

Handbuch Erdbauwerke der Bahnen

Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Göbel
Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz

Eurail
press

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	11
2	Eisenbahntechnische Grundlagen	16
2.1	Schienenbahnen – Rad-Schiene-System	16
2.2	Begriffe	17
2.3	Querschnittsgestaltung	21
2.3.1	Streckenquerschnitte	23
2.3.2	Bahnhofsquerschnitte	24
2.4	Beanspruchung des Unterbaues und der Erdbauwerke	27
2.4.1	Einteilung der Gleise-Strecken-kategorien	27
2.4.2	Belastung der Erdbauwerke	30
2.4.3	Belastung des Unterbaues/Tragsystems	32
2.4.4	Berechnung der Vertikalspannungen im Unterbau	36
2.4.5	Dynamische Einwirkungen	41
2.4.6	Beanspruchung durch Witterungsfaktoren	45
2.4.6.1	Einfluss des Frostes	46
2.4.6.2	Einfluss des Wassers	46
2.4.6.3	Einfluss von Hitze und Sonneneinstrahlung	49
3	Geotechnische Grundlagen	50
3.1	Geotechnische Untersuchungen	50
3.1.1	Geotechnische Kategorien	50
3.1.2	Neubau von Eisenbahnstrecken	52
3.1.3	Ertüchtigung und Instandhaltung bestehender Eisenbahnstrecken	53
3.1.4	Moderne Aufschlussverfahren für bestehende Eisenbahnstrecken	54
3.1.4.1	Unterbauuntersuchungsmaschine	54
3.1.4.2	GEORADAR-Verfahren	55
3.1.5	Erkundung der Grundwasserverhältnisse	58
3.2	Einteilung (Klassifizierung) der Böden	59
3.2.1	Einteilung nach DIN 1054	59
3.2.2	Einteilung nach DIN 18196	60
3.2.2.1	Korngrößenverteilung	60
3.2.2.2	Plastizität	63
3.2.2.3	Organische Bestandteile	64
3.2.2.4	Algorithmus der Klassifizierung der Böden nach DIN 18196	65
3.3	Zustandsbeschreibung	66
3.3.1	Lagerungsdichte nichtbindiger Böden	66
3.3.2	Konsistenzzahl bindiger Böden	67
3.3.3	Trockendichte	67
3.4	Scherfestigkeit	67
3.5	Verformungsverhalten	70
3.5.1	Stifemodul E_s	71
3.5.2	Verformungsmodul E_{zo}	71
3.5.3	Verformungsmodul E_v	72
3.5.3.1	Statischer Plattendruckversuch	73

3.5.3.2	Dynamischer Plattendruckversuch	75
3.5.3.3	Korrelation zwischen E_{vd} - und E_{v2} -Werten	75
3.5.4	CBR-Tragfähigkeit	77
3.6	Durchlässigkeit und Kapillarität	78
3.6.1	Durchlässigkeit	78
3.6.2	Kapillarität	80
3.7	Filterstabilität	81
3.8	Frostkriterien	84
3.8.1	Frostkriterium für anstehende Böden	84
3.8.2	Frostkriterium für Materialien der Schutzschichten	85
3.9	Verdichtung	87
3.9.1	Verdichtungsgrad	87
3.9.2	Proctorversuch	88
3.9.3	Verdichtungskontrolle	88
3.10	Produkteigenschaften von Geokunststoffen	92
3.10.1	Mechanische Eigenschaften	92
3.10.2	Hydraulische Eigenschaften	94
4	Planung und Ausführung von Erdkörpern	95
4.1	Querneigung von Planien	96
4.2	Vorbereitung des Untergrundplanums (UPL)	96
4.2.1	Entwässerung	96
4.2.2	Kapillarbrechende Schicht	97
4.2.3	Ertüchtigung des Untergrundes	97
4.2.4	Abtreppung des Untergrundplanums	98
4.3	Eisenbahndämme	98
4.3.1	Regelausbildung und Verdichtungsanforderungen	98
4.3.2	Dammschüttmaterialien	100
4.3.2.1	Lockergesteine	101
4.3.2.2	Festgesteine	101
4.3.2.3	Industrielle Nebenprodukte	102
4.3.2.4	Verbesserung der Dammschüttmaterialien	102
4.3.3	Dambböschungen	102
4.3.4	Einbau und Verdichtung	103
4.3.4.1	Einbau	103
4.3.4.2	Verdichtung	104
4.4	Eisenbahneinschnitte	105
4.4.1	Regelausbildung und Verdichtungsanforderungen	105
4.4.2	Einschnittsböschungen	106
4.4.2.1	Lockergesteinsböschungen	106
4.4.2.2	Festgesteinsböschungen (Felsböschungen)	108
4.5	Eisenbahnschnitte	110
4.6	Sicherungsmaßnahmen an Böschungen	110
4.6.1	Bautechnische Sicherungsmaßnahmen	111
4.6.2	Biologische Sicherungsmaßnahmen	112
4.6.2.1	Begrünung mit Oberbodenandeckung	113
4.6.2.2	Oberbodenlose Begrünung	114
4.6.2.3	Besondere biologische Sicherungsmaßnahmen	115
4.6.3	Uferschutz	116

4.7	Übergänge zwischen Erdbauwerken und Kunstbauwerken	119
4.7.1	Problemstellung	119
4.7.2	Ausbildung der Übergänge	120
4.8	Einbauten und ergänzende Anlagen in Erdkörpern	124
4.8.1	Arten	124
4.8.2	Kabeltrassen	124
4.9	Qualitätssicherung im Erdbau	127
4.9.1	Dichte und Tragfähigkeit	127
4.9.1.1	Anforderungen	127
4.9.1.2	Prüfverfahren	128
4.9.1.3	Flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)	129
4.9.1.4	Prüfmethoden und Prüfumfang	129
4.9.1.5	Hinweise zur Prüfung von Dichte und Tragfähigkeit	132
4.9.2	Einbaugeometrie	135
4.9.2.1	Ebenheit	135
4.9.2.2	Querneigung	135
4.9.2.3	Höhenlage	136
4.9.2.4	Schichtdicke	136
5	Bemessung von Erdkörpern	137
5.1	Nachweis der Standsicherheit	138
5.1.1	Grenzzustände	138
5.1.2	Nachweis der Tragfähigkeit	139
5.1.2.1	Teilsicherheitskonzept	139
5.1.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1)	142
5.1.2.3	Grenzzustand der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C)	143
5.1.2.4	Beispiel	143
5.1.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	147
5.1.3.1	Setzungsbeobachtungen	149
5.1.3.2	Setzungsberechnungen	150
5.1.3.3	Zeitlicher Verlauf von Setzungen	151
5.1.3.4	Gesamtsetzungen	153
5.1.3.5	Kombination von Setzungsbeobachtungen und Setzungsberechnungen	153
5.1.3.6	Grenzwerte von Setzungen	154
5.1.3.7	Beispiel einer Setzungsberechnung	159
5.1.4	Beobachtungsmethode	165
5.1.5	Bewertung der Standsicherheit von Erdkörpern bestehender Eisenbahnstrecken	167
5.1.5.1	Bewertung nach der Richtlinie 836	167
5.1.5.2	Ergänzende Empfehlungen	168
5.2	Bemessung von Schutzschichten	169
5.2.1	Bemessung auf Tragfähigkeit	170
5.2.1.1	Verformungsmoduln des Erdplanums	171
5.2.1.2	Eigenverformungsmodul	175
5.2.1.3	Verformungsmoduln auf dem Planum	176
5.2.1.4	Bemessungsdiagramme	176
5.2.2	Bemessung auf Frost	178
5.2.2.1	Frostsichere und frostempfindliche Böden	180

5.2.2.2	Hinreichende und vollständige Frostsicherung	180
5.2.2.3	Luftkälte- und Bemessungsluftkältesummen	181
5.2.2.4	Bemessungsablauf	184
5.2.3	Bemessung der Schutzschicht auf Frost und Tragfähigkeit	187
5.2.3.1	Neubau	187
5.2.3.2	Ertüchtigung/Instandhaltung	188
5.2.3.3	Bemessungsbeispiel	189
5.3	Nachweis der dynamischen Stabilität	191
6	Schutzschichten	194
6.1	Aufgaben, Arten und Dicke von Schutzschichten	194
6.2	Anordnung von Schutzschichten	194
6.3	Anforderungen an Schutzschichtmaterialien	197
6.3.1	Korngemische	197
6.3.1.1	Unterteilung nach Mineralstoffgruppen	197
6.3.1.2	Unterteilung nach den Anteilen der Mineralstoffgruppen	198
6.3.1.3	Unterteilung nach der Kornverteilung	198
6.3.2	Anwendung der Korngemische	200
6.3.3	Allgemeine technische Anforderungen an Korngemische	200
6.3.4	Besondere Anforderungen an Korngemische	201
6.3.4.1	Korngemisch 1	201
6.3.4.2	Korngemisch 2	202
6.3.4.3	Recycling-Gemische	202
6.3.4.4	Korngemische aus Hochofenschlacke	202
6.3.5	Kornverfeinerung und Zertrümmerungsversuch	208
6.3.6	Filterstabilität	209
6.3.6.1	Grundlagen	209
6.3.6.2	Filterstabilität Schutzschicht-Bettung	209
6.3.6.3	Filterstabilität Schutzschicht-Untergrund	209
6.3.6.4	Verwendung von Geokunststoffen	212
6.3.7	Gütesicherung	212
6.4	Schutzschichten mit Zusatzaßnahmen	213
6.4.1	Geokunststoffe	213
6.4.1.1	Marktformen und Funktionen	213
6.4.1.2	Geokunststoffe als Trenn- und Filterelement	216
6.4.1.3	Geokunststoffe als Bewehrungselement	217
6.4.1.4	Bemessung der Dicke der Schutzschicht mit Geokunststoffen	220
6.4.1.5	Einbaubedingungen der Geokunststoffe	222
6.4.2	Bodenverbesserungen und Bodenverfestigungen	224
6.4.3	Übergangsschicht	226
6.4.4	Abdichtungsmaßnahmen in Wasserschutzgebieten	227
6.4.4.1	Schutzzonen	227
6.4.4.2	Bauliche Durchbildung der Schutzzonen	230
6.4.4.3	Abdichtende Schutzschicht	230
6.5	Einbau von Schutzschichten	233
6.5.1	Gleisloser und gleisgebundener Einbau	233
6.5.2	Gleisgebundener Einbau	235
6.5.2.1	Bemessung der Dicke der Schutzschicht	238
6.5.2.2	Qualitätssicherung	238

6.6	Bemessungsbeispiele	241
6.6.1	Beispiel 1: Ausbaustrecke der Streckenkategorie P 230, M 230	241
6.6.2	Beispiel 2: Ertüchtigung einer Strecke der Streckenkategorie P 160, M 160	242
6.6.2.1	Lösung für gleislosen Einbau	243
6.6.2.2	Lösung für gleisgebundenen Einbau	244
6.6.2.3	Diskussion der Lösungsvarianten	244
6.7	Gleislängsverbau	244
7	Entwässerung des Bahnkörpers	247
7.1	Aufgabe und Notwendigkeit	247
7.2	Wasser im Boden	247
7.2.1	Erscheinungsformen des Wassers	247
7.2.2	Entwässerbarkeit der Böden	249
7.3	Grundsätze einer naturnahen Entwässerung	251
7.4	Anlagen zur Ableitung des Oberflächenwassers	252
7.4.1	Planum und Erdplanum	252
7.4.2	Bahngräben	253
7.4.2.1	Aufgabe und Anordnung	253
7.4.2.2	Bauliche Durchbildung	255
7.4.3	Mittentwässerung	256
7.5	Tiefenentwässerungen	257
7.5.1	Aufgabe und Anordnung	257
7.5.2	Sickerrohrleitungen	258
7.5.3	Filter	262
7.5.3.1	Aufbau und Anordnung	262
7.5.3.2	Anforderungen an Filter- und Dränmaterialien	265
7.5.3.3	Nachweis der Filterstabilität	266
7.5.3.4	Nachweis der Filterstabilität – Berechnungsbeispiele	270
7.5.4	Schächte	273
7.5.5	Sammelleitungen	275
7.6	Vorflutanlagen	277
7.6.1	Grundsätze	277
7.6.2	Vorflutanlagen	278
7.7	Entwässerung in Bahnhöfen	280
7.7.1	Entwässerung der Gleis- und Weichenanlagen	280
7.7.2	Entwässerung bahnhofstypischer Anlagen	283
7.8	Entwässerung von Bahnübergängen	284
7.9	Entwässerung von Böschungen	285
7.9.1	Grundsätze	285
7.9.2	Anlagen der Böschungsentwässerung	285
7.10	Hydraulische Bemessung von Entwässerungsanlagen	288
7.10.1	Ermittlung der Berechnungswassermenge	289
7.10.1.1	Ermittlung der Regenwassermenge Q_R	290
7.10.1.2	Wassermengen Q_Z und Q_U	292
7.10.2	Bemessung des Bahngrabenquerschnitts	292
7.10.3	Bemessung der Nennweite von Rohrleitungen	293
7.10.4	Beispiel der Berechnung eines Bahngrabens	295

8	Ertüchtigung der Erdbauwerke	297
8.1	Problemstellung	297
8.2	Vorbereitung der Ertüchtigung	300
8.3	Ertüchtigung des Untergrundes	300
8.3.1	Bodenaustauschverfahren	302
8.3.1.1	Bodenaustausch mit einem Vorschubgerät	307
8.3.1.2	Bodenaustausch mit einem Seitenschildgerät	310
8.3.1.3	Bodenaustausch mit Rüttelkästen	312
8.3.2	Bodenverdichtungsverfahren	314
8.3.2.1	Rütteldruckverfahren	315
8.3.2.2	Rüttelstopfverfahren	316
8.3.3	Bodenverfestigungsverfahren	324
8.3.3.1	Wandernder Verbau mit integrierter Bodenaufbereitungsanlage	324
8.3.3.2	Hydro-Zementations-Verfahren	326
8.3.3.3	Fräs-Misch-Injektions-Verfahren	326
8.3.4	Bodenentwässerungsverfahren	331
8.3.4.1	Vertikaldränagen	331
8.3.4.2	Statische Vorbelastung durch zeitweilige Überschüttung	327
8.3.5	Bodenbewehrungsverfahren	339
8.3.5.1	Geokunststoffummantelte Bodensäulen	339
8.3.5.2	Sohlbewehrung von Dämmen auf wenig tragfähigem Untergrund	342
8.3.6	Bewehrte Erdkörper auf punkt- oder linienförmigen Traggliedern	343
8.3.6.1	System mit tiefliegender Bewehrung	346
8.3.6.2	System mit hochliegender Bewehrung	348
8.4	Ertüchtigung der Erdkörper	350
8.4.1	Problemstellung	350
8.4.2	Böschungsschäden	351
8.4.3	Bautechnische Maßnahmen zur Ertüchtigung von Erdkörpern	353
8.4.3.1	Maßnahmen bei Dammverbreiterungen	353
8.4.3.2	Maßnahmen bei Einschnittserweiterungen	360
8.4.4	Randwegkonstruktionen	364
9	Instandhaltung	368
9.1	Grundlagen	368
9.2	Instandhaltung des Unterbaues	369
9.3	Instandhaltung der Erdbauwerke	372
9.3.1	Inspektion	373
9.3.2	Wartung und Instandsetzung	374
	Literaturverzeichnis	375
	Stichwortverzeichnis	383