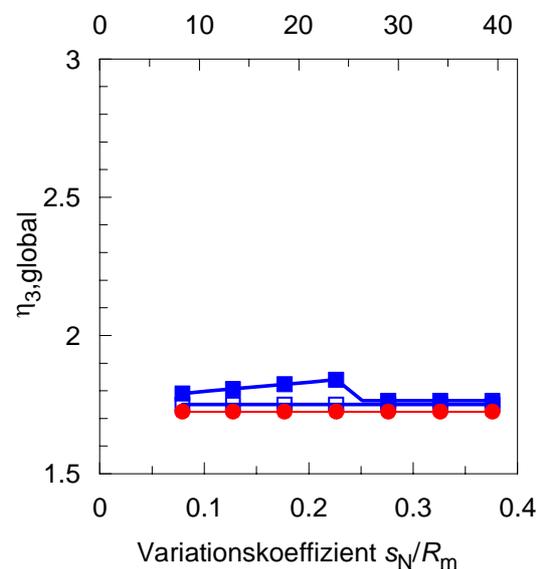
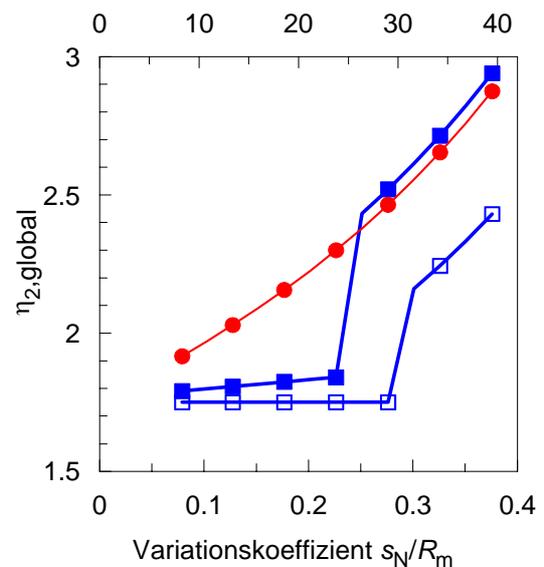
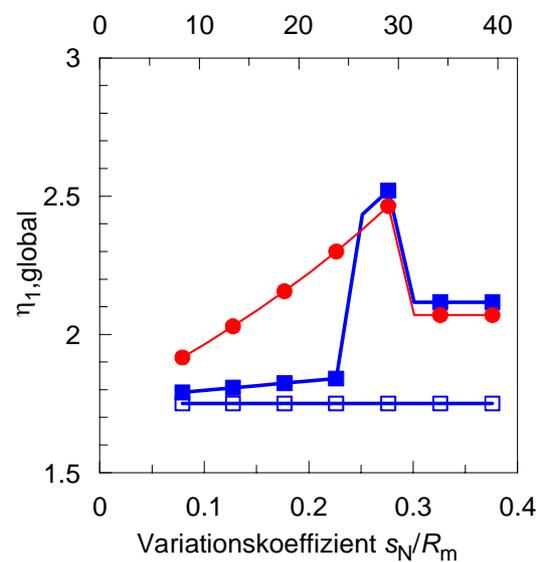
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

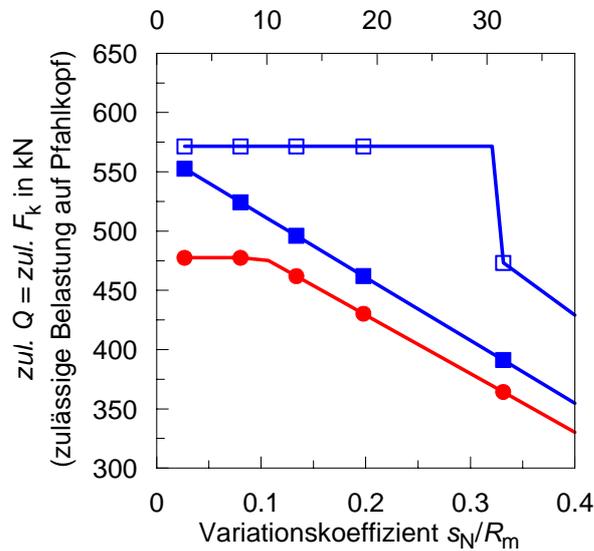
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

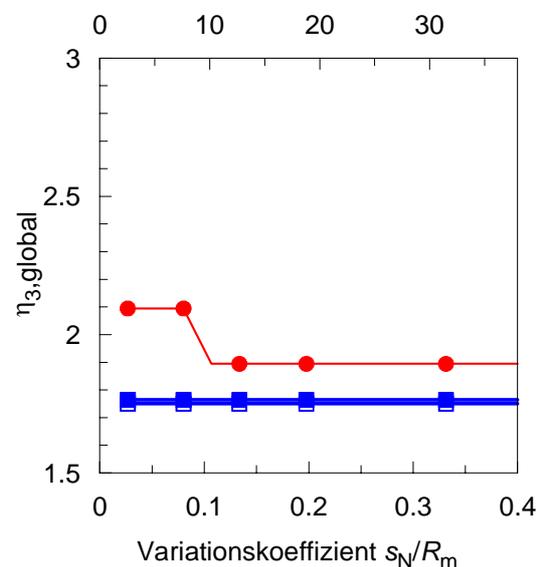
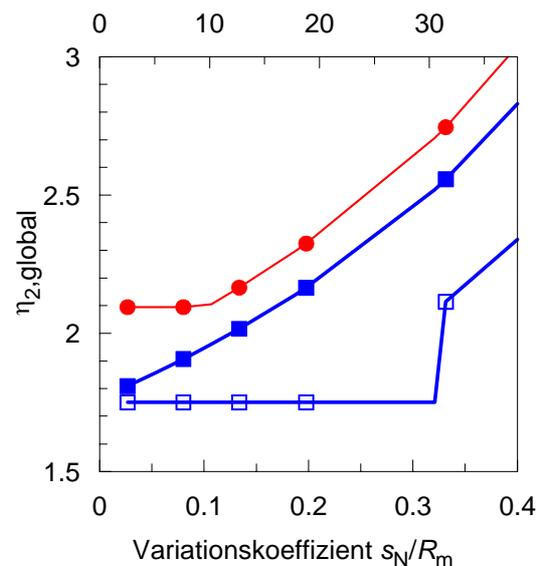
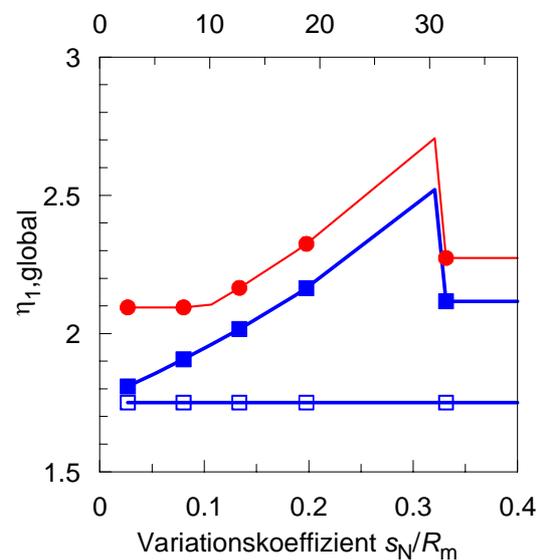


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

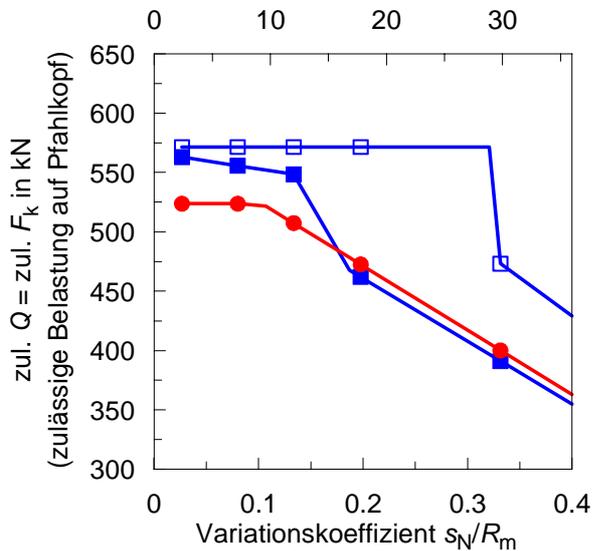
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

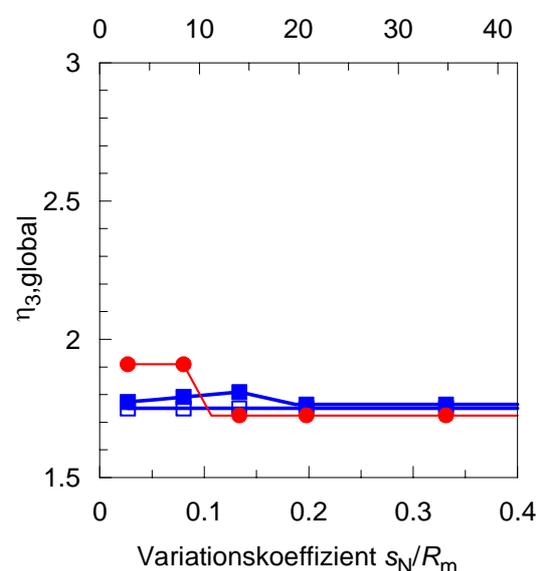
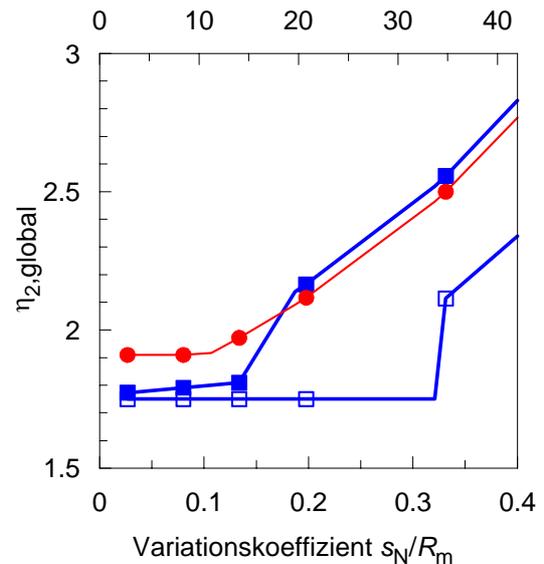
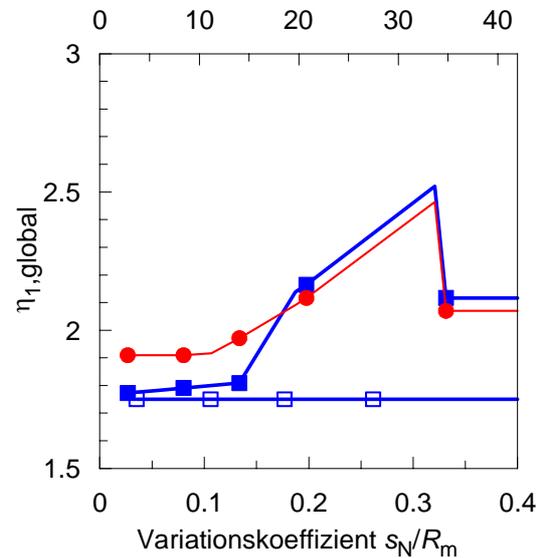


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

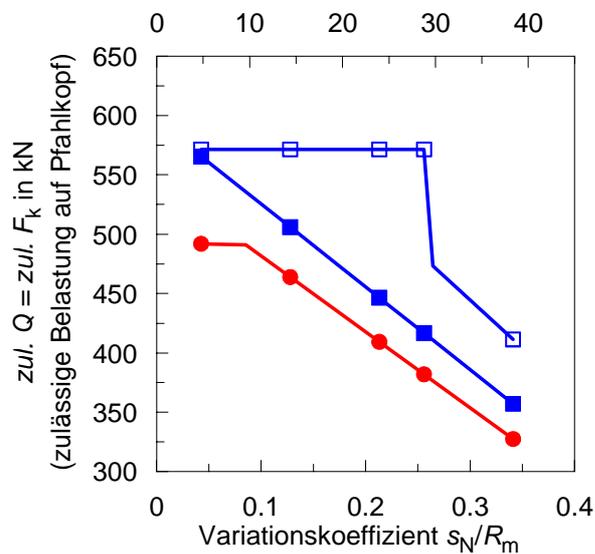
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



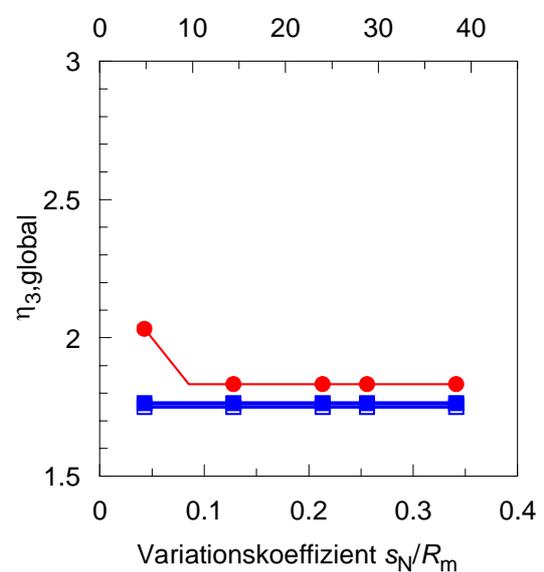
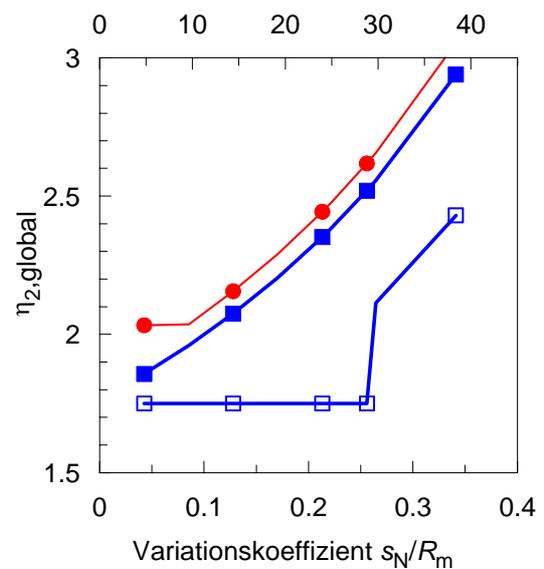
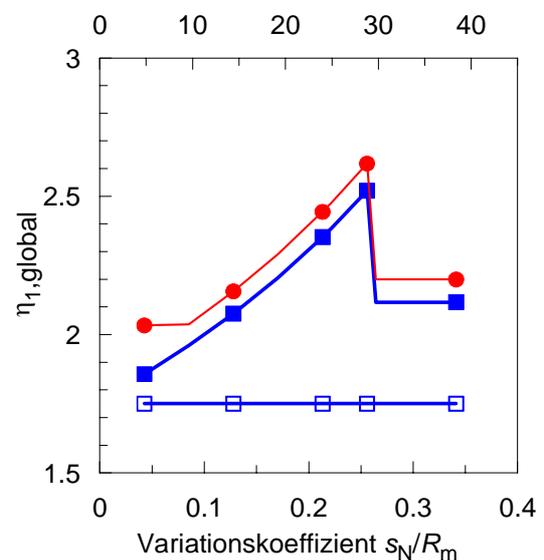
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

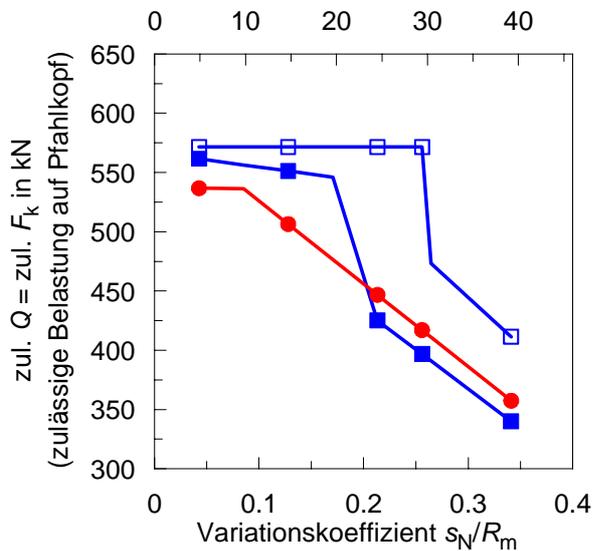
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



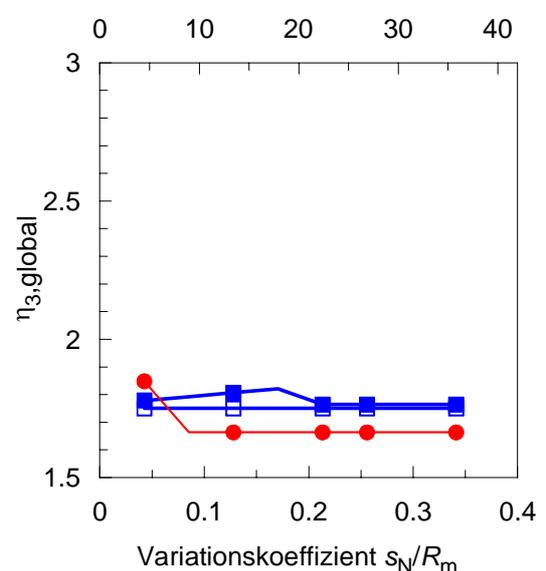
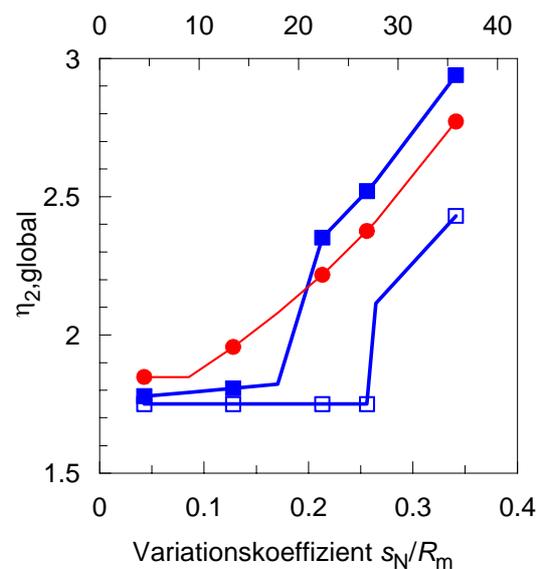
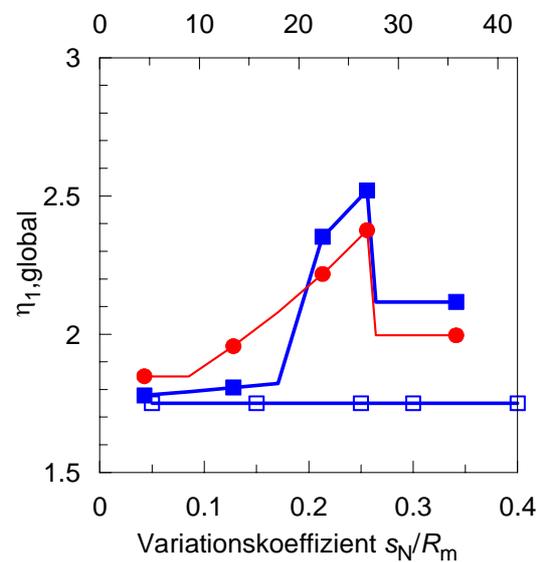
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

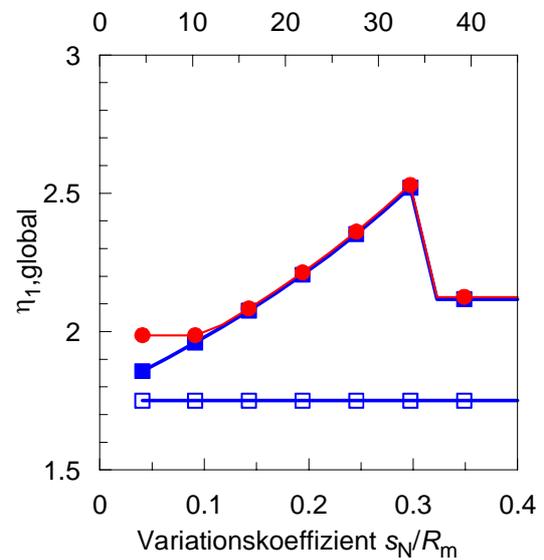
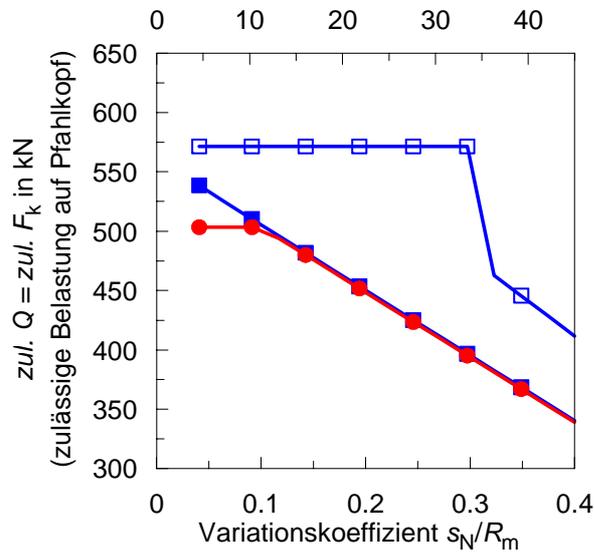
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

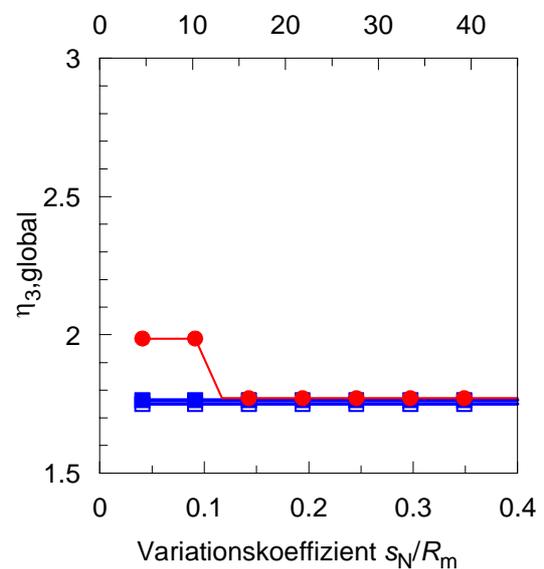
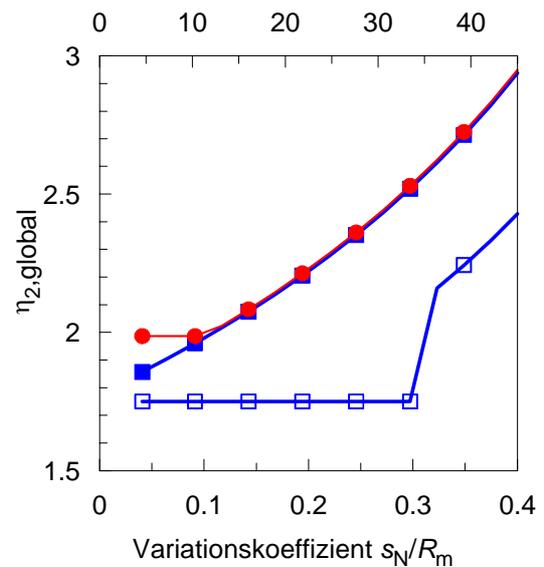


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

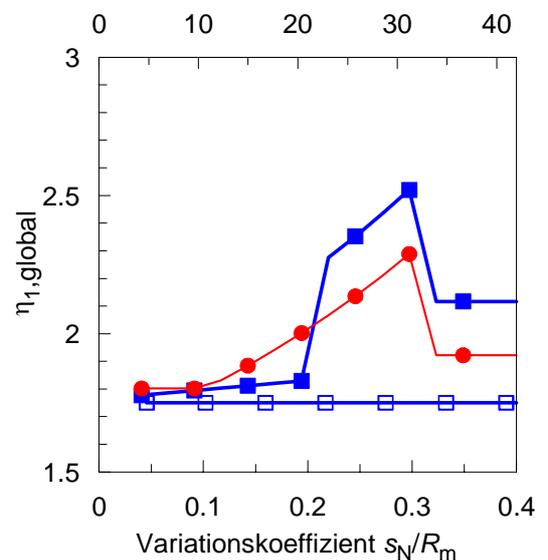
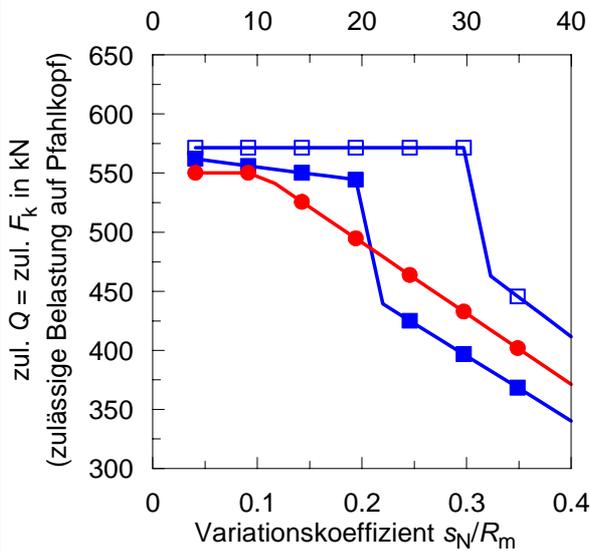
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01



$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

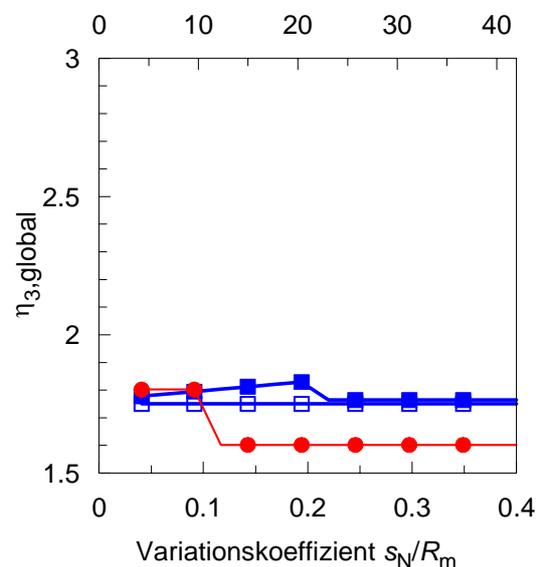
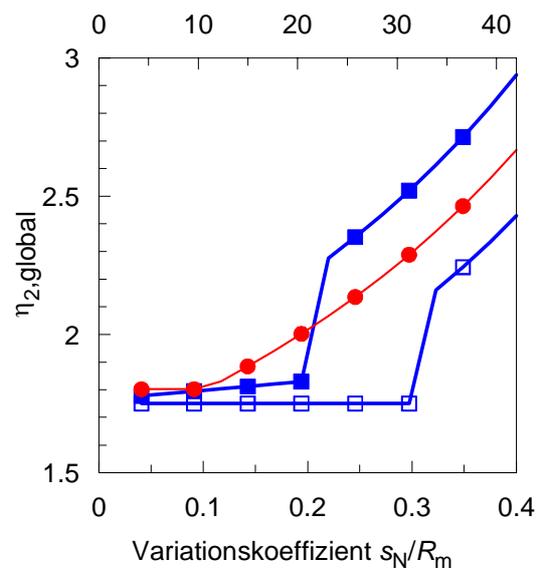


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ◻ DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

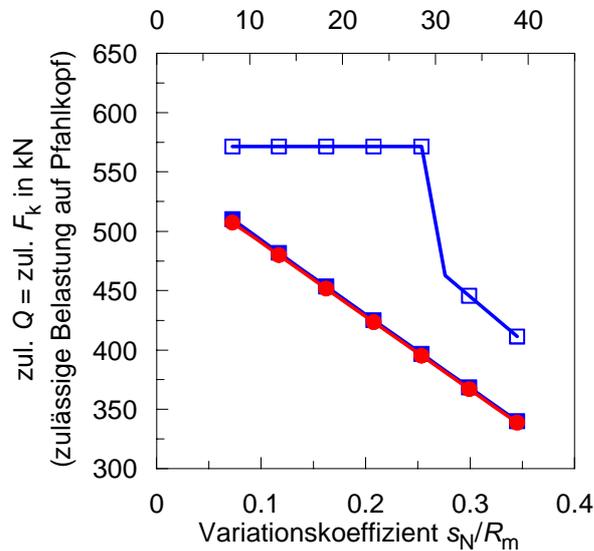
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01



$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



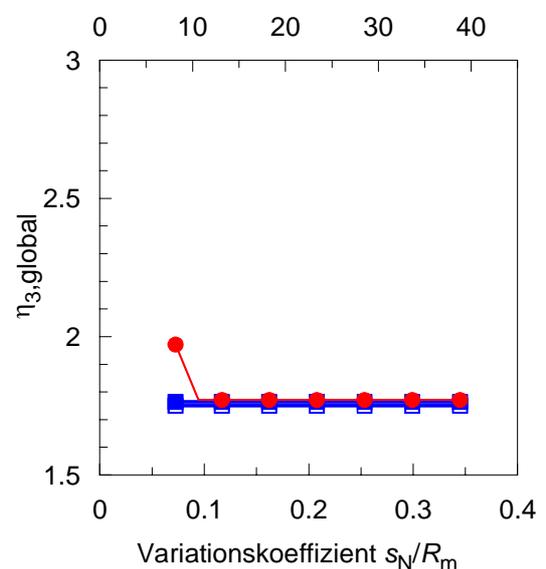
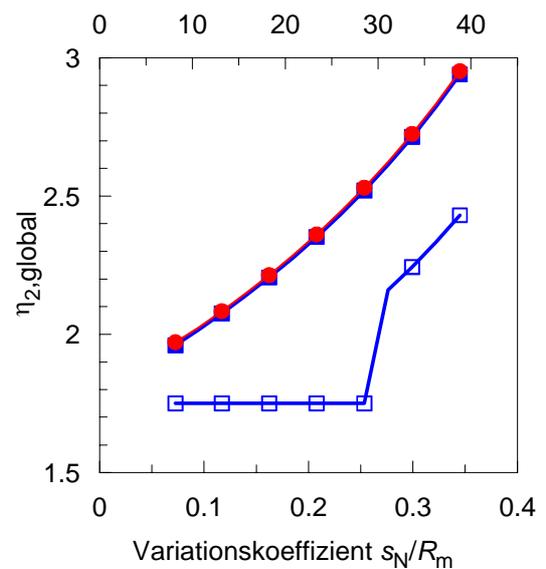
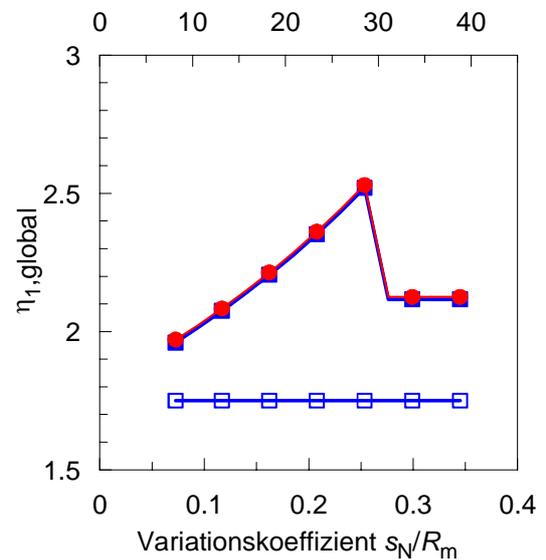
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

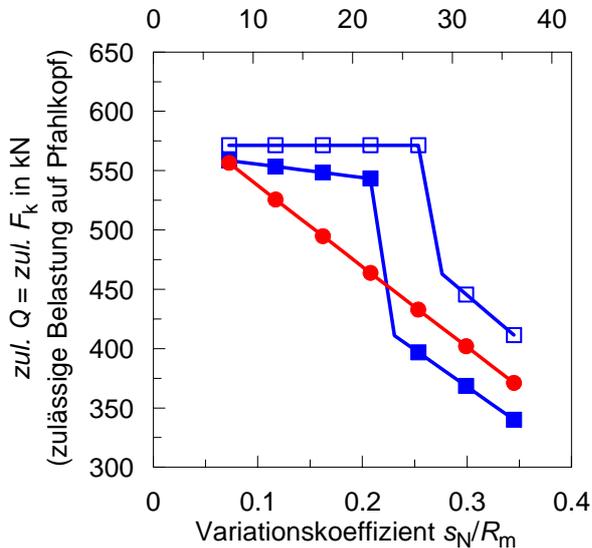
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit erw. Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

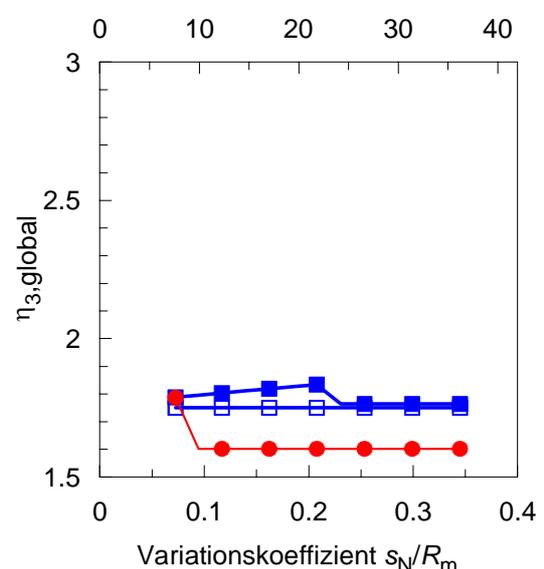
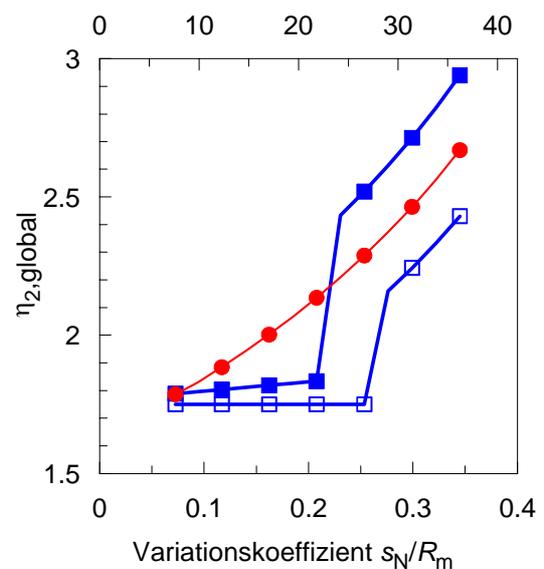
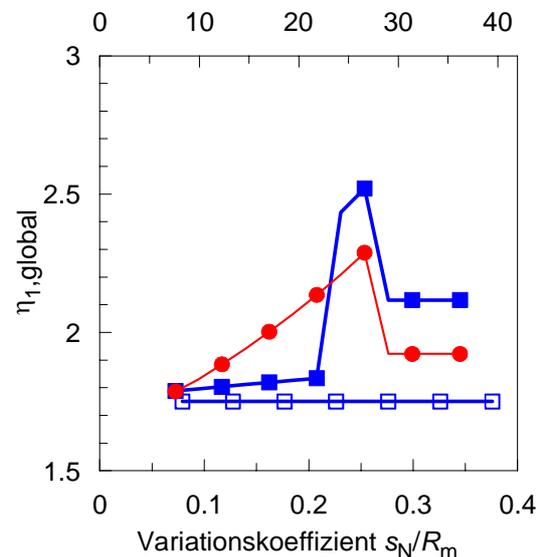


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 2 Berechnung für dynamische Pfahlprobelastungen
- 2.4 Anlagen für Kalibrierung an statischen Probelastungen aus einer anderen, vergleichbaren Baumaßnahme, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren						EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3		
975	1025				1000	0,04	2,5	446	2,24	2,24	2,18	382	2,62	2,62	2,62		
950	1050				1000	0,07	5	435	2,30	2,30	2,18	382	2,62	2,62	2,62		
925	1075				1000	0,11	7,5	424	2,36	2,36	2,18	375	2,66	2,66	2,46		
900	1100				1000	0,14	10	412	2,43	2,43	2,18	365	2,74	2,74	2,46		
875	1125				1000	0,18	12,5	401	2,50	2,50	2,18	355	2,82	2,82	2,46		
825	1175				1000	0,25	17,5	378	2,65	2,65	2,18	335	2,99	2,99	2,46		
815	1185				1000	0,26	18,5	373	2,68	2,68	2,18	331	3,02	3,02	2,46		
700	1300				1000	0,42	30	321	3,12	3,12	2,18	284	3,52	3,52	2,46		
690	1310				1000	0,44	31	316	2,62	3,17	2,18	280	2,96	3,57	2,46		
600	1400				1000	0,57	40	275	2,62	3,64	2,18	244	2,96	4,11	2,46		
950	1000	1050			1000	0,08	5	435	2,30	2,30	2,18	382	2,62	2,62	2,62		
900	1000	1100			1000	0,16	10	412	2,43	2,43	2,18	365	2,74	2,74	2,46		
850	1000	1150			1000	0,24	15	389	2,57	2,57	2,18	345	2,90	2,90	2,46		
800	1000	1200			1000	0,32	20	366	2,73	2,73	2,18	325	3,08	3,08	2,46		
750	1000	1250			1000	0,40	25	343	2,91	2,91	2,18	304	3,29	3,29	2,46		
740	1000	1260			1000	0,41	26	339	2,95	2,95	2,18	300	3,33	3,33	2,46		
700	1000	1300			1000	0,47	30	321	3,12	3,12	2,18	284	3,52	3,52	2,46		
690	1000	1310			1000	0,49	31	316	2,62	3,17	2,18	280	2,96	3,57	2,46		
600	1000	1400			1000	0,63	40	275	2,62	3,64	2,18	244	2,96	4,11	2,46		
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	471	2,12	2,12	2,02	382	2,62	2,62	2,62		
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	459	2,18	2,18	2,02	375	2,66	2,66	2,46		
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	446	2,24	2,24	2,02	365	2,74	2,74	2,46		
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	434	2,30	2,30	2,02	355	2,82	2,82	2,46		
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	422	2,37	2,37	2,02	345	2,90	2,90	2,46		
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	409	2,44	2,44	2,02	335	2,99	2,99	2,46		
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	397	2,52	2,52	2,02	325	3,08	3,08	2,46		
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	384	2,60	2,60	2,02	315	3,18	3,18	2,46		
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	372	2,69	2,69	2,02	304	3,29	3,29	2,46		
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	360	2,78	2,78	2,02	294	3,40	3,40	2,46		
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	347	2,88	2,88	2,02	284	3,52	3,52	2,46		
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	335	2,99	2,99	2,02	274	3,65	3,65	2,46		
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	322	3,10	3,10	2,02	264	3,79	3,79	2,46		
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	310	3,23	3,23	2,02	254	3,96	3,96	2,46		
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	298	3,36	3,36	2,02	244	4,11	4,11	2,46		
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	466	2,15	2,15	1,93	403	2,48	2,48	2,23		
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	453	2,21	2,21	1,93	392	2,55	2,55	2,23		
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	440	2,27	2,27	1,93	381	2,63	2,63	2,23		
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	427	2,34	2,34	1,93	369	2,71	2,71	2,23		
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	414	2,42	2,42	1,93	358	2,79	2,79	2,23		
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	401	2,49	2,49	1,93	347	2,88	2,88	2,23		
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	388	2,58	2,58	1,93	336	2,98	2,98	2,23		
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	375	2,66	2,66	1,93	325	3,08	3,08	2,23		
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	362	2,76	2,76	1,93	313	3,19	3,19	2,23		
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	349	2,86	2,86	1,93	302	3,31	3,31	2,23		
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	336	2,97	2,97	1,93	291	3,44	3,44	2,23		
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	323	3,09	3,09	1,93	280	3,57	3,57	2,23		
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	311	3,22	3,22	1,93	269	3,72	3,72	2,23		

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren, starres System				EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren, starres System					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} * 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	493	2,03	2,03	2,03	419	2,39	2,39	2,39
950	1050				1000	0,07	5	490	2,04	2,04	2,04	419	2,39	2,39	2,39
925	1075				1000	0,11	7,5	487	2,05	2,05	2,05	414	2,41	2,41	2,23
900	1100				1000	0,14	10	485	2,06	2,06	2,06	403	2,48	2,48	2,23
875	1125				1000	0,18	12,5	482	2,08	2,08	2,08	392	2,55	2,55	2,23
825	1175				1000	0,25	17,5	409	2,44	2,44	2,02	369	2,71	2,71	2,23
815	1185				1000	0,26	18,5	404	2,47	2,47	2,02	365	2,74	2,74	2,23
700	1300				1000	0,42	30	347	2,88	2,88	2,02	313	3,19	3,19	2,23
690	1310				1000	0,44	31	342	2,42	2,92	2,02	309	2,68	3,24	2,23
600	1400				1000	0,57	40	298	2,42	3,36	2,02	269	2,68	3,72	2,23
950	1000	1050			1000	0,05	5	492	2,03	2,03	2,03	419	2,39	2,39	2,39
900	1000	1100			1000	0,10	10	488	2,05	2,05	2,05	403	2,48	2,48	2,23
850	1000	1150			1000	0,15	15	484	2,07	2,07	2,07	381	2,63	2,63	2,23
800	1000	1200			1000	0,20	20	480	2,08	2,08	2,08	368	2,79	2,79	2,23
750	1000	1250			1000	0,25	25	372	2,69	2,69	2,02	336	2,98	2,98	2,23
740	1000	1260			1000	0,26	26	367	2,72	2,72	2,02	331	3,02	3,02	2,23
700	1000	1300			1000	0,30	30	347	2,88	2,88	2,02	313	3,19	3,19	2,23
690	1000	1310			1000	0,31	31	342	2,42	2,92	2,02	309	2,68	3,24	2,23
600	1000	1400			1000	0,40	40	298	2,42	3,36	2,02	269	2,68	3,72	2,23
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	492	2,03	2,03	2,03	419	2,39	2,39	2,39
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	490	2,04	2,04	2,04	414	2,41	2,41	2,23
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	488	2,05	2,05	2,05	403	2,48	2,48	2,23
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	485	2,06	2,06	2,06	392	2,55	2,55	2,23
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	483	2,07	2,07	2,07	381	2,63	2,63	2,23
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	481	2,08	2,08	2,08	369	2,71	2,71	2,23
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	479	2,09	2,09	2,09	368	2,79	2,79	2,23
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	384	2,60	2,60	2,02	347	2,88	2,88	2,23
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	372	2,69	2,69	2,02	336	2,98	2,98	2,23
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	360	2,78	2,78	2,02	325	3,08	3,08	2,23
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	347	2,88	2,88	2,02	313	3,19	3,19	2,23
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	335	2,42	2,99	2,02	302	2,68	3,31	2,23
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	322	2,42	3,10	2,02	291	2,68	3,44	2,23
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	310	2,42	3,23	2,02	280	2,68	3,57	2,23
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	298	2,42	3,36	2,02	269	2,68	3,72	2,23
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	511	1,96	1,96	1,96	443	2,26	2,26	2,03
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	508	1,97	1,97	1,97	430	2,32	2,32	2,03
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	506	1,97	1,97	1,97	418	2,39	2,39	2,03
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	504	1,98	1,98	1,98	406	2,46	2,46	2,03
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	502	1,99	1,99	1,99	394	2,54	2,54	2,03
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	500	2,00	2,00	2,00	381	2,62	2,62	2,03
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	498	2,01	2,01	2,01	369	2,71	2,71	2,03
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	375	2,66	2,66	1,93	357	2,80	2,80	2,03
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	362	2,76	2,76	1,93	344	2,90	2,90	2,03
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	349	2,32	2,86	1,93	332	2,44	3,01	2,03
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	336	2,32	2,97	1,93	320	2,44	3,13	2,03
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	323	2,32	3,09	1,93	307	2,44	3,25	2,03
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	311	2,32	3,22	1,93	295	2,44	3,39	2,03

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, weiches System

							DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren					EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren			
							$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$					$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	$s_{1\%}/R_{mittel}$	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} * 100\%$	zul F_k	η_1	η_2	η_3	zul F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	505	1,98	1,98	1,93	406	2,46	2,46	2,46
950	1050				1000	0,05	5	492	2,03	2,03	1,93	406	2,46	2,46	2,46
925	1075				1000	0,08	7,5	479	2,09	2,09	1,93	406	2,46	2,46	2,46
900	1100				1000	0,11	10	466	2,15	2,15	1,93	403	2,48	2,48	2,23
875	1125				1000	0,13	12,5	453	2,21	2,21	1,93	392	2,55	2,55	2,23
825	1175				1000	0,19	17,5	427	2,34	2,34	1,93	369	2,71	2,71	2,23
815	1185				1000	0,20	18,5	422	2,37	2,37	1,93	365	2,74	2,74	2,23
700	1300				1000	0,32	30	362	2,76	2,76	1,93	313	3,19	3,19	2,23
690	1310				1000	0,33	31	357	2,32	2,80	1,93	309	2,68	3,24	2,23
600	1400				1000	0,43	40	311	2,32	3,22	1,93	269	2,68	3,72	2,23
950	1000	1050			1000	0,04	5	492	2,03	2,03	1,93	419	2,39	2,39	2,39
900	1000	1100			1000	0,09	10	466	2,15	2,15	1,93	417	2,40	2,40	2,16
850	1000	1150			1000	0,13	15	440	2,27	2,27	1,93	394	2,54	2,54	2,16
800	1000	1200			1000	0,17	20	414	2,42	2,42	1,93	371	2,70	2,70	2,16
750	1000	1250			1000	0,21	25	388	2,58	2,58	1,93	348	2,87	2,87	2,16
740	1000	1260			1000	0,22	26	383	2,61	2,61	1,93	343	2,91	2,91	2,16
700	1000	1300			1000	0,26	30	362	2,76	2,76	1,93	325	3,08	3,08	2,16
690	1000	1310			1000	0,26	31	357	2,32	2,80	1,93	320	2,59	3,12	2,16
600	1000	1400			1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	278	2,59	3,59	2,16
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	492	2,03	2,03	1,93	427	2,34	2,34	2,34
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	479	2,09	2,09	1,93	427	2,34	2,34	2,34
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	466	2,15	2,15	1,93	427	2,34	2,34	2,34
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	453	2,21	2,21	1,93	421	2,38	2,38	2,08
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	440	2,27	2,27	1,93	409	2,45	2,45	2,08
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	427	2,34	2,34	1,93	397	2,52	2,52	2,08
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	414	2,42	2,42	1,93	385	2,60	2,60	2,08
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	401	2,49	2,49	1,93	373	2,68	2,68	2,08
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	361	2,77	2,77	2,08
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	375	2,66	2,66	1,93	349	2,87	2,87	2,08
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	337	2,97	2,97	2,08
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	349	2,32	2,86	1,93	325	2,49	3,08	2,08
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	336	2,32	2,97	1,93	313	2,49	3,20	2,08
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	323	2,32	3,09	1,93	301	2,49	3,33	2,08
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	289	2,49	3,47	2,08
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	466	2,15	2,15	1,93	433	2,31	2,31	2,08
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	453	2,21	2,21	1,93	421	2,38	2,38	2,08
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	440	2,27	2,27	1,93	409	2,45	2,45	2,08
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	427	2,34	2,34	1,93	397	2,52	2,52	2,08
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	414	2,42	2,42	1,93	385	2,60	2,60	2,08
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	401	2,49	2,49	1,93	373	2,68	2,68	2,08
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	388	2,58	2,58	1,93	361	2,77	2,77	2,08
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	375	2,66	2,66	1,93	349	2,87	2,87	2,08
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	362	2,76	2,76	1,93	337	2,97	2,97	2,08
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	349	2,32	2,86	1,93	325	2,49	3,08	2,08
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	336	2,32	2,97	1,93	313	2,49	3,20	2,08
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	323	2,32	3,09	1,93	301	2,49	3,33	2,08
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	289	2,49	3,47	2,08

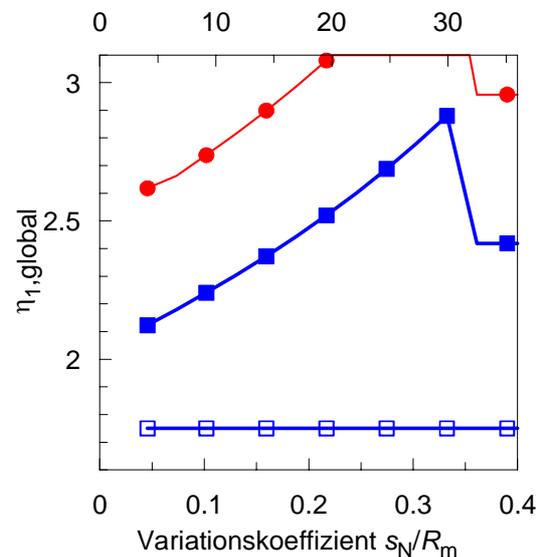
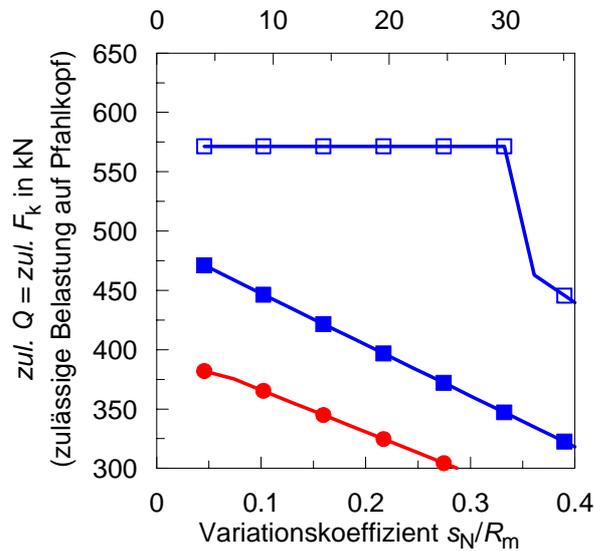
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, starres System

						DIN 1054:2005-01, vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren				EC 7-1 (nat. Vorschlag), vergleichbares Baufeld, direktes Verfahren, starres System					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\frac{\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} }{R_{mittel}} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	515	1,94	1,94	1,94	448	2,23	2,23	2,23
950	1050				1000	0,05	5	513	1,95	1,95	1,95	448	2,23	2,23	2,23
925	1075				1000	0,08	7,5	510	1,96	1,96	1,96	448	2,23	2,23	2,23
900	1100				1000	0,11	10	508	1,97	1,97	1,97	443	2,26	2,26	2,03
875	1125				1000	0,13	12,5	506	1,98	1,98	1,98	430	2,32	2,32	2,03
825	1175				1000	0,19	17,5	427	2,34	2,34	1,93	406	2,46	2,46	2,03
815	1185				1000	0,20	18,5	422	2,37	2,37	1,93	401	2,49	2,49	2,03
700	1300				1000	0,32	30	362	2,76	2,76	1,93	344	2,90	2,90	2,03
690	1310				1000	0,33	31	367	2,32	2,80	1,93	339	2,44	2,95	2,03
600	1400				1000	0,43	40	311	2,32	3,22	1,93	295	2,44	3,39	2,03
950	1000	1050			1000	0,04	5	514	1,95	1,95	1,95	461	2,17	2,17	2,17
900	1000	1100			1000	0,09	10	510	1,96	1,96	1,96	460	2,17	2,17	1,96
850	1000	1150			1000	0,13	15	506	1,97	1,97	1,97	435	2,30	2,30	1,96
800	1000	1200			1000	0,17	20	503	1,99	1,99	1,99	409	2,44	2,44	1,96
750	1000	1250			1000	0,21	25	388	2,58	2,58	1,93	383	2,61	2,61	1,96
740	1000	1260			1000	0,22	26	383	2,61	2,61	1,93	378	2,64	2,64	1,96
700	1000	1300			1000	0,26	30	362	2,76	2,76	1,93	358	2,79	2,79	1,96
690	1000	1310			1000	0,26	31	357	2,32	2,80	1,93	353	2,35	2,83	1,96
600	1000	1400			1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	307	2,35	3,26	1,96
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	514	1,95	1,95	1,95	471	2,13	2,13	2,13
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	512	1,95	1,95	1,95	471	2,13	2,13	2,13
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	510	1,96	1,96	1,96	471	2,13	2,13	2,13
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	507	1,97	1,97	1,97	462	2,16	2,16	1,89
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	505	1,98	1,98	1,98	449	2,23	2,23	1,89
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	503	1,99	1,99	1,99	436	2,30	2,30	1,89
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	501	2,00	2,00	2,00	422	2,37	2,37	1,89
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	401	2,49	2,49	1,93	409	2,44	2,44	1,89
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	396	2,53	2,53	1,89
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	375	2,66	2,66	1,93	383	2,61	2,61	1,89
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	370	2,71	2,71	1,89
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	349	2,32	2,86	1,93	356	2,27	2,81	1,89
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	336	2,32	2,97	1,93	343	2,27	2,91	1,89
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	323	2,32	3,09	1,93	330	2,27	3,03	1,89
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	286	2,51	3,49	2,09
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	511	1,96	1,96	1,96	475	2,10	2,10	1,89
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	509	1,96	1,96	1,96	462	2,16	2,16	1,89
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	507	1,97	1,97	1,97	449	2,23	2,23	1,89
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	505	1,98	1,98	1,98	436	2,30	2,30	1,89
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	503	1,99	1,99	1,99	422	2,37	2,37	1,89
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	501	1,99	1,99	1,99	409	2,44	2,44	1,89
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	500	2,00	2,00	2,00	396	2,53	2,53	1,89
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	375	2,66	2,66	1,93	383	2,61	2,61	1,89
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	362	2,76	2,76	1,93	370	2,71	2,71	1,89
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	349	2,32	2,86	1,93	356	2,27	2,81	1,89
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	336	2,32	2,97	1,93	343	2,27	2,91	1,89
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	323	2,32	3,09	1,93	330	2,27	3,03	1,89
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	317	2,27	3,16	1,89

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

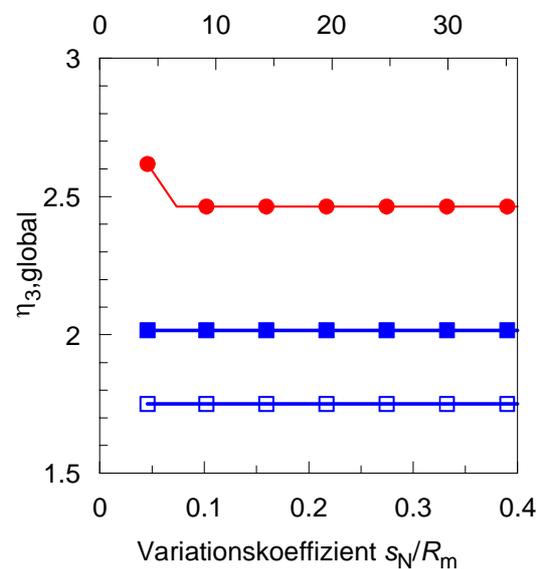
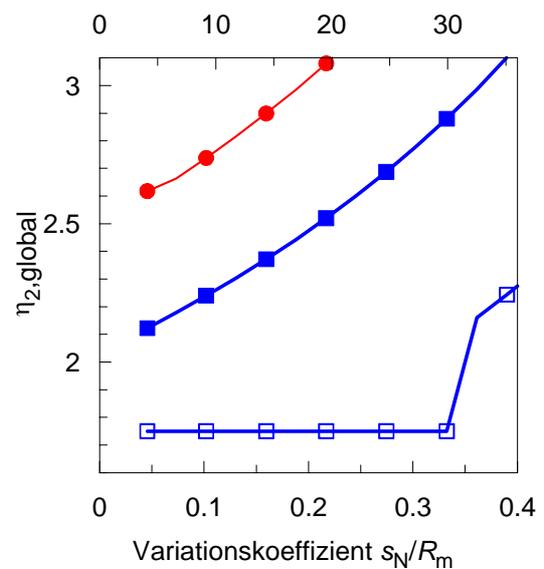


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

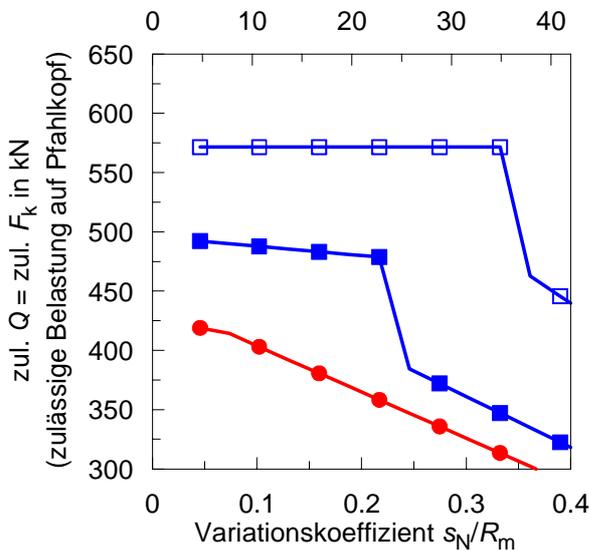
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01



$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

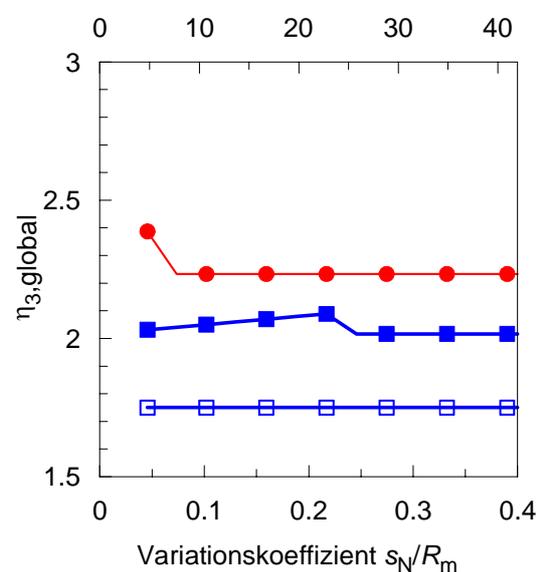
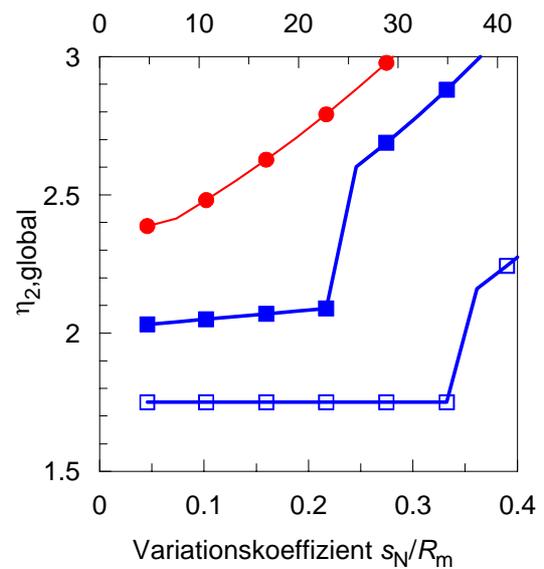
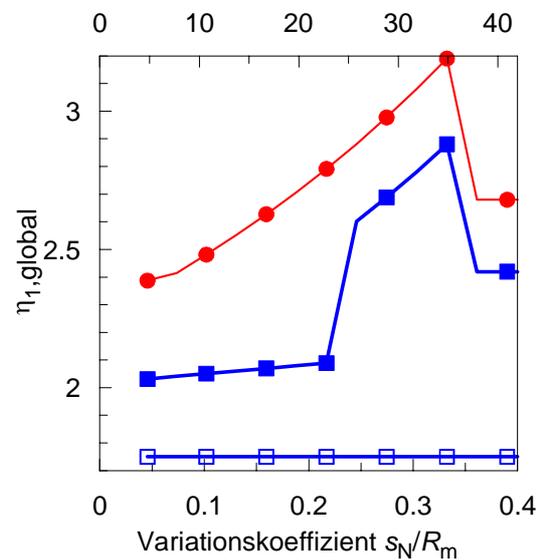


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

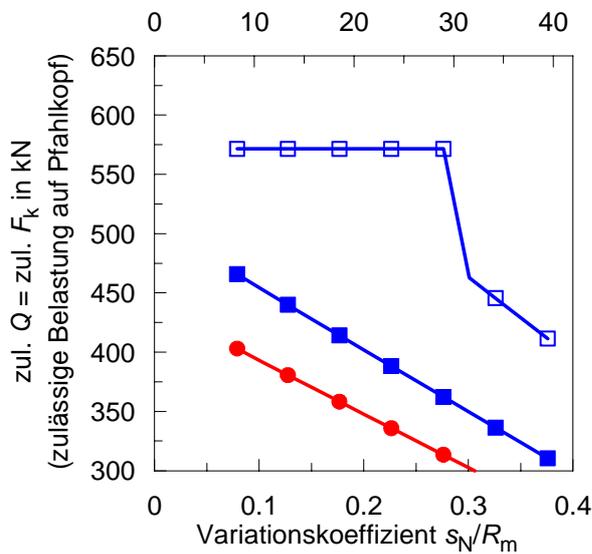
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \text{min}}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen
 Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



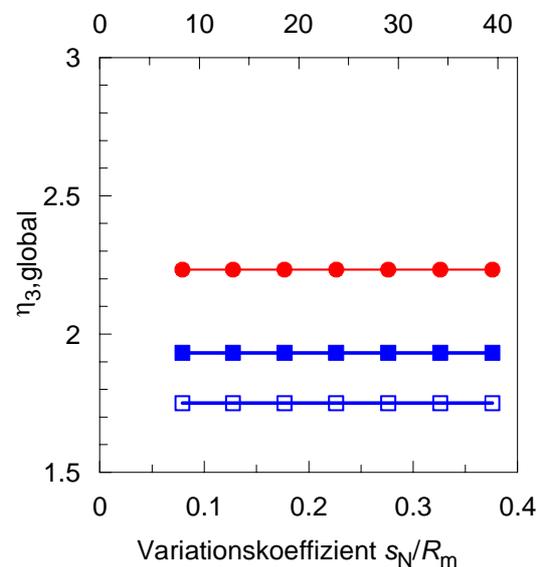
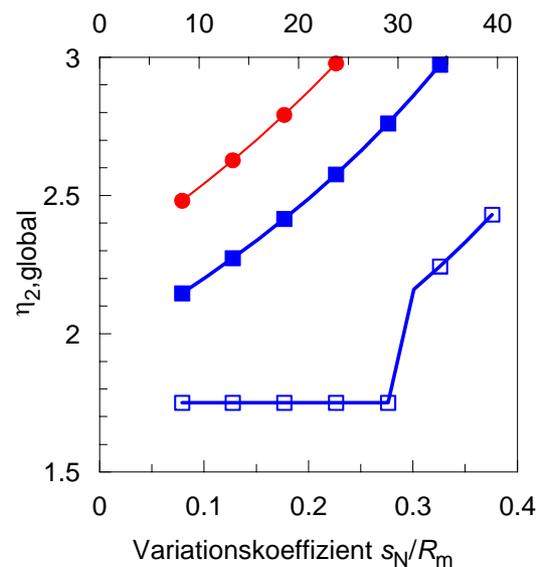
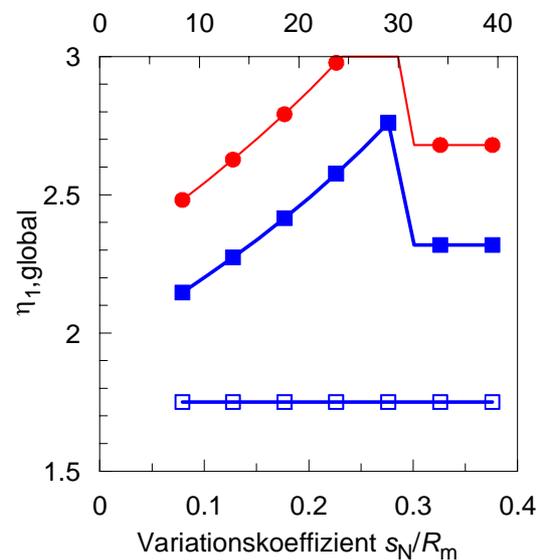
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ◻ DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf
 nach DIN 1054:1976-11

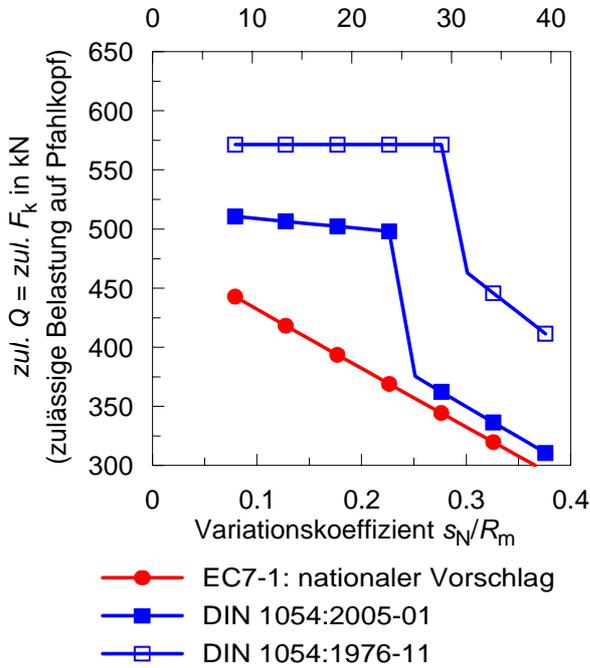
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung)
 auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen
 Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

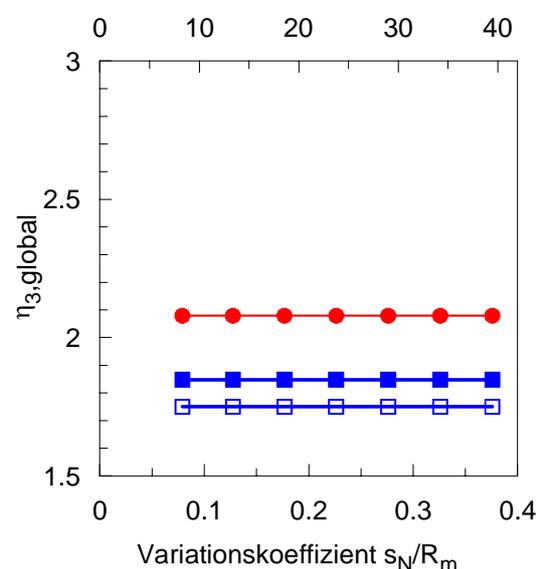
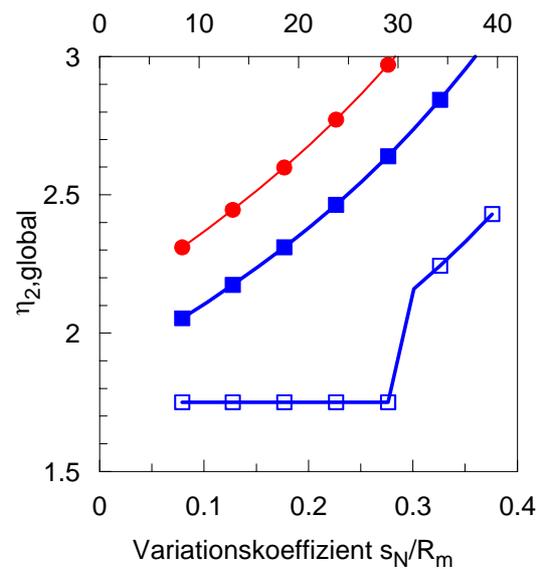
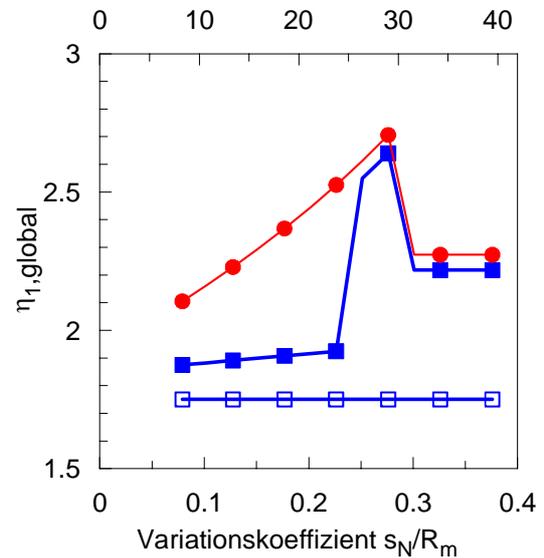


Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf
 nach DIN 1054:1976-11

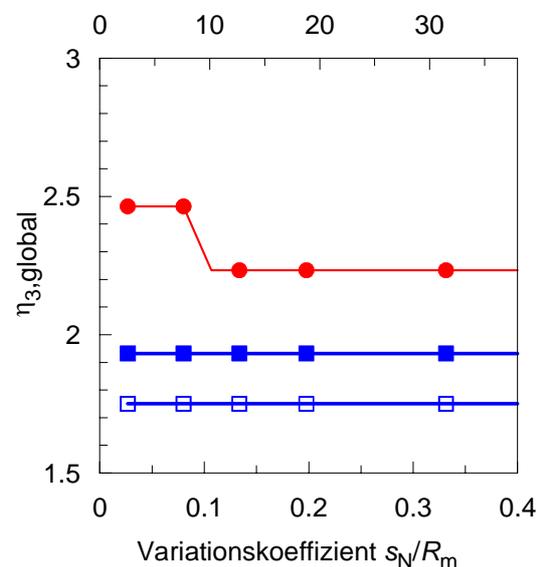
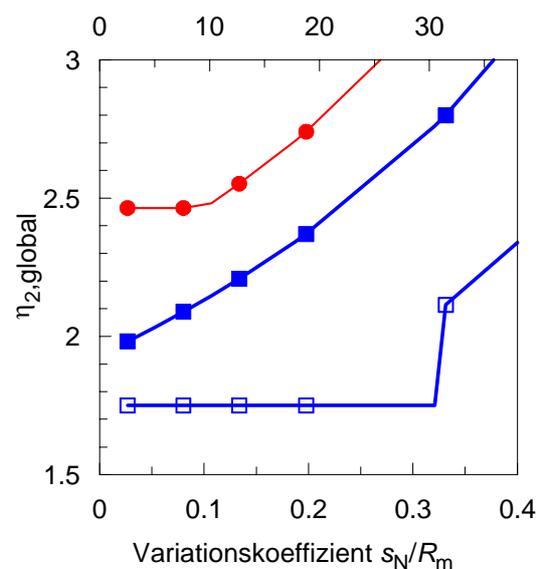
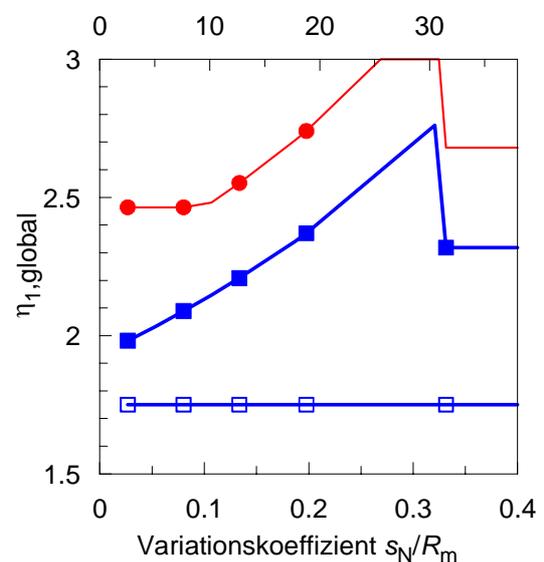
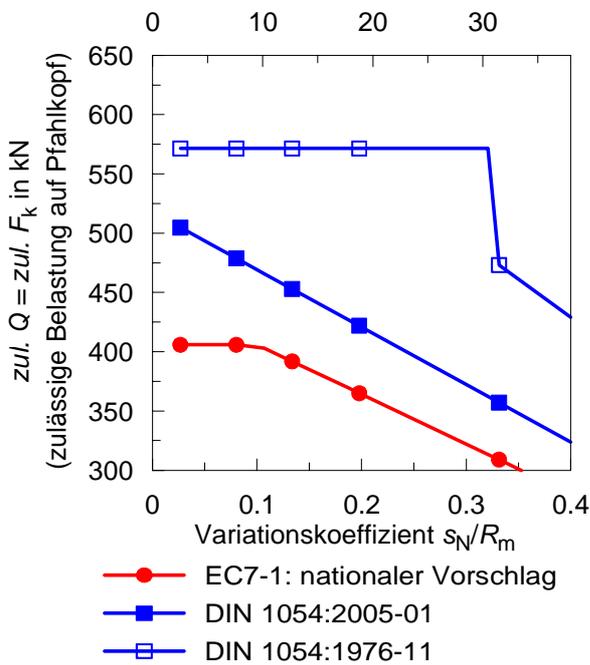
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung)
 auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$



Hinweis:

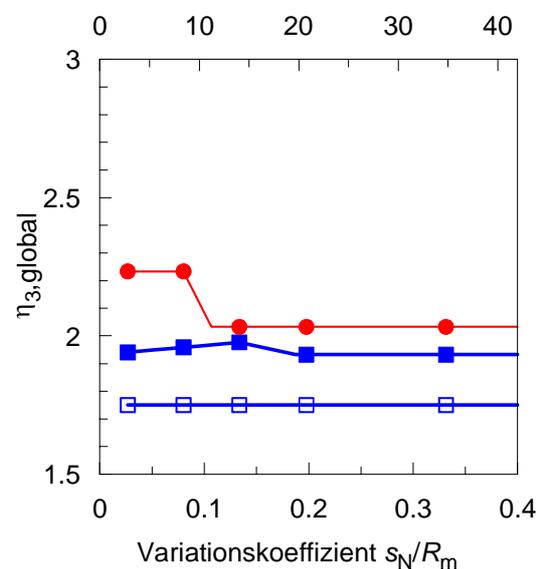
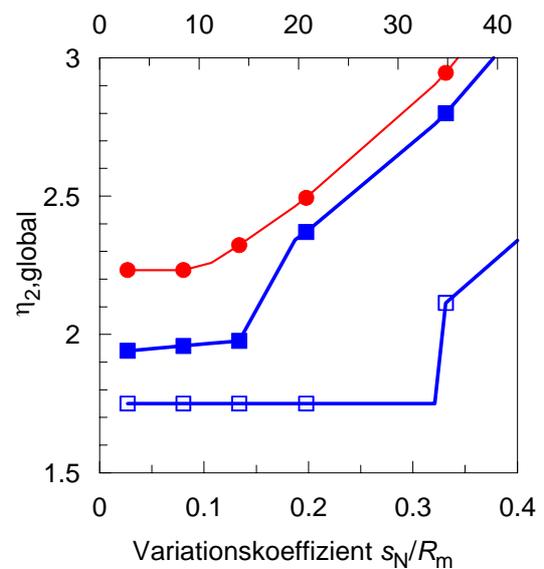
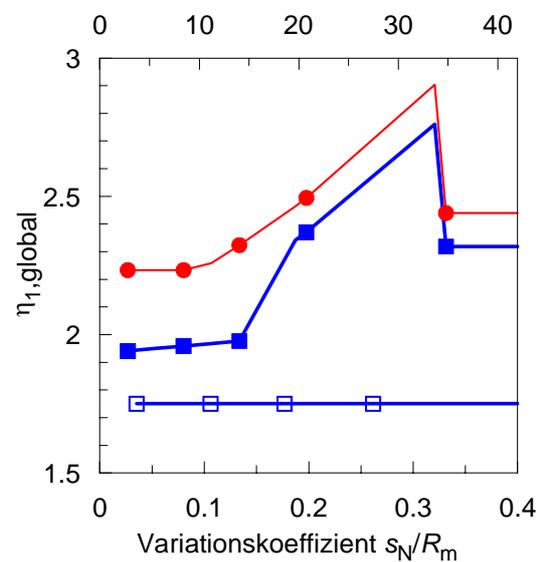
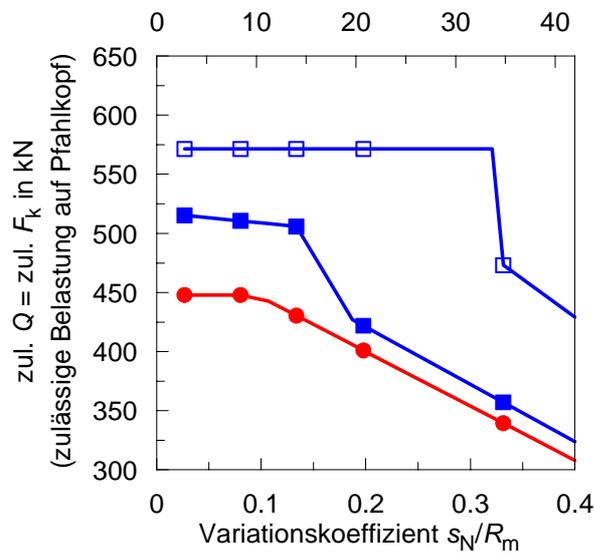
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

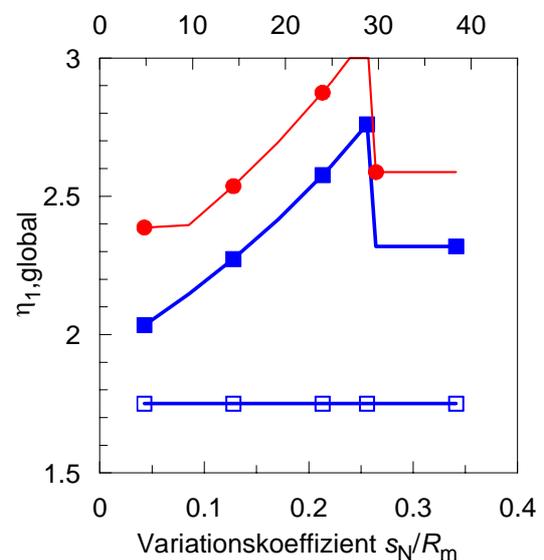
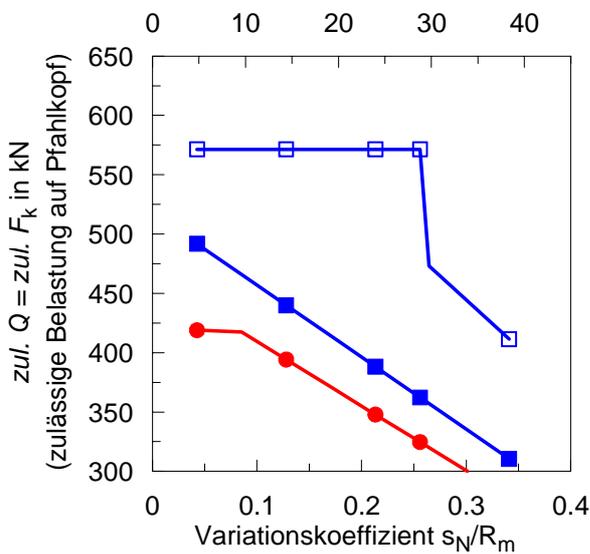
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



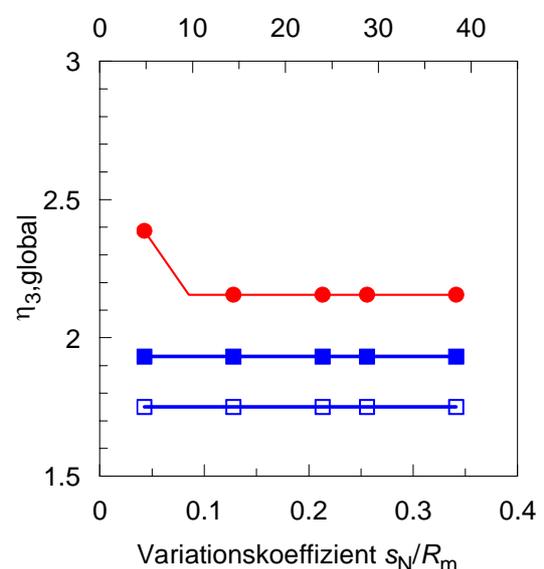
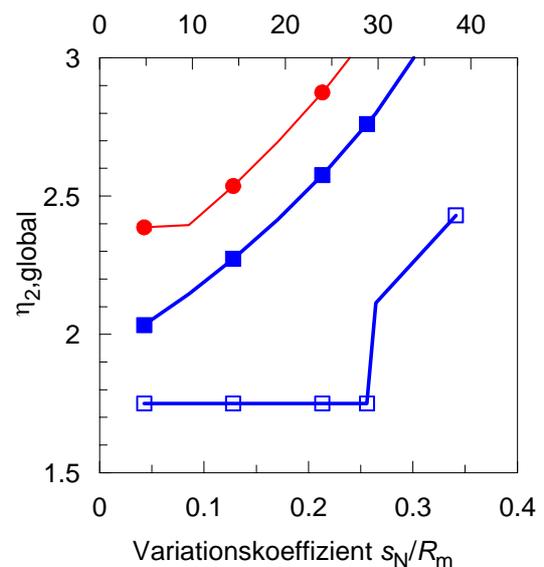
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

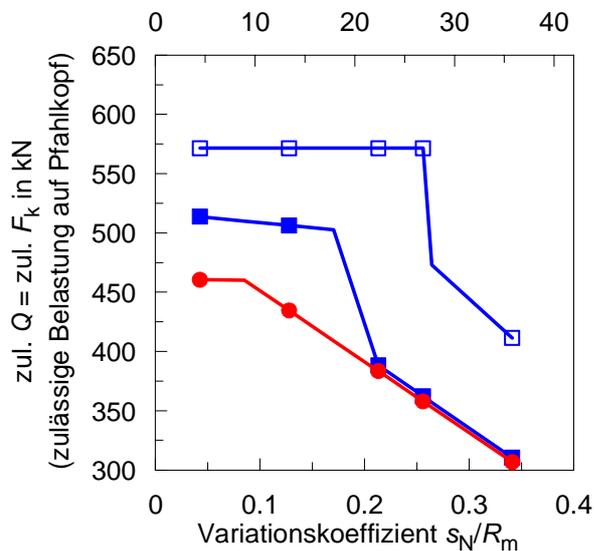
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, min}$ in kN	$R_{k, mittel}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



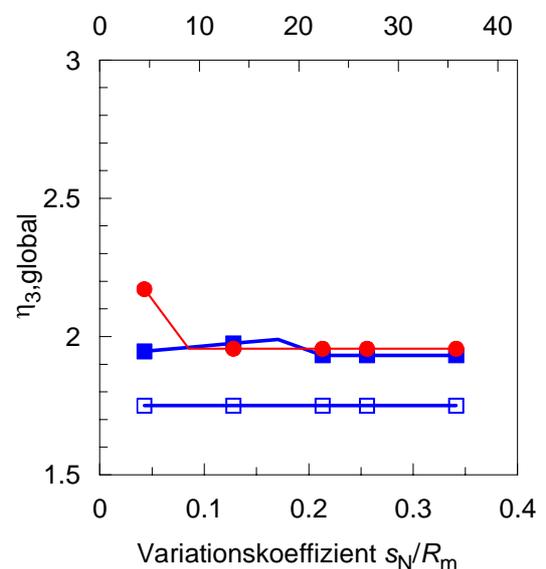
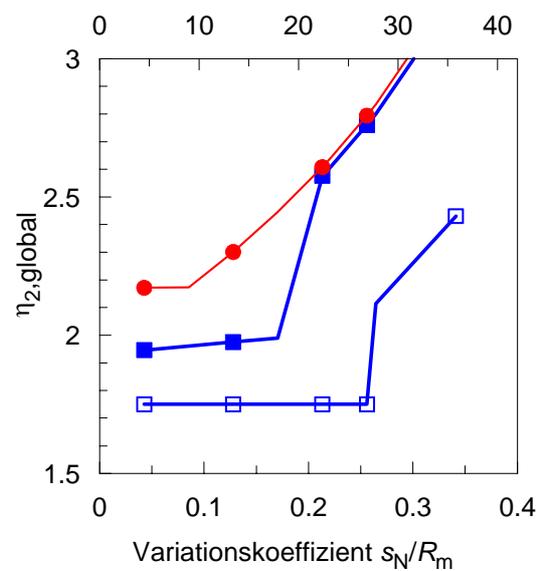
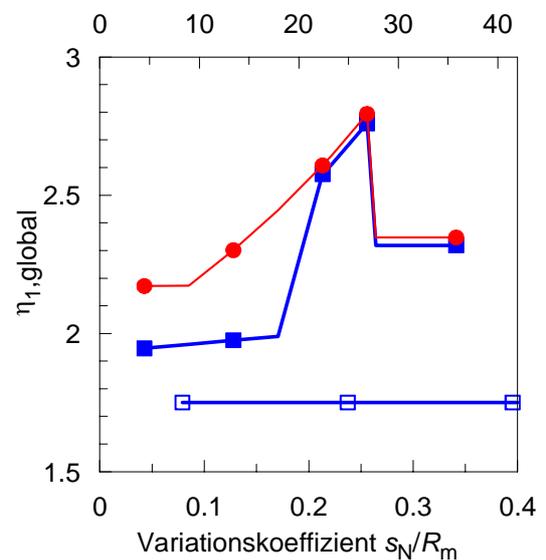
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

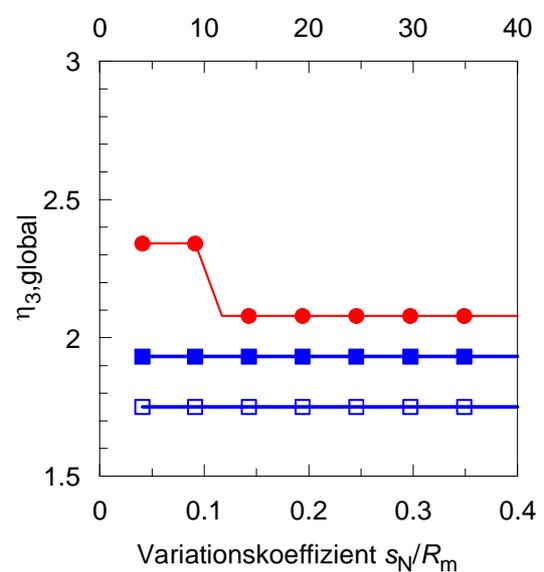
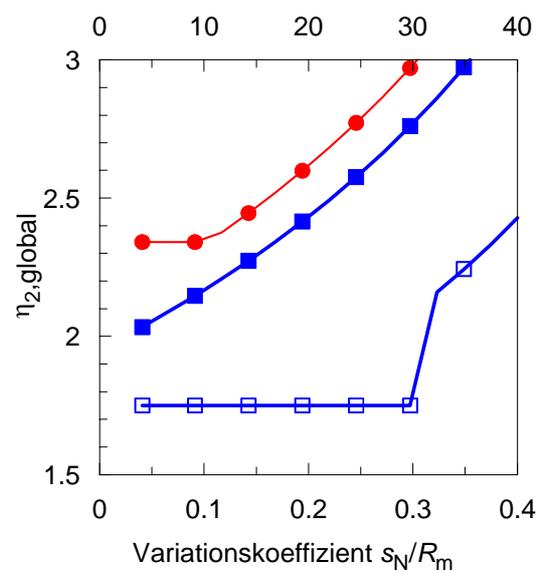
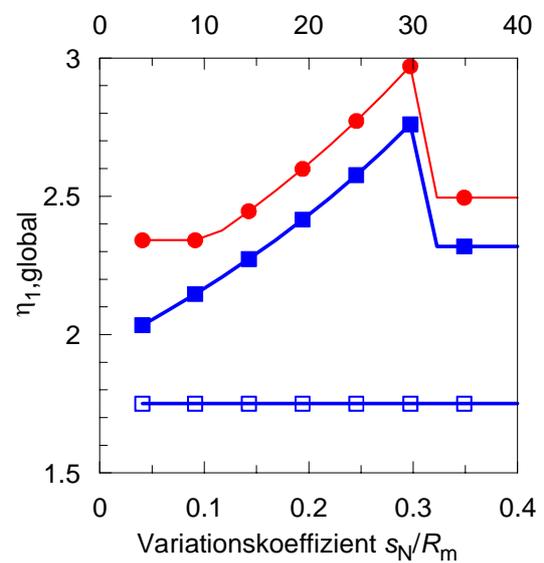
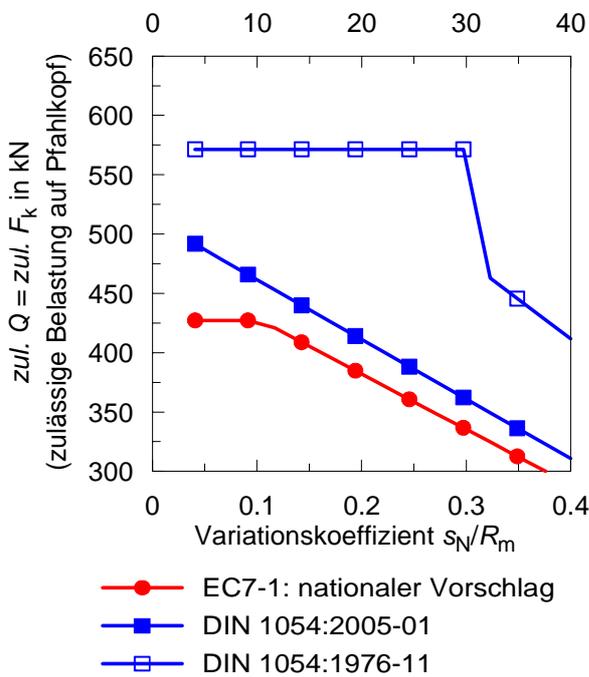
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



Hinweis:

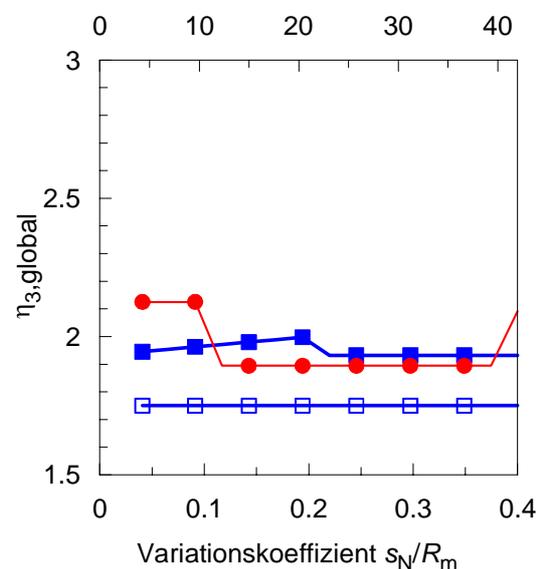
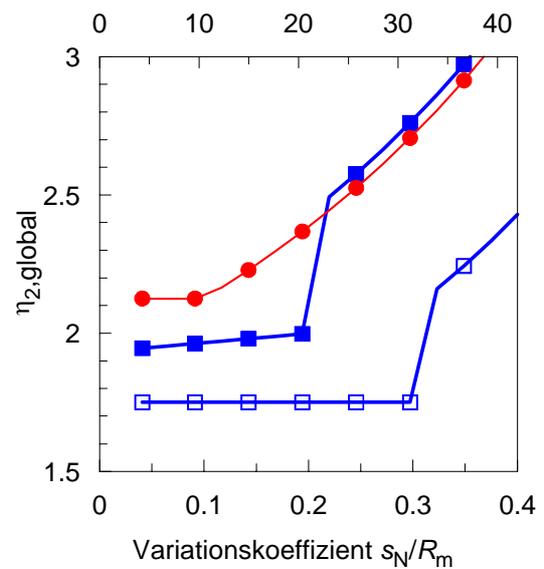
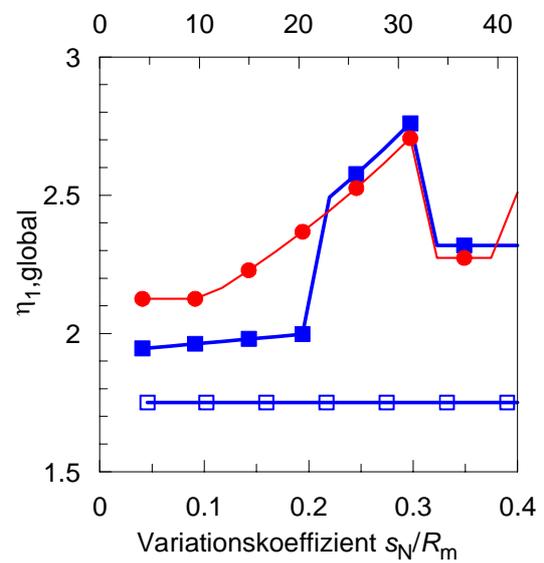
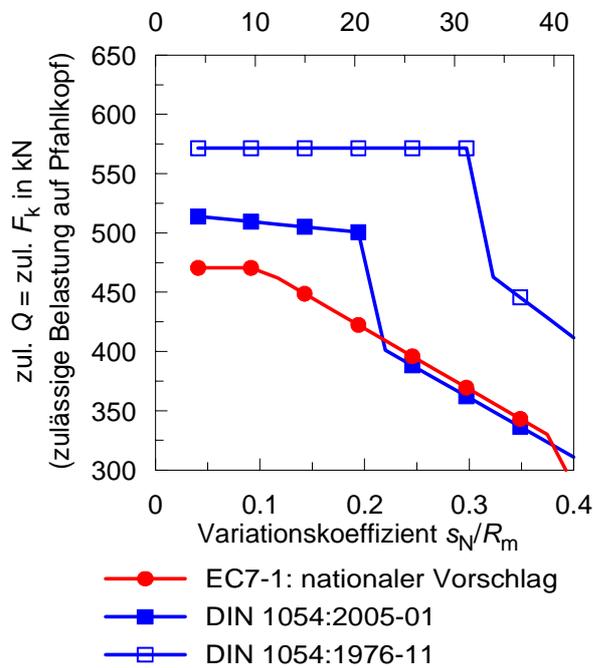
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



Hinweis:

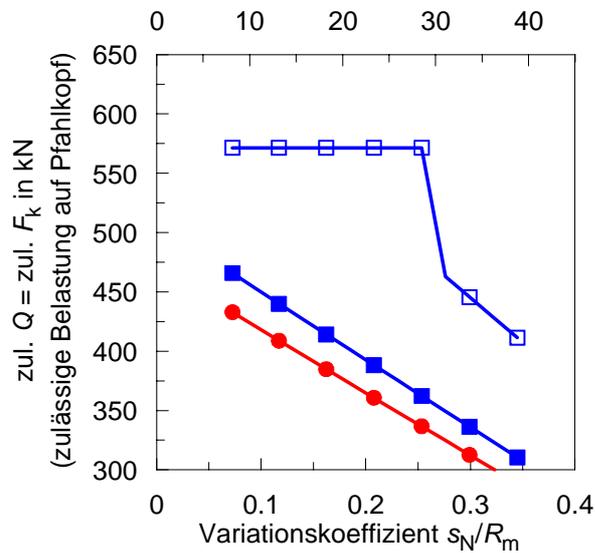
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPBn an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



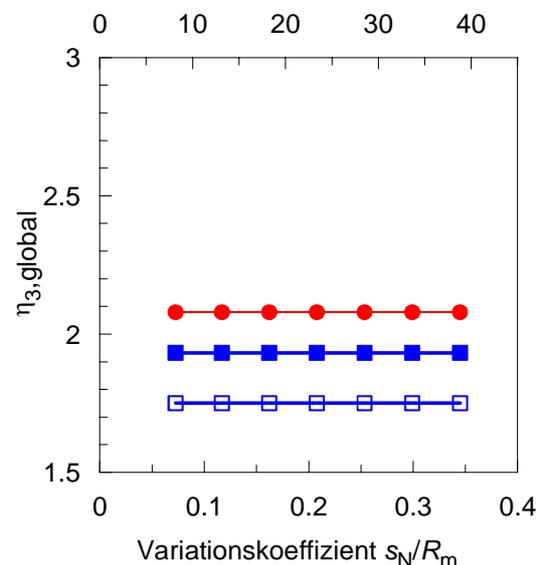
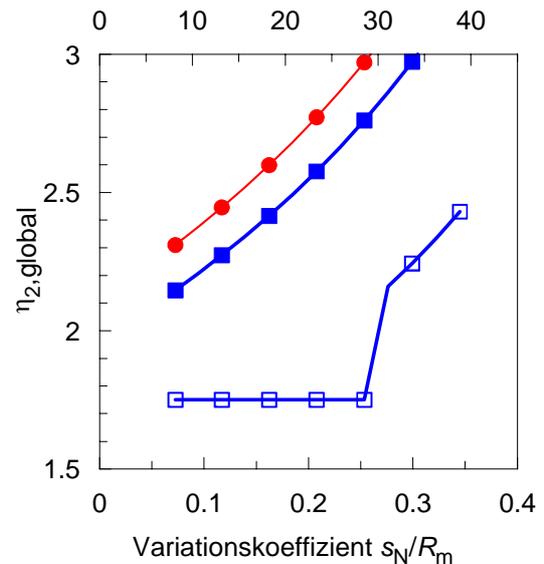
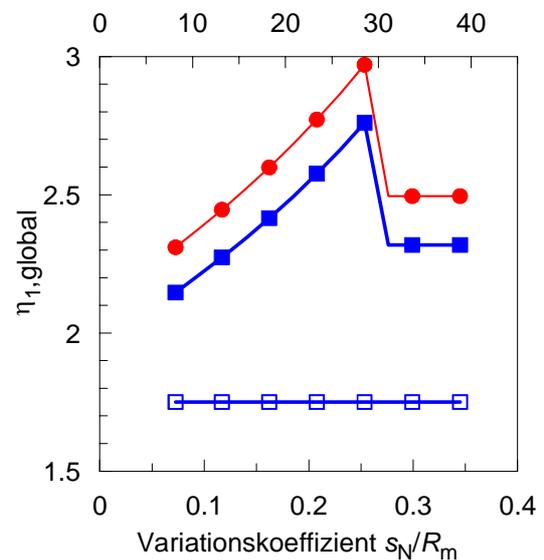
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

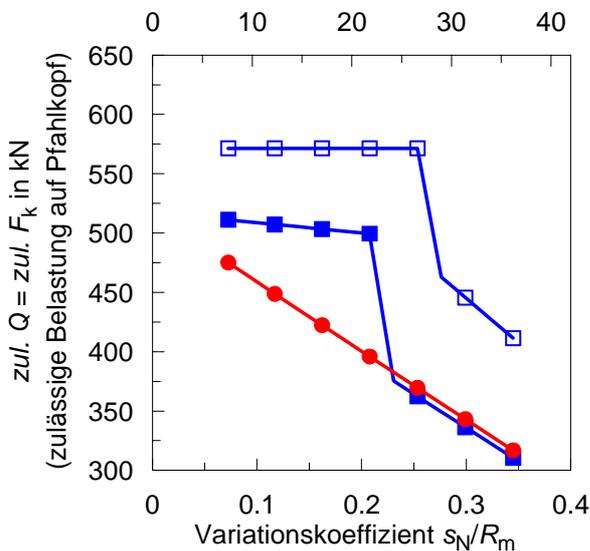
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. PPB, Kalibrierung an stat. PPB an vergl. Baugrundverhältnissen, Auswertung mit direktem Verfahren, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



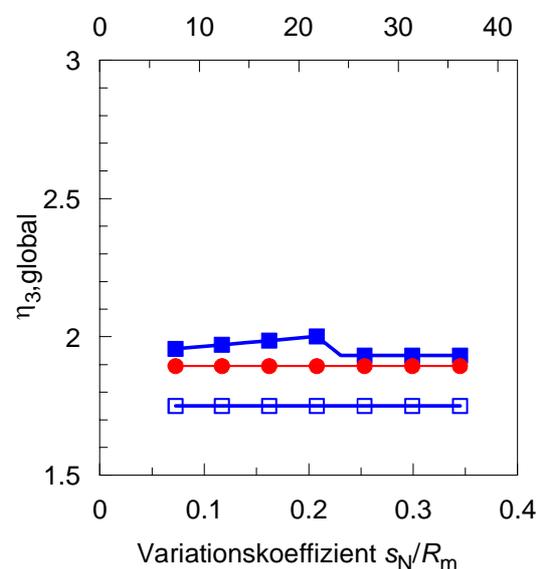
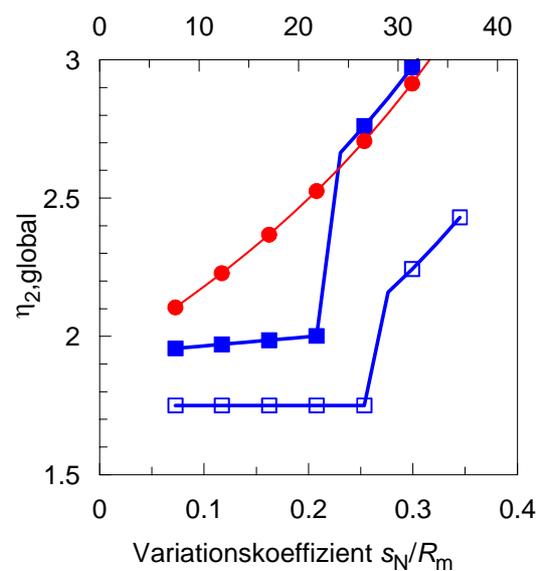
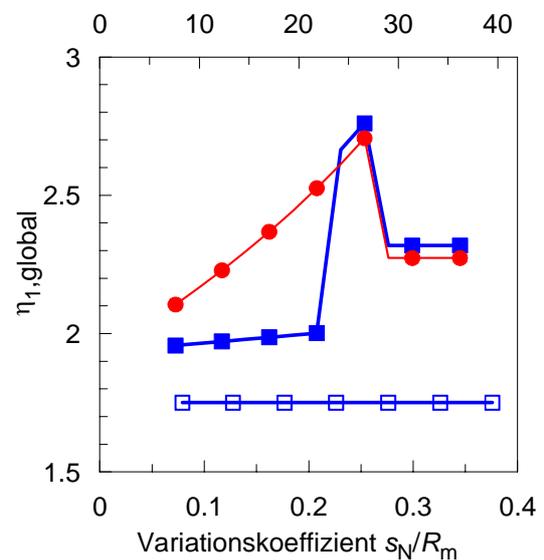
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 2 Berechnung für dynamische Pfahlprobebelastungen
- 2.5 Anlagen für Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollständiger Modellbildung, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, weiches System

								DIN 1054:2005-01, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC7-1 (nat. Vorschlag) Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung			
								$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$			
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} /R_{mittel} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	446	2,24	2,24	2,18	382	2,62	2,62	2,62
950	1050				1000	0,07	5	435	2,30	2,30	2,18	381	2,63	2,63	2,49
925	1075				1000	0,11	7,5	424	2,36	2,36	2,18	371	2,70	2,70	2,49
900	1100				1000	0,14	10	412	2,43	2,43	2,18	361	2,77	2,77	2,49
875	1125				1000	0,18	12,5	401	2,50	2,50	2,18	351	2,85	2,85	2,49
825	1175				1000	0,25	17,5	378	2,65	2,65	2,18	331	3,02	3,02	2,49
815	1185				1000	0,26	18,5	373	2,68	2,68	2,18	327	3,06	3,06	2,49
700	1300				1000	0,42	30	321	3,12	3,12	2,18	281	3,56	3,56	2,49
690	1310				1000	0,44	31	316	2,62	3,17	2,18	277	2,99	3,62	2,49
600	1400				1000	0,57	40	275	2,62	3,64	2,18	241	2,99	4,16	2,49
950	1000	1050			1000	0,05	5	435	2,30	2,30	2,18	381	2,63	2,63	2,49
900	1000	1100			1000	0,10	10	412	2,43	2,43	2,18	361	2,77	2,77	2,49
850	1000	1150			1000	0,15	15	389	2,57	2,57	2,18	341	2,94	2,94	2,49
800	1000	1200			1000	0,20	20	366	2,73	2,73	2,18	321	3,12	3,12	2,49
750	1000	1250			1000	0,25	25	343	2,91	2,91	2,18	301	3,33	3,33	2,49
740	1000	1260			1000	0,26	26	339	2,95	2,95	2,18	297	3,37	3,37	2,49
700	1000	1300			1000	0,30	30	321	3,12	3,12	2,18	281	3,56	3,56	2,49
690	1000	1310			1000	0,31	31	316	2,62	3,17	2,18	277	2,99	3,62	2,49
600	1000	1400			1000	0,40	40	275	2,62	3,64	2,18	241	2,99	4,16	2,49
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	471	2,12	2,12	2,02	381	2,63	2,63	2,49
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	459	2,18	2,18	2,02	371	2,70	2,70	2,49
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	446	2,24	2,24	2,02	361	2,77	2,77	2,49
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	434	2,30	2,30	2,02	351	2,85	2,85	2,49
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	422	2,37	2,37	2,02	341	2,94	2,94	2,49
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	409	2,44	2,44	2,02	331	3,02	3,02	2,49
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	397	2,52	2,52	2,02	321	3,12	3,12	2,49
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	384	2,60	2,60	2,02	311	3,22	3,22	2,49
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	372	2,69	2,69	2,02	301	3,33	3,33	2,49
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	360	2,78	2,78	2,02	291	3,44	3,44	2,49
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	347	2,88	2,88	2,02	281	3,56	3,56	2,49
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	335	2,99	2,99	2,02	271	3,70	3,70	2,49
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	322	3,10	3,10	2,02	261	3,84	3,84	2,49
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	310	3,23	3,23	2,02	251	3,99	3,99	2,49
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	298	3,36	3,36	2,02	241	4,16	4,16	2,49
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	466	2,15	2,15	1,93	392	2,55	2,55	2,29
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	453	2,21	2,21	1,93	381	2,62	2,62	2,29
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	440	2,27	2,27	1,93	370	2,70	2,70	2,29
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	427	2,34	2,34	1,93	360	2,78	2,78	2,29
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	414	2,42	2,42	1,93	349	2,87	2,87	2,29
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	401	2,49	2,49	1,93	338	2,96	2,96	2,29
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	388	2,58	2,58	1,93	327	3,06	3,06	2,29
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	375	2,66	2,66	1,93	316	3,16	3,16	2,29
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	362	2,76	2,76	1,93	305	3,28	3,28	2,29
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	349	2,86	2,86	1,93	294	3,40	3,40	2,29
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	336	2,97	2,97	1,93	283	3,53	3,53	2,29
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	323	3,09	3,09	1,93	272	3,67	3,67	2,29
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	311	3,22	3,22	1,93	261	3,82	3,82	2,29

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=2-5$, starres System

						DIN 1054:2005-01, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC7-1 (nat. Vorschlag) Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1}$	$R_{m,2}$	$R_{m,3}$	$R_{m,4}$	$R_{m,5}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\frac{\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} }{R_{mittel}} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,04	2,5	493	2,03	2,03	2,03	419	2,39	2,39	2,39
950	1050				1000	0,07	5	490	2,04	2,04	2,04	419	2,39	2,39	2,39
925	1075				1000	0,11	7,5	487	2,05	2,05	2,05	409	2,45	2,45	2,26
900	1100				1000	0,14	10	485	2,06	2,06	2,06	398	2,52	2,52	2,26
875	1125				1000	0,18	12,5	482	2,08	2,08	2,08	387	2,59	2,59	2,26
825	1175				1000	0,25	17,5	409	2,44	2,44	2,02	364	2,74	2,74	2,26
815	1185				1000	0,26	18,5	404	2,47	2,47	2,02	360	2,78	2,78	2,26
700	1300				1000	0,42	30	347	2,88	2,88	2,02	309	3,23	3,23	2,26
690	1310				1000	0,44	31	342	2,42	2,92	2,02	305	2,72	3,28	2,26
600	1400				1000	0,57	40	298	2,42	3,36	2,02	265	2,72	3,77	2,26
950	1000	1050			1000	0,05	5	513	1,95	1,95	1,95	419	2,39	2,39	2,39
900	1000	1100			1000	0,10	10	509	1,97	1,97	1,97	398	2,52	2,52	2,26
850	1000	1150			1000	0,15	15	504	1,98	1,98	1,98	375	2,66	2,66	2,26
800	1000	1200			1000	0,20	20	500	2,00	2,00	2,00	353	2,83	2,83	2,26
750	1000	1250			1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	331	3,02	3,02	2,26
740	1000	1260			1000	0,26	26	383	2,61	2,61	1,93	327	3,06	3,06	2,26
700	1000	1300			1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	309	3,23	3,23	2,26
690	1000	1310			1000	0,31	31	357	2,32	2,80	1,93	305	2,72	3,28	2,26
600	1000	1400			1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	265	2,72	3,77	2,26
950	975	1025	1050		1000	0,05	5	514	1,95	1,95	1,95	419	2,39	2,39	2,39
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	511	1,96	1,96	1,96	409	2,45	2,45	2,26
900	925	1075	1100		1000	0,10	10	509	1,97	1,97	1,97	398	2,52	2,52	2,26
875	900	1100	1125		1000	0,13	12,5	506	1,98	1,98	1,98	387	2,59	2,59	2,26
850	875	1125	1150		1000	0,16	15	504	1,99	1,99	1,99	375	2,66	2,66	2,26
825	850	1150	1175		1000	0,19	17,5	501	2,00	2,00	2,00	364	2,74	2,74	2,26
800	825	1175	1200		1000	0,22	20	499	2,00	2,00	2,00	353	2,83	2,83	2,26
775	800	1200	1225		1000	0,25	22,5	401	2,49	2,49	1,93	342	2,92	2,92	2,26
750	775	1225	1250		1000	0,27	25	388	2,58	2,58	1,93	331	3,02	3,02	2,26
725	750	1250	1275		1000	0,30	27,5	375	2,66	2,66	1,93	320	3,12	3,12	2,26
700	725	1275	1300		1000	0,33	30	362	2,76	2,76	1,93	309	3,23	3,23	2,26
675	700	1300	1325		1000	0,36	32,5	349	2,32	2,86	1,93	298	2,72	3,35	2,26
650	675	1325	1350		1000	0,39	35	336	2,32	2,97	1,93	287	2,72	3,48	2,26
625	650	1350	1375		1000	0,42	37,5	323	2,32	3,09	1,93	276	2,72	3,62	2,26
600	625	1375	1400		1000	0,45	40	311	2,32	3,22	1,93	265	2,72	3,77	2,26
900	950	1000	1050	1100	1000	0,08	10	511	1,96	1,96	1,96	433	2,31	2,31	2,08
875	925	1000	1075	1125	1000	0,10	12,5	508	1,97	1,97	1,97	421	2,38	2,38	2,08
850	900	1000	1100	1150	1000	0,13	15	506	1,97	1,97	1,97	409	2,45	2,45	2,08
825	875	1000	1125	1175	1000	0,15	17,5	504	1,98	1,98	1,98	397	2,52	2,52	2,08
800	850	1000	1150	1200	1000	0,18	20	502	1,99	1,99	1,99	385	2,60	2,60	2,08
775	825	1000	1175	1225	1000	0,20	22,5	500	2,00	2,00	2,00	373	2,68	2,68	2,08
750	800	1000	1200	1250	1000	0,23	25	498	2,01	2,01	2,01	361	2,77	2,77	2,08
725	775	1000	1225	1275	1000	0,25	27,5	375	2,66	2,66	1,93	349	2,87	2,87	2,08
700	750	1000	1250	1300	1000	0,28	30	362	2,76	2,76	1,93	337	2,97	2,97	2,08
675	725	1000	1275	1325	1000	0,30	32,5	349	2,32	2,86	1,93	325	2,49	3,08	2,08
650	700	1000	1300	1350	1000	0,33	35	336	2,32	2,97	1,93	313	2,49	3,20	2,08
625	675	1000	1325	1375	1000	0,35	37,5	323	2,32	3,09	1,93	301	2,49	3,33	2,08
600	650	1000	1350	1400	1000	0,38	40	311	2,32	3,22	1,93	289	2,49	3,47	2,08

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, weiches System

						DIN 1054:2005-01, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC7-1 (nat. Vorschlag) Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_{10}/R_{mittel}	$\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} / R_{mittel} * 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	505	1,98	1,98	1,93	401	2,49	2,49	2,49
950	1050				1000	0,05	5	492	2,03	2,03	1,93	401	2,49	2,49	2,49
925	1075				1000	0,08	7,5	479	2,09	2,09	1,93	401	2,49	2,49	2,49
900	1100				1000	0,11	10	466	2,15	2,15	1,93	392	2,55	2,55	2,29
875	1125				1000	0,13	12,5	453	2,21	2,21	1,93	381	2,62	2,62	2,29
825	1175				1000	0,19	17,5	427	2,34	2,34	1,93	360	2,78	2,78	2,29
815	1185				1000	0,20	18,5	422	2,37	2,37	1,93	355	2,82	2,82	2,29
700	1300				1000	0,32	30	362	2,76	2,76	1,93	305	3,28	3,28	2,29
690	1310				1000	0,33	31	357	2,32	2,80	1,93	301	2,75	3,33	2,29
600	1400				1000	0,43	40	311	2,32	3,22	1,93	261	2,75	3,82	2,29
950	1000	1050			1000	0,04	5	492	2,03	2,03	1,93	414	2,42	2,42	2,42
900	1000	1100			1000	0,09	10	466	2,15	2,15	1,93	403	2,48	2,48	2,23
850	1000	1150			1000	0,13	15	440	2,27	2,27	1,93	381	2,63	2,63	2,23
800	1000	1200			1000	0,17	20	414	2,42	2,42	1,93	358	2,79	2,79	2,23
750	1000	1250			1000	0,21	25	388	2,58	2,58	1,93	336	2,98	2,98	2,23
740	1000	1260			1000	0,22	26	383	2,61	2,61	1,93	331	3,02	3,02	2,23
700	1000	1300			1000	0,26	30	362	2,76	2,76	1,93	313	3,19	3,19	2,23
690	1000	1310			1000	0,26	31	357	2,32	2,80	1,93	309	2,68	3,24	2,23
600	1000	1400			1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	269	2,68	3,72	2,23
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	492	2,03	2,03	1,93	419	2,39	2,39	2,39
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	479	2,09	2,09	1,93	419	2,39	2,39	2,39
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	466	2,15	2,15	1,93	417	2,40	2,40	2,16
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	453	2,21	2,21	1,93	406	2,46	2,46	2,16
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	440	2,27	2,27	1,93	394	2,54	2,54	2,16
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	427	2,34	2,34	1,93	383	2,61	2,61	2,16
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	414	2,42	2,42	1,93	371	2,70	2,70	2,16
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	401	2,49	2,49	1,93	359	2,78	2,78	2,16
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	348	2,87	2,87	2,16
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	375	2,66	2,66	1,93	336	2,97	2,97	2,16
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	325	3,08	3,08	2,16
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	349	2,32	2,86	1,93	313	2,59	3,19	2,16
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	336	2,32	2,97	1,93	301	2,59	3,32	2,16
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	323	2,32	3,09	1,93	290	2,59	3,45	2,16
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	278	2,59	3,59	2,16
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	466	2,15	2,15	1,93	417	2,40	2,40	2,16
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	453	2,21	2,21	1,93	406	2,46	2,46	2,16
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	440	2,27	2,27	1,93	394	2,54	2,54	2,16
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	427	2,34	2,34	1,93	383	2,61	2,61	2,16
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	414	2,42	2,42	1,93	371	2,70	2,70	2,16
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	401	2,49	2,49	1,93	359	2,78	2,78	2,16
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	388	2,58	2,58	1,93	348	2,87	2,87	2,16
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	375	2,66	2,66	1,93	336	2,97	2,97	2,16
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	362	2,76	2,76	1,93	325	3,08	3,08	2,16
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	349	2,32	2,86	1,93	313	2,59	3,19	2,16
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	336	2,32	2,97	1,93	301	2,59	3,32	2,16
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	323	2,32	3,09	1,93	290	2,59	3,45	2,16
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	278	2,59	3,59	2,16

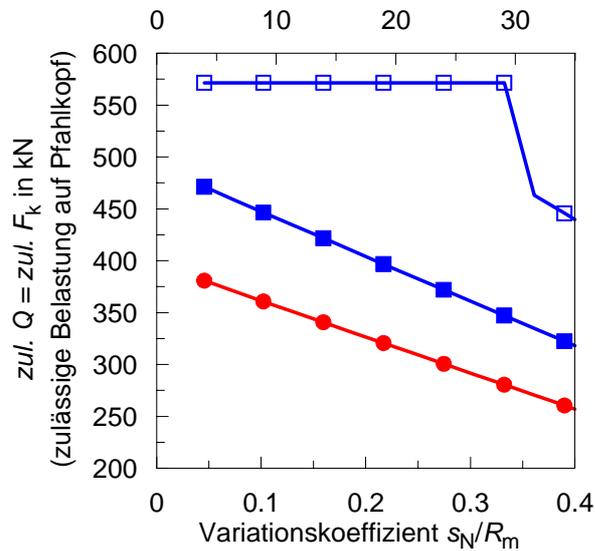
Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Datengrundlage und Berechnungsergebnisse für $\gamma_{G,Q}=1,40$, $n=8-20$, starres System

						DIN 1054:2005-01, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung				EC7-1 (nat. Vorschlag) Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, erweitertes Verfahren mit vollst. Modellbildung					
						$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_P = 1,2$				$\gamma_{G,Q} = 1,4$ $\gamma_R = 1,1$					
$R_{m,1-4}$	$R_{m,4-8}$	$R_{m,8-12}$	$R_{m,12-16}$	$R_{m,16-20}$	R_{mittel}	s_N/R_{mittel}	$\frac{\Delta R = R_{mittel} - R_{m,i} }{R_{mittel}} \cdot 100\%$	zul. F_k	η_1	η_2	η_3	zul. F_k	η_1	η_2	η_3
975	1025				1000	0,03	2,5	515	1,94	1,94	1,94	442	2,26	2,26	2,26
950	1050				1000	0,05	5	513	1,95	1,95	1,95	442	2,26	2,26	2,26
925	1075				1000	0,08	7,5	510	1,96	1,96	1,96	442	2,26	2,26	2,26
900	1100				1000	0,11	10	508	1,97	1,97	1,97	433	2,31	2,31	2,08
875	1125				1000	0,13	12,5	506	1,98	1,98	1,98	421	2,38	2,38	2,08
825	1175				1000	0,19	17,5	501	1,99	1,99	1,99	397	2,52	2,52	2,08
815	1185				1000	0,20	18,5	500	2,00	2,00	2,00	392	2,55	2,55	2,08
700	1300				1000	0,32	30	362	2,76	2,76	1,93	337	2,97	2,97	2,08
690	1310				1000	0,33	31	357	2,32	2,90	1,93	332	2,49	3,01	2,08
600	1400				1000	0,43	40	311	2,32	3,22	1,93	289	2,49	3,47	2,08
950	1000	1050			1000	0,04	5	518	1,93	1,93	1,93	454	2,20	2,20	2,20
900	1000	1100			1000	0,09	10	518	1,93	1,93	1,93	446	2,24	2,24	2,02
850	1000	1150			1000	0,13	15	518	1,93	1,93	1,93	421	2,37	2,37	2,02
800	1000	1200			1000	0,17	20	518	1,93	1,93	1,93	397	2,52	2,52	2,02
750	1000	1250			1000	0,21	25	518	1,93	1,93	1,93	372	2,69	2,69	2,02
740	1000	1260			1000	0,22	26	518	1,93	1,93	1,93	367	2,73	2,73	2,02
700	1000	1300			1000	0,26	30	362	2,76	2,76	1,93	347	2,88	2,88	2,02
690	1000	1310			1000	0,26	31	357	2,32	2,80	1,93	342	2,42	2,92	2,02
600	1000	1400			1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	297	2,42	3,36	2,02
950	975	1025	1050		1000	0,04	5	518	1,93	1,93	1,93	461	2,17	2,17	2,17
925	950	1050	1075		1000	0,07	7,5	518	1,93	1,93	1,93	461	2,17	2,17	2,17
900	925	1075	1100		1000	0,09	10	518	1,93	1,93	1,93	457	2,19	2,19	1,97
875	900	1100	1125		1000	0,12	12,5	518	1,93	1,93	1,93	444	2,25	2,25	1,97
850	875	1125	1150		1000	0,14	15	518	1,93	1,93	1,93	431	2,32	2,32	1,97
825	850	1150	1175		1000	0,17	17,5	518	1,93	1,93	1,93	419	2,39	2,39	1,97
800	825	1175	1200		1000	0,19	20	518	1,93	1,93	1,93	406	2,46	2,46	1,97
775	800	1200	1225		1000	0,22	22,5	518	1,93	1,93	1,93	393	2,54	2,54	1,97
750	775	1225	1250		1000	0,25	25	388	2,58	2,58	1,93	380	2,63	2,63	1,97
725	750	1250	1275		1000	0,27	27,5	375	2,66	2,66	1,93	368	2,72	2,72	1,97
700	725	1275	1300		1000	0,30	30	362	2,76	2,76	1,93	355	2,82	2,82	1,97
675	700	1300	1325		1000	0,32	32,5	349	2,32	2,86	1,93	342	2,37	2,92	1,97
650	675	1325	1350		1000	0,35	35	336	2,32	2,97	1,93	330	2,37	3,03	1,97
625	650	1350	1375		1000	0,37	37,5	323	2,32	3,09	1,93	317	2,37	3,15	1,97
600	625	1375	1400		1000	0,40	40	311	2,32	3,22	1,93	304	2,37	3,29	1,97
900	950	1000	1050	1100	1000	0,07	10	518	1,93	1,93	1,93	457	2,19	2,19	1,97
875	925	1000	1075	1125	1000	0,09	12,5	518	1,93	1,93	1,93	444	2,25	2,25	1,97
850	900	1000	1100	1150	1000	0,12	15	518	1,93	1,93	1,93	431	2,32	2,32	1,97
825	875	1000	1125	1175	1000	0,14	17,5	518	1,93	1,93	1,93	419	2,39	2,39	1,97
800	850	1000	1150	1200	1000	0,16	20	518	1,93	1,93	1,93	406	2,46	2,46	1,97
775	825	1000	1175	1225	1000	0,18	22,5	518	1,93	1,93	1,93	393	2,54	2,54	1,97
750	800	1000	1200	1250	1000	0,21	25	518	1,93	1,93	1,93	380	2,63	2,63	1,97
725	775	1000	1225	1275	1000	0,23	27,5	518	1,93	1,93	1,93	368	2,72	2,72	1,97
700	750	1000	1250	1300	1000	0,25	30	362	2,76	2,76	1,93	355	2,82	2,82	1,97
675	725	1000	1275	1325	1000	0,28	32,5	349	2,32	2,86	1,93	342	2,37	2,92	1,97
650	700	1000	1300	1350	1000	0,30	35	336	2,32	2,97	1,93	330	2,37	3,03	1,97
625	675	1000	1325	1375	1000	0,32	37,5	323	2,32	3,09	1,93	317	2,37	3,15	1,97
600	650	1000	1350	1400	1000	0,34	40	311	2,32	3,22	1,93	304	2,37	3,29	1,97

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

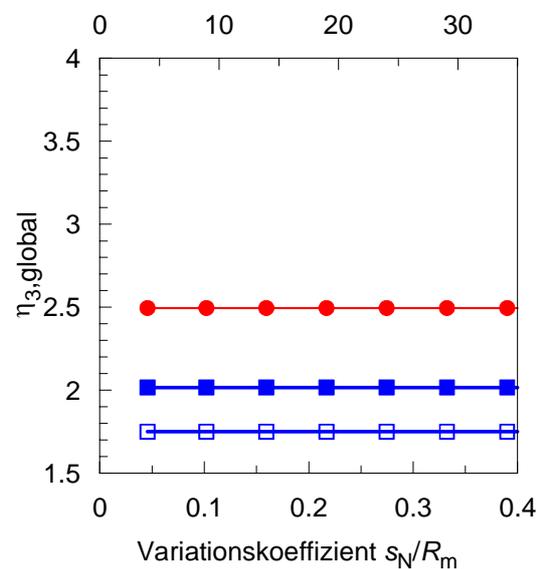
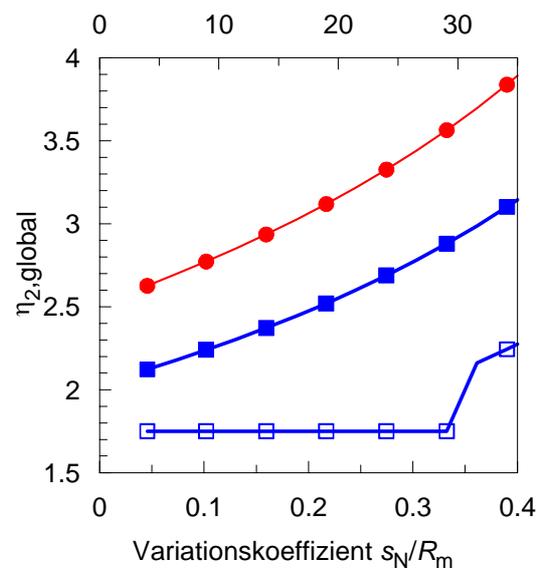
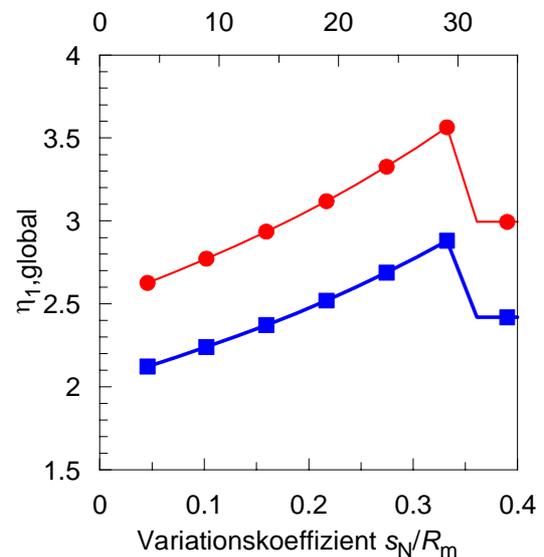


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

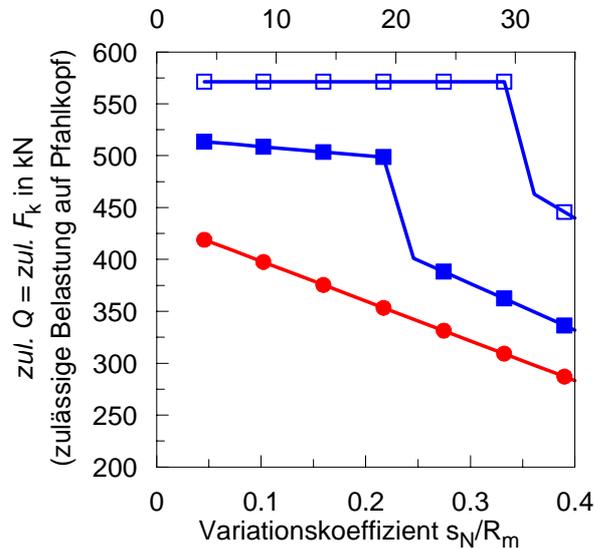
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=4$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



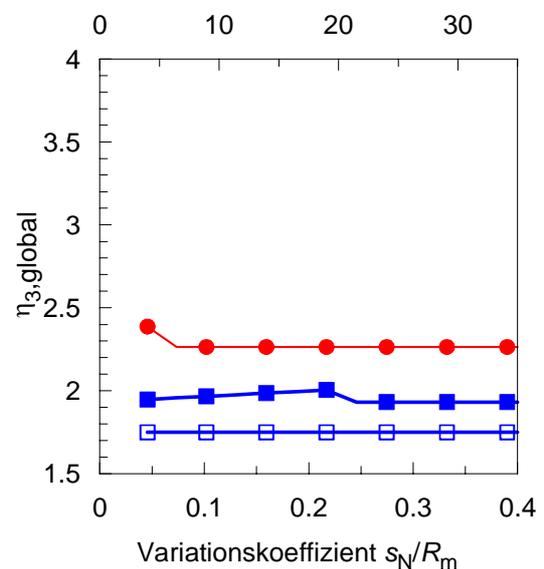
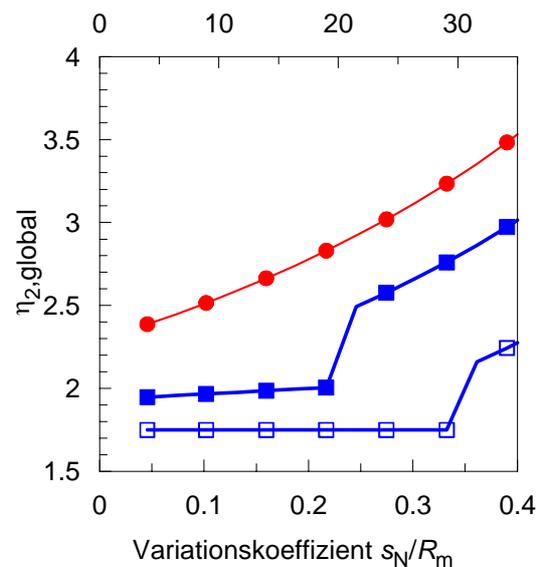
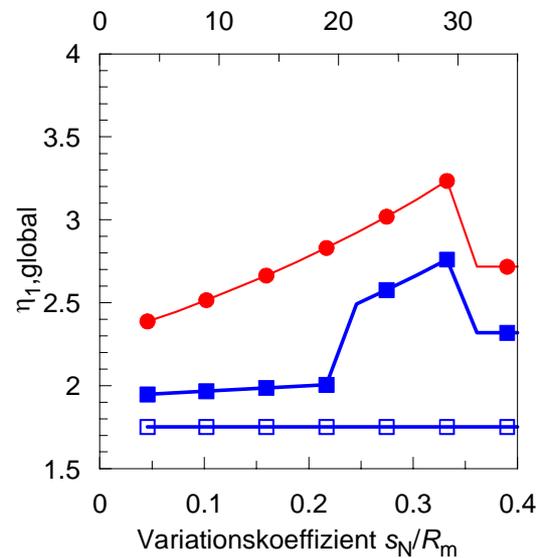
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

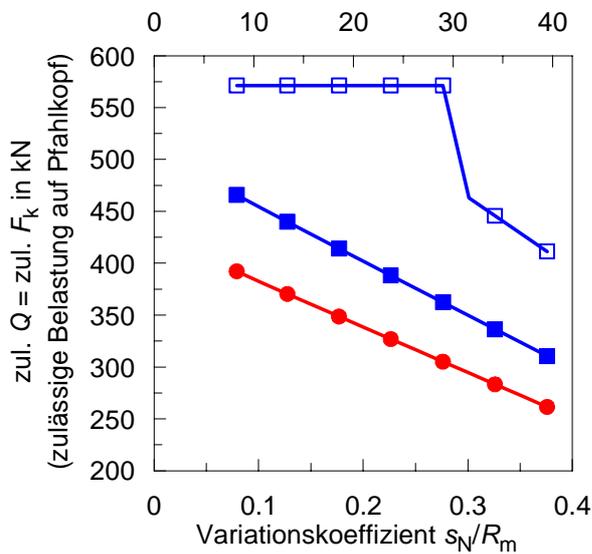
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



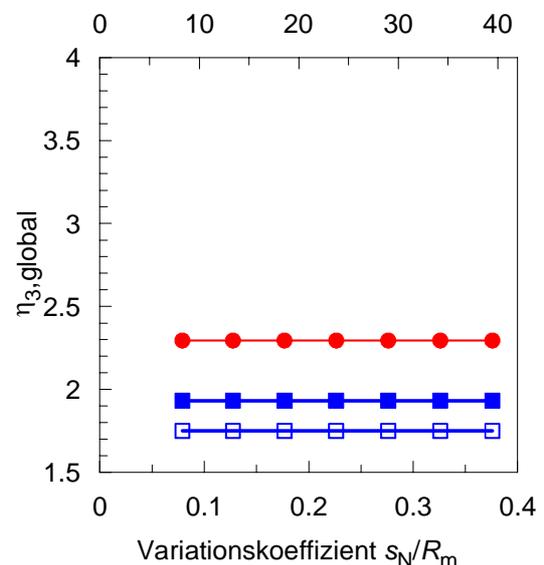
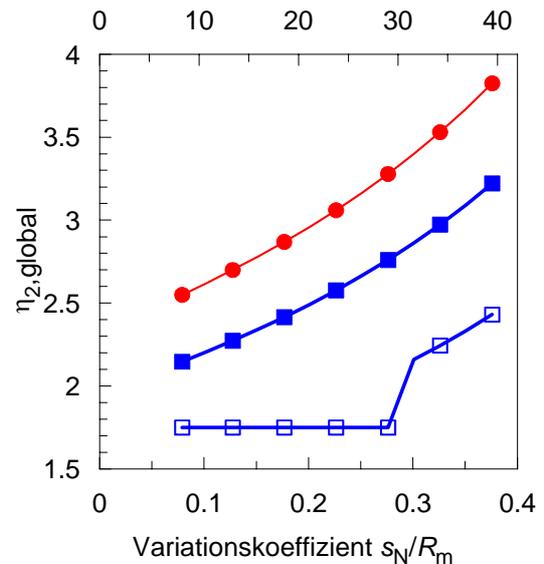
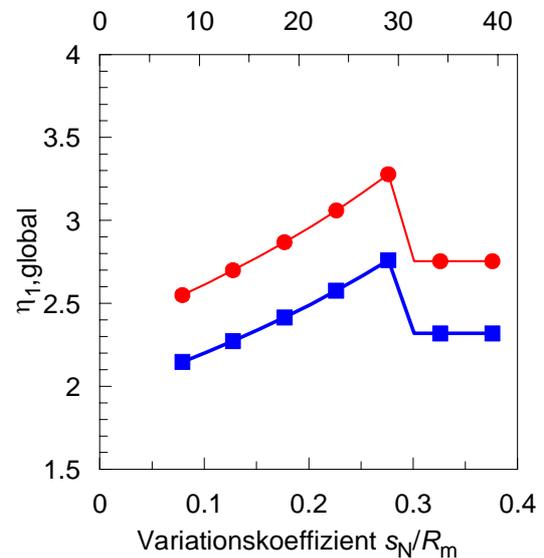
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- ◻ DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

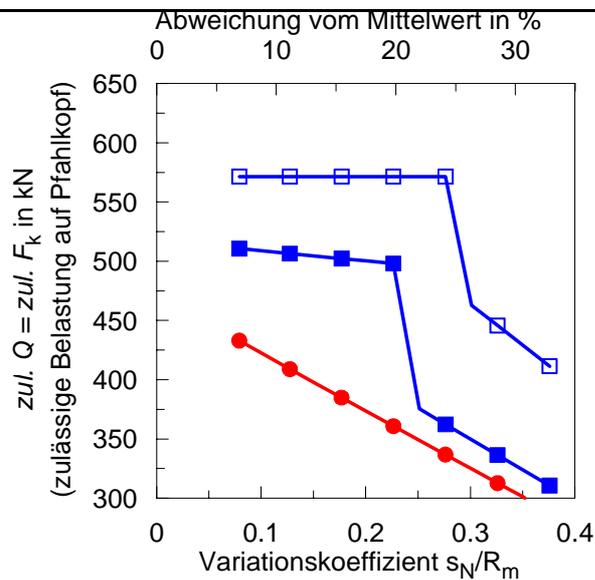
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=5$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



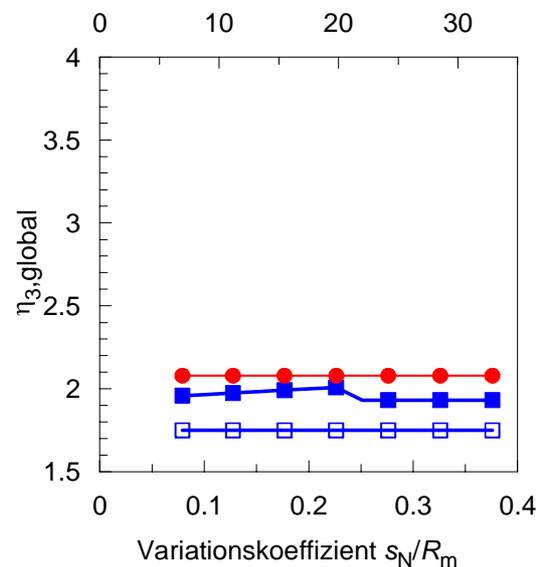
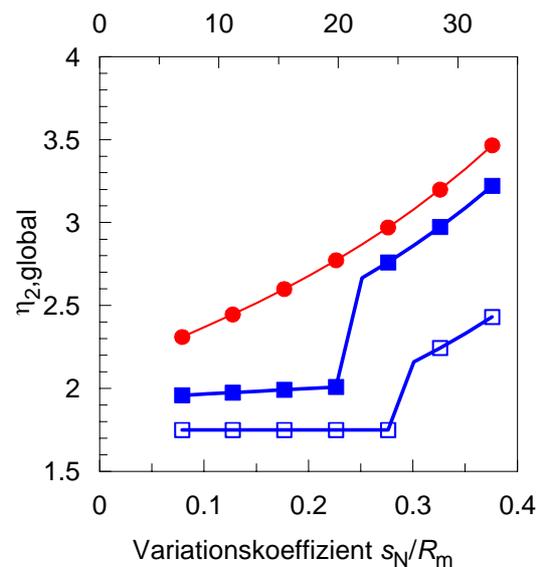
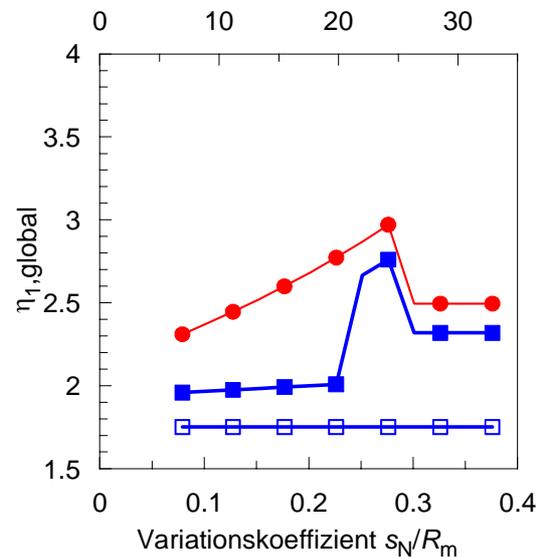
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

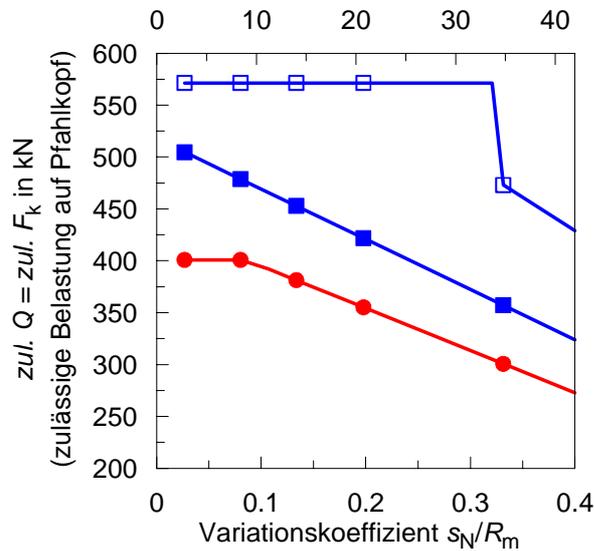
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



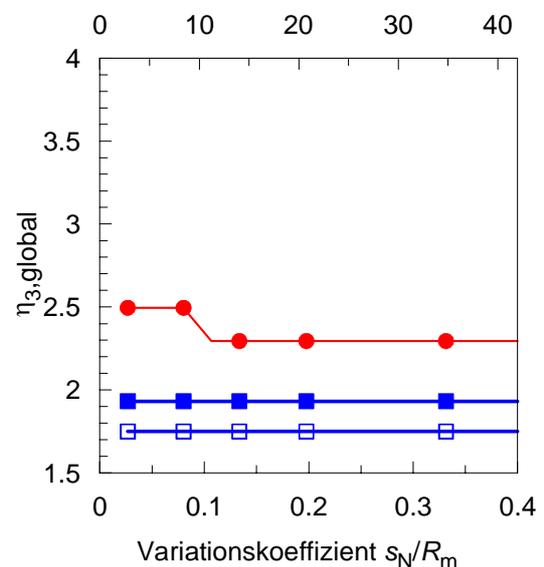
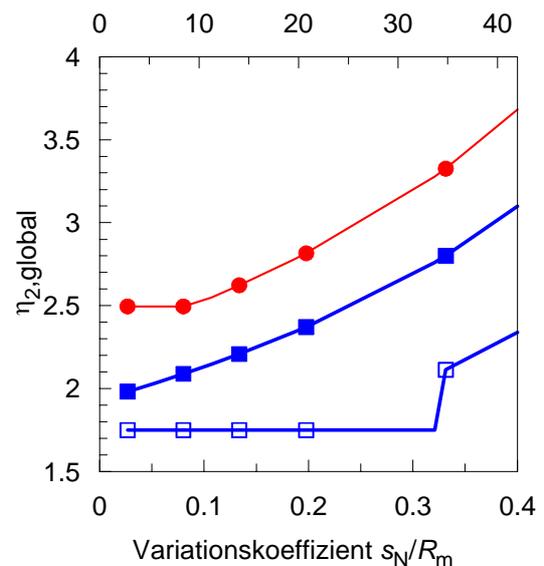
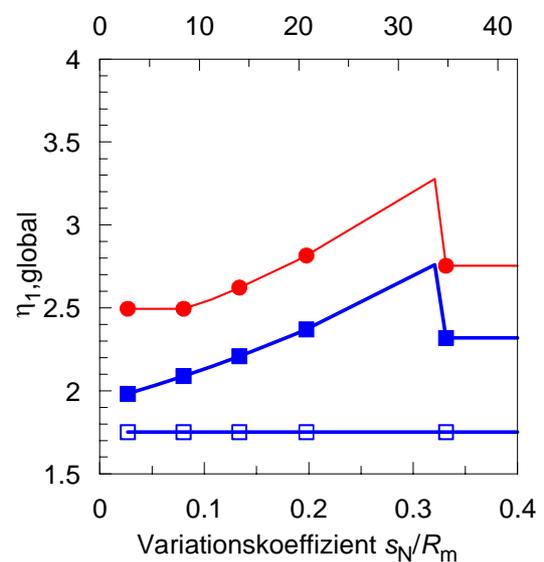
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

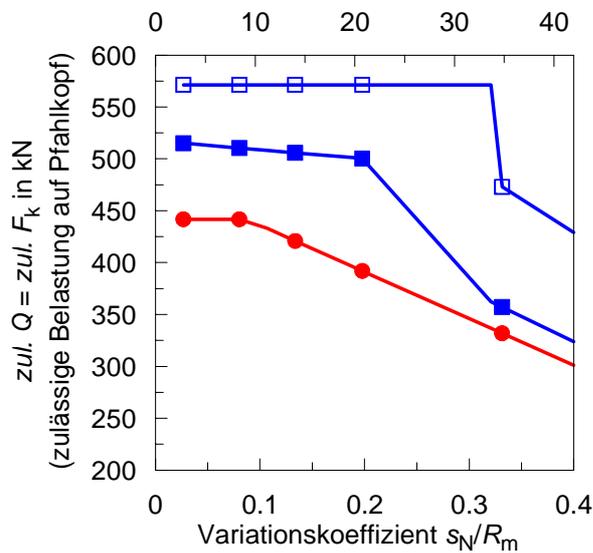
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=8$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



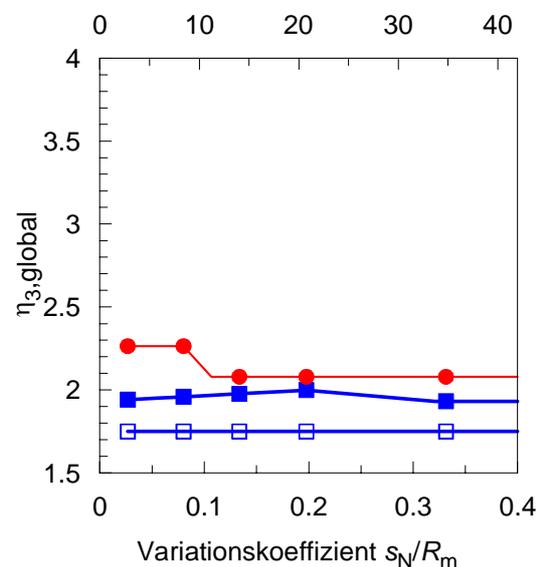
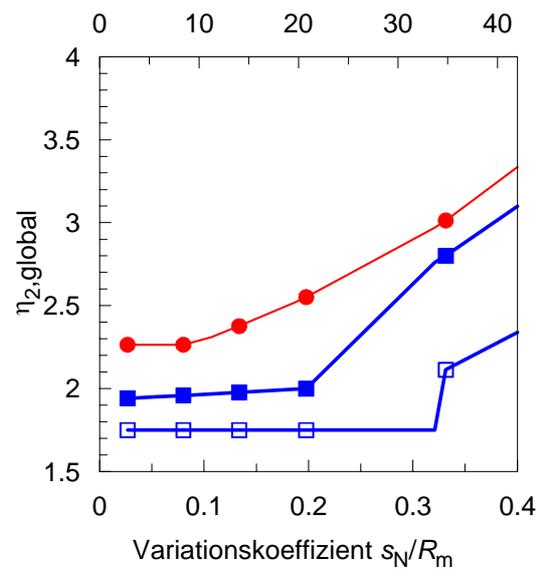
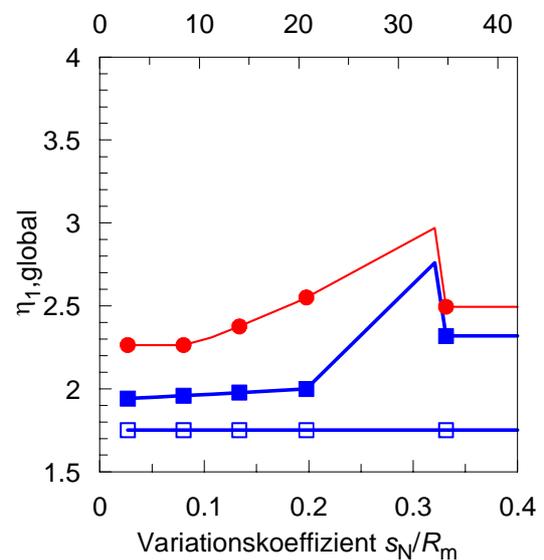
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

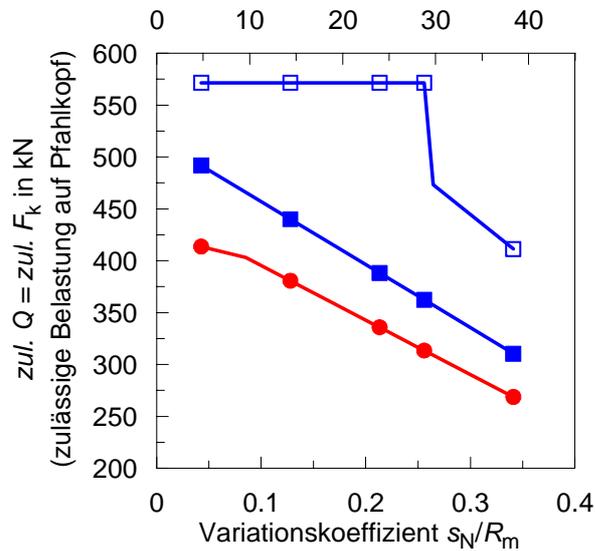
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
975	1000	0,04
950	1000	0,07
925	1000	0,11
900	1000	0,14
875	1000	0,18
825	1000	0,25
815	1000	0,26
700	1000	0,42
690	1000	0,44
600	1000	0,57



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System

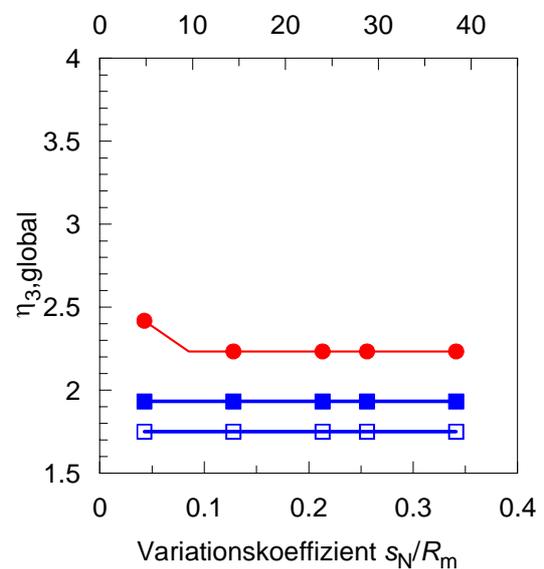
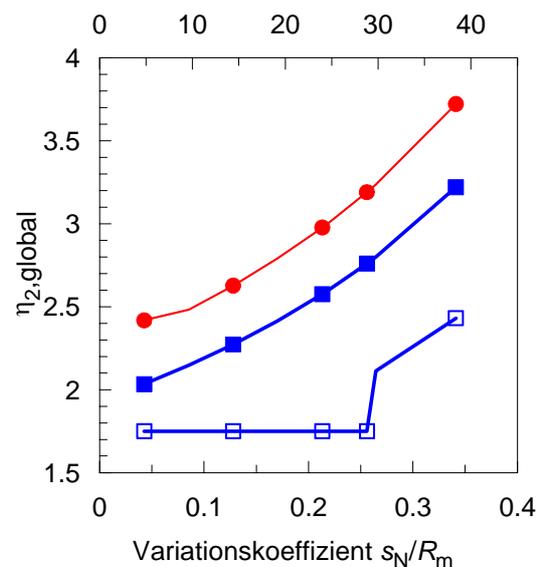
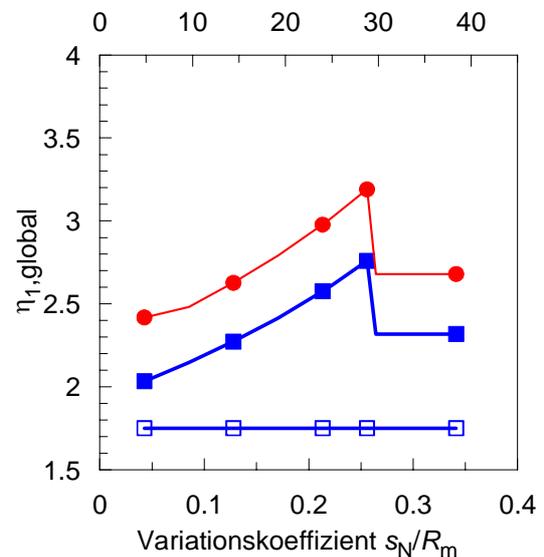


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

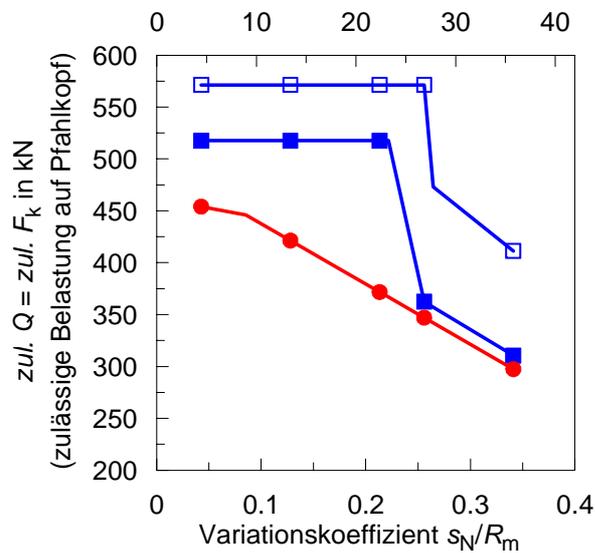
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=12$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

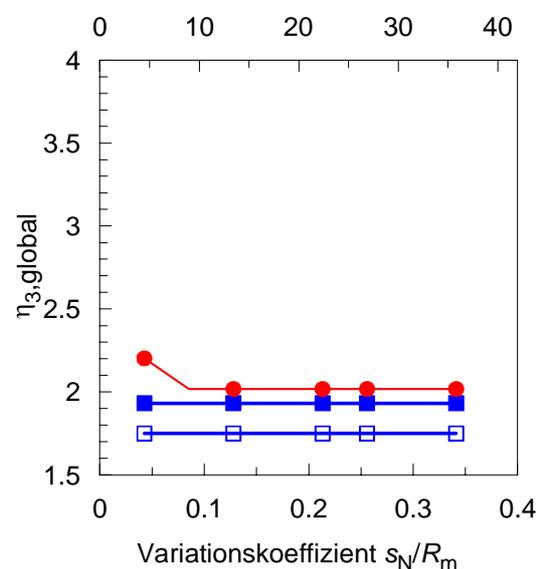
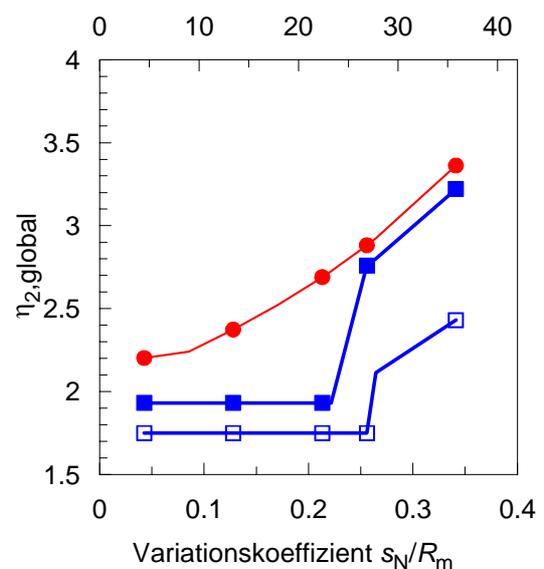
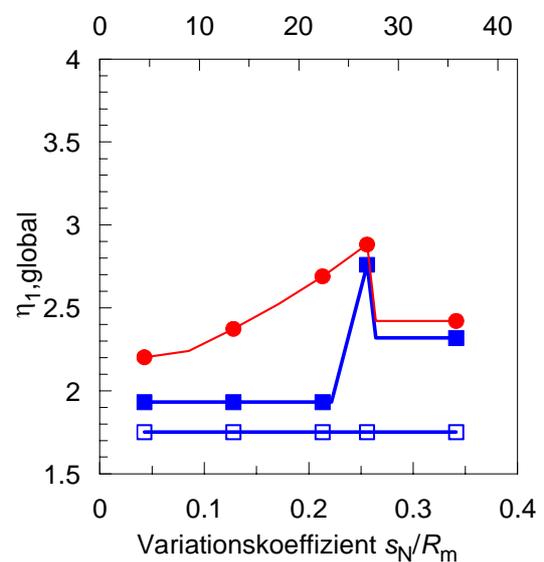


- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

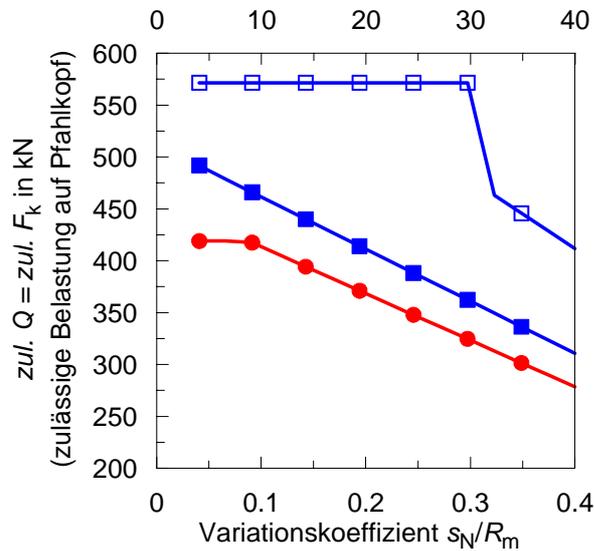
zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11
 zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
950	1000	0,05
900	1000	0,10
850	1000	0,15
800	1000	0,20
750	1000	0,25
740	1000	0,26
700	1000	0,30
690	1000	0,31
600	1000	0,40



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



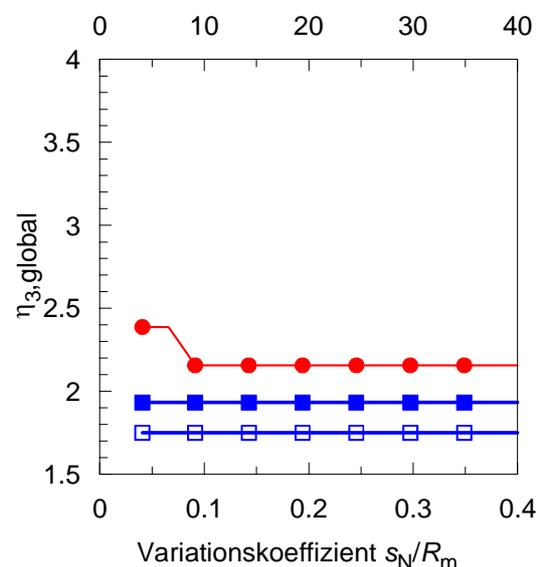
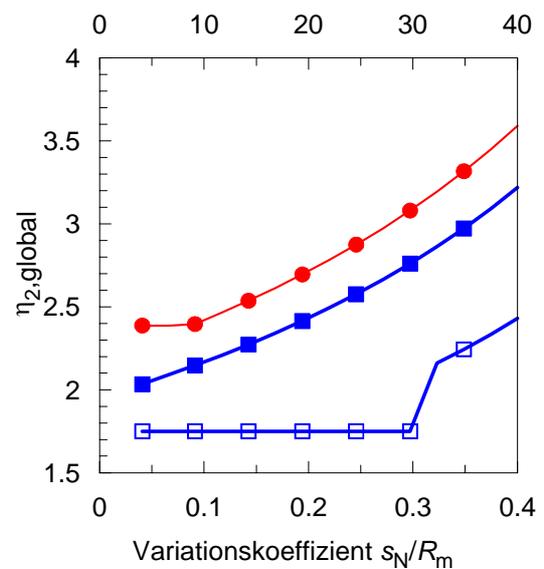
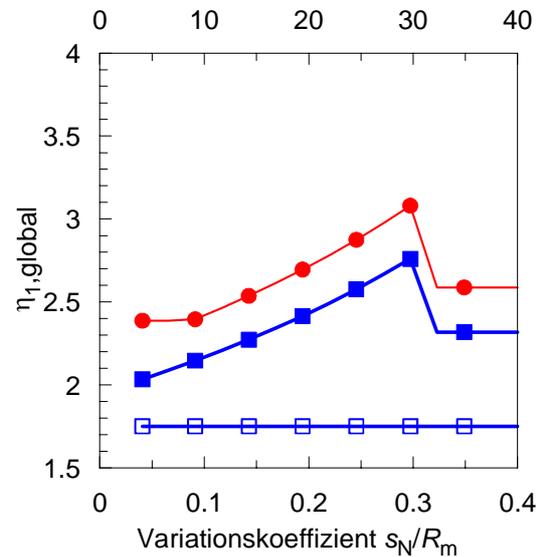
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

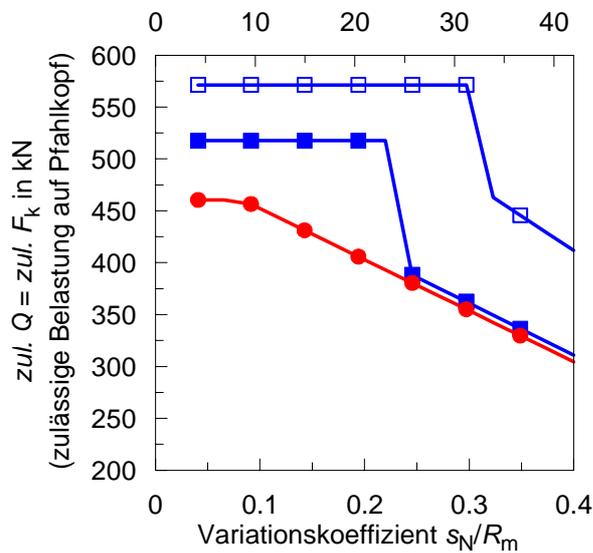
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

R _{k, min} in kN	R _{k, mittel} in kN	s _N /R _m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=16$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System



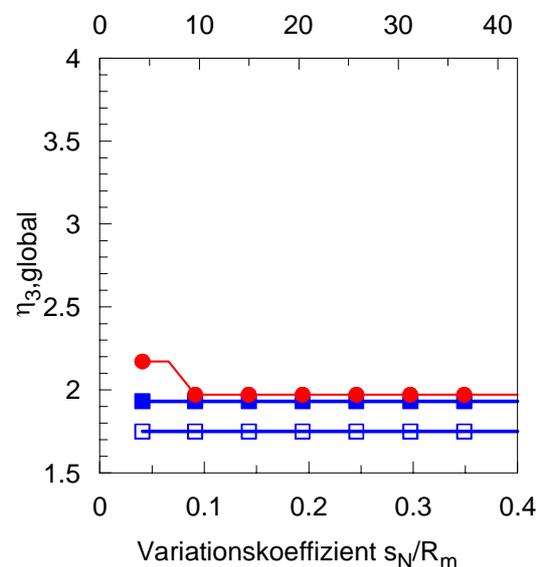
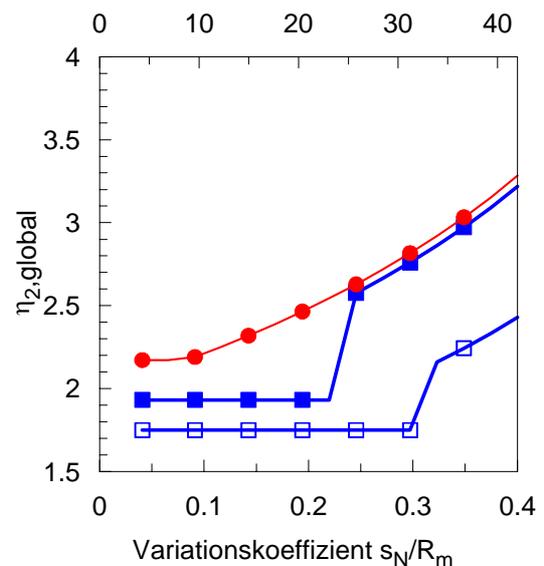
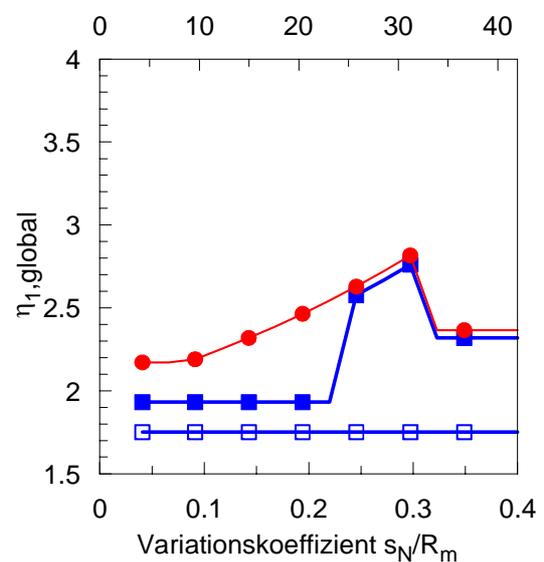
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

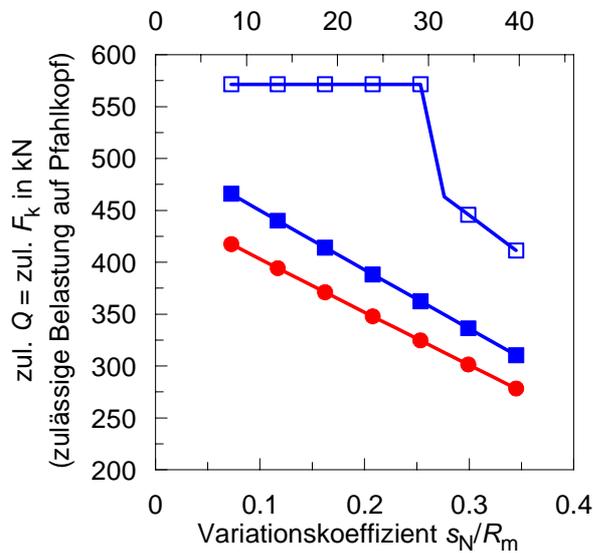
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
950	1000	0,05
925	1000	0,07
900	1000	0,10
875	1000	0,13
850	1000	0,16
825	1000	0,19
800	1000	0,22
775	1000	0,25
750	1000	0,27
725	1000	0,30
700	1000	0,33
675	1000	0,36
650	1000	0,39
625	1000	0,42
600	1000	0,45



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, weiches System



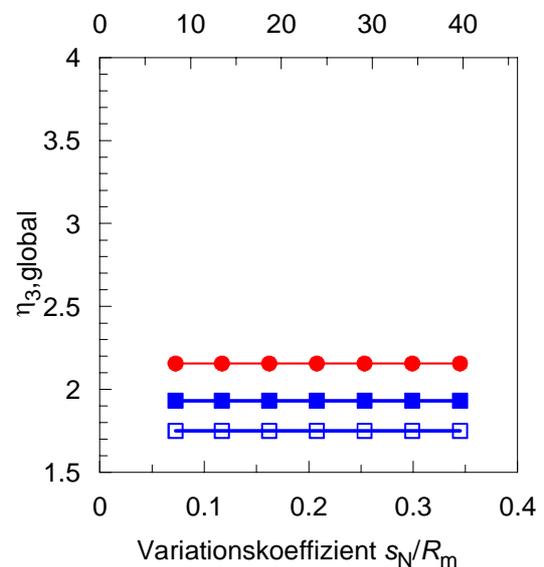
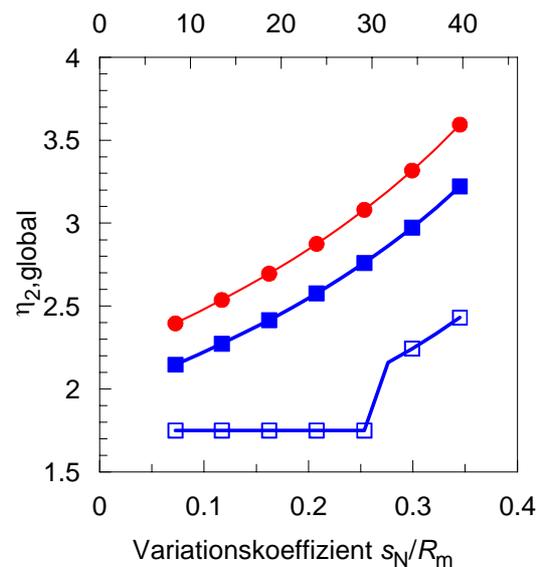
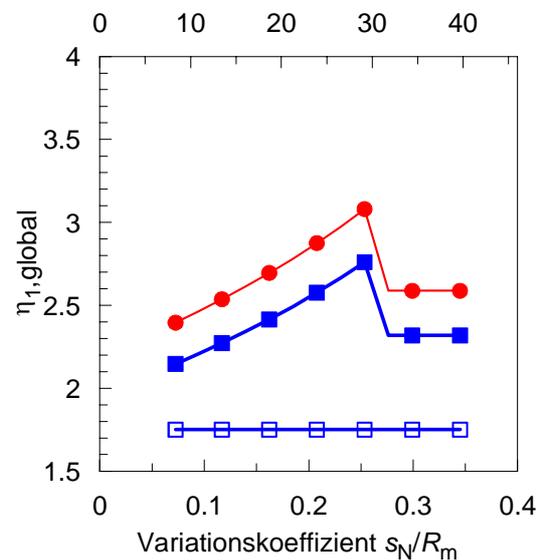
- EC7-1: nationaler Vorschlag
- DIN 1054:2005-01
- DIN 1054:1976-11

Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

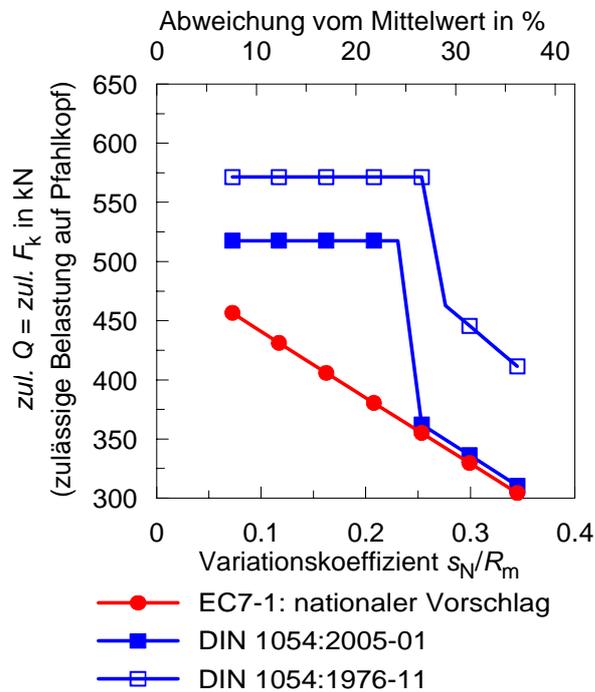
zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Ergebnisse für $n=20$ dyn. Probelastungen, Kalibrierung aufgrund von Erfahrungswerten, Auswertung mit erweitertem Verfahren und vollst. Modellbildung, $\gamma_{G,Q}=1,40$, starres System

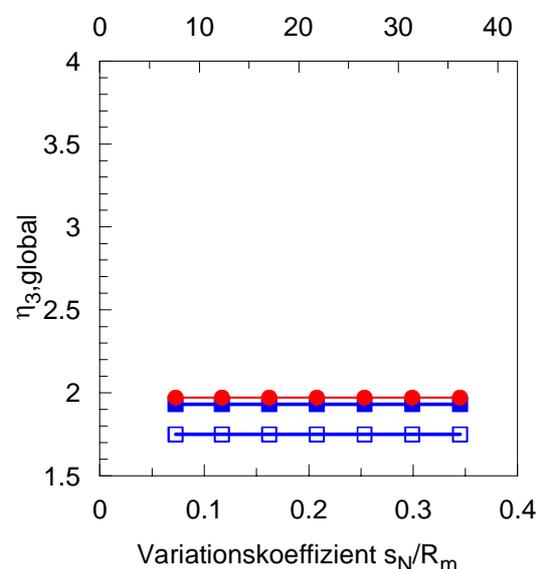
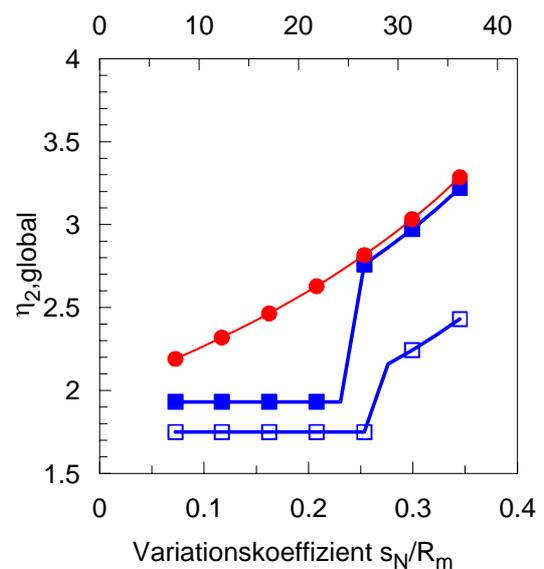
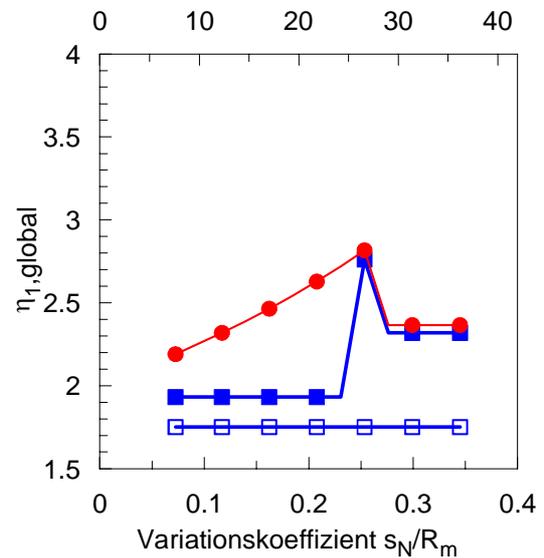


Hinweis:

zul. Q = zulässige Belastung auf Pfahlkopf nach DIN 1054:1976-11

zul. F_k = zulässige Belastung (charakt. Einwirkung) auf Pfahlkopf nach DIN 1054:2005-01

$R_{k, \min}$ in kN	$R_{k, \text{mittel}}$ in kN	s_N/R_m --
900	1000	0,08
875	1000	0,10
850	1000	0,13
825	1000	0,15
800	1000	0,18
775	1000	0,20
750	1000	0,23
725	1000	0,25
700	1000	0,28
675	1000	0,30
650	1000	0,33
625	1000	0,35
600	1000	0,38



- 3 Auswertung der Vergleichsberechnungen realer Pfahlprobelastungsergebnisse
- 3.1 Variation der Kombination von Probelastungsergebnisse von einem Baufeld

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Variation der Kombination von Probelastungsergebnisse von einem Baufeld, Auswertung für weiche Systeme, $\gamma_{G,Q}=1,40$

Kombi- nations- pfade	n	$R_{c;m;1}$	$R_{c;m;2}$	$R_{c;m;3}$	$R_{c;m;4}$	$\bar{R}_{c;m}$	$R_{c;m;min}$	zul. Q bzw. zul. F_k in kN			
		in kN	in kN	DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC 7-1	EC 7-1 (nat. Vors.)				
1	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	1482	1296	1237	1291
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1361	1414	1484
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
2	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	1482	1296	1237	1291
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1361	1400	1461
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
3	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	1457	1296	1274	1291
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1361	1443	1484
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
4	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	1457	1296	1237	1291
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1361	1384	1444
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
5	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	1388	1296	1214	1262
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1361	1400	1461
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
6	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	1388	1296	1214	1262
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1361	1384	1444
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
7	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	1633	1596	1428	1485
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1532	1495	1560
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
8	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	1633	1596	1428	1485
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1361	1414	1484
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
9	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	1564	1459	1367	1422
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1361	1400	1461
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
10	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	1564	1459	1367	1422
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1532	1495	1560
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
11	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	1539	1459	1346	1399
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1361	1384	1444
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484
12	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	1539	1459	1346	1399
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1532	1495	1560
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1361	1484	1484

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Variation der Kombination von Probelastungsergebnisse von einem Baufeld, Auswertung für starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Kombi- nations- pfade	n	$R_{c;m;1}$ in kN	$R_{c;m;2}$ in kN	$R_{c;m;3}$ in kN	$R_{c;m;4}$ in kN	$\bar{R}_{c;m}$ in kN	$R_{c;m;min}$ in kN	zul. Q bzw. zul. F_k in kN			
								DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC 7-1	EC 7-1 (nat. Vors.)
1	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	1482	1425	1362	1414
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1549	1563	1631
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
2	2	2286	-	-	2901	2593,5	2286	1482	1425	1362	1414
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1504	1541	1600
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
3	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	1457	1407	1362	1414
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1549	1563	1631
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
4	2	2286	-	2815	-	2550,5	2286	1457	1407	1362	1414
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1492	1524	1582
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
5	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	1388	1356	1337	1384
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1504	1541	1600
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
6	2	2286	2573	-	-	2429,5	2286	1388	1356	1337	1384
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1492	1524	1582
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
7	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	1633	1614	1573	1628
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1625	1646	1709
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
8	2	-	-	2815	2901	2858,0	2815	1633	1614	1573	1628
	3	2286	-	2815	2901	2667,3	2286	1524	1549	1563	1631
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
9	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	1564	1527	1506	1559
	3	2286	2573	-	2901	2586,7	2286	1478	1504	1541	1600
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
10	2	-	2573	-	2901	2737,0	2573	1564	1527	1506	1559
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1625	1646	1709
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
11	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	1539	1509	1483	1535
	3	2286	2573	2815	-	2558,0	2286	1462	1492	1524	1582
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631
12	2	-	2573	2815	-	2694,0	2573	1539	1509	1483	1535
	3	-	2573	2815	2901	2763,0	2573	1579	1625	1646	1709
	4	2286	2573	2815	2901	2643,8	2286	1511	1541	1631	1631

- 3 Auswertung der Vergleichsberechnungen realer Pfahlprobelastungsergebnisse
- 3.2 Berechnungsergebnisse statischer Probelastungsergebnisse

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,24	16,62	2584,5	2052,4	1795,8	1873,9
2	2	0,21	14,71	1349,5	1096,2	959,2	1000,9
3	2	0,17	12,27	1581,0	1321,0	1155,8	1206,1
4	3	0,23	26,15	1843,0	1361,0	1296,2	1361,0
5	3	0,02	1,79	2043,7	2007,0	1703,1	1777,1
6	4	0,10	13,53	2643,8	2286,0	2286,0	2286,0
7	4	0,15	13,31	3593,3	3115,0	3115,0	3115,0

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,24	16,62	1476,9	1221,7	1166,1	1216,8
2	2	0,21	14,71	771,1	652,5	622,8	649,9
3	2	0,17	12,27	903,4	786,3	750,5	783,2
4	3	0,23	26,15	1053,1	810,1	841,7	883,8
5	3	0,02	1,79	1167,8	1194,6	1105,9	1154,0
6	4	0,10	13,53	1510,7	1360,7	1484,4	1484,4
7	4	0,15	13,31	2053,3	1854,2	2022,7	2022,7

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für starre Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,24	16,62	2584,5	2356,0	1975,4	2061,3
2	2	0,21	14,71	1349,5	1236,3	1055,1	1101,0
3	2	0,17	12,27	1581,0	1457,5	1271,4	1326,7
4	3	0,23	26,15	1843,0	1760,6	1425,8	1497,1
5	3	0,02	1,79	2043,7	2033,7	1873,4	1954,8
6	4	0,10	13,53	2643,8	2589,7	2514,6	2514,6
7	4	0,15	13,31	3593,3	3487,1	3426,5	3426,5

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,24	16,62	1476,9	1402,4	1282,7	1338,5
2	2	0,21	14,71	771,1	735,9	685,1	714,9
3	2	0,17	12,27	903,4	867,6	825,6	861,5
4	3	0,23	26,15	1053,1	1048,0	925,9	972,1
5	3	0,02	1,79	1167,8	1210,5	1216,5	1269,4
6	4	0,10	13,53	1510,7	1541,5	1632,9	1632,9
7	4	0,15	13,31	2053,3	2075,6	2225,0	2225,0

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Bohrpfähle, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,37	25,83	3977,5	2809,5	2458,3	2565,2
2	2	0,04	2,50	1000,0	928,6	769,2	800,0
3	2	0,02	1,23	815,0	766,7	626,9	652,0
4	3	0,18	19,95	6683,3	5350,0	5095,2	5350,0
5	3	0,20	12,97	2441,7	2125,0	2023,8	2123,2
6	4	0,10	13,04	2156,3	1875,0	1875,0	1973,7
7	5	0,10	14,89	4700,0	4000,0	4000,0	4000,0

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,37	25,83	2272,9	1672,3	1596,3	1665,7
2	2	0,04	2,50	571,4	552,7	499,5	519,5
3	2	0,02	1,23	465,7	456,3	407,1	423,4
4	3	0,18	19,95	3819,0	3184,5	3308,6	3474,0
5	3	0,20	12,97	1395,2	1264,9	1314,2	1378,7
6	4	0,10	13,04	1232,1	1116,1	1217,5	1281,6
7	5	0,10	14,89	2685,7	2381,0	2597,4	2597,4

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für starre Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,37	25,83	3977,5	2809,5	2704,2	2821,7
2	2	0,04	2,50	1000,0	946,0	846,2	880,0
3	2	0,02	1,23	815,0	773,6	689,6	717,2
4	3	0,18	19,95	6683,3	6450,4	5604,8	5885,0
5	3	0,20	12,97	2441,7	2348,4	2226,2	2335,5
6	4	0,10	13,04	2156,3	2113,8	2062,5	2156,3
7	5	0,10	14,89	4700,0	4612,0	4400,0	4400,0

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,37	25,83	2272,9	1672,3	1756,0	1832,3
2	2	0,04	2,50	571,4	563,1	549,5	571,4
3	2	0,02	1,23	465,7	460,5	447,8	465,7
4	3	0,18	19,95	3819,0	3839,5	3639,5	3821,4
5	3	0,20	12,97	1395,2	1397,8	1445,6	1516,6
6	4	0,10	13,04	1232,1	1258,2	1339,3	1400,2
7	5	0,10	14,89	2685,7	2745,2	2857,1	2857,1

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Simplexpfähle, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\overline{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,06	4,00	7500,0	6857,1	5769,2	6000,0
2	2	0,02	1,40	8925,0	8381,0	6865,4	7140,0
3	2	0,02	1,33	3750,0	3523,8	2884,6	3000,0
4	3	0,04	2,86	8750,0	8500,0	7291,7	7608,7
5	3	0,11	9,57	4700,0	4250,0	3916,7	4087,0
6	3	0,13	15,06	2766,7	2350,0	2238,1	2350,0
7	4	0,27	24,56	2850,0	2150,0	2150,0	2263,2

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\overline{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,06	4,00	4285,7	4081,6	3746,3	3896,1
2	2	0,02	1,40	5100,0	4988,7	4458,0	4636,4
3	2	0,02	1,33	2142,9	2097,5	1873,1	1948,1
4	3	0,04	2,86	5000,0	5059,5	4734,8	4940,7
5	3	0,11	9,57	2685,7	2529,8	2543,3	2653,9
6	3	0,13	15,06	1581,0	1398,8	1453,3	1526,0
7	4	0,27	24,56	1628,6	1279,8	1396,1	1469,6

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\overline{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für starre Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,06	4,00	7500,0	7066,7	6346,2	6600,0
2	2	0,02	1,40	8925,0	8468,1	7551,9	7854,0
3	2	0,02	1,33	3750,0	3558,6	3173,1	3300,0
4	3	0,04	2,86	8750,0	8679,9	8020,8	8369,6
5	3	0,11	9,57	4700,0	4600,7	4308,3	4495,7
6	3	0,13	15,06	2766,7	2694,9	2461,9	2585,0
7	4	0,27	24,56	2850,0	2150,0	2365,0	2489,5

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\overline{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,06	4,00	4285,7	4206,4	4120,9	4285,7
2	2	0,02	1,40	5100,0	5040,5	4903,8	5100,0
3	2	0,02	1,33	2142,9	2118,2	2060,4	2142,9
4	3	0,04	2,86	5000,0	5166,6	5208,3	5434,8
5	3	0,11	9,57	2685,7	2738,5	2797,6	2919,3
6	3	0,13	15,06	1581,0	1604,1	1598,6	1678,6
7	4	0,27	24,56	1628,6	1279,8	1535,7	1616,5

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Atlaspfähle, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c,k}$ in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,03	1,85	2700,0	2523,8	2076,9	2160,0
2	2	0,13	9,26	5400,0	4666,7	4083,3	4260,9
3	3	0,33	23,08	3250,0	2500,0	2381,0	2500,0
4	3	0,06	7,38	4966,7	4600,0	4138,9	4318,8
5	3	0,09	6,25	3733,3	3500,0	3111,1	3246,4
6	3	0,04	4,29	7000,0	6700,0	5833,3	6087,0
7	5	0,15	23,08	3380,0	2600,0	2600,0	2600,0

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,03	1,85	1542,9	1502,3	1348,7	1402,6
2	2	0,13	9,26	3085,7	2777,8	2651,5	2766,8
3	3	0,33	23,08	1857,1	1488,1	1546,1	1623,4
4	3	0,06	7,38	2838,1	2738,1	2687,6	2804,4
5	3	0,09	6,25	2133,3	2083,3	2020,2	2108,0
6	3	0,04	4,29	4000,0	3988,1	3787,9	3952,6
7	5	0,15	23,08	1931,4	1547,6	1688,3	1688,3

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	$R_{c,k}$ in kN für starre Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,03	1,85	2700,0	2558,7	2284,6	2376,0
2	2	0,13	9,26	5400,0	5017,7	4491,7	4687,0
3	3	0,33	23,08	3250,0	2500,0	2619,0	2750,0
4	3	0,06	7,38	4966,7	4903,2	4552,8	4750,7
5	3	0,09	6,25	3733,3	3670,1	3422,2	3571,0
6	3	0,04	4,29	7000,0	6940,5	6416,7	6695,7
7	5	0,15	23,08	3380,0	3283,4	2860,0	2860,0

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c,m}}$	ΔR	Zul. F_k in kN für weiche Systeme			
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	2	0,03	1,85	1542,9	1523,0	1483,5	1542,9
2	2	0,13	9,26	3085,7	2986,7	2916,7	3043,5
3	3	0,33	23,08	1857,1	1488,1	1700,7	1785,7
4	3	0,06	7,38	2838,1	2918,6	2956,3	3084,9
5	3	0,09	6,25	2133,3	2184,6	2222,2	2318,8
6	3	0,04	4,29	4000,0	4131,3	4166,7	4347,8
7	5	0,15	23,08	1931,4	1954,4	1857,1	1857,1

- 3 Auswertung der Vergleichsberechnungen realer Pfahlprobelastungsergebnisse
- 3.3 Berechnungsergebnisse dynamischer Probelastungsergebnisse

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für weiche Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	20	0,11	23,84	6565,0	4761,9	4357,3
2	4	0,19	18,48	5275,0	3909,1	3161,8
3	2	0,01	1,03	4850,0	4000,0	3356,4
4	4	0,04	5,42	5075,0	4363,6	3512,1
5	4	0,02	1,83	6825,0	6090,9	4723,2
6	5	0,04	5,44	6980,0	6285,7	5132,4

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	zul. F_k in kN für weiche Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	20	0,11	23,84	3751,4	2834,5	2829,4
2	4	0,19	18,48	3014,3	2326,8	2053,1
3	2	0,01	1,03	2771,4	2381,0	2179,5
4	4	0,04	5,42	2900,0	2597,4	2280,6
5	4	0,02	1,83	3900,0	3625,5	3067,0
6	5	0,04	5,44	3988,6	3741,5	3332,7

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für starre Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	20	0,11	23,84	6565,0	6119,6	4793,0
2	4	0,19	18,48	5275,0	4632,4	3477,9
3	2	0,01	1,03	4850,0	4000,0	3692,0
4	4	0,04	5,42	5075,0	4577,3	3863,3
5	4	0,02	1,83	6825,0	6179,9	5195,5
6	5	0,04	5,44	6980,0	6602,8	5645,6

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	zul. F_k in kN für starre Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	20	0,11	23,84	3751,4	3642,6	3112,4
2	4	0,19	18,48	3014,3	2757,4	2258,4
3	2	0,01	1,03	2771,4	2381,0	2397,4
4	4	0,04	5,42	2900,0	2724,6	2508,7
5	4	0,02	1,83	3900,0	3678,5	3373,7
6	5	0,04	5,44	3988,6	3930,2	3666,0

Projekt: Ableitung und Kalibrierung von Streuungsfaktoren nach Eurocode EC7-1

Berechnungsergebnisse für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton, Auswertung für weiche und starre Systeme, $\gamma_{G,Q} = 1,40$

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für weiche Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	3	0,10	10,89	2906,7	2158,3	1904,4

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	zul. F_k in kN für weiche Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	3	0,10	10,89	1661,0	1284,7	1236,6

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	$R_{c;k}$ in kN für starre Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	3	0,10	10,89	2906,7	2158,3	2094,9

Baufeld	n	$\frac{s_N}{\bar{R}_{c;m}}$	ΔR	zul. F_k in kN für starre Systeme		
				DIN 1054:1976	DIN 1054:2005	EC7-1 (nat. Vorschlag)
1	3	0,10	10,89	1661,0	1284,7	1360,3

