

# HANSER



## Leseprobe

zu

# Einführung in den Grund-, Erd- und Dammbau

von Jens Engel and Said Al-Akel

Print-ISBN: 978-3-446-46948-8

E-Book-ISBN: 978-3-446-47136-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446469488>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort zur 3. Auflage

Das vorliegende Buch behandelt die Grundlagen des Grundbaus als Teil der Geotechnik. Es ist als Lehrbuch für Studierende an Fachhochschulen konzipiert, soll aber auch für die praktische Arbeit Hilfe und Unterstützung sein.

Es stehen die grundlegenden Arbeitsschritte für den Entwurf und die statischen Nachweise im Mittelpunkt. Aus der Funktion, die das Bauwerk später erfüllen soll, ergeben sich Lastannahmen und Anforderungen an die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit. Unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse muss der Planer die optimale Variante aus einer Vielzahl technisch möglicher Lösungen auswählen. Es sind Kenntnisse zu den konstruktiven Grundlagen und den Vor- und Nachteilen der einzelnen Varianten erforderlich, um schließlich die Realisierbarkeit und den technischen Gesamtaufwand beurteilen zu können.

Für alle weitergehenden Untersuchungen müssen zunächst die Abmessungen mit einfachen Methoden abgeschätzt werden. Dazu sind in den entsprechenden Abschnitten des Buches Faustformeln und konstruktive Grundregeln angegeben, die den Entwurf und die grobe Festlegung der Abmessungen von Gründungen oder anderen Bauwerken des Erd- und Grundbaus erlauben. Diese „Faustformeln“ sind außerdem ein nützliches Hilfsmittel, um die Plausibilität von Berechnungsergebnissen zu überprüfen. Die zunehmende Bedeutung solcher Plausibilitätskontrollen resultiert nicht zuletzt aus der verstärkten Nutzung von Computerprogrammen bei der Nachweisführung.

Im vorliegenden Buch werden alle rechnerischen Nachweise auf Grundlage des Eurocodes EC 7 [25] behandelt. Der Vergleich mit Ergebnissen nach früheren Berechnungsmodellen und nach „Faustformeln“ kann auch hier sehr hilfreich sein.

Als Lehrbeispiel wird die Planung einer Verkehrstrasse genutzt. In dem in dieser Reihe erschienenen Buch „Einführung in die Boden- und Felsmechanik“ wurden an diesem fiktiven Bauwerk bereits die Grundlagen der Baugrunderkundung und -untersuchung dargestellt. Als nächster Schritt sind die Brücke über den Fluss und das südlich anschließende Dammbauwerk auf weichem Untergrund konstruktiv zu entwerfen und die erforderlichen geotechnischen Nachweise zu führen.

Die Übungen bestehen jeweils aus einem Entwurfsteil, bei dem für unterschiedliche Aufgabenstellungen Varianten konstruktiv zu erarbeiten und nach der Vorbemessung mit Faustformeln zu vergleichen sind. Der zweite Teil behandelt schließlich die klassischen Nachweise.

Zur Vertiefung des Stoffs wird in den einzelnen Kapiteln auf Übungsaufgaben verwiesen, die sich auf das Lehrbeispiel beziehen. Aufgabenstellungen, Lösungen und weitere Arbeitsunterlagen sind im Internet abrufbar unter:

<https://plus.hanser-fachbuch.de>

Den Zugangscode dafür finden Sie auf der ersten Seite des Buchs. Das Beispielprojekt wurde erarbeitet unter Einbeziehung praktischer Erfahrungen bei der Bearbeitung realer Aufgabenstellungen sowie auf Grundlage der Inhalte der Übungen im Rahmen des Bauingenieurstudi-

ums. Besonderer Dank hierbei gilt Herrn M Sc. E. Kammel für die ingenieurtechnische Bearbeitung.

Die Autoren haben sich bemüht, die Erfahrungen in der Ausbildung von Bauingenieuren und bei der Lösung baupraktischer Fragestellungen mit einfließen zu lassen. Neben der Überarbeitung des Layouts sind in der vorliegenden 3. Auflage die Bezüge zu aktuellen Normen und Regelwerken dem aktuellen Stand angepasst worden. Nicht alles konnte in der vorliegenden Auflage gleichermaßen detailliert dargestellt werden. Hinweise zu Korrekturen oder Ergänzungen nehmen wir gern entgegen.

Dresden, im Sommer 2021

Jens Engel  
Said Al-Akel

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>13</b>
1.1	Aufgabengebiete .....	13
1.2	Ingenieurleistungen, Beispielprojekt .....	14
<b>2</b>	<b>Sicherheitsnachweise im Grundbau .....</b>	<b>19</b>
2.1	Einführung .....	19
2.1.1	Grundlagen der Berechnungen .....	19
2.1.2	Sicherheitskonzepte .....	20
2.2	Standsicherheit nach DIN EN 1997-1 .....	22
2.2.1	Grundlagen .....	22
2.2.2	Nachweisführung .....	24
2.2.3	Einwirkungen und Beanspruchungen .....	25
2.2.4	Widerstände .....	30
2.2.5	Nachweise .....	32
2.2.5.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit ULS .....	32
2.2.5.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS .....	34
<b>3</b>	<b>Flächengründungen .....</b>	<b>35</b>
3.1	Funktion, Tragwerk .....	35
3.2	Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung .....	37
3.2.1	Einzel- und Streifenfundamente .....	37
3.2.2	Plattengründung .....	44
3.2.3	Pfeilergründung .....	46
3.2.4	Kastengründung .....	47
3.3	Nachweise .....	49
3.3.1	Grundlagen – Spannungsverteilung, Schnittkräfte .....	50
3.3.1.1	Einzel- und Streifenfundamente .....	50
3.3.1.2	Berechnung elastischer Fundamente .....	56
3.3.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) .....	60
3.3.2.1	Grundbruch .....	60
3.3.2.2	Gleitsicherheit .....	62

3.3.2.3 Lagesicherheit – Grenzzustände EQU, HYD .....	63
3.3.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) .....	65
3.3.4 Nachweis des Sohlwiderstands .....	68
<b>4 Pfahlgründungen.....</b>	<b>71</b>
4.1 Funktion, Tragwerk .....	71
4.1.1 Anwendungsgebiete .....	71
4.1.2 Tragwerke für Gründungen mit Pfählen .....	72
4.2 Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung .....	75
4.2.1 Verdrängungspfähle .....	77
4.2.1.1 Fertigrammpfähle .....	77
4.2.1.2 Ortbetonrammpfähle .....	80
4.2.1.3 Vollverdrängungsbohrpfähle (Schraubpfahl) .....	83
4.2.2 Bohrpfähle .....	84
4.2.3 Mikropfähle .....	89
4.3 Berechnung, Nachweise .....	91
4.3.1 Grundlagen .....	91
4.3.2 Beanspruchungen $E$ axial belasteter Pfähle .....	92
4.3.2.1 Grundsätze .....	92
4.3.2.2 Beanspruchungen bei Pfahlrostgründungen .....	95
4.3.3 Widerstände $R$ axial auf Druck beanspruchter Pfähle .....	97
4.3.3.1 Statische Pfahlprobebelastung .....	97
4.3.3.2 Erfahrungswerte für Einzelpfähle .....	97
4.3.4 Nachweise bei axial beanspruchten Pfählen .....	107
4.3.4.1 Nachweis der Tragfähigkeit STR, GEO-2 .....	107
4.3.4.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit SLS .....	108
4.3.5 Horizontal belastete Pfähle .....	108
<b>5 Stützkonstruktionen.....</b>	<b>111</b>
5.1 Funktion, Tragwerk .....	111
5.2 Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung .....	112
5.2.1 Verbundbauweise .....	112
5.2.1.1 Schwerkraftmauern .....	112
5.2.1.2 Winkelstützmauern .....	114
5.2.1.3 Raumgitterstützwand .....	116
5.2.1.4 Bewehrte Erde und geokunststoffbewehrte Bauweisen .....	116
5.2.1.5 Nagelwände .....	118
5.2.2 Stützbauweisen .....	120

5.2.2.1 Trägerbohlwände .....	122
5.2.2.2 Spundwände.....	124
5.2.2.3 Bohrpfahlwände .....	132
5.2.2.4 Schlitzwände.....	134
5.2.2.5 Injektionswände .....	135
5.3 Nachweise .....	136
5.3.1 Verbundbauweise.....	136
5.3.1.1 Winkelstützmauern .....	136
5.3.1.2 Bodenverriegelung.....	139
5.3.2 Stützbauweisen .....	141
5.3.2.1 Belastender Erddruck .....	141
5.3.2.2 Durchgehende Wände – Berechnung nach BLUM.....	143
5.3.2.3 Nachweisführung bei durchgehenden Wänden nach EC 7 .....	147
5.3.2.4 Trägerbohlwände .....	153
<b>6 Verankerungen .....</b>	<b>161</b>
6.1 Funktion und Tragwerk .....	161
6.2 Entwurf und Vorbemessung .....	162
6.2.1 Bauweisen – Überblick.....	162
6.2.2 Verpressanker .....	163
6.3 Nachweise .....	170
6.3.1 Verpressanker – Herausziehwiderstand .....	171
6.3.2 Aufbruch des Verankerungsbodens .....	171
6.3.3 Nachweis der ausreichenden Ankerlänge – Tiefe Gleitfuge .....	172
<b>7 Baugruben, Gräben .....</b>	<b>175</b>
7.1 Funktion, Tragwerk .....	175
7.2 Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung .....	176
7.2.1 Nicht verbaute Baugruben und Gräben .....	176
7.2.2 Grabenverbau .....	178
7.2.3 Baugrubenverbau.....	180
7.3 Nachweise .....	185
7.3.1 Aufbruch der Baugrubensohle .....	185
7.3.2 Hydraulischer Grundbruch .....	186
7.3.3 Aufschwimmen .....	187

<b>8 Wasser und Bauwerk .....</b>	<b>189</b>
8.1 Grundwasser .....	189
8.1.1 Wasser und Bauwerk .....	189
8.1.2 Grundwasserhaltung – Verfahren .....	190
8.1.2.1 Schwerkraftentwässerung (gravimetrisch) .....	191
8.1.2.2 Vakuumentwässerung .....	193
8.1.2.3 Elektroosmose .....	194
8.2 Berechnungsgrundlagen .....	194
8.2.1 Brunnenbemessung .....	194
8.2.2 Geschlossene Wasserhaltung, senkrechte Brunnen .....	197
8.2.3 Offene Wasserhaltung .....	199
8.2.4 Filterstabilität .....	200
8.3 Abdichtungen, Dränage .....	202
8.3.1 Konstruktion und Entwurf .....	202
8.3.1.1 Grundlagen, Einflüsse .....	202
8.3.1.2 Aufbau und Sicherung der Wirksamkeit von Abdichtungen .....	204
8.3.2 Abdichtungsarten .....	205
8.3.3 Hinweise zu Planung und Bemessung .....	207
<b>9 Konstruktiver Erdbau .....</b>	<b>209</b>
9.1 Erd- und Dammbauwerke .....	209
9.1.1 Aufgaben des Erdbaus .....	209
9.1.2 Dammbauwerke .....	210
9.1.3 Baumaterial, Verarbeitung .....	213
9.2 Bauweisen, Entwurf und Vorbemessung .....	217
9.2.1 Eignungsuntersuchungen .....	217
9.2.2 Verdichtung und Bodenaustausch .....	217
9.2.2.1 Verdichtungsanforderungen und Verdichtungskontrolle .....	218
9.2.2.2 Oberflächenverdichtung .....	219
9.2.2.3 Dynamische Tiefenverdichtung .....	223
9.2.3 Bodenaustausch .....	226
9.2.3.1 Oberflächennaher Bodenaustausch .....	226
9.2.3.2 Bodenaustausch bis in große Tiefe .....	227
9.2.4 Verfestigung .....	231
9.2.4.1 Oberflächennahes Einmischen .....	231
9.2.4.2 Injektionen .....	232
9.3 Rechnerische Nachweise bei Erdbauwerken .....	235
9.3.1 Grundlagen .....	235
9.3.1.1 Verkehrsbauwerke .....	235
9.3.1.2 Deiche, Stauanlagen .....	236

<b>10 Grundbau und bestehende Bauwerke .....</b>	<b>237</b>
10.1 Probleme beim Bauen im Bestand .....	237
10.1.1 Unterfangung .....	238
10.1.2 Unterfahrung .....	240
10.2 Baugrundverursachte Schäden an Bauwerken .....	241
10.2.1 Äußere Anzeichen von Schäden .....	241
10.2.2 Ursachen für Schäden (Beispiele) .....	242
10.2.3 Zahlenmäßige Schadensbeurteilung .....	244
10.2.3.1 Verfahren zur Abschätzung des Restrisikos.....	245
10.2.3.2 Anwendungsbeispiel - Stützmauer .....	248
<b>Literatur .....</b>	<b>255</b>
<b>Index .....</b>	<b>261</b>



# 1

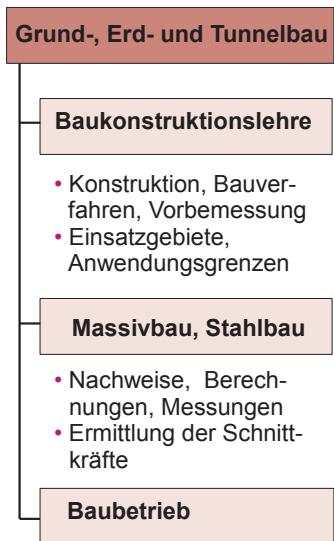
## Einführung

Nur unter Berücksichtigung der bautechnisch konstruktiven Aspekte ist eine gezielte Untersuchung und Erkundung des Baugrunds möglich. Dazu müssen die Vor- und Nachteile der möglichen Bauweisen bekannt sein. Bereits bei der Bewertung eines Baufelds sollten die möglichen Varianten für Gründung und Baugrube berücksichtigt werden. Der Rasterabstand und die Tiefe der Erkundung werden beispielsweise nach der Art und den Abmessungen der Gründung und der Baugrube gewählt. Ebenso muss bei der Bestimmung von Kennwerten an Boden und Fels von vornherein die spätere bauliche Ausführung beachtet werden. Eine umfassende Zusammenstellung der erforderlichen Grundlagen der Fachgebiete Ingenieurgeologie und Bodenmechanik ist in [55] enthalten. Im Fach Grund-, Erd- und Dammbau werden die Bauweisen und die Regeln der Bemessung als Teil des gesamten ingenieurtechnischen Leistungsumfangs behandelt (siehe *Bild 1.1*).

### ■ 1.1 Aufgabengebiete

Bevor mit den rechnerischen Nachweisen nach dem Teilsicherheitskonzept begonnen werden kann, sind die Abmessungen abzuschätzen und die Baumaterialien auszuwählen. Erst durch Vergleich und Optimierung mehrerer Varianten ist die endgültige Festlegung der Abmessungen der Vorzugslösung möglich. Dabei gewinnt der Einsatz von Computerprogrammen immer mehr an Bedeutung. Für die Kontrolle der Plausibilität der Ergebnisse wird man auch hier auf Erfahrungswerte zurückgreifen müssen.

Faustformeln können dabei ein sinnvolles Hilfsmittel sein. Sie sind aufgrund praktischer Erfahrungen entstanden, die über Jahrhunderte vor allem aus der handwerklichen Umsetzung von Baumaßnahmen hervorgegangen sind. Bis ins späte Mittelalter wurden der Errichtung von Bauwerken im Wesentlichen die Erfahrungen der Baumeister zugrunde gelegt. Diese sind nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ entstanden. Misserfolge dieser Vorgehensweise sind heute höchstens als Legenden überliefert. Die Ansprüche an Bauwerke wie Kathedralen oder Befestigungsanlagen stiegen und waren Anlass, den Wissensstand voranzutreiben. Im 17. Jahrhundert wurden z. B. in Frankreich Regelquerschnitte für bis zu 30 m hohe Stützmauern von General VAUBAN entwickelt (zitiert in [96]). Mit den Fortschritten in Physik, Mechanik und Mathematik konnten die entsprechenden Hilfsmittel auch auf die Bemessung von Grundbauwerken angewendet werden. Ausgehend von statischen Methoden wurden Lösungen, die zunächst für Spezialfälle galten, so verallgemeinert, dass sie für viele Anwendungen einsetzbar sind. Auf dieser Grundlage entstanden die ersten Theorien des Erddrucks (1773 COULOMB [45]: „Über eine Anwendung der Maxima- und Minima-Rechnung auf einige Probleme bezüglich der Architektur“, 1856 RANKINE [85]: „Über die Stabilität von lockerer Erde“).



**Bild 1.1** Einordnung in die Fachgebiete des Bauingenieurwesens – Übersicht

Rechnerische Untersuchungen sind daher erst seit der Entwicklung der Ingenieurwissenschaften etwa ab dem 18. Jahrhundert bei der Dimensionierung von Grundbauwerken mit eingeflossen. Bemessungsverfahren auf Grundlage älterer Sicherheitskonzepte, z. B. dem summarischen Sicherheitskonzept, sind deshalb eine weitere Möglichkeit zur Prüfung der Plausibilität der Berechnungen. Mit diesen Verfahren liegen langjährige, meist gute Erfahrungen vor und es ist mit einigen Bemessungsansätzen möglich, die erforderlichen Abmessungen direkt zu berechnen.

## ■ 1.2 Ingenieurleistungen, Beispielprojekt

In der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI [71] sind die Ingenieurleistungen für die unterschiedlichen Spezialgebiete detailliert beschrieben. Die Geotechnik ist eine Querschnittsdisziplin, die Grundlagen für die Ingenieurleistungen der Objekt- und der Tragwerksplanung sowie der Projektsteuerung bereitstellt. Dies betrifft u. a. die folgenden, in der HOAI [71] aufgeführten Leistungen (siehe *Tabelle 1.1*):

- Objektplanung: §41-44 Leistungen bei Ingenieurbauwerken  
§45-48 Leistungen bei Verkehrsanlagen
- Fachplanung: §49-52 Tragwerksplanung
- Beratungsleistungen: Anlage 1, 1.3 Geotechnik  
Anlage 1, 1.4 Ingenieurvermessung

Kenntnisse zu den Verfahren, den statischen und konstruktiven Kriterien sind genauso wichtig wie die Berücksichtigung der Auswirkungen auf Natur und Umwelt, auf bestehende Bauwerke

**Tabelle 1.1** Übersicht über Leistungsphasen und Aufwand für einige Ingenieurleistungen

Phase	Objektplanung §43		Tragwerksplanung §51		Geotechnik Anl. 1.3.3	
1	Grundlagen	2 %	Grundlagen	3%	Erkundungskonzept	15 %
2	Vorplanung	20 %	Vorplanung	10 %	Baugrundbeschreib.	35 %
3	Entwurfsplanung	25 %	Entwurfsplanung	15 %	Gründungsberatung	50 %
4	Genehmigungspl.	5%	Genehmigungspl.	30 %		
5	Ausführungsplanung	15 %	Ausführungsplanung	40 %		
6	Vorbereitung Vergabe	13 %	Vorbereitung Vergabe	2 %		
7	Mitwirkung bei der Vergabe	4 %	Mitwirkung bei der Vergabe			
8	Bauüberleitung	15 %				
9	Objektbetreuung, Dokumentation	1 %				

sowie bezüglich der Inanspruchnahme von Flächen, Medien und Transportleistungen. Bei der ingenieurtechnischen Bearbeitung von Bauvorhaben kann in allen Leistungsphasen auch die Einbeziehung geotechnischer Aspekte erforderlich sein.

**1 Grundlagenermittlung:** Es sind die wichtigsten Vorgaben aus der Aufgabenstellung und den Randbedingungen des Bauvorhabens zusammenzustellen und hinsichtlich der erforderlichen weiteren Untersuchungen auszuwerten. Die Anforderungen an die Funktion des Bauwerks durch die geplante Nutzung oder an vorübergehende Baumaßnahmen (z. B. Baugrubensicherung, Wasserhaltung) bilden die Grundlage für die Ableitung von Lastannahmen und die Nutzung von Erfahrungen, die unter vergleichbaren Bedingungen gewonnen worden sind. Aus geotechnischer Sicht gehört die Auswertung der vorhandenen Informationen und die Besichtigung der örtlichen Gegebenheiten zu dieser Leistungsphase.

**2 Vorplanung:** Ziel der Vorplanung ist die Erarbeitung von Lösungsvarianten und deren Beurteilung. Dabei sind die Einflüsse auf die bauliche und konstruktive Gestaltung ebenso zu beachten wie die Wirtschaftlichkeit und die Umweltverträglichkeit. Es sind konstruktive Lösungen für geotechnische Teile des Bauvorhabens zu betrachten, z. B. Gründungen, Baugruben, Geländesicherungen. Voraussetzung dafür sind Kenntnisse und Erfahrungen mit den unterschiedlichen Bauweisen. Bei der Variantenuntersuchung müssen auch die Auswirkungen während baulicher Zwischenzustände berücksichtigt werden. Dies betrifft z. B. die Zwischenlagerung von Aushubmassen, den Wiedereinbau, den Platz- und Medienbedarf für die Baustelleneinrichtung bei speziellen Bauverfahren oder die Auswirkung von Erschütterungen auf bestehende Bauwerke durch die Bautätigkeit.

**3 Entwurfsplanung:** Die bauliche Lösung wird konstruktiv geplant und eine zeichnerische Darstellung entwickelt, die die wesentlichen Abmessungen und Informationen zur technischen Umsetzung enthält. Faustformeln und Erfahrungswerte können für die Festlegung konstruktiver Lösungen und die Kontrolle der Berechnungsergebnisse sehr hilfreich sein. Ziel ist die überschlägige Bemessung des Tragwerks.

**4 Genehmigungsplanung:** Eine zentrale Rolle kommt der Aufstellung prüffähiger statischer Berechnungen für das Tragwerk und die Hilfskonstruktionen zu. Teil der Tragwerksplanung sind die Gründungen sowie die geotechnischen Tragwerke wie Baugruben, Dämme, Ein-

schnittböschungen usw.. Für die öffentlich-rechtlichen Verfahren und Genehmigungen sind die erforderlichen Unterlagen und Pläne zu erstellen. Geotechnische Aufgaben können sich in diesem Zusammenhang beispielsweise in Bezug auf die Planung einer Wasserhaltung bzw. Versickerung, der Nutzung der Geothermie, der Verankerung von Baugrubenwänden im Bereich angrenzender Grundstücke oder dem geplanten Einpressen von Substanzen in den Untergrund ergeben.

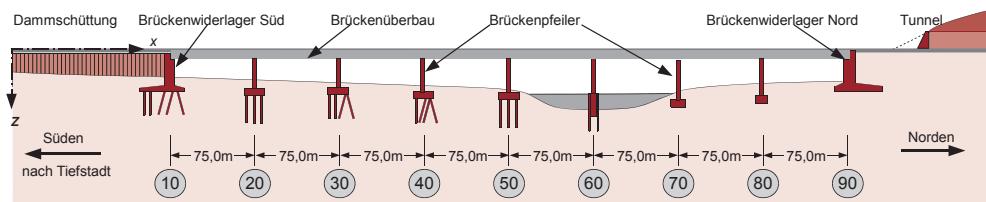
**5 Ausführungsplanung:** Die Ergebnisse der einzelnen Fachplaner werden im Rahmen der Ausführungsplanung zusammengeführt. Dies betrifft auch die Vorgaben der Geotechnik für die Bauausführung. Dazu zählen die Festlegungen zur erforderlichen Verdichtung, die Auswahl der Böden, der Sicherungsverfahren für Baugruben und Gräben usw..

**6 Vorbereitung der Vergabe:** Als Voraussetzung für die Einholung von Angeboten sind die Leistungen und Mengen zu ermitteln und als Einzelpositionen in Leistungsverzeichnissen zu beschreiben. Teil dieser Leistungsbeschreibungen sind auch die Vorgaben für den Erd- und Grundbau oder den Spezialtiefbau. Die Beschreibung der Verfahren und der eingesetzten Stoffe gehört zum Fachgebiet Geotechnik.

**7 Mitwirkung bei der Vergabe:** Die Angebote müssen geprüft und bewertet werden. Neben der Wirtschaftlichkeit sind hier auch konstruktive bautechnische Aspekte von Bedeutung. Zu den Aufgaben des Fachgebiets Geotechnik gehört die Beurteilung der Bauprodukte oder Verfahren in Hinblick auf ihre Eignung für die speziellen Randbedingungen, die Beratung der Objekt- und Tragwerksplaner bei der Bewertung besonderer Leistungen, vor allem des Spezial- und Tiefbaus.

**8 Bauüberleitung:** Während der Errichtung des Bauwerks und der Durchführung der Bauhilfsmaßnahmen sind die Einzelheiten und Probleme im Rahmen von Ortsterminen und Beratungen zu klären. Für Bauleistungen des Erd- und Grundbaus ist häufig die Eigen- und Fremdüberwachung als Teil der Ingenieurleistungen erforderlich.

**9 Objektbetreuung, Dokumentation:** Die Überwachung und Beseitigung von Mängeln sowie die Zusammenstellung der zeichnerischen Darstellungen und rechnerischen Nachweise gehören zu den Ingenieurleistungen dieser Leistungsphase. Probleme im Zusammenhang mit Ausführungsmängeln von Konstruktionen des Erd- und Grundbaus können auch langfristig Auswirkungen auf die neu errichteten oder bereits bestehenden Bauwerke haben. Um derartige Ursachen richtig erkennen und die geeigneten Gegenmaßnahmen einleiten zu können, ist die Erfassung und Dokumentation der maßgebenden Einflussgrößen eine grundlegende Voraussetzung. Es sind außerdem vertiefte Kenntnisse über die Verfahren des Spezialtiefbaus und die geotechnischen Zusammenhänge bei der Beurteilung von Schäden erforderlich.



**Bild 1.2** Beispiel Bahntrasse Damm-Brücke-Tunnel, Bauwerke und Stationierung

Als Grundlage für die Übungsbeispiele dienen zwei fiktive Bauvorhaben, die bereits im Buch „Einführung in die Boden- und Felsmechanik“ [55] behandelt worden sind. Zwei Verkehrstras-

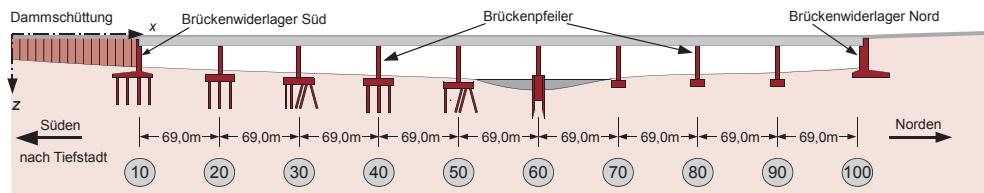
**Tabelle 1.2** Entwurf Bahnbrücke, Kräfte aus Eigen- und Verkehrslastenlasten

Achse	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Gewicht Überbau $V_{z1,G}$ in MN	14,00	40,11	34,51	34,51	34,51	34,51	34,51	40,11	14,00
Gewicht Unterbau $V_{z2,G}$ in MN		0,65	1,00	1,17	1,43	1,70	1,87	1,70	
LM 71 $V_{z,Q}$ in MN	3,52	9,18	7,97	7,97	7,97	7,97	7,97	9,18	3,52
Bremsen/Anfahren $H_{x,Q}$ in MN					1,5	1,5			
Bremsen/Anfahren $M_{y,Q}$ in MNm					18,60	20,85			
Wind aus Überbau $H_{y1,Q}$ in kN	521	1494	1285	1285	1285	1285	1285	1494	521
Wind aus Überbau $M_{x1,Q}$ in MNm		9,63	10,86	12,14	14,07	16,00	17,28	18,60	
Wind aus Unterbau $H_{y2,Q}$ in kN		9,6	16,0	19,2	24,0	28,8	32,0	28,8	
Wind aus Unterbau $M_{x2,Q}$ in kNm		14,4	40,0	57,6	90	129,6	160	129,6	
Schiffsanprall in MN						6,50			

sen (siehe *Bild 1.2* und *Bild 1.3*) sollen als Kombination von Damm-, Brücken- und Tunnelbauwerken errichtet werden. Der Untergrund im Bereich des ca. 600 m langen Trassenabschnitts wird im Süden überwiegend von weichen Ablagerungen gebildet. Das Grundwasser ist hier in geringem Abstand zur Geländeoberfläche zu erwarten. Im Norden werden die Baugrund-eigenschaften vor allem von den nichtbindigen Sand- und Kiesablagerungen und dem Festgestein geprägt. Die Komplexität der Bauaufgabe und die Gelände- und Untergrundsituation erfordern die Anwendung unterschiedlicher konstruktiver Lösungen. Während im Süden für die Gründung der Einsatz von Pfählen oder tief reichenden Bodenverbesserungen erforderlich sein wird, kann für die im Norden befindlichen Bauwerke eine Flachgründung in Frage kommen. Das Ziel der Erarbeitung des komplexen Übungsbeispiels war es, die unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Bauweisen bei der Bearbeitung der geotechnischen Teile einer Ingenieraufgabe zusammenhängend betrachten zu können. Die in den *Tabellen 1.2* und *1.3* zusammengestellten Lasten sind auf Grundlage eines Vorentwurfs ermittelt worden.

**Damm:** Dämme sind Bauwerke, bei denen der Boden als Baumaterial eingesetzt wird und in Abhängigkeit von der Funktion des Bauwerks bestimmte Anforderungen an die Eigenschaften erfüllen muss. Bei Straßen- oder Eisenbahndämmen betrifft dies in erster Linie die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten in vertikaler Richtung. Für das Dammbauwerk ist die Gründung nach den gleichen Regeln zu planen wie für Hoch- und Ingenieurbauwerke. Es ist der Einsatz einer Flachgründung unmittelbar unter der Dammaufstandsfläche, eine Bodenverbesserung unter dem Damm oder eine Tiefgründung möglich. Zu den Bauweisen, die zum Einsatz kommen können, gehören u. a. geokunststoffbewehrte Stützbauwerke, Rütteldruck- oder Rüttelstopfsäulen, geokunststoffbewehrte Erdkörper über punktförmigen Traggliedern, Vorbelastung des Untergrunds oder geokunststoffummantelte Säulen.

**Brückenwiderlager:** Im Bereich des Übergangs zwischen Damm und Brücke wird ein Widerlager angeordnet. Dies besteht aus einer Stützwand, die die Belastungen aus dem Erddruck und der Brücke aufnehmen und über die Gründung in den Untergrund ableiten muss. Die Gründung kann bei tragfähigem Baugrund als Flachgründung erfolgen. Wenn die Tragfähigkeit des Untergrunds für eine Flachgründung nicht ausreicht, kommen z. B. Pfahlgründungen oder Verfahren zur Baugrundverbesserung in Betracht. Für die Errichtung sind möglicherweise Maßnahmen zur Herstellung der Baugruben und zur Wasserhaltung einzuplanen.



**Bild 1.3** Beispiel Straßentrasse Damm-Brücke, Bauwerke und Stationierung

**Tabelle 1.3** Entwurf Straßenbrücke, Kräfte aus Eigen- und Verkehrslastenlasten

Achse	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Überbau $V_{z1,G}$ [MN]	8,92	25,55	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	25,55	8,92
Unterbau $V_{z2,G}$ [MN]		1,45	1,59	1,69	1,89	1,89	2,09	1,89	1,69	
LM 1 $V_{z,Q}$ [MN]	2,35	5,25	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	5,25	2,35
Bremsen $H_{x,Q}$ [kN]						474,3	474,3			
Bremsen $M_{y,Q}$ [MNm]						6,59	6,59			
Wind Überbau $H_{y1,Q}$ [kN]	376	1078	928	928	928	928	928	928	1078	376
Wind Überb. $M_{x1,Q}$ [MNm]		11,05	10,16	10,62	11,55	11,55	12,47	11,55	12,34	
Wind Unterbau $H_{y2,Q}$ [kN]		21,8	24,0	25,6	28,8	28,8	32,0	28,8	25,6	
Wind Unterb. $M_{x2,Q}$ [kNm]		74,0	90,0	102,4	129,6	129,6	160,0	129,6	102,4	
Schiffsanprall [MN]						6,50				

**Brückenpfeiler:** Im ufernahen Bereich ist für die Errichtung der Pfeilerfundamente die Herstellung von Baugruben bis unterhalb des Grundwasserspiegels erforderlich. Für die Pfeiler im Bereich des Flussbetts muss dagegen eine Baugrube im offenen Wasser hergestellt werden. Dafür können z. B. Spundwände oder unterschiedliche Arten von Fangedämmen zum Einsatz kommen.

**Einschnitte:** Der Übergang zwischen Brücke und Tunnel im Norden macht in einigen Bereichen die Herstellung und Sicherung von Einschnitten erforderlich. Diese können als Böschungen oder als Kombination von Böschung und Stützbauwerk geplant werden. Vernagelungen oder Stützkonstruktionen in Kombination mit Böschungen sind geeignete Verfahren.

Die Anforderungen an die Planung sind sehr vielfältig. Ziel ist es, optimale Lösungen aus einem breiten Spektrum möglicher Bauweisen auszuwählen, diese Vorzugsvariante rechnerisch nachzuweisen und alle Bauhilfsmaßnahmen (Baugrubenverbau) und baubetrieblichen Aspekte bei der Planung zu berücksichtigen.

# Index

- Abdichtung, 206  
Absenkung, Grundwasser, 196  
Absenkerfahren, Baugrubenverbau, 180  
Ankerwand, 162  
Atlaspfahl, 83  
Aufbruch Baugrubensohle, 185  
Auflockerung, 213, 214
- Barrettes, 71  
Bemessungssituation BS, 23  
Bettungsmodulverfahren, 58  
bewehrte Erde, 116  
– Faustformel, 118  
Bezeichner, 20  
Bodenvereisung, 181  
Bohrpfahl, 84  
– Faustformeln, 89  
– verrohrt, 85  
Bohrpfahlwände, 132  
Brunnen, vollkommen, 194  
Brunnengründung, 47
- Caisson, 47
- Drän, 222  
Druckluftsenkkasten, 47  
Druckrohranker, 164  
dynamische Intensivverdichtung, 225
- Einpressdruck, 205  
Einzelfundament, 37  
Elektroosmose, 191  
EQU, 24  
Erdauflager, 157  
Erddamm, 212
- Fangedamm, 184  
Fertigrammpfähle, 77  
– Faustformeln, 80  
Filterkriterium, 201
- Filterregel, 201  
Flachbrunnen, 192  
Frankipfahl, 80  
Frost, 214  
Frostwand, 181  
Fußzeiger, 20  
Fundexpfahl, 84
- Gabione, 113  
Gebrauchstauglichkeit, 23  
GEO-2, 24  
GEO-3, 24  
Geodrän, 222  
Geokunststoff, 116  
geokunststoffbewehrte Erde  
– Faustformel, 118  
Gleitfuge, tiefe, 173  
Gleitsicherheit, 62  
Grabenverbaugeräte, 179  
Gravitationsentwässerung, 191  
Grenzzustände, 24  
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, 22  
Grenzzustand der Tragfähigkeit, 21  
Grundbruch, 60  
Grundbruch, hydraulischer, 186  
Gruppenwirkung  
– Widerstände axial, 107
- Herdmauer, 213  
Holzpfahl, 77  
Horizontalbrunnen, 191  
HYD, 24  
hydraulischer Grundbruch, 186
- Injektion, 232  
Injektionswände, 135  
Innenrohrrammung, 80
- Kalkverbesserung, 232  
Kastengründung, 47

- Kippen, 63
- klaffende Sohlfuge, 51
- Kleinpfahl, 89
- Köcherfundament, 40
- kombinierte Pfahl-Plattengründung:, 74
- Kontraktor, 89
- Koordinatensystem, 20
- Kopframmmung, 81
- Lärmschutzwall, 235
- Lösen, 213
- Mantelreibung, 91
- Mantelreibung, negative, 92
- Mantelwiderstand, 91
- Mikropfahl, 89
- Nagelwand, 118
  - Faustformel, 120
- negative Mantelreibung, 92
- Ortbetonrammpfahl, 80
- Ortpfahl, 76
- Pfahlbock, 162
- Pfahlprobefbelastung, 97
- Pfahlrost, 72
- Plattenfundament
  - Faustformeln, 46
- Plattengründung, 44
- Polstergründung, 226
- Rütteldruckverdichtung, 225
- Rüttelinjektionspfahl, 82
- Rüttelortbetonsäulen, 234
- Rüttelstopfsäule, 227
- Rammpfahl
  - Vorbemessung:, 79
- Raumgitterstützwand, 116
- RI-Pfahl, 82
- Schlitzwände, 134
- Schmalwand, 135
- Schraubpfahl, 83
  - Fundexpfahl, 84
- Schutzwall, 235
- Schwergewichtsmauer, 112
  - Faustformel, 114
- Schwerkraftentwässerung, 191
- Selbstfiltrationsindex, 201
- Senkkasten, 47
- senkrechter Verbau, 178
- Sicherheitsbeiwert, 21
- Simplexpfahl, 81
- SLS, 23
- SLS - serviceability limit state, 22
- Sohlfuge, klaffende, 51
- Spüldamm, 212
- Spülfilter, 192
- Spannungstrapezverfahren, 53
- Spannungsverteilung, gleichmäßige, 51
- Spitzenwiderstand, 91
- Spundwände, 124
- Spundwand
  - Faustformel, 131
- Stahlbetonfertigpfahl, 78
- Stahlpfähle, 78
- Steifemodulverfahren, 58
- Steinschüttdeamm, 212
- Steinschüttmaterial, 213
  - Kennwerte, 213
- STR, 24
- Streifenfundament, 37
- Telleranker, 205
- Thixotropie, 135
- Tiefbrunnen, 192
- tiefe Gleifuge, 173
- Tiefenverdichtung, 223
- Torf, 105
- Trägerbohlwände, 122
- Trockenmauer, 112
- ULS - ultimate limit state, 21
- Unterfahrung, 239
- Unterfangung, 238
- UPL, 24
- Vakuumentwässerung, 191
- Verankerungen, 161
- Verbauarten, 176
  - Bohrpfahlwände, 132
  - Schlitzwände - vertikal, 134
  - senkrechter Verbau, 178
  - Spundwände, 124

- Trägerbohlwände, 122
- vorgefertigte Verbausysteme, 179
- waagerechter Verbau, 178
- Verbundanker, 164
- Verdichtung
  - Anforderungen, 218
- Verdichtungsanforderungen, 218
- Verdrängungspfahl, 77
- Vernagelung
  - Faustformel, 120
- Verpressanker, 163
- Verpressmörtelpfahl, 82
- VM-Pfahl, 82
- Vollverdrängungsbohrpfahl, 83
  - Fundexpfahl, 84
- vorgefertigte Verbausysteme, 179
- Vorzeichenregeln, 20
- waagerechter Verbau, 178
- Wasserhaltung, 191
- Wellpoint, 192
- Winkelstützmauer, 114
  - Faustformel, 115
- Zellenfangedamm, 184
- Zementverfestigung, 232
- Zersetzungsgesgrad, 105