

# 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	Bauoberleitung	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.

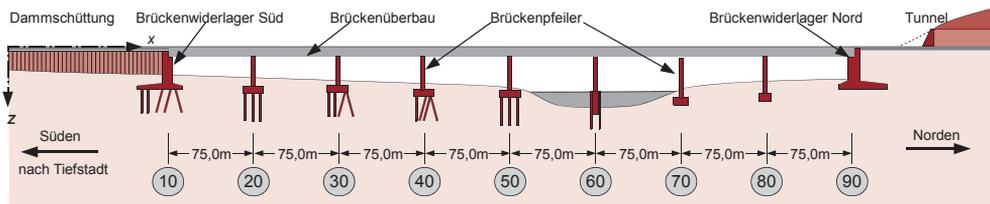
**5 Ausführungsplanung:** Die Ergebnisse der einzelnen Fachplaner werden im Rahmen der Ausführungsplanung zusammengeführt. Dies betrifft auch die Vorgaben der Geotechnik für die Bauausführung. Dazu zählen die Festlegungen zur erforderlichen Verdichtung, die Auswahl der Böden, der Sicherungsverfahren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

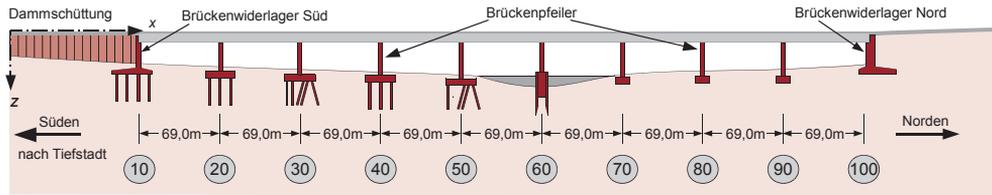
**Tabelle 1.2** Entwurf Bahnbrücke, Kräfte aus Eigen- und Verkehrslasten

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 Baugrundeigenschaften 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 Ingenieuraufgabe 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 Baugrube und zur Wasserhaltung einzuplanen.



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

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

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.