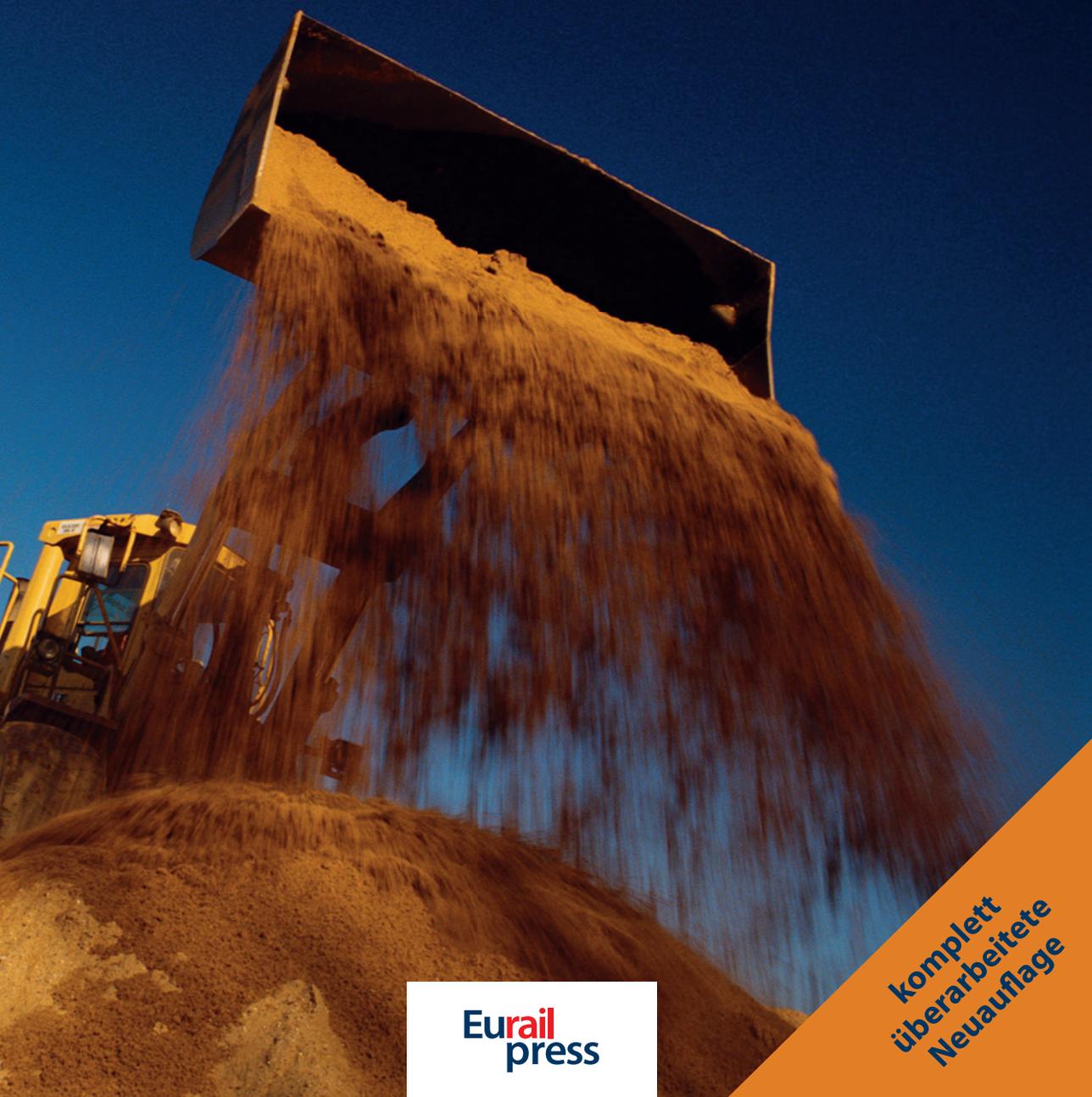


Claus Göbel · Klaus Lieberenz (Hrsg.)

HANDBUCH

Erdbauwerke der Bahnen

Planung · Bemessung · Ausführung · Instandhaltung



Eurail
press

**komplett
überarbeitete
Neuaufgabe**

HANDBUCH

Erdbauwerke der Bahnen

Planung · Bemessung · Ausführung · Instandhaltung

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Göbel, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

Autoren:

Dipl.-Geol. Ralph Fischer, DB Netz AG, Frankfurt

Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Göbel, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

Dipl.-Ing. Dirk Wegener, GEPRO Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Weisemann, Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur,
Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; Detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.de> abrufbar.

Verlag:	DVW Media Group GmbH Eurailpress Postfach 10 16 09, D-20010 Hamburg Nordkanalstraße 36, 20097 Hamburg Telefon: +49 (0)40 - 237 14 02 Telefax: +49 (0)40 - 237 14 236 E-Mail: eurailpress@dvwmedia.com Internet: www.eurailpress.de , www.dvwmedia.com
Verlagsleitung:	Detlev K. Suchanek
Lektorat und Herstellungskoordination:	Dr. Bettina Guiot (verantwortl.), Ulrike Schüring
Anzeigen:	Silke Härtel (verantwortl.)
Vertrieb und Buchservice:	Riccardo di Stefano
Umschlaggestaltung:	Karl-Heinz Westerholt
Titelbild:	Getty Images
Druck:	TZ-Verlag & Print GmbH, Roßdorf
Copyright:	© 2013 DVW Media Group GmbH, Hamburg

Das Buch einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

2., komplett überarbeitete Neuauflage, ISBN 978-3-7771-0430-0

Eine Publikation der DVW Media Group



Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	13
1 Einführung	15
1.1 System Bahn.....	15
1.2 Geschichte des Erd- und Streckenbaus.....	16
2 Eisenbahntechnische Grundlagen	26
2.1 Schienenbahnen – Rad-Schiene-System	26
2.2 Begriffe.....	29
2.3 Querschnittsgestaltung	34
2.3.1 Grundsätze.....	34
2.3.2 Streckenquerschnitte.....	35
2.3.3 Bahnhofsquerschnitte.....	40
2.4 Beanspruchung des Unterbaus und der Erdbauwerke	42
2.4.1 Überblick	42
2.4.2 Statische Erfassung der Einwirkungen aus Eisenbahnverkehr durch Lastbilder und Lastmodelle	44
2.4.3 Quasistatische Erfassung der Einwirkungen aus dem Verkehr für das gleisnahe Tragsystem durch die Oberbauberechnung.....	55
2.4.4 Berechnung der Vertikalspannungen im Unterbau.....	61
2.4.5 Erfassung der dynamischen Einwirkungen aus dem Eisenbahnverkehr	67
2.5 Beanspruchung durch Witterungsfaktoren	71
2.5.1 Einführung	71
2.5.2 Einfluss des Frostes	71
2.5.3 Einfluss des Wassers	73
2.5.4 Einfluss von Hitze und Sonneneinstrahlung	76
2.5.5 Einfluss von Wind	76

3	Geotechnische Grundlagen	77
3.1	Geotechnische Untersuchungen	77
3.1.1	Ziel und Umfang geotechnischer Untersuchungen	77
3.1.2	Sachverständiger für Geotechnik und Geotechnische Berichte	78
3.1.3	Erkundungsverfahren	79
3.2	Benennung, Beschreibung und Klassifizierung der Böden	87
3.2.1	Benennung und Beschreibung der Böden in situ	87
3.2.2	Klassifizierung der Böden	92
3.3	Zustandsbeschreibung	100
3.3.1	Dichte	100
3.3.2	Konsistenz	101
3.4	Scherfestigkeit	102
3.4.1	Scherversuche	102
3.4.2	Direktscherversuch	102
3.4.3	Einfluss von Porenwasserdrücken	103
3.5	Verformungsverhalten	105
3.5.1	Verformungsmoduln	105
3.5.2	Druckversuche	106
3.5.3	Plattendruckversuche	108
3.5.4	CBR-Versuch	113
3.6	Durchlässigkeit und Kapillarität	115
3.6.1	Durchlässigkeit	115
3.6.2	Kapillarität	116
3.7	Filterstabilität	118
3.8	Frostkriterien	121
3.8.1	Frostkriterium für Böden	121
3.8.2	Frostkriterium für Materialien der Schutzschichten	122

3.9	Verdichtung	124
3.9.1	Grundlagen.....	124
3.9.2	Verdichtungsgrad.....	124
3.9.3	Proctorversuch	125
3.9.4	Verdichtungskontrolle.....	126
3.10	Kontamination – Belastung von Böden	128
4	Bemessung geotechnischer Bauwerke	130
4.1	Grundlagen	130
4.2	Geotechnische Kategorien.....	132
4.3	Bemessung geotechnischer Bauwerke nach Eurocode 7 (EC 7).....	133
4.3.1	Entwicklung einer neuen Normengeneration	133
4.3.2	Grenzzustände und Bemessungssituationen.....	136
4.3.3	Einwirkungen, Beanspruchungen, Widerstände	137
4.3.4	Charakteristische und Bemessungswerte	138
4.3.5	Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS).....	142
4.3.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS).....	144
4.4	Beobachtungsmethode.....	145
4.5	Gebrauchstauglichkeit von geotechnischen Bauwerken	146
4.5.1	Gebrauchstauglichkeit von Erdbauwerken	146
4.5.2	Gebrauchstauglichkeit von Stützkonstruktionen	156
4.6	Tragfähigkeit von geotechnischen Bauwerken	158
4.6.1	Tragfähigkeit von Erdbauwerken	158
4.6.2	Tragfähigkeit von Stützkonstruktionen	159
4.7	Nachweis der dynamischen Stabilität	164
4.7.1	Dynamische Beanspruchung und Notwendigkeit eines Nachweises	164
4.7.2	Qualitative Bewertung	165

4.7.3	Rechnerisches Untersuchungs- und Nachweisverfahren.....	168
4.7.4	Bodendynamische Kennwerte	169
4.7.5	Maßgebende Einwirkungen.....	174
4.7.6	Gleisdynamische Berechnungen	175
4.7.7	Bodendynamische Berechnungen	186
4.7.8	Nachweis der dynamischen Stabilität.....	190
4.8	Bewertung bestehender geotechnischer Bauwerke.....	193
4.8.1	Allgemeines	193
4.8.2	Bewertung nach der <i>Richtlinie 836</i>	193
4.8.3	Ergänzende Empfehlungen	196
4.9	Berechnungsbeispiele nach <i>EC 7-1/DIN 1054</i>	198
4.9.1	Beispiel einer Setzungsrechnung.....	198
4.9.2	Berechnungsbeispiele für Erdbauwerke und Stützkonstruktionen.....	204
4.9.3	Berechnungsbeispiel für eine geogitterbewehrte Stützkonstruktion	205
5	Planung und Ausführung geotechnischer Bauwerke	222
5.1	Einführung.....	222
5.2	Planungsgrundsätze.....	225
5.2.1	Konstruktionsgrundsätze	225
5.2.2	Neubaustrecken	226
5.2.3	Bestehende Eisenbahnstrecken.....	228
5.3	Querneigung von Planien	231
5.4	Vorbereitung der Oberfläche Untergrund	231
5.5	Regelanforderungen an die Schutzschicht und den Unterbau/Untergrund	233
5.5.1	Abzusichernder Tragbereich.....	233
5.5.2	Regelanforderungen an die Dichte	233
5.5.3	Regelanforderungen an die Verformungsmoduln.....	234

5.5.4	Bodenbehandlung mit Bindemitteln	239
5.5.5	Erdbaukonzepte bei Neubaustrecken mit Fester Fahrbahn	242
5.5.6	Randwege	246
5.6	Eisenbahndämme	246
5.6.1	Dammschüttstoffe	246
5.6.2	Damböschungen	248
5.6.3	Einbau und Verdichtung	249
5.7	Eisenbahnanschnitte	252
5.8	Eisenbahneinschnitte	252
5.8.1	Einschnitte im Lockergestein.....	252
5.8.2	Einschnitte im Festgestein.....	255
5.9	Sicherungsmaßnahmen an Böschungen.....	259
5.9.1	Bautechnische Sicherungsmaßnahmen an Lockergesteinsböschungen.....	259
5.9.2	Biologische Sicherungsmaßnahmen an Lockergesteinsböschungen.....	261
5.9.3	Uferschutz an Lockergesteinsböschungen.....	267
5.9.4	Sicherungsmaßnahmen an Felsböschungen.....	270
5.10	Übergänge zwischen Erd- und Kunstbauwerken.....	276
5.10.1	Problemstellung	276
5.10.2	Ausbildung der Übergänge	278
5.11	Einbauten und ergänzende Anlagen.....	282
5.11.1	Arten.....	282
5.11.2	Kabeltrassen.....	283
5.11.3	Absturzsicherungen	287
5.11.4	Zuwegungen.....	288
5.12	Qualitätssicherung.....	288
5.12.1	Dichte und Verformungsmoduln	288
5.12.2	Einbaugeometrie.....	294

6	Schutzschichten.....	295
6.1	Funktion und Ausbildung von Schutzschichten.....	295
6.2	Entscheidung für eine Planumsverbesserung.....	296
6.3	Lage und Dimensionierung von Schutzschichten.....	300
6.3.1	Anordnung und Auswahl der Korngemische	300
6.3.2	Bestimmung der Dicke von Schutzschichten	303
6.4	Schutzschichtmaterialien	313
6.4.1	Gesteinskörnungen.....	313
6.4.2	Korngemische	313
6.4.3	Gütesicherung	321
6.4.4	Filter- und Trennstabilität	323
6.5	Schutzschichten mit Zusatzmaßnahmen	326
6.5.1	Geokunststoffe	326
6.5.2	Bodenbehandlung mit Bindemitteln unter Schutzschichten	336
6.5.3	Mechanische Bodenverbesserung	341
6.5.4	Bodenaustausch.....	342
6.5.5	Abdichtungsmaßnahmen in Wasserschutzgebieten	342
6.6	Einbau von Schutzschichten.....	347
6.6.1	Gleisloser und gleisgebundener Einbau.....	347
6.6.2	Qualitätssicherung	351
7	Entwässerung des Bahnkörpers	353
7.1	Aufgabe und Notwendigkeit.....	353
7.2	Wasser im Boden.....	353
7.2.1	Erscheinungsformen des Wassers	353
7.2.2	Entwässerbarkeit der Böden.....	355

7.3	Grundsätze einer naturnahen Entwässerung	357
7.4	Ableitung des Oberflächenwassers	358
7.4.1	Schutzschicht und Planum	358
7.4.2	Bahngräben.....	359
7.4.3	Mittinentwässerung.....	362
7.5	Tiefenentwässerungen	363
7.5.1	Aufgaben und Anordnung.....	363
7.5.2	Sickerrohrleitungen	365
7.5.3	Filter	369
7.5.4	Schächte	380
7.5.5	Sammelleitungen	383
7.5.6	Kunststoffrohre	384
7.6	Versickerung und Versickerungsanlagen.....	386
7.7	Kombinierte Entwässerung	389
7.8	Sonstige Entwässerungselemente.....	389
7.9	Vorflut	391
7.9.1	Grundsätze.....	391
7.9.2	Vorflutanlagen.....	391
7.10	Entwässerung sonstiger Bahnanlagen	392
7.10.1	Gleis- und Weichenanlagen von Bahnhöfen.....	392
7.10.2	Bahnsteige und Bahnübergänge.....	395
7.10.3	Böschungen	397
7.11	Instandhaltung von Entwässerungsanlagen	400
7.11.1	Dokumentation der Anlagen.....	400
7.11.2	Instandhaltungsdurchführung.....	401
7.12	Hydraulische Bemessung	403
7.12.1	Berechnungswassermenge.....	405

7.12.2	Bahngrabenquerschnitt.....	408
7.12.3	Rohrleitungen	410
7.12.4	Berechnungsbeispiel.....	411
8	Stützkonstruktionen	413
8.1	Einführung.....	413
8.2	Massive Stützkonstruktionen.....	414
8.3	Wandartige Stützkonstruktionen	415
8.4	Flexible Stützkonstruktionen.....	417
8.4.1	Gestaltung, Wirkungsweise, Anwendung	417
8.4.2	Gabionenwände	418
8.4.3	Raumgitterwände	418
8.4.4	Geogitterbewehrte Stützkonstruktionen	418
8.4.5	„Bewehrte-Erde“-Stützkonstruktionen.....	422
8.5	Konstruktive Böschungssicherungen.....	422
8.6	Randwegkonstruktionen	425
8.7	Stützmaßnahmen	429
8.7.1	Sicherungsbereiche	430
8.7.2	Temporäre Gleissicherungen.....	432
9	Ertüchtigung der Fahrweggründung und der Erdbauwerke	435
9.1	Ertüchtigungskonzepte	435
9.2	Vorbereitung der Ertüchtigung.....	438
9.3	Ertüchtigung der Fahrweggründung.....	439
9.3.1	Ertüchtigungsverfahren	439
9.3.2	Temporäre Überschüttung	446

9.3.3	Bodenaustauschverfahren	446
9.3.4	Bodenverdichtungsverfahren	453
9.3.5	Bodenverfestigungsverfahren.....	464
9.3.6	Bodenentwässerungsverfahren.....	470
9.3.7	Bodenbewehrungsverfahren	478
9.3.8	Sonderverfahren	494
9.4	Ertüchtigung der Erdbauwerke	495
9.4.1	Lockergesteinsböschungen	495
9.4.2	Eisenbahndämme.....	498
9.4.3	Eisenbahneinschnitte	505
9.4.4	Monitoring	509
10	Instandhaltung	516
10.1	Grundlagen der Instandhaltung	516
10.2	Instandhaltung des Unterbaus.....	517
10.3	Instandhaltung der Erdbauwerke und sonstigen geotechnischen Bauwerke	520
10.3.1	Bauwerksklassen.....	520
10.3.2	Inspektion	521
10.3.3	Wartung und Instandsetzung	523
Das Autorenteam.....		524
Literaturverzeichnis		526
Stichwortverzeichnis		542
Inserentenverzeichnis		551

Vorwort

Mit der kontinuierlichen Erhöhung der Geschwindigkeiten und Achslasten an bestehenden Eisenbahnstrecken sowie dem Neubau von Hochgeschwindigkeitsstrecken in den letzten Jahrzehnten gewannen die Probleme des Erdbaus und der Geotechnik zunehmend an Bedeutung. Darauf wurde von den Herausgebern mit einem speziellen Schrifttum reagiert, so dass nach den Fachbüchern „Eisenbahnunterbau“ (Göbel/Richter, 1988) „Der Eisenbahnunterbau“ (Göbel/Lieberenz/Richter, 1996) und der 1. Auflage des „Handbuch Erdbauwerke der Bahnen“ (Göbel/Lieberenz, 2004) nun die zweite komplett überarbeitete Auflage des zuletzt genannten Handbuchs vorliegt. Diese Überarbeitung war durch die europäische Harmonisierung der Normen und Vorschriften der Geotechnik, die Weiterentwicklung des Regelwerks der Eisenbahn sowie neue Entwicklungen in der Bau- und Verfahrenstechnik notwendig geworden. Die Herausgeber freuen sich darüber, dafür weitere jüngere Autoren gewonnen zu haben.

Im Juli 2012 wurde der *Eurocode 7 (EC 7)* „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ in den europäischen Ländern eingeführt. Die bauaufsichtliche Einführung des EC 7 durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) wird im Jahr 2013 erfolgen. Damit wurde ein langjähriger Prozess der Harmonisierung der europäischen Normen im Wesentlichen abgeschlossen. Der EC 7 schafft die Voraussetzungen, Ausschreibungen und Verträge europaweit zu vereinheitlichen und so bestehende Handelshindernisse zwischen den europäischen Staaten weiter abzubauen. Der EC 7 stellt eine „Regenschirmnorm“ oder Rahmennorm dar, die für alle Länder verbindliche allgemeine Regeln und Begriffe enthält. Diese Norm lässt aber auch Freiräume, die von den europäischen Ländern für länderspezifische Regelungen genutzt werden können. Insofern mussten viele nationale geotechnische Normen überarbeitet sowie inhaltlich und strukturell an den EC 7 angepasst werden.

Auch die *Ril 836* der Deutsche Bahn AG wurde als wichtigstes Regelwerk für die Erdbauwerke der Bahnen mit ihren Ausgaben 2008 und 2012 in wesentlichen Teilen überarbeitet und weiterentwickelt. Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit geotechnischer Bauwerke der Eisenbahn gehört jetzt auch der Nachweis der dynamischen Stabilität, der bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und kritischen Baugrundverhältnissen zu führen ist.

Mit der Einführung des weiterentwickelten Regelwerkes ist allerdings auch ein Umdenken bezüglich langjährig verwendeter Begriffe wie beispielsweise „Planum“ und „Tragfähigkeit“ verbunden. So bezeichnet der Begriff **Planum** künftig nicht mehr die Oberfläche von Trag- oder Schutzschichten, sondern die „technisch bearbeitete Fläche des Unterbaues bzw. Untergrundes“, für die bisher der Begriff Erdplanum galt. Der Begriff **Tragfähigkeit** wurde über viele Jahrzehnte im Zusammenhang mit der Begrenzung von Verformungen des Tragsystems von Verkehrswegen verwendet. Eine Eisenbahnstrecke oder eine Straße wurde als „tragfähig“ bezeichnet, wenn die infolge der Verkehrslasten auftretenden Verformungen auf unschädliche Werte begrenzt waren (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit). Nach EC 7 ist der Begriff Tragfähigkeit aber künftig nur noch im Zusammenhang mit Bruchzuständen in geotechnischen Bauwerken zu verwenden und damit dem Grenzzustand der Tragfähigkeit zugeordnet. Zur Bezeichnung des Verformungsverhaltens von geotechnischen Bauwerken der Eisenbahn empfehlen die Autoren deshalb die Verwendung der Begriffe **Verformbarkeit** und **Verformungsmodul**, die zum Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gehören.

Während die Ausgabe 1999 der *Ril 836* noch unter dem Titel „*Erdbauwerke planen, bauen und instand halten*“ erschien, wurde – der internationalen Entwicklung folgend – für die Ausgaben 2008 und 2012 der Titel „*Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten*“ gewählt und damit der Oberbegriff **Geotechnische Bauwerke** eingeführt. Entsprechend wurde das vorliegende Handbuch um das Kapitel 8 „Stützkonstruktionen“ als sonstige geotechnische Bauwerke erweitert. Auf eine Darstellung der Durchlässe und Querungen an Eisenbahnstrecken wurde allerdings verzichtet, weil dazu eine umfangreiche Spezialliteratur vorliegt.

Das vorliegende Buch ist kein Kommentar zur *Ril 836*. Es enthält neben der Erläuterung und geotechnischen Begründung von Festlegungen im Regelwerk der Bahn auch Berechnungs- und Anwendungsbeispiele, neue Erkenntnisse und Verfahren sowie einige Vorschläge für die Weiterentwicklung des Regelwerks. Gleichwohl gelten im rechtlichen Sinne für die Planung und Ausführung von geotechnischen Bauwerken der Eisenbahn nur die Festlegungen des gültigen eisenbahnspezifischen Regelwerks.

Wir wenden uns mit diesem Buch vorrangig an die Mitarbeiter der Bahnen, aber auch an alle in der Planung und Ausführung von geotechnischen Bauwerken der Bahnen tätigen Fachkollegen. Die Darstellung sowohl der eisenbahntechnischen als auch der geotechnischen Grundlagen in einem Buch ermöglicht eine komplexe Betrachtung des Gesamtsystems Oberbau-Unterbau-Untergrund einer Eisenbahnstrecke. Durch diese Komplexität und die umfassende Darstellung des neuen Teilsicherheitskonzepts in der Geotechnik kann es auch für Studenten an Universitäten und Fachhochschulen sowie den in der Weiterbildung tätigen Fachkollegen eine wertvolle Hilfe sein.

Trotz intensiver Recherchen und größter Sorgfalt bei der Manuskriptbearbeitung sind inhaltliche Fehler nicht gänzlich auszuschließen. Dafür können die Autoren und der Verlag keine Haftung übernehmen. Helfen Sie bitte dem Verlag und uns, eventuelle Fehler zu erkennen sowie durch kritische Hinweise und Anregungen das Buch weiter zu verbessern.

Wir bedanken uns bei unseren Mitautoren sowie bei allen Fachkollegen und Institutionen, die uns bei der Bearbeitung des vorliegenden Buches unterstützt haben, vor allem aber bei der *Deutsche Bahn Netz AG* für die Freigabe wichtiger Abbildungen aus der *Ril 836* sowie bei der *BBG Bauberatung Geokunststoffe* in Espelkamp für die Unterstützung bei der Erarbeitung des Berechnungsbeispiels für eine geogitterbewehrte Stützkonstruktion unter einem Eisenbahndamm. Unser besonderer Dank gilt der *Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Verkehrs- und Tiefbau und Umweltschutz Dresden GEPRO* für die Hilfe bei der zeichnerischen Fertigung der Abbildungen sowie für vielfältige fachliche Anregungen und Unterstützungen.

Dem Verlag danken wir für die gute Zusammenarbeit sowie die Geduld und das Verständnis bei der durch die Umgestaltung des Regelwerks nicht immer leichten Erarbeitung des Manuskripts.

Dresden, im Dezember 2012

Claus Göbel
Klaus Lieberenz

1 Einführung

Klaus Lieberenz

1.1 System Bahn

Unter dem Begriff **Bahnen** sollen Reibungsbahnen verstanden werden, bei denen die zur Bewegung der Züge notwendigen Kräfte ausschließlich durch Reibung zwischen Rad und Schiene übertragen werden und die als Schienenbahnen dem Personen- und Gütertransport dienen.

Die **Trassierung** von Schienenbahnen erfolgt in Abhängigkeit von der Entwurfsgeschwindigkeit und der Geländeform, wobei die Steigungs- und Krümmungsverhältnisse mit ihren Widerständen, die von der Zugkraft der Lokomotive überwunden werden müssen, maßgebend für die Anlage einer Flachland-, Hügelland- oder Gebirgsbahn sind. Die Anpassung der Gradienten an die Geländeform erfolgt mit Unterbauten, die als Erd- oder Kunstbauwerke erstellt werden können. Der größte Teil der bestehenden Eisenbahnstrecken wird auf Erdbauwerken in Damm-, Einschnitts- oder Anschnittlage bzw. in Geländegleiche geführt; im bestehenden Streckennetz sind dies in Abhängigkeit von der Trassierung als Flachland- oder Gebirgsbahn bis zu 97 % der Streckenlänge. Bei Neubaustrecken mit höheren Entwurfsgeschwindigkeiten, entsprechend gestreckter Linienführung und geringer Längsgefälle, kann der Anteil an Kunstbauwerken (Tunnel und Brücken) deutlich auf bis zu 50 % steigen.

Die **Erdbauwerke** stellen somit einen wesentlichen Bestandteil des Fahrwegs dar. Dabei wird bei Gebirgs- und Hügellandbahnen ein Massenausgleich angestrebt und im Flachland in leichter Dammlage zur Sicherung einer ausreichenden Entwässerung gebaut. Um die Bahnen sicher und ohne Betriebsbeschränkungen betreiben zu können, müssen die Erdbauwerke sowohl standsicher (**tragfähig**) als auch verformungsarm (**gebrauchstauglich**) ausgebildet sein. Die Erdbauwerke der Bahnen sind so zu planen und zu bauen, dass die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ihrer statisch wirksamen und sicherheitsrelevanten Bauteile für einen Nutzungszeitraum von 120 Jahren instandhaltungsarm gewährleistet ist. Dies setzt voraus, dass alle Einwirkungen auf die Erdbauwerke bekannt sind und entsprechend berücksichtigt werden. Die wichtigsten Einwirkungen entstehen aus den Verkehrslasten, aber auch Massenkräfte aus den Eigenlasten der Erdkörper, Strömungskräfte und klimatische Einwirkungen sind von großer Bedeutung. Zusätzliche Einwirkungen können sich aus Kreuzungen mit anderen Verkehrswegen sowie mit Wasserläufen oder Medienleitungen ergeben.

Die Erdbauwerke werden durch diese Einwirkungen hoch belastet. Da auf dem Fahrweg neben Gütern vor allem Menschen befördert werden, hat die Sicherheit oberste Priorität. Das Erdbauwerk hat seine Aufgabe grundsätzlich dann erfüllt, wenn die Eisenbahnstrecke für die vorgesehene Verkehrsbeanspruchung und den geforderten Nutzungszeitraum bei Einhaltung des notwendigen Reisekomforts ohne Einschränkungen verfügbar ist. Das setzt eine standsichere und verformungsarme Bemessung der Erdbauwerke voraus, wozu die intensiven Wechselwirkungen (Interaktionen) und gegenseitigen Beeinflussungen zwischen den einzelnen Elementen der Erdbauwerke und zum Oberbau bekannt sein und entsprechend berücksichtigt werden müssen. Die Erdbauwerke sind dabei grundsätzlich als Ingenieurbauwerke aufzufassen und zu bemessen.

Das bestehende Streckennetz ist überwiegend bereits im 19. Jahrhundert unter den damaligen begrenzten technischen Möglichkeiten errichtet worden. Viele Probleme, die bei der Instandhaltung und dem Ausbau heute gelöst werden müssen, sind eine Folge des Erdbaues vor 100 bis 180 Jahren und der seitdem realisierten Belastungserhöhung. Auf steigende Belastungen und höhere Anforderungen aufgrund höherer Geschwindigkeiten und Radsatzlasten wurde meist nur mit Maßnahmen im Oberbau reagiert. Unter der Einwirkung der Eigen- und

Verkehrslasten trat bei Erdbauwerken zumeist eine Nachverdichtung im Druckbereich des Gleises bzw. eine Konsolidierung oder Teilkonsolidierung ein, so dass sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat.

Der Ausbau der Eisenbahninfrastruktur zu einem nachhaltig leistungsfähigen Verkehrsnetz orientiert sich auf Hochleistungsstrecken mit höheren Geschwindigkeiten und/oder höheren Radsatzlasten. Während Neubaustrecken mit ihren Erdbauwerken nach heutigem Standard errichtet werden können, entsprechen bei bestehenden Strecken Untergrund und Erdbauwerke oftmals in geotechnischer und geometrischer Sicht nicht den heutigen Anforderungen. Bei diesen Strecken kann eine Erhöhung der Verkehrsbelastung (Geschwindigkeit, Radsatzlast, Streckenbelegung) zu Problemen in der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der Erdbauwerke sowie zu Einschränkungen in der Verfügbarkeit der Strecken führen. Dann wird eine Ertüchtigung/Instandhaltung der bestehenden Erdbauwerke notwendig, die mit einer Vielzahl vor allem geotechnischer aber auch geometrischer, betrieblicher und zunehmend auch ökologischer Probleme verbunden ist. Um diese Probleme umfassend werten zu können, ist ein Wissen über die Bedingungen beim Bau der Strecken und den Erdbau im 19. Jahrhundert hilfreich.

1.2 Geschichte des Erd- und Streckenbaus

Als informative Quellen können dazu insbesondere die in Wien im Jahre 1876 erschienenen Bücher von Heyne (1876) „*Der Erdbau in seiner Anwendung*“ und von Rziha (1876) „*Eisenbahn-Unter- und Oberbau*“ genutzt werden. Einen guten Überblick gestattet auch die bis 1923 erschienene „*Enzyklopädie des Eisenbahnwesens*“ von v. Röll (1912/1923). Mit Zitaten und Bildern vorwiegend aus diesen Quellen soll ein Überblick über die Geschichte gegeben werden.

Erdbauten wurden als „*Bauten, die aus dem Materiale, so wie es die Natur liefert, ohne besondere Bearbeitung durch gewöhnliche Tagelöhner hergestellt werden*“ charakterisiert. Als Ziel wurde definiert „*eine Scholle Erde von einem Fleck wegzuheben und an einem anderen niederzulegen*“. Der Erdbau hatte von Anfang an eine wesentliche Bedeutung, da frühzeitig erkannt wurde, dass er zu maßgebenden Kosten für einen Streckenbau (bis zu 65% der Gesamtkosten) führte und eine unrationelle Anlage und Ausführung das ganze Bauwerk in Frage stellen kann.

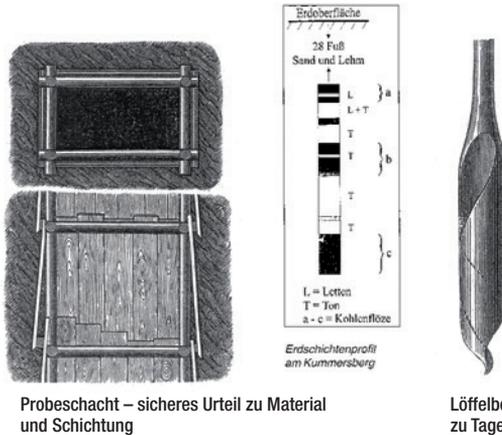
Als Teil der Vorarbeiten wurden „*Terrain-Sondierungen*“ durchgeführt, um den Boden und seine bautechnischen Eigenschaften genauer zu erfassen. Dabei war damals schon klar, dass „*eine Ermittlung der Erdarten, welche auf mathematische Schärfe Anspruch machen kann, wohl niemals erzielt*“ werden kann. Abb. 1.1 macht die Probennahme, die Bodenansprache und den erforderlichen Inhalt des Berichtes deutlich. „*Hervorragende Capazitäten*“ befassten sich mit dem Erdbau und besonders mit dem Erddruck, den Böschungsverhältnissen und der Wirkung der Kohäsion (Abb. 1.2).

Zur „*Tracirung und Profilirung*“ wurden gemäß Abb. 1.3 bereits entsprechende hölzerne Lehren, Böschungswinkel und Messlatten verwendet.

Die Ausführung des Erdbaues wurde in die Teilprozesse

- Bodengewinnung oder Erzeugung,
- Bodenförderung oder Verführung,
- Einbringen der Bodenmassen oder Aufschüttung und
- Sicherung der Erdkörper

untergliedert.



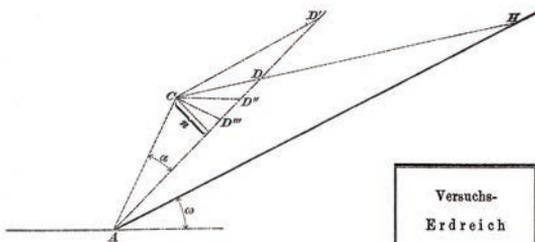
Probeschacht – sicheres Urteil zu Material und Schichtung

Löffelbohrer – Material kommt nahezu unverändert zu Tage, wie es in der Natur gelagert

Bericht, der erkennen lassen soll:

- welche Gewinnungskosten die Bodenmassen voraussichtlich erfordern werden
- welche Massen zur Bildung der Aufträge, für Pflasterungen und Mauern geeignet sind
- welche Böschungsneigungen anzuwenden sind
- ob Schwierigkeiten und Gefahren für den Bau wegen wasserführender Schichten, Rutschflächen, unzuverlässiger Grunde und dgl. vorliegen

Abb. 1.1: „Terrain-Sondierungen“



- Linie A-H
- Natürliche Böschung gehalten durch den Reibungswiderstand
- Linie A-C
- Steilste Böschung gehalten durch Cohäsionskraft

„Die Kraft, welche einen Absturz des Erdreiches zu veranlassen strebt, ist die Schwerkraft; dieser entgegen wirken die Cohäsionskraft und die Reibung“

Coulombs 1773
Theorie über den Erddruck

Ermittlung der Erdschübe und Erdwiderstände auf empirisch-theoretischem Wege auch graphisch

Versuchs-Erdreich	Erdgewicht pr. Kubikfuß in Wiener Pfunden Zustand		Cohäsion der gestampften Erde in Wr. Pfd.	Natürliche Böschung	
	locker	gestampft		$t g \psi$	$\chi \psi$
Dammerde	natürlich feucht 70·7	94·4	100·0	1·10	47° 44'
Lehmerde	staubtrocken 85·0	89·6	93·7	1·21	50° 26'
Lehmerde	etwas feucht 77·7	107·0	166·6	1·21	50° 26'
Sand	trocken o. etwas feucht 96·5	—	—	1·4	54° 50'

Erdgewicht, Cohäsion und Böschungswinkel nach de Köszezh (ca. 1860)

Abb. 1.2: Bestimmung der Böschungsverhältnisse

Die **Geometrie der Erdkörper** aus den Anfängen der Eisenbahn machen die Querschnitte der *Leipzig-Dresdener Eisenbahn* nach Borchert (1989) in Abb. 1.4 ersichtlich. Die Planumsbreite einer zweigleisigen Strecke betrug ca. 6,80 m, die Böschungsneigung 1:1,25 bis 1:1,5 und die Grabentiefe ca. 0,56 m.

Das **Lösen und Laden** bzw. die „Erzeugung der Böden“ beinhaltet das „Bodenmaterial von dem ihm von der Natur angewiesenen Platze loszutrennen und in transport- und verarbeitungsfähige Größe zu bringen“. Dies erfolgte von Hand, wobei als Werkzeuge Spaten, Schaufeln, Spitzhacken und Keile mit Schlägel unterschiedlichster regionaler Bauart (Abb. 1.5) verwendet wurden. Feste Gesteinspartien wurden gesprengt. Für die Entnahme der Böden im

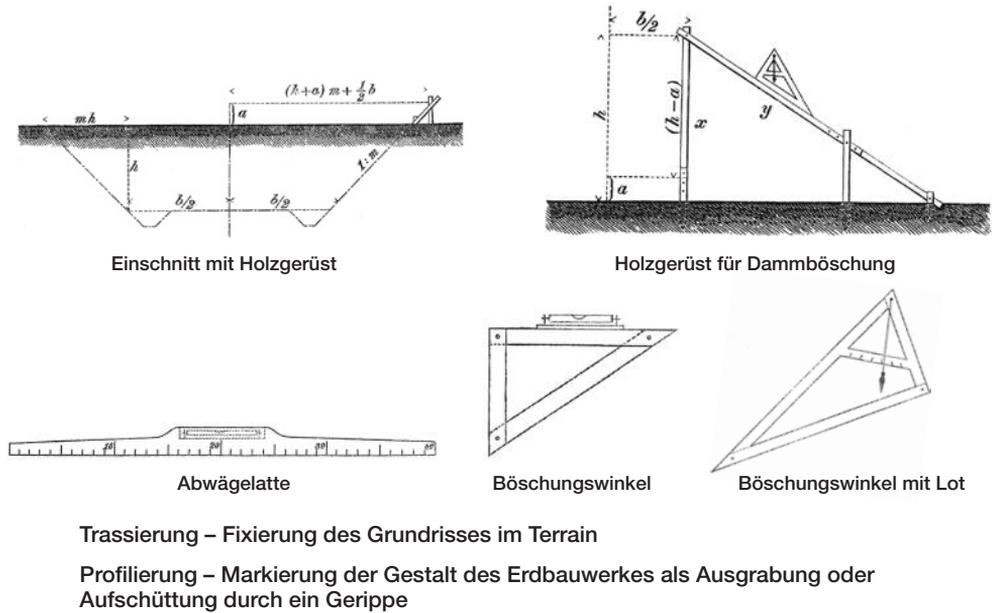


Abb. 1.3: „Tracierung und Profilierung“

Trassierung – Fixierung des Grundrisses im Terrain
 Profilierung – Markierung der Gestalt des Erdbauwerkes als Ausgrabung oder
 Aufschüttung durch ein Gerippe

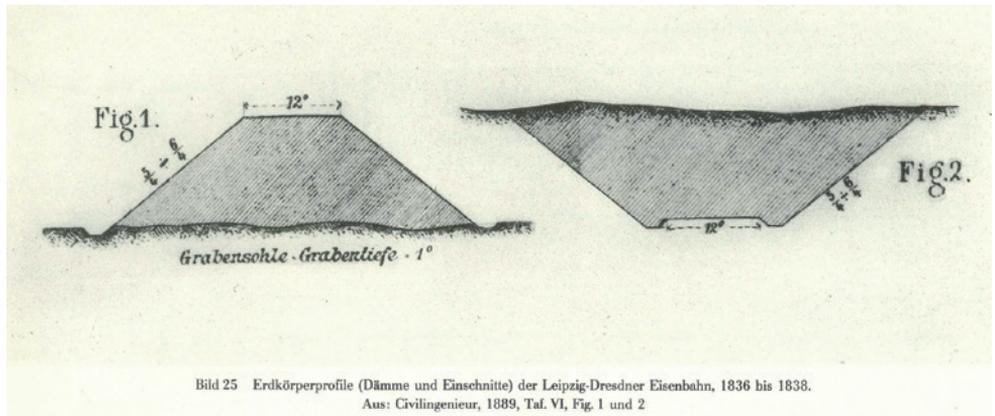


Abb. 1.4: Bahnkörperprofile 1837

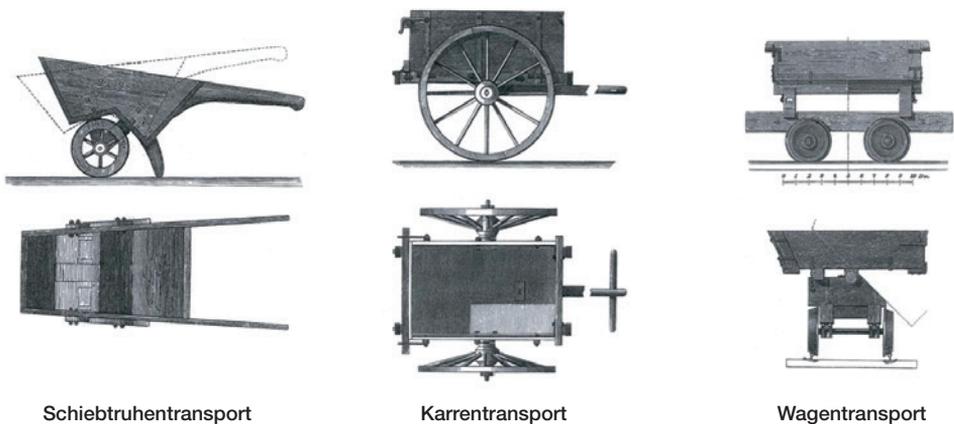
Einschnittsbetrieb entwickelte sich auf dem Kontinent der Angriff vom Anfangs- und/oder Endpunkt als Lagen-, Seiten- oder Kopfbau.

Verladen wurden die gelösten Böden mittels Wurf und abtransportiert mittels Fördergefäßen. Der **Transport** zur Einbaustelle erfolgte anfänglich mit Schiebtruhen oder Karren



Abb. 1.5: Arbeitswerkzeuge für Lösen und Laden

(Abb. 1.6), geschoben oder gezogen auf der Erde oder auf Holzbahnen von Arbeitern. Abb. 1.7 zeigt diese Arbeiten beim Herstellen des Voreinschnittes zum Oberauer Tunnel auf der Strecke Leipzig – Dresden nahe Dresden. Bald wurden dann auch Pferde zum Pferdekarren- und Wagentransport auf Bohlenwegen oder Schienen eingesetzt. Zur Rationalisierung wurden dann sehr schnell transportable Gleise und Lokomotiven zum Rollwagentransport genutzt.



Förderung auf Erde, Holzbahnen und Gleisen mittels Arbeitern, Pferden und Lokomotiven

Abb. 1.6: Förderung und Fördergefäße

3 Geotechnische Grundlagen

Claus Göbel, Klaus Lieberenz

3.1 Geotechnische Untersuchungen

Zum Fachgebiet der Geotechnik mit ihren wichtigsten Einzeldisziplinen Ingenieurgeologie, Bodenmechanik, Grundbau, Erdbau, Felsbau, Felsmechanik und Tunnelbau liegt ein umfangreiches Schrifttum vor, das ein tieferes Eindringen in geotechnische Probleme und Zusammenhänge ohne Schwierigkeiten zulässt. Deshalb werden nachfolgend nur solche geotechnischen Grundlagen erläutert, die **eisenbahnspezifisch** und für die Bemessung, Ausführung und Erächtigung von geotechnischen Bauwerken der Bahnen besonders wichtig sind.

Geotechnische Untersuchungen dienen der Erkundung des Baugrunds als Voraussetzung für die Bemessung geotechnischer Bauwerke. Mit der Entwicklung einer neuen Normengeneration (Kapitel 4.3) und der europaweiten Einführung des *Eurocode 7 (EC 7)* im Juli 2012 mussten auch die nationalen Normen zur Erkundung und Untersuchung des Baugrunds an den *EC 7* angepasst werden. Dieser Anpassungsprozess ist weitestgehend abgeschlossen. Insofern gelten künftig folgende Normen für die Erkundung und Untersuchung des Baugrunds, die nur gemeinsam angewendet werden können:

- *DIN EN 1997-2 (2010) – Eurocode 7 (EC 7):* Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
- *DIN EN 1997-2/NA (2010) – Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7:* Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
- *DIN 4020 (2010) – Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2 (2010)*

Um die Anwendung dieser Normen für den praktisch tätigen Ingenieur zu erleichtern, wurden sie in einem Normen-Handbuch zusammengefasst (*EC 7-2, 2011*) und in einem Kommentar zum Normen-Handbuch erläutert (*Schuppener, 2012*). Wichtige Informationen zum Stand der europäischen und deutschen geotechnischen Normung zur Erkundung und Untersuchung des Baugrunds enthält auch *Schuppener et al. (2012)*.

3.1.1 Ziel und Umfang geotechnischer Untersuchungen

Geotechnische Untersuchungen für Erdbauwerke der Bahnen sind nach *Ril 836 (2008)* in Verbindung mit den gültigen geotechnischen Normen auszuführen. Ihr Ziel besteht darin, alle für die Planung, Bemessung, Bauausführung und Qualitätssicherung notwendigen ingenieurgeologischen, bodenmechanischen, felsmechanischen, hydrogeologischen sowie umwelttechnischen und chemischen Kenngrößen bereitzustellen. Außerdem müssen sie klare Aussagen zur Auswirkung der Baumaßnahme auf den Untergrund, das Grundwasser, die Umwelt sowie auf benachbarte Bauwerke und Anlagen enthalten. Durch die geotechnischen Untersuchungen müssen insbesondere im Einflussbereich von Eisenbahnverkehrslasten ausreichende Informationen über

- die Art und den Zustand der als Baugrund und/oder Baustoff verwendeten Böden,
- kritische Baugrundsichten (Moor- und andere Weichschichten),
- kritische ingenieurgeologische und hydrogeologische Verhältnisse (geologische Störungen, fossile Trennflächen, Karst- und Erdfallgebiete, veränderlich feste Gesteine, Quellpotenziale, gespanntes Grundwasser usw.),
- dynamische Eigenschaften der anstehenden Böden sowie
- die Lage und Beschaffenheit des Grundwassers

gewonnen werden.

Der **Umfang** geotechnischer Untersuchungen ist grundsätzlich so festzulegen, dass das Baugrundrisiko minimiert wird und baugrundrelevante Schäden vermieden werden. Als Baugrundrisiko wird nach *DIN 4020 (2010)* „ein in der Natur der Sache liegendes, unvermeidbares Restrisiko, das bei Inanspruchnahme des Baugrunds zu unvorhergesehenen Wirkungen bzw. Erschwernissen, z. B. Bauschäden oder Bauverzögerungen, führen kann...“ bezeichnet. Das Baugrundrisiko und der Schwierigkeitsgrad einer Baumaßnahme wird nach *DIN 1054 (2010)* durch die Einstufung in eine der drei **Geotechnischen Kategorien (GK)** berücksichtigt, wobei das Baugrundrisiko und der Schwierigkeitsgrad einer Baumaßnahme von GK 1 bis GK 3 zunehmen (Kapitel 4.2). Für den Umfang und die Qualität der geotechnischen Untersuchungen gelten **Mindestanforderungen**, die von der Einstufung in eine Geotechnische Kategorie GK abhängig und in *DIN 4020 (2010)* angegeben sind. Da ein höheres Baugrundrisiko und ein größerer Schwierigkeitsgrad der Baumaßnahme in der Regel einen größeren Umfang an geotechnischen Untersuchungen erfordern, nehmen die Mindestanforderungen von GK 1 bis GK 3 zu.

3.1.2 Sachverständiger für Geotechnik und Geotechnische Berichte

Mit der Durchführung geotechnischer Untersuchungen ist in der Regel ein einschlägig qualifizierter und bestellter **Sachverständiger für Geotechnik** zu beauftragen. Er soll die geplante Baumaßnahme möglichst durchgängig von der Erstellung des geotechnischen Untersuchungsprogramms bis zum Abschluss der Bauarbeiten begleiten und den Auftraggeber bei der Festlegung des Umfangs der Erkundungsarbeiten sowie der Feld- und Laborversuche beraten und deren sachgerechte Ausführung und Auswertung überwachen. Für Baumaßnahmen, die den Geotechnischen Kategorien GK 2 und GK 3 zugeordnet wurden, sind die Geotechnischen Berichte grundsätzlich von einem Sachverständigen für Geotechnik zu erstellen.

Für geotechnische Bauwerke aller Geotechnischen Kategorien GK sind die Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen und Grundwasseruntersuchungen in einem Geotechnischen Bericht zusammenzufassen. Bei Bauwerken, die der Geotechnischen Kategorie GK 1 zugeordnet wurden, beschränkt sich der Inhalt des Geotechnischen Berichts auf den Nachweis, dass die Geotechnische Kategorie GK 1 vorliegt.

Bei geotechnischen Bauwerken der Geotechnischen Kategorien GK 2 und GK 3 ist ein Geotechnischer Untersuchungsbericht zu erstellen, in dem alle Ergebnisse der Baugrund- und Grundwasseruntersuchungen übersichtlich darzustellen und sachkundig zu bewerten sind. Der Geotechnische Untersuchungsbereich ist Bestandteil des Geotechnischen Berichts. Der **Geotechnische Bericht** soll auch Empfehlungen für notwendige bauliche Maßnahmen und Erläuterungen über die Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Umwelt und die Nachbarbebauung enthalten, wobei nach *DIN EN 1997-2 (2010)* folgende Gliederung vorzusehen ist:

- Berichtsabschnitt 1: Geotechnischer Untersuchungsbericht,
- Berichtsabschnitt 2: Auswertung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse,
- Berichtsabschnitt 3: Folgerungen, Empfehlungen, Hinweise.

Nach *DIN 4020 (2010)* soll der **Geotechnische Bericht** mindestens folgende Informationen enthalten:

- Beschreibung der Baumaßnahme,
- Einschätzung der Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Umwelt, seine Umgebung und eventuelle Nachbarbebauung,
- Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse und Erarbeitung eines geometrischen Berechnungsmodells,

- Bereitstellung der charakteristischen Werte für die Bodenkenngrößen und das Grundwasser,
- Bereitstellung der dynamischen Bodenkennwerte,
- Gründungsempfehlungen und Empfehlungen für notwendige Ertüchtigungsmaßnahmen,
- Empfehlungen für eventuell notwendige Untersuchungen zur Kontamination von Boden und Grundwasser.

Der Geotechnische Bericht ist ein Bestandteil des **Geotechnischen Entwurfsberichts** nach *DIN EN 1997-1 (2009)*. Er muss im Ergebnis der Erkundung und Untersuchung des Baugrunds die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen als wesentliche Grundlage für die Bemessung der geotechnischen Bauwerke und der Nachweise ihrer Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach Kapitel 4 bereitstellen.

3.1.3 Erkundungsverfahren

Für die Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse stehen direkte und indirekte Verfahren zur Verfügung. Zur Erhöhung der Erkundungssicherheit ist eine Kombination beider Erkundungsverfahren immer anzustreben. Insbesondere wird eine Kombination von punktförmigen direkten Aufschlüssen mit indirekten linienhaften oder flächenhaften geophysikalischen Erkundungsverfahren empfohlen. Entsprechend der unterschiedlichen Ausgangslage ist bezüglich der Art und des Umfangs der geotechnischen Erkundung grundsätzlich zwischen dem Neubau und der Ertüchtigung bestehender Eisenbahnstrecken zu unterscheiden.

3.1.3.1 Direkte Aufschlüsse

Direkte Aufschlüsse sind natürliche oder künstliche Aufschlüsse, durch die eine Besichtigung des Bodens und die Entnahme von Bodenproben ermöglicht werden. Direkte Aufschlüsse können Bohrungen, Schürfe, Schlitzstab- oder Rammkernsondierungen sein. Es sind punktförmige Aufschlüsse des Bodens, sie sind deshalb als Stichproben zu bewerten. Für die zwischen den Aufschlüssen liegenden Baugrundbereiche sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich, was bedeutet, dass auch mit direkten Aufschlüssen ein Baugrundrisiko verbleibt. Auch natürlich vorhandene oder künstlich geschaffene Bodenaufschlüsse können als direkte Aufschlüsse genutzt werden. Mit direkten Aufschlüssen können sowohl gestörte als auch ungestörte Bodenproben für Untersuchungen im Labor gewonnen werden.

Nach *Ril 836 (2008)* ist die Anzahl der direkten Aufschlüsse grundsätzlich so zu wählen, dass alle vorhandenen Bodenarten erfasst werden. Je Baumaßnahme sollen jedoch mindestens drei direkte Aufschlüsse angelegt werden. Ältere direkte Aufschlüsse können zur Erkundung herangezogen werden, wenn sichergestellt ist, dass sich in der Zwischenzeit die Baugrundverhältnisse durch bautechnische oder andere Einwirkungen nicht verändert haben.

3.1.3.2 Indirekte Aufschlüsse

Unter indirekten Aufschlüssen werden Aufschlüsse verstanden, mit denen durch Korrelation zwischen gemessenen physikalischen Größen und bodenmechanischen Kenngrößen Rückschlüsse auf die Baugrundbeschaffenheit gezogen werden können. Indirekte Aufschlüsse sind im Wesentlichen Sondierungen und geophysikalische Verfahren (*DIN EN ISO 22476 (2005)* und *DIN 4094 (2002/2003)*).

Bei **Sondierungen** ist eine Entnahme von Bodenproben in der Regel nicht möglich. Ihr Prinzip besteht darin, den Widerstand zu messen, den ein Boden dem Eindringen einer stabförmigen Sonde entgegensetzt. Aus der Größe des Eindringwiderstandes können bestimmte bodenmechanische Eigenschaften abgeschätzt werden.

6.4 Schutzschichtmaterialien

6.4.1 Gesteinskörnungen

Im Verkehrswegebau werden Gesteinskörnungen vielfältig eingesetzt. Nach Definition der *TL Gestein-StB (2007)* wird unter Gesteinskörnungen körniges Material verstanden, das im Bauwesen verwendet wird. Sie können natürlich, industriell hergestellt oder recycelt sein. Die auf der *TL Gestein-StB (2007)* aufbauende *TL SoB-StB (2007)* wiederum regelt die Zusammensetzung der für den Straßenbau einsetzbaren ungebundenen Schichten aus Gesteinskörnungen bzw. deren Gemische, die als Baustoffgemische bezeichnet werden. Für den Eisenbahnbau sind die in der Tabelle 6.3 angegebenen Baustoffgemische einsetzbar.

6.4.2 Korngemische

6.4.2.1 Übersicht

Als Materialien für Schutzschichten werden in der Regel **Korngemische (KG)** verwendet. Korngemische sind Baustoffgemische, die die entsprechenden Güteanforderungen des *DBS 918062 (2007)* erfüllen. Diese Güteanforderungen gelten ausschließlich für die Lieferung und die Gütesicherung der Korngemische. Die Gütesicherung umfasst dabei den Nachweis der Eignung der Korngemische und ihre Güteüberwachung in Form einer regelmäßigen Eigen- und Fremdüberwachung.

Die Korngemische nach *DBS 918062 (2007)* sind Gemische aus verschiedenen Gesteinskörnungen, die nach folgenden Kriterien unterteilt werden:

- nach Gesteinskörnungsgruppen in natürliche ungebrochene und gebrochene Gesteinskörnungen, in künstliche Gesteinskörnungen sowie in Recycling (RC)-Stoffe,
- nach den Anteilen der Gesteinskörnungsgruppen,
- nach der Kornverteilung in Korngemisch 1 und Korngemisch 2.

Die Anforderungen wurden gegenüber den vorhergehenden *Technischen Lieferbedingungen* den entsprechenden Regelwerken des Straßenbaus (*TL Gestein-StB, 2007* und *TL SoB-StB, 2007*) angepasst. Dort regeln die *TL Gestein-StB (2007)* die gesteinspezifischen Anforderungen und die *TL SoB-StB (2007)* die gemischspezifischen Vorgaben für Mischungen aus Gesteinskörnungen. Analog wird dies bei den Korngemischen unterschieden, so dass geregelte Gesteinskörnungen nach *TL Gestein-StB (2007)* für Korngemische verwendet werden können, ohne dass die entsprechenden Prüfungen nochmals durchgeführt werden müssen (siehe Tabellen 6.5-1 und 6.5-2).

6.4.2.2 Unterteilung nach Gesteinskörnungsgruppen

Die Unterteilung nach Gesteinskörnungsgruppen sowie die für die einzelnen Gruppen zu verwendenden Materialien sind in Tabelle 6.4 angegeben.

Natürliche ungebrochene Gesteinskörnungen (Rundkorn) bestehen aus natürlichem Rundkorn (Sande und Kiese). Natürliche gebrochene Gesteinskörnungen (Breckkorn) werden aus Gesteinen zurückgebrochen. Als künstliche bzw. industriell hergestellte Gesteinskörnungen sind Hochofenschlacken (HOS) und Stahlwerksschlacken (SWS) zugelassen. Recycling(RC)-Stoffe sind vorwiegend gebrochene Gesteinskörnungen. Sie bestehen aus Stoffen des Eisenbahnoberbaues (Altschotter, Betonbruch aus Altbetonschwellen), die für den neuen Verwendungszweck wieder aufbereitet werden.

9.2 Vorbereitung der Ertüchtigung

Soll ein Abschnitt einer bestehenden Eisenbahnstrecke auf höhere Geschwindigkeiten und/oder Radsatzlasten ausgebaut werden, ist zunächst eine **Bewertung** des Zustandes der bestehenden Erdbauwerke nach Kapitel 4.8 vorzunehmen. Im Ergebnis der Bewertung ist zu entscheiden, ob eine Ertüchtigung der Erdbauwerke und/oder des Untergrundes notwendig ist oder nicht. Können mit den höheren Einwirkungen die Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nicht erbracht werden und/oder ist die vorhandene Planumbreite unzureichend, müssen bautechnische Maßnahmen zur Ertüchtigung vorgesehen werden. Insofern stellt die Bewertung bestehender Erdbauwerke eine außerordentlich verantwortungsvolle Tätigkeit dar, die nur von einschlägig erfahrenen Gutachtern für Geotechnik ausgeführt werden sollte.

Wird im Ergebnis der Bewertung eine Ertüchtigung für notwendig gehalten, sind ein Ertüchtigungskonzept zu erarbeiten und geeignete Ertüchtigungsverfahren auszuwählen. Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Ertüchtigung ist eine komplexe **Erkundung** des Zustandes der Erdbauwerke und des Untergrundes der bestehenden Eisenbahnstrecke („Ist-Zustand“), wobei folgende Daten zu ermitteln sind:

- Geometrie: vorhandene Planumbreite, Streckenprofil, Böschungshöhe, Böschungsneigung;
- Oberbau: Oberbauform, Gleislage, Zustand Schotterbett, bisheriger Instandhaltungsaufwand, Zwangspunkte in der Linienführung;
- Unterbau: Planumsquerneigung, Ebenheit, Mischzonen, Schutzschichten, Packlagen, Randweg/Kabelkanal, Art und Zustand der Entwässerungsanlagen;
- Erdbauwerk: Art und Dichte der Dammbaustoffe, Böschungszustand, Böschungsentwässerung, ingenieurbiologischer Bewuchs;
- Untergrund: Art und Zustand der anstehenden Böden, insbesondere von Weichschichten, Schichtdicken, Grundwasserverhältnisse.

Eine zweite Voraussetzung für die Wahl eines geeigneten Ertüchtigungsverfahrens sind Festlegungen zum Ziel, das mit der Ertüchtigung erreicht werden soll („Ziel-Zustand“). Hierzu müssen folgende Angaben bekannt sein:

- Streckenkategorie: Geschwindigkeit, Radsatzlast, Gleisbelastung,
- Streckenquerschnitt,
- Streckenparameter und spezielle gleisgeometrische Bedingungen.

Auf der Grundlage des ermittelten Ist- und Ziel-Zustandes müssen alle geeigneten und technisch und wirtschaftlich etwa gleichwertig einzuschätzende Ertüchtigungsverfahren bewertet und miteinander verglichen werden. Für die Wahl des auszuführenden Ertüchtigungsverfahrens können außerdem noch folgende Kriterien herangezogen werden:

- Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, dass der gewünschte Erfolg der Ertüchtigung eintritt,
- Gesamtkostenaufwand für den Bau- und den Betriebszustand,
- Bauzeit und Zeit der Betriebsbeeinträchtigungen,
- gegenseitige Beeinflussung von Bau- und Betriebsgleis,
- Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit,
- Langzeitverhalten und Dauerhaftigkeit der Ertüchtigungsmaßnahme,
- Instandhaltungsaufwand.

Das Autorenteam

Dipl.-Geol. Ralph Fischer

1981–1987 Studium der Geologie mit Schwerpunkt Ingenieur-/Hydrogeologie sowie Boden-, Felsmechanik und Grundbau an der TU Berlin und der RWTH Aachen; 1987–1989 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der RWTH Aachen; 1989–1999 Projektleiter in Ingenieurbüros für Geotechnik und Umwelttechnik; seit 1999 bei der DB Netz AG bzw. Deutschen Bahn AG in Frankfurt, Teamleiter für Erd- und Grundbau in der Abteilung Fahrwegtechnik, Koordinator und Fachautor der Ril 836.



Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Göbel

1957–1962 Studium an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden (HfV) in der Fachrichtung Verkehrswasserbau; 1962–1964 Tätigkeit als Bauleiter; ab 1964 Assistent und Oberassistent für Geotechnik an der HfV Dresden; 1968 Promotion und 1980 Habilitation; 1982–1983 Auftragsleiter bei der Reichsbahnbaudirektion in Berlin; 1986 Berufung zum Hochschuldozenten an der HfV Dresden und 1992 zum Professor für Geotechnik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden; Sachverständiger des Eisenbahn-Bundesamtes; Obmann bzw. Mitglied mehrerer Fachgremien der Geotechnik und des Eisenbahnbaus.



Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz

1961–1966 Studium Bauingenieurwesen/Eisenbahnbau an der HfV Dresden; 1966–1992 Mitarbeiter, Themenleiter, Sachgebietsleiter bei der DR; 1984 Promotion in der Bodenmechanik an der HfV Dresden; 1993–2007 Professor für Eisenbahnbau an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden; ab 1994 Mitgründer und Berater bei GEPRO Dresden, Mitglied und Leiter von Fachausschüssen und Arbeitskreisen im Eisenbahnbau und in der Geotechnik, Sachverständiger.





Dipl.-Ing. Dirk Wegener

1993–1998 Studium Bauingenieurwesen an der TU Dresden mit Vertiefung Geotechnik; Abschluss als Dipl.-Ing.; 1998–1999 Universitätsassistent am Institut für Geotechnik der Universität für Bodenkultur Wien; 1999–2002 Tragwerksplaner im Zivilingenieurbüro Strohhäusl & Partner in Linz; seit 2002 Projektingenieur im Ingenieurbüro GEPRO in Dresden, Mitglied des Arbeitskreises „Baugrunddynamik“ der DGGT; 2012 Promotion am Institut für Geotechnik an der TU Dresden.



Prof. Dr.-Ing. Ulrike Weisemann

1984–1989 Studium Bauingenieurwesen/Eisenbahnbau an der HfV Dresden; 1989–1992 Forschungsstudium an der HfV Dresden/TU Dresden; 1993–1994 Projektingenieurin bei Prof. Floss & Partner; 1994 Promotion an der TU Dresden; 1994–2007 Projektingenieurin bei GEPRO Dresden; seit 2007 Professorin für Eisenbahnbau an der HTW Dresden.