

**Erstveröffentlichung in geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.**

Für eine korrekte Zitierbarkeit ist die Seitennummerierung  
der Originalveröffentlichung für jede Seite kenntlich gemacht.

S. 160

## **Eine Systematik für die Einleitung des Baugrunds in Homogenbereiche**

Dr. Jan Kayser <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Für die vertragsgerechte Beschreibung des Baugrunds wurde mit Herausgabe des VOB-Gesamtbands 2015 ein Klassifikationssystem auf der Grundlage von Homogenbereichen eingeführt. Als Handlungshilfe zur Anwendung der Homogenbereiche hat die Bundesanstalt für Wasserbau das Merkblatt Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche nach VOB/C (MEH) erarbeitet. Dem MEH liegt eine Systematik zur Einteilung des Baugrunds auf der Grundlage von Leitparametern zugrunde. Für die Leitparameter werden Einteilungsgrenzen angegeben, die als Orientierung für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche verwendet werden können. Ergänzend werden Vorschläge für die Darstellung der Schichteigenschaften und der Homogenbereiche gemacht. Auch werden Hinweise für den Umgang mit heterogenen Baugrundsichten und für einige spezielle Kennwerte gegeben.

***A classification for the division of the building site into homogeneous areas.** According to the German Construction Contract Procedures (VOB), Part C: General Technical Specifications in Construction Contracts (ATV), the subsoil must be classified into homogeneous zones. In order to facilitate the determination of the homogeneous zones, the Federal Waterways Engineering and Research Institute for Waterways published the Code of Practice: "Classification of Subsoil into Homogeneous Zones for Construction Contracts – MEH". In this code of practice a system is presented with the identification of the main parameters for the description of soil and rock with the definition of classification limits for these main parameters. Additional hints are given for the use and the determination of certain parameters.*

### **1 Einleitung**

Die Grundlage für die Planung, Ausschreibung, Vergabe und Ausführung von Bauleistungen des Tief- und Spezialtiefbaus ist die zutreffende Beschreibung des Baugrunds. Die Beschreibung muss sämtliche Aspekte des Entwurfs, der Bemessung und Berechnung geotechnischer Strukturen und deren Herstellung abdecken und ist eng mit den vertraglichen Regelungen verbunden, die in Deutschland für Bauverträge im öffentlichen Sektor in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistung (VOB) [1] fixiert sind. Die VOB besteht aus den Teilen A, B und C. Teil C beinhaltet die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV). Sie werden vom Hauptausschuss Tiefbau des Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses (HAT) erarbeitet. Die

fachgerechte Anwendung der einzelnen Teile der VOB bei der Ausschreibung von Bauleistungen soll sicherstellen, dass die Leistungen eindeutig und erschöpfend beschrieben und abgerechnet werden.

Ein Grundprinzip der VOB ist die freie Geräteauswahl durch den Auftragnehmer (Baufirma). Dementsprechend kann die Beschreibung des Baugrunds nicht auf ein bestimmtes Gerät ausgelegt sein. Sie muss präzise und gleichzeitig knapp gefasst sein, sodass für die Gewerke des Tief- und Spezialtiefbaus eine Kalkulation der Bauleistungen und die Wahl des Geräts ohne große Vorarbeiten möglich ist. Im europäischen Ausland wird dies vielfach anders gehalten. Hier wurden z. B. für den Erdbau fein differenzierte Klassifikationssysteme entwickelt, die einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen einer Bodenklasse und einem Verdichtungsverfahren herstellen und damit eine gewisse Festlegung der Geräte treffen [2] [3] [4].

Für die vertragsgerechte Beschreibung des Baugrunds wurden in Deutschland in den vergangenen 60 Jahren Klassifikationssysteme für verschiedene Bauverfahren des Spezialtiefbaus entwickelt. Jeder Schicht des Baugrunds wurde dabei eine Boden- oder Felsklasse zugeordnet bzw. in diese klassifiziert, bei weit streuenden bodenmechanischen Eigenschaften der Schicht auch mehrere Klassen. Die Kriterien für die Klassifikation waren anhand konkreter Grenzwerte für wenige Parameter formuliert, was die Klassifikation einfach und nachvollziehbar machte, sofern der Baugrund in ausreichendem Maße erkundet wurde.

Aus verschiedenen Gründen hat der HAT beschlossen, die langjährig bewährten, teils aber auch technisch überholten Boden- und Felsklassen nicht mehr zu verwenden und mit Herausgabe des VOB-Gesamtbands 2015 ein Klassifikationssystem auf der Grundlage von Homogenbereichen einzuführen [1] [5], den Baugrund also in Homogenbereiche einzuteilen. Ein Homogenbereich besteht aus einer oder mehreren Baugrundsichten, die für das jeweilige Bauverfahren im speziellen Bauvorhaben vergleichbare Eigenschaften haben. Jeder Homogenbereich muss abhängig vom Bauverfahren mit bis zu 17 Kennwerten beschrieben werden. Wichtig ist dabei die Feststellung, dass die Festlegung der Homogenbereiche gleichermaßen sowohl von den bodenmechanischen Eigenschaften und dem natürlichen Zustand des Baugrunds als auch von den zum Bau vorgesehenen Bauverfahren und dem Bauziel anhängig ist.

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 161

Der Wechsel von den ehemaligen Bodenklassen hin zu den Homogenbereichen hat in der Praxis zunächst große Unsicherheit erzeugt. Man behalf sich hier bspw. in Ausschreibungen mit einer vergleichenden Angabe der alten Bodenklassen, wie „Homogenbereich = Bodenklasse 3 bis 5“, was die Absicht der neuen Homogenbereiche nach einer verbesserten Beschreibung des Baugrunds ad absurdum führt.

Die Beschreibung des Baugrunds mithilfe der Einteilung in Homogenbereiche ist ein sehr offenes System, das einen großen gutachtlichen und planerischen Spielraum bietet. Die Umstellung der

relativ fest definierten Bodenklassen auf Homogenbereiche führt daher zu einer Reihe von Unklarheiten, für die in der Praxis unterschiedliche Lösungen entwickelt wurden [6].

Als Hilfestellung für Gutachter und Ausschreibende wurden Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Homogenbereichen erarbeitet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. So u. a. auch von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) mit dem Merkblatt Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche nach VOB/C (MEH) [7]. Das MEH ist eine Handlungshilfe für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und gibt Planern und geotechnischen Sachverständigen Hilfestellungen, nach welchen Kriterien die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche erfolgen kann. Ergänzend werden Hinweise zu einzelnen Parametern und Darstellung der Homogenbereiche gegeben. Im Fokus stehen Bauvorhaben des Verkehrswasserbaus, z. B. Erweiterung von Schifffahrtskanälen und Neubau von Schleusen und Wehren, bei denen Großgeräte zum Einsatz kommen. Das MEH behandelt die folgenden wesentlichen Fragen, die sich bei der Festlegung von Homogenbereichen ergeben und im vorliegenden Beitrag erläutert werden sollen:

- Welche Kennwerte sind besonders wichtig?
- Welche sinnvollen Grenzwerte gibt es für diese Kennwerte?
- Wie groß dürfen Bandbreiten für einen Kennwert innerhalb eines Homogenbereichs sein?
- Wie ist der Arbeitsablauf und wer führt die Einteilung in Homogenbereiche durch?
- Welche Darstellung der Homogenbereiche ist notwendig und sinnvoll?

## 2 Grundlagen der Homogenbereiche

Abhängig vom Bauverfahren sind zwischen sieben und 17 Kennwerte für Boden und drei bis elf Kennwerte für Fels mit unterer und oberer Grenze anzugeben. Besondere Bedeutung bei der Festlegung der Homogenbereiche haben folgende Normen:

- DIN 18196, Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke,
- DIN EN 1997-2/NA EC 7, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, zusammen mit dem nationalen Anhang DIN EN 1997-2/NA und der DIN 4020, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2,
- DIN EN ISO 14688, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden,
- DIN EN ISO 14689-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung.

Hinzu kommt eine Vielzahl an Normen zur Durchführung von Labor- und Feldversuchen.

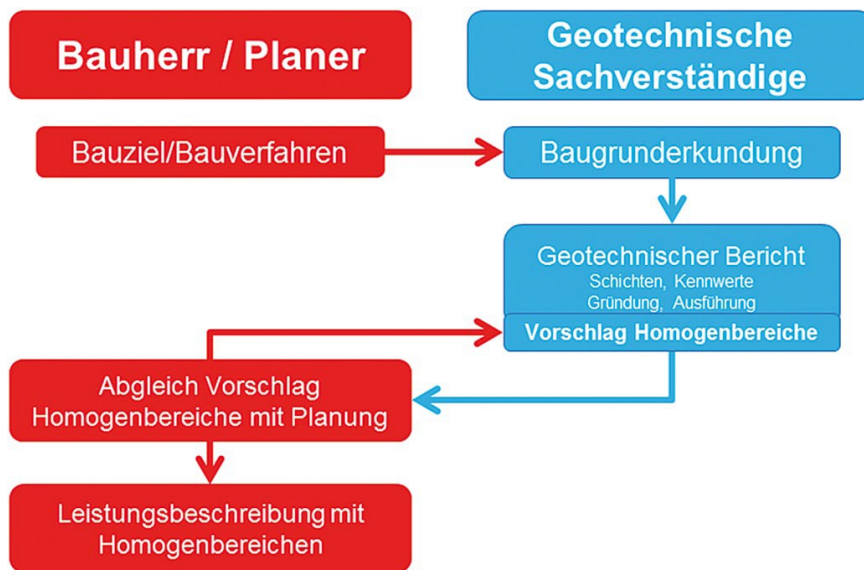


Bild 1: Workflow für die Zusammenarbeit zwischen Planer und geotechnischen Sachverständigen [7]

Figure 1: Flowchart with interaction between designer and geotechnical engineer

Unmittelbare Hinweise, wie die Homogenbereiche festzulegen sind, gibt es in der VOB nicht. Es gelten die allgemeinen Anforderungen der VOB Teil A § 7 Abs. 1 Nr. 1 (eindeutige und erschöpfende Beschreibung der Leistung) und § 7 Abs. 1 Nr. 2 (Feststellen aller die Preisermittlung beeinflussenden Umstände).

Für die Festlegung der Homogenbereiche sind bodenmechanische und baubetriebliche bzw. verfahrenstechnische Kriterien zu beachten. Daher ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, beauftragten Planern und dem geotechnischen Sachverständigen erforderlich. Ein entsprechender Workflow ist in Bild 1 dargestellt.

Wesentlich ist, dass der geotechnische Sachverständige auf der Grundlage seiner Untersuchungen für jedes der zu betrachtenden Bauverfahren einen Vorschlag zur Festlegung der Homogenbereiche macht. Dieser Vorschlag muss dann vom Planer mit den Randbedingungen des Projekts abgeglichen und ggf. angepasst und zur geotechnischen Prüfung an den Gutachter zurückgegeben werden. Der Workflow verdeutlicht die enge Verzahnung der boden- und felsmechanischen Aspekte, bearbeitet durch den geotechnischen Sachverständigen, und der baubetrieblichen Aspekte, bearbeitet durch den Planer. Das erfordert eine hohe Fachkompetenz an der Schnittstelle zwischen Baugrund und Bauverfahren, d. h., der geotechnische Sachverständige muss nicht nur den Baugrund zutreffend beschreiben, er muss für die Festlegung der Homogenbereiche auch sehr gute Kenntnisse des Bauverfahrens besitzen.

Die Homogenbereiche mit den zugehörigen Kennwerten werden für die Kalkulation der Ausführung aufgestellt. Sie dienen nicht dem Entwurf, für den auf der sicheren Seite liegende Baugrundmodelle zu verwenden sind.

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 162

Häufig kommen im Rahmen eines Bauvorhabens mehrere Gewerke mit unterschiedlichen Bauverfahren zum Einsatz, sodass es erforderlich sein kann, den Baugrund verfahrensabhängig unterschiedlich in Homogenbereiche einzuteilen. Für die Anzahl der Homogenbereiche gilt das Prinzip: „So viel wie nötig – so wenig wie möglich“. Möglichst viele Schichten sollten zusammengefasst werden, um die Ausschreibung und Abrechnung übersichtlich zu halten. Die einem Homogenbereich zugeordneten Schichten müssen jedoch hinsichtlich des ausgeschriebenen Bauverfahrens vergleichbare Eigenschaften haben, was die Zusammenfassung mehrerer Schichten ggf. einschränkt.

Der Umfang der Kennwerte eines Homogenbereichs ergibt sich aus der Vereinigungsmenge des Umfangs der zusammengefassten Schichten. Wie groß die Bandbreite der Kennwerte innerhalb eines Homogenbereichs sein darf, ist nicht normativ festgelegt. Sie muss zum einen groß genug sein, um die natürlichen Schwankungen innerhalb eines Homogenbereichs widerzuspiegeln. Zum anderen sollte sie aber auch nicht zu groß und damit unpräzise sein, sodass sie nicht mehr als Kalkulationsgrundlage geeignet ist.

Für Bauverfahren, bei denen Boden oder Fels gewonnen und/oder weiterverarbeitet wird, sind umweltrelevante Inhaltsstoffe bei der Bildung der Homogenbereiche zu berücksichtigen. Die Weiterverarbeitung bzw. Entsorgung von kontaminiertem Baugrund ist im Regelfall mit hohen Kosten verbunden. Sie hat daher erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten und ist bereits im Zuge der Planungsarbeiten mit Sorgfalt zu betrachten. Sollten innerhalb einer Schicht verschiedenartige oder verschieden starke Kontaminationen vorliegen, kann es erforderlich sein, eine Schicht in mehrere Homogenbereiche entsprechend den unterschiedlichen Kontaminationen einzuteilen.

### **3 Leitparameter und Einteilungsgrenzen**

Ein großer Vorteil eines Klassifizierungssystems mit Boden- und Felsklassen, wie es vor 2015 in den VOB-Normen umfänglich umgesetzt war, liegt in der präzisen quantitativen Beschreibung der Klassen. Anhand von Grenzwerten für wenige Baugrundparameter können den Baugrundsichten baubetrieblich relevante Klassen zugeordnet werden.

Die aktuelle VOB [1] fordert für die Beschreibung der Homogenbereiche hingegen die Angabe von oberen und unteren Grenzwerten für eine Vielzahl von Parametern. Dabei haben nur einige dieser Parameter eine besondere Bedeutung für das jeweilige Bauverfahren, weil sie die Auswahl der Maschinenteknik bestimmen und ggf. auch die Wirtschaftlichkeit entscheidend beeinflussen. Die Parameter mit besonderer Bedeutung werden nachfolgend als Leitparameter bezeichnet. Je nach Bauverfahren können die wesentlichen Eigenschaften des Baugrunds üblicherweise anhand von zwei bis fünf Leitparametern beschrieben werden. Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung von sinnvollen Leitparametern für die verschiedenen Bauverfahren, wie sie im MEH [7] aufgeführt sind.

Für die Leitparameter gibt es Grenzwerte, bei denen sich Einsatz- bzw. Leistungsgrenzen für den Einsatz von Maschinentechneken ergeben. Diese Werte werden als Einteilungsgrenze bezeichnet.

Die in [7] genannten Leitparameter und deren Einteilungsgrenzen leiten sich aus der einschlägigen Literatur und aus Erfahrungen der BAW bei Bauvorhaben des Verkehrswasserbaus ab. Es empfiehlt sich, bei der Baugrunderkundung ein besonderes Augenmerk auf die Ermittlung der Leitparameter zu legen.

Um eine Orientierung für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche zu geben, ist es sinnvoll, aus

Tabelle 1: Leitparameter (Markierung X) für Verfahren des Erd- und Spezialtiefbaus nach [7]  
 Table 1: Main parameter (marker X) for different special geotechnical works

		Erdarbeiten	Bohrarbeiten	Ramm-, Rüttel-, Pressarbeiten	Nassbaggerarbeiten	Schlitzwandarbeiten	Rohrvortriebsarbeiten	Düsenstrahlarbeiten	Horizontalspühlbohrarbeiten
Boden	Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern				x		x		x
	Massenanteil Steine, Blöcke, große Blöcke*	x	x		x	x	x		x
	Bodengruppe nach DIN 18196	x			x		x		x
	Konsistenz*	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sondierwiderstände als Maß für Lagerungsdichte*	x	x	x		x	x	x	x
	Organischer Anteil					x			
	Benennung/Beschreibung organischer Böden				x				
Fels	Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins	x	x		x	x	x	x	x
	Trennflächenabstand	x	x		x	x	x	x	x

\* Erläuterung weiter unten im Text

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
 In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

Tabelle 2: Leitparameter und Einteilungsgrenzen für Bohrarbeiten in nichtbindigem Boden [7]

Table 1: Main parameter and classification values for drilling works in fine soils

Leitparameter	Einteilungsgrenzen
Sondierwiderstand	unter 25 MPa
Spitzenwiderstand $q_c$	über 25 MPa
Massenanteil Steine und Blöcke	unter 5%
	über 5 bis 20%
	über 20%

Tabelle 3: Leitparameter und Einteilungsgrenzen für Bohren im Fels [7]

Table 3: Main parameter and classification values for drilling works in rock

Leitparameter	Einteilungsgrenze
Einaxiale Druckfestigkeit $q_u$	unter 5 MPa
	über 5 bis 25 MPa
	über 25 bis 50 MPa
	über 50 bis 80 MPa
	über 80 bis 100 MPa
	über 100 MPa <sup>1)</sup>
Trennflächenabstand	unter 6 cm
	über 6 bis 20 cm
	über 20 bis 60 cm
	über 60 cm

<sup>1)</sup> Zusätzliche Maßnahmen beim Bohren sind einzuplanen.

den vielen anzugebenden Parametern die Leitparameter zu identifizieren und dafür die Einteilungsgrenzen zu entwickeln. Dies ist aufgrund der jeweils unterschiedlichen Maschinentechiken spezifisch für jedes Bauverfahren gesondert durchzuführen. Beispielhaft für die Systematik der mit Einteilungsgrenzen versehenen Leitparameter sind in Tabelle 2 Angaben für Bohrarbeiten im nichtbindigen Boden gemacht. Die Einteilungsgrenzen orientieren sich an den Leistungsklassen entsprechender Bohrgeräte. Erhöhte Aufwendungen beim Bohren oder ein Wechsel der Bohrtechnik sind nach den Erfahrungen für nichtbindige Böden bei leistungsstarken Geräten erst bei sehr großen Festigkeiten mit Spitzendrücken der Drucksonde von über 25 MPa zu erwarten, sodass dieser Wert als Einteilungsgrenze angesehen werden kann.

Für Fels ist die Abstimmung der Gerätetechnologie auf den Baugrund differenzierter vorzunehmen als für Boden. Daher sind die Einteilungsgrenzen für die Leitparameter der einaxialen Druckfestigkeit und des Trennflächenabstands entsprechend abgestuft (Tabelle 3). Es ist zu beachten, dass die Bandbreiten der Kennwerte natürlicherweise über mehrere Einteilungsgrenzen hinweg streuen können.

Die Einteilungsgrenzen sind nicht als strenge Klassengrenzen zu sehen. Vielmehr geben sie eine Hilfestellung zur Beantwortung der Frage, inwieweit die Eigenschaften verschiedener Schichten hinsichtlich des jeweiligen Verfahrens vergleichbar sein können.

Es ist durchaus möglich, sinnvoll oder auch erforderlich, Homogenbereiche über die Einteilungsgrenzen hinaus zu bilden. Sei es, um die Anzahl der Homogenbereiche gering und übersichtlich zu

halten oder weil die bodenmechanischen Eigenschaften oder projektspezifischen Randbedingungen, z. B. schwierige Trennung unterschiedlicher Schichten im Baubetrieb, keine genauere Differenzierung zulassen. Ein solcher Homogenbereich ist dann aus bodenmechanischer Sicht heterogen.

Projektspezifisch kann es auch notwendig sein, neben den Leitparametern noch weitere Parameter zur Einteilung der Homogenbereiche heranzuziehen.

## **4 Boden- und felsmechanische Aspekte der Homogenbereiche**

### **4.1 Beurteilung von Böden**

Hinsichtlich der Verfahrenstechnik ist es entscheidend, ob ein Boden bindig oder nichtbindig ist. Daraus leitet sich ab, ob für die weitere Beschreibung des Bodens die Konsistenz (bindige Böden) oder die Lagerungsdichte (nichtbindige Böden) entscheidend ist. Oft ist auch wichtig, ob und ggf. in welchem Umfang Hindernisse in Form von Steinen und Blöcken vorhanden sind. Einen generalisierten Workflow zur Festlegung der Homogenbereiche enthält Bild 2.

Von der Klassifizierung bindig oder nichtbindig hängen auch die anzugebenden Parameter für die Beschreibung eines Homogenbereichs ab. So macht z. B. die Angabe einer Kohäsion oder einer undrännierten Scherfestigkeit nur für bindige Böden Sinn. Ob ein Boden bindig oder nichtbindig ist, ist für die Einteilung in Homogenbereiche von entscheidender Bedeutung. Die entsprechende Bewertung kann anhand der intrinsischen Eigenschaften des Bodens mit Bezug auf die bautechnischen Eigenschaften erfolgen.

Für bautechnische Zwecke sind die Bodengruppen nach DIN 18196 eine gute Hilfestellung. Böden der Bodengruppen UL, UM, UA, TL, TM, TA, OU und OT können als bindige Böden angesehen werden. Nichtbindig sind Böden der Bodengruppen GW, GI, GE, SW, SE und SI. Nicht generell zuzuordnen sind die gemischtkörnigen Böden der Bodengruppen GU, GT, SU und ST (tendenziell nichtbindig) sowie ST\*, SU\*, GU\*, OH und OK (tendenziell bindig). Hier ist im Einzelfall auch hinsichtlich des konkreten Bauvorhabens und der Verfahrenstechnik gutachtlich zu entscheiden.

Für Erdbauarbeiten im Straßenbau werden nach [8] die Bodengruppen GU, GT, SU, und ST grundsätzlich als nichtbindig und die Bodengruppen ST\*, SU\*, GT\* und GU\* als bindig bezeichnet. Dieser Ansatz ist für Erdarbeiten praktikabel, kann aber nicht generell auf alle anderen Bauverfahren übertragen werden.

Folgende Hinweise zur Ermittlung der Konsistenz bindiger Böden, zur Lagerungsdichte nichtbindiger Böden und zum Stein- und Blockanteil sollten berücksichtigt werden. Weitere Erläuterungen hierzu gibt [7].

- Die Konsistenz bindiger Böden sollte auch manuell nach DIN EN ISO 14688-1 bestimmt werden, da nur dieser Versuch den natürlichen, d. h. ungestörten Zustand untersucht.

- Die Lagerungsdichte und Dichte kann versuchstechnisch meist nicht ermittelt werden. Um belastbare Aussagen

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 164

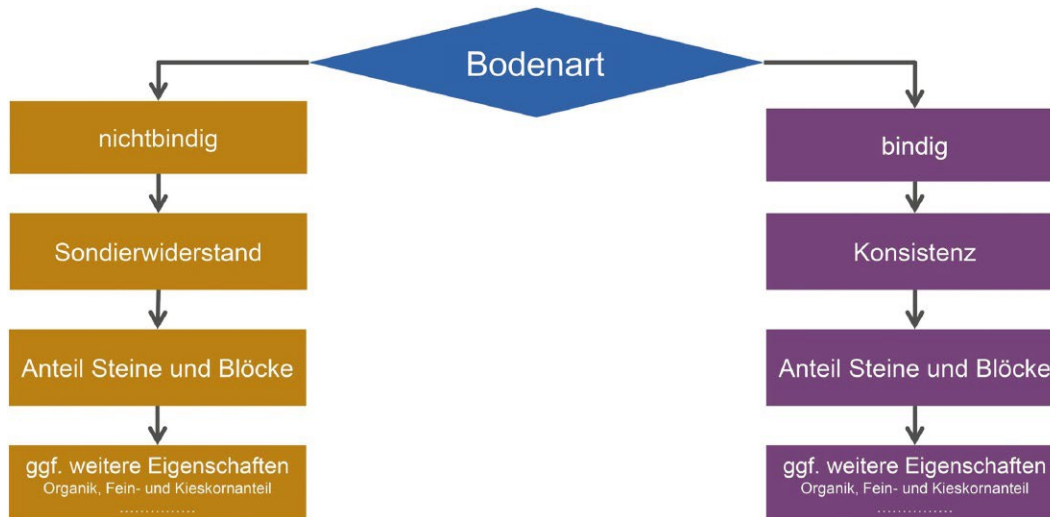


Bild 2: Generalisierter Workflow zur Einteilung von Böden

Figure 2: General workflow for the classification of soil

zum Zustand eines nichtbindigen Bodens zu bekommen, sollten ergänzend zur normativ geforderten Lagerungsdichte auch die Sondierwiderstände angegeben werden.

- Der Anteil Steine und Blöcke im Boden kann im Regelfall nur sehr grob abgeschätzt werden, sodass hier eine hohe Genauigkeit nicht erwartet werden kann.
- Für die Überprüfung der Abrasivität von Boden wird in den VOB-Normen der LCPC-Test [9] gefordert. Der Versuch kann aufgrund des Geräteprinzips auch für die Prüfung der Abrasivität von Boden als geeignet angesehen werden [10], lässt jedoch für sich allein keinen direkten Rückschluss auf den Verschleiß am Lösewerkzeug zu [11]. Auch sind die Randbedingungen des Versuchs nicht ohne Weiteres für Böden sinnvoll umsetzbar. Ein Vorschlag hierzu enthält [7].

## 4.2 Beurteilung von Fels

Die Klassifizierung von Fels erfolgt üblicherweise anhand der Druckfestigkeit des Gesteins und des Trennflächenabstands. Häufige Grenzen der Be- und Verarbeitbarkeit liegen bei einaxialen Druckfestigkeiten von 5, 25, 50 und 100 kN/m<sup>2</sup>. Für den Trennflächenabstand sind die in DIN EN 14689 zur Klassifikation vorgesehenen Grenzen von 6, 20 und 60 cm von besonderer Bedeutung.

Für eine Reihe von Bauverfahren ist entscheidend, ob und ggf. wie sich der Fels im Laufe der Bearbeitung oder durch Witterungseinfluss verändert. Das ist z. B. im Erdbau für die Beurteilung der

Lösbarkeit und Möglichkeiten des Wiedereinbaus wichtig. Für die Herstellung von Verankerungselementen hängt die richtige Bohrtechnik davon ab. Auf jeden Fall sollte der Veränderlichkeit von Fels besondere Beachtung geschenkt werden, wenn entsprechende Felsformationen zu erwarten sind. Nach den VOB-Normen wird die Veränderlichkeit von Fels nach DIN EN 14689-1 im Wasserlagerungsversuch ermittelt. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass dieser Versuch die tatsächlich auftretenden Zerfallsmechanismen nicht ausreichend abbildet. Zur besseren Beurteilung der Zerfallsneigung von Gesteinen wurde von [12] ein neuer Versuchsablauf mit entsprechendem Bewertungskriterium auf der Grundlage von Trocken-Feucht-Wechseln entwickelt. Ein weiter differenzierter Versuch ist in [13] erläutert, in dem die Bewertung der Veränderlichkeit anhand von Trocken-Nass-Wechseln in Kombination mit Nasssiebungen erfolgt.

Für verwitterte Gesteine ist zu entscheiden, ob sie als Boden oder als Fels zu beschreiben sind. Diese Entscheidung muss bereits frühzeitig bei der Baugrunderkundung getroffen werden, weil davon auch die zu ermittelnden Parameter abhängen. Derzeit ist das eine gutachterliche Einzelfallentscheidung. Hier wäre es sinnvoll, allgemein anerkannte Entscheidungshilfen zu entwickeln.

## **5 Besonderheiten spezieller Bauverfahren**

### **5.1 Erdarbeiten**

Die Prozesskette der Erdarbeiten umfasst das Lösen, Laden, Transportieren und Einbauen von Boden und Fels. Unter Umständen kommt zwischen Transport und Einbau als weiterer Arbeitsschritt noch das Verbessern bzw. die Verfestigung des Bodens hinzu. Für die verschiedenen Teilprozesse sind ggf. unterschiedliche Eigenschaften des Baugrunds maßgebend, da jeweils verschiedene Gerätschaften eingesetzt werden.

Für das Lösen können die Schichten im Regelfall großzügig zusammengefasst werden. Wenn der gewonnene Boden oder Fels qualifiziert in Erdbauwerke eingebaut werden soll, ist aus bauverfahrenstechnischen Gründen eine differenzierte Betrachtung der zu bearbeitenden Baugrundsichten notwendig.

In der Ausschreibungspraxis umfasst eine Leistungsposition die gesamte Prozesskette vom Lösen bis zum Einbauen [14]. Für die Einteilung der Homogenbereiche ist dann i. d. R. der qualifizierte Einbau maßgeblich. Da aber nicht jeder Boden qualifiziert eingebaut werden kann oder soll, sondern einer untergeordneten Verwendung, z. B. in Geländemodellierungen oder im Bodenlager, zugeführt wird, werden in [7] Leitparameter und Einteilungsgrenzen für das Laden, Lösen, Transportieren und Einbauen getrennt angegeben.

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 165

## 5.2 Rammen, Rütteln, Einpressen

In der VOB/C DIN 18304 werden Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten für das Einbringen von Bauteilen aus Stahl oder Stahlbeton in den Baugrund behandelt.

Die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche wird durch die Eigenschaften des Baugrunds, das Einbringverfahren (Rammen, Rütteln, Pressen) und durch das Rammgut bestimmt. Insofern können allgemeingültige Kriterien für die Einteilung in Homogenbereiche nur für häufig verwendetes Rammgut entwickelt werden [15]. Große Profile, wie sie z. B. im Hafen- und Offshore-Bereich eingesetzt werden, sind im Einzelfall zu betrachten. Im Zweifelsfall sollten Proberammungen durchgeführt werden.

Eine Auswertung der Literatur hinsichtlich relevanter Leitparameter und deren Einteilungsgrenzen für Einbringverfahren zeigen, dass entsprechende Angaben nur lückenhaft, teilweise veraltet, widersprüchlich und auf der Grundlage vieler verschiedener Bewertungsmaßstäbe erfolgt [16]. Die besten Hinweise liefern hier [17] und [18].

Für das Einbringen von Bauteilen bietet es sich an, die Baugrundsichten verschiedener Kategorien hinsichtlich des Widerstands beim Einbringen einzuteilen. Für das Rammen haben sich die Kriterien leichte bis sehr schwere Rammung durchgesetzt. Im Extremfall ist eine Bodenschicht auch als nicht rammbaar zu beurteilen. Hier sind dann Rammhilfen erforderlich, über deren Ausführung anhand der Bodenbeschreibung zu entscheiden ist. Diese Entscheidung muss jedoch bereits im Rahmen der Planungsarbeiten erfolgen, damit die entsprechenden zusätzlichen Arbeiten in die Ausschreibung aufgenommen werden können. Für das Rütteln und Pressen haben sich die Bewertungskategorien entsprechend gut geeignet bis nicht geeignet etabliert.

Dabei wird von einer richtigen Auswahl der Komponenten ausgegangen. Wird z. B. eine zu kleine Ramme gewählt, kann auch ein eigentlich rammbarer Boden Probleme bereiten. Das erfolgreiche Einbringen hängt daher auch ganz wesentlich von der richtigen Geräte- bzw. Verfahrensauswahl ab.

Bei der Beurteilung der Rammpbarkeit einer Schicht ist auch die zu durchteufende Schichtdicke bzw. die erforderliche Eindringtiefe zu berücksichtigen. Eine zumindest geringe Eindringung ist ggf. auch bei im Prinzip nicht rammbaren Böden erreichbar.

Eine Besonderheit ergibt sich für die Abrechnung der Ramm-, Rüttel- oder Pressarbeiten dadurch, dass kein Material gewonnen wird und daher der durchteufte Boden nicht angesprochen werden kann. Eine Abrechnung ist hier nur anhand der zugrunde gelegten Bodenprofile, ggf. auch unter Zuhilfenahme von Einbringprotokollen, oder im Zweifelsfall durch eine nachträgliche Baugrunderkundung möglich.

Insbesondere für Rüttelarbeiten im bindigen Boden ist eine große Bandbreite an Einteilungsgrenzen aus der Literatur ableitbar, sodass entsprechende Werte in [7] sehr konservativ (niedrig) gewählt wurden.

Aufgrund der großen Leistungsfähigkeit moderner Rammgeräte ist unter Berücksichtigung der Randbedingungen des Projekts zu entscheiden, ob bei den Homogenbereichen eine Unterteilung in leichte und mittelschwere Rammung erforderlich ist oder ob entsprechende Schichten zusammengefasst werden können.

## 6 Homogenität des Baugrunds

Der Baugrund ist natürlicherweise heterogen. Boden- bzw. Felsschichten können kleinräumig wechseln. Ein Beispiel für einen inhomogenen Boden zeigt Bild 3, eine Schicht aus schluffigem Sand mit einer tonigen Zwischenschicht, vereinzelt sind Kieskörner und Steine eingelagert.

Hinsichtlich der bautechnischen Eigenschaften für die meisten Gewerke sind beide Schichten nicht vergleichbar und könnten daher eigentlich nicht in einem Homogenbereich zusammengefasst werden, d. h. nach VOB müsste ein Homogenbereich schluffiger Sand und ein Homogenbereich Ton definiert werden. Allerdings ist Folgendes festzustellen:

- Die räumliche Lage der einzelnen Schichten kann nicht zuverlässig erkundet werden.
- Die Schichten aus bautechnischen oder -betrieblichen Gründen sind nicht getrennt ver- und bearbeitbar.
- Das getrennte Aufmaß beider Schichten erfordert einen unangebracht hohen Aufwand, der den Baubetrieb erheblich stören wird.

Daher kann es notwendig sein, Boden- bzw. Felsschichten in einem Homogenbereich zusammenzufassen, obwohl sie hinsichtlich des jeweiligen Bauverfahrens keine vergleichbaren Eigenschaften haben. Die Beschreibung dieses Homogenbereichs anhand der Bandbreite der vorgegebenen Parameter ist dann ggf. so grob, dass der Homogenbereich baubetrieblich schwer einschätzbar ist. In solchen Fällen sind bei der Kalkulation der Arbeiten sehr ungünstige Annahmen zu treffen, da die Geräte- und Verfahrenstechniken mit den Leistungsansätzen auf die schwierigsten Bedingungen abzustimmen sind.

Das ist für verschiedene Bauverfahren ggf. auch unterschiedlich zu bewerten. So bereitet die Inhomogenität des in Bild 3 dargestellten Bodens beim Lösen im Erdbau mit großen Geräten i. d. R. keine Probleme, während die tonigen Zwischenlagen bei Vortriebsarbeiten durchaus relevant sein können.

Eine genauere Geräteauswahl und Kalkulation ist möglich, wenn für einen inhomogenen Bereich die Bandbreiten der Kennwerte für jede Schicht getrennt angegeben werden und ergänzend der prozentuale Anteil der einzelnen Schichten innerhalb eines Homogenbereichs abgeschätzt wird. Diese Angaben gehen deutlich über die Anforderungen der VOB hinaus, aber sie geben eine gute Kalkulationsgrundlage, auf deren Basis der optimale Preis ermittelt werden kann.



Bild 3: Bohrkern mit kleinräumig wechselnden Bodenarten  
*Figure 3: Core sample small scale structured with difficult soil groups*

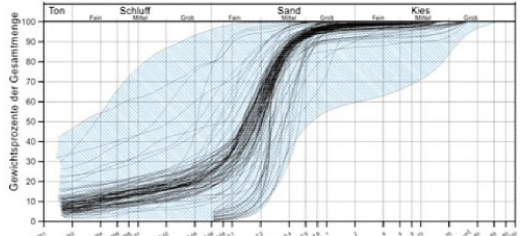
Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 166

## 7 Datenbasis der Kennwerte

Vorgaben zur Ermittlung der in den Vertragsunterlagen anzugebenden Kennwerte und deren Bandbreite macht die VOB nicht. Die Kennwerte können daher auf Labor- bzw. Felduntersuchungen oder auf Erfahrungswerten beruhen. Größere Planungs- und Ausführungssicherheit wird sicherlich auf der Grundlage von Labor- und Feldversuchen erreicht.

Grundsätzlich ist dem Bauherrn der Umfang der geotechnischen Untersuchungen für vertragliche Zwecke freigestellt. Der Auftragnehmer hat die Möglichkeit, anhand der in den VOB-Normen vorgegebenen Parameter und zugehörigen Prüfvorschriften die Angaben der Ausschreibung zu den Homogenbereichen zu überprüfen. Ziel einer bauseitigen Überprüfung ist häufig der Nachweis von Abweichungen zwischen dem Bau-Soll und dem Bau-Ist als Grundlage für Nachträge.

Name der Schicht / ortsübliche Bezeichnung	schluffige Fein- bis Mittelsande
Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern zu überprüfen nach DIN 18123 <sup>1)</sup>	
Massenanteil Steine, Blöcke und große Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1	0 – 5 %
mineralogische Zusammensetzung Steine und Blöcke nach DIN EN ISO 14689-1	-
Bodengruppe nach DIN 18196	SE, SU, ST, SÜ, ST̄ (TL, TM, TA, GI)
Dichte zu überprüfen nach DIN EN ISO 17892-2	1,9 – 2,1 g/cm <sup>3</sup>
Kohäsion zu überprüfen nach DIN 18137-1 bis -3	5 – 20 kPa
undräßierte Scherfestigkeit zu überprüfen nach DIN 4094-4	20 – 150 kPa
Sensitivität zu überprüfen nach DIN 4094-4	-
Wassergehalt zu überprüfen nach DIN EN ISO 17892-1	10 – 35 %
Plastizitätszahl zu überprüfen nach DIN 18122-1	0 – 0,5
Konsistenzzahl zu überprüfen nach DIN 18122-1	0,6 – 1,1
Konsistenz zu überprüfen nach DIN EN ISO 14688-1	überwiegend steif bis halbfest, z. T. weich
Durchlässigkeit zu überprüfen nach der Normenreihe DIN 18130	$1 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Lagerungsdichte D Def. nach DIN EN ISO 14688-2, Best. s. MEH, Kap.2.6.1	sehr locker bis mitteldicht
Sondierwiderstände mit Angabe des Sondierverfahrens	CPT, $q_c = 2,5 - 10$ MPa
Kalkgehalt zu überprüfen nach DIN 18129	0 – 50 %
Organischer Anteil zu überprüfen nach DIN 18128	0 – 1 %
Benennung und Beschreibung organischer Böden zu überprüfen nach DIN EN ISO 14688-1	-
Abrasivität zu überprüfen nach NF P18-579	250 – 750 g/t
Sulfatgehalt (wasserlöslich) zu überprüfen nach DIN EN 1997-2	500 bis 1000 mg/kg
Korndichte zu überprüfen nach DIN 18124	2,6 bis 2,7 g/cm <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> ggf. Anmerkung wenn Steine und Blöcke nicht enthalten sind

Bild 4: Tabellarische Zusammenstellung der Parameter für eine Bodenschicht [7]

Figure 4: Parameter for one soil layer in table form

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 167

Der Nachweis abweichender Verhältnisse ist nur möglich, wenn der Untersuchungsumfang der Nachprüfung in einem sinnvollen Verhältnis zum Untersuchungsumfang im Rahmen der Baugrunderkundung steht. Je umfangreicher der Bauherr im Vorfeld untersucht hat, umso schwieriger wird der Nachweis abweichender Verhältnisse in der Bauphase zu führen sein. Es ist daher davon auszugehen, und das entspricht auch den Erfahrungen aus Projekten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, dass sich ein ausführliches geotechnisches Untersuchungsprogramm im Feld und im Labor durch die erhöhte Ausführungs- und Kostensicherheit bezahlt macht.

Die Bandbreiten für die Parameter, mit denen die Homogenbereiche zu beschreiben sind, sind auf der Grundlage der vorhandenen Kenntnisse anzugeben. Dabei ist es unerheblich, ob Laborversuche durchgeführt wurden oder nur Erfahrungswerte zugrunde liegen. Wurden jedoch Werte im Labor und im Feld ermittelt, so sollten diese zusätzlich mit Erfahrungswerten verglichen und die angegebene Bandbreite ggf. um diese Erfahrungswerte erweitert werden. Eine sogenannte sichere Seite, wie sie z. B. bei charakteristischen Kennwerten der Scherfestigkeit für die Bemessung eindeutig ist, gibt es für die Homogenbereiche nicht.

Im Eurocode 7 (DIN EN 1997-2) wird für Laborversuche zur Bodenklassifikation als Grundlage für die Bemessung ein Mindestumfang je Schicht angegeben. Dieser Mindestumfang ist zunächst auch als Richtwert für die Ermittlung der Kennwerte für Homogenbereiche sinnvoll, i. d. R. reicht dieser Umfang aber nur für weniger komplexe Bauaufgaben.

## 8 Darstellung der Homogenbereiche

Üblicherweise kommen in einem Bauvorhaben mehrere Verfahren des Erd- und Spezialtiefbaus zur Anwendung. Für jedes Verfahren ist der Baugrund gesondert zu beurteilen. Eine einheitliche Einteilung für alle Bauverfahren ist zwar anzustreben, jedoch nicht in allen Fällen möglich. Deshalb bietet es sich an, die Einteilung anhand der Schichten als kleinste Einheit eines Homogenbereichs vorzunehmen. Dafür werden die einzelnen Schichten im ersten Schritt umfänglich mithilfe aller relevanter Parameter beschrieben. Im zweiten Schritt werden die Homogenbereiche für jedes Bauverfahren als Vereinigungsmenge von Schichten dargestellt. Diese Darstellung in den Vergabe- und Vertragsunterlagen sollte dafür folgende Teile beinhalten:

- Für jede Schicht eine tabellarische Zusammenstellung aller Parameter mit Bandbreiten und Körnungsbändern,
- Angabe des Regelwerks, nach dem die Parameter zu überprüfen sind, sofern die VOB/C mehrere Möglichkeiten zulässt,
- Verfahrenabhängige Zusammenfassung der Schichten zu Homogenbereichen in einer Tabelle.

In Bild 4 ist ein Beispiel für die tabellarische Zusammenstellung aller Parameter für eine Bodenschicht dargestellt.

Bild 5 zeigt ein Beispiel für die Zusammenfassung von mehreren Schichten zu Homogenbereichen für verschiedene Bauverfahren. Aus der Bezeichnung der Homogenbereiche sollte zur Vermeidung von Missverständnissen das jeweils referenzierte Bauverfahren ersichtlich sein.

Für die Übersicht der räumlichen Verteilung der Homogenbereiche sollten, sofern kein dreidimensionales Baugrundmodell vorliegt, ergänzende Längs- und Querschnitte mit den Schichten zur Verfügung gestellt werden.

Schicht	Erdarbeiten DIN 18300	Bohrarbeiten DIN 18301	Ramm-, Rüttel-, Pressarbeiten DIN 18304	Nassbaggerarb. DIN 18311
Auffüllungen	Erd-1	Bohr-1	RRP-1	Nass-1
Feinsandige Schluffe				Nass-2
Sande		Bohr-2		Nass-3
Geschiebemergel	Erd-2	Bohr-3	RRP-2	Nass-4
Mergel, verwittert				
Mergel mit Mergelsteinbänken		Bohr-4	RRP-3	
Mergelstein	Bohr-5	Nass-5		
Schlick	Erd-4	-	-	Nass-6

Bild 5: Beispiel für die Darstellung der Homogenbereiche auf Grundlage der Schichten  
 Figure 5: Example for the presentation of homogeneous areas based on the soil layers

Für die Übersicht der räumlichen Verteilung der Homogenbereiche sollten, sofern kein dreidimensionales Baugrundmodell vorliegt, ergänzende Längs- und Querschnitte mit den Schichten zur Verfügung gestellt werden.

## 9 Fazit

Mit der Umstellung der Beschreibung des Baugrunds von Boden- und Felsklassen auf Homogenbereiche wurde ein flexibles Instrument zur vertragsrechtlichen Beschreibung des Baugrunds geschaffen. Mit der hier beschriebenen Systematik zur Verwendung von Leitparametern und Einteilungsgrenzen wird ein praxishereher Bewertungsrahmen für die Homogenbereiche vorgestellt. Es wird vorgeschlagen, dieses Prinzip in der Weiterentwicklung der Homogenbereiche in den VOB-Normen auf der Grundlage des Know-how von Bauherrn, Planern und Bauunternehmen weiterzuentwickeln. Damit wird die Zuverlässigkeit, Transparenz, Übersicht und Genauigkeit der Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche verbessert und letztendlich das Streitpotenzial deutlich reduziert.

In der erreichbaren Genauigkeit, mit denen Parameter angegeben werden können, stoßen die Homogenbereiche an die in der Boden- und Felsmechanik bekannten Grenzen. Das muss bei der Interpretation der angegebenen Werte berücksichtigt werden, z. B. der Anteil der Steine und Blöcke, die Lagerungsdichte und Dichte.

Die Umstellung auf Homogenbereiche hat auch Forschungs- und Regelungsbedarf verdeutlicht. Dies betrifft die

- Ermittlung und Bewertung des Abrasivitätspotenzials von Böden,
- Ermittlung und Bewertung der Veränderlichkeit von Fels,
- Entscheidungskriterien zur Abgrenzung von Boden/ verwitterter Fels.

Kayser (2019): Eine Systematik für die Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche.  
In: geotechnik 42 (2019), Heft 3, S. 160-168.

S. 168

Hilfreich für jedes Bauvorhaben ist, dass durch die Umstellung auf Homogenbereiche die Fachkompetenz an der Schnittstelle Baugrund und -verfahren bereits in der Planungsphase gefragt ist, und nicht erst, wenn die Probleme auf der Baustelle auftreten.

Mit den Homogenbereichen kann der Bauherr den Baugrund hinsichtlich der vertragsrelevanten Kriterien beschreiben. Den sinnvollen Aufwand für ausreichende Feld- und Laboruntersuchungen sollte er nicht scheuen. Damit wird die Planungs- und Ausführungssicherheit und damit auch die Kosten- und Terminalsicherheit erhöht.

## Literatur

- [1] DIN/DVA: VOB Gesamtausgabe 2015, Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil A (DIN 1960), Teil B (DIN 1961), Teil C (ATV). Berlin: Beuth, 2015.
- [2] British Standards Institution (BSI): Code of practice for earthworks. London, 2009.
- [3] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC): Guide technique „Réalisation des remblais et des couches de formes“. Paris, 2000.
- [4] DIN EN 16907-1:2019-04, Erdarbeiten – Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln. Berlin: Beuth, 2019.
- [5] Borchert, K.-M., Große, A.: Veränderung der Boden- und Felsklassen in der VOB Teil C (2015). geotechnik 39 (2016), H. 3, S. 195–204. <https://doi.org/10.1002/gete.201600012>.
- [6] Haugwitz, H.-G., Fuchs, B.: Erste Erfahrungen im Umgang mit den Baugrund-Homogenbereichen im Spezialtiefbau. Beitrag zum 10. RuhrGeo Tag am 21. März 2019 in Wuppertal, S. 109–129.
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche nach VOB/C (MEH), [https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWMerkblatt\\_Homogenbereiche\\_MEH\\_2017\\_final.pdf](https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWMerkblatt_Homogenbereiche_MEH_2017_final.pdf), Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe, 2017.
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.): Zusätzliche Technische

- Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB 17). Köln, 2017.
- [9] LCPC NF-P 18-579:2013, Gesteinskörnungen – Bestimmung der Koeffizienten für Abrieb und Brechbarkeit. Berlin: Beuth, 2013.
- [10] Thuro, K., Käsling, H.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität – Versuchstechniken und Anwendung. Tagungsband der 31. Baugrundtagung der DGGT. München, 2010.
- [11] Richter, A.: Der LCPC-Versuch zur Bestimmung der Abrasivität von Böden. Beitrag zum BAW-Kolloquium am 13. September 2018 in Hamburg. Bundesanstalt für Wasserbau, 2018.
- [12] Nickmann, M., Thuro, K.: Ingenieurgeologische Untersuchungen zur Charakterisierung veränderlich fester Gesteine. *geotechnik* 33 (2010), H. 4, S. 320–325.
- [13] Knopp, J., Moormann, Ch.: Klassifizierung der verwitterungsabhängigen Zerfallsneigung veränderlich fester Gesteine. *geotechnik* 41 (2018), H. 4, S. 241–253. <https://doi.org/10.1002/gete.201800005>.
- [14] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg.): Standardleistungskatalog für den Wasserbau – Erdarbeiten, Leistungsbereich 205. Bundesanstalt für Wasserbau, Ausg. März 2016.
- [15] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Hrsg.): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle). 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2012.
- [16] Schneider, A.: Festlegung der Einteilungsgrenzen für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten. Beitrag zum BAW-Kolloquium „Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche“ am
- [17] 30. Januar 2018 in Hannover. Bundesanstalt für Wasserbau, download <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105252> bzw. 105284.
- [18] ArcelorMittal: Piling Handbook, 9th Edition. Luxemburg, 2016.
- [19] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Hrsg.): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen EAU 2012. 11. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2012.

## **Autor**

Dr. Jan Kayser  
Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe