

R RTE 21110

Unterbau und Schotter

Normalspur und Meterspur

**Entwurf für
Einzigste Lesung
31.01.2025**

Herausgeber VöV	Ausgabedatum xx.xx.20xx	Zuordnung —
Erarbeitet durch Projektgruppe VöV	Freigabe PL RTE	Ersatz für R RTE 21110 vom 01.09.2015
Verteiler Bahnunternehmen des VöV (Normalspur) (Meterspur) Bundesamt für Verkehr BAV RTE-Webshop/RTE-Download (rte.voev.ch)	Inkrafttreten Das Datum des Inkrafttretens dieser Regelung legt jedes Bahnun- ternehmen für sich selbst fest.	Sprachfassungen d, f, i Anzahl Seiten xx

Unterbau und Schotter

Normalspur und Meterspur



Anwendungsbedingungen für das Regelwerk Technik der schweizerischen Eisenbahnen (RTE)

Bei der Anwendung der Dokumente ist zu beachten, dass sie ausschliesslich für die Bedürfnisse der Schweizer Eisenbahnen und Unternehmen im Bereich öV verfasst und für diesen Gebrauch bestimmt sind. Eine korrekte Anwendung setzt somit eine entsprechende Ausbildung und Praxis voraus. Das Regelwerk RTE beschränkt sich auf zwei Arten von Dokumenten:

- Die R-Regelungen sind Ergänzungen bzw. Lösungsvorschläge zu hoheitlichen Erlassen und Normen mit Regelungs- bzw. Weisungscharakter.
- Die D-Regelungen umfassen Handbücher und Dokumentationen als Empfehlungen und Hilfsmittel zur Arbeitsunterstützung oder bilden in Ausnahmefällen den Stand der Technik und die gelebte Praxis im Hinblick auf eine Standardisierung ab.

Die im Dokument in männlicher Form enthaltenen Formulierungen gelten in gleichem Mass für jegliches Geschlecht. Der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) sowie die an der Erstellung dieser Regelung des Regelwerks Technik Eisenbahn (RTE) beteiligten Personen haften nicht für Schäden, die durch die Verwendung von Informationen aus dieser Regelung entstehen können. Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für die Vollständigkeit oder Richtigkeit.

Projektgruppe VöV**Leitung**

Matthias Niklaus, Schweizerische Bundesbahnen (SBB AG), Bern

Mitglieder

Kilian Gerber, Schweizerische Bundesbahnen (SBB AG), Bern
Pascal Häller, Freiburgische Verkehrsbetriebe (TPF), Givisiez
Thomas Kämpfer, Aare Seeland mobil AG (ASM), Langenthal
Manfred Lanz, Schweizerische Südostbahn AG (SOB), Samstagern
Marcel Moser, Schweizerische Südostbahn AG (SOB), Samstagern
Ralph Rechsteiner, Rhätische Bahn AG (RhB), Chur
Martin Siegen, Matterhorn Gotthard Bahn (MGB), Brig
Michael Zimmermann, BLS Netz AG (BLS), Bern

Projektunterstützung

Stefan Werner, KPZ Fahrbahn AG, Zürich (bis 31.08.2024)

Traduction (nur bei Franz & Ital.)

Name, Ort

Lektorat

Dr. Senta C. Haldimann, Verband öffentlicher Verkehr (VöV), Bern

Herausgeber

VöV Verband öffentlicher Verkehr
Technik Bahn
Dählhölzliweg 12, CH-3000 Bern 6
www.voev.ch, RTE@voev.ch

RTE-Webshop/RTE-Download

rte.voev.ch

ISBN xx

© Verband öffentlicher Verkehr, Bern, Monat 20xx

Änderungsgeschichte

Ausgabe- datum	Änderungen
30.11.2005	1. Ausgabe
01.09.2015	2. Ausgabe
xx.xx.20xx	3. Ausgabe Verbesserte Unterscheidung von Neubau und Erhaltung, Integration von RC-Baustoffen, Erweiterung der Schotterklassen, Präzisierung der Qualitätsprüfungen beim Material und während der Ausführung

Vorwort

Das schweizerische Normenwerk gilt grundsätzlich auch für den Eisenbahnunterbau. Es weist aber in diesem Fachgebiet Lücken auf, die durch die vorliegende RTE-Regelung geschlossen werden sollen. Auf relevante Regeln in bestehenden Normen wird Bezug genommen.

Im Rahmen der Überarbeitung der RL BAV/BAFU «Entwässerung von Eisenbahnanlagen» [1] ist absehbar, dass sich der Einsatzbereich diffuser Versickerung vergrössert und die Belastung des Gleisabwassers sowie die Entwässerungstypen ändern. Bei Planung und Bau neuer Entwässerungsanlagen sind neben Kap. 5.4 und 6.4 die neueste Version der Richtlinie zu berücksichtigen. Bis zum Vorliegen der überarbeiteten Richtlinie sind für diffuse Versickerungen im Regelfall Bewilligungen der kantonalen Behörden bzw. des BAFU und des BAV erforderlich.

Bei der Umsetzung im konkreten Einzelfall sollen die Anwender ihre Erfahrung einfließen lassen und die vorhandenen Freiräume unter Einhaltung der übergeordneten Vorschriften nutzen, wenn dadurch bessere Lösungen möglich sind.

Ort, xx. Monat 20xx

1	Allgemeines	11
1.1	Ziele der Regelung.....	11
1.2	Anwendung.....	11
1.2.1	Gültigkeitsbereich.....	11
1.2.2	Ersatz der bisherigen Regelungen	11
2	Grundlagen	12
2.1	Hoheitliche Regelungen	12
2.2	Normen	12
2.3	RTE-Regelungen und Regelungen der Bahnen	16
2.4	Richtlinien und Merkblätter.....	17
3	Abkürzungen und Begriffe	18
3.1	Abkürzungen.....	18
3.2	Begriffe	18
4	Grundsätze	22
4.1	Bautätigkeiten	22
4.1.1	Neubau	22
4.1.2	Erhaltung.....	22
4.2	Aufbau des Gleiskörpers.....	23
4.3	Hauptfunktionen der Schichten	24
4.4	Beanspruchungsspektrum des Unterbaus.....	25
4.5	Einteilung der Gleise und Belastungsprognose	25
5	Unterbau bei Neubauten.....	26
5.1	Allgemeines	26
5.2	Verformbarkeit	27
5.2.1	Grenzwerte	27
5.2.2	Wahl des Unterbaus und Dimensionierung auf Verformbarkeit	29
5.2.3	Sperr- und Foundationsschichten.....	31
5.2.4	Übergangsschicht auf starrem Unterbau	31
5.2.5	Geometrische Gestaltung.....	32
5.3	Frost	33
5.3.1	Allgemeines	33
5.3.2	Dimensionierung des Unterbaus gegen Frost	33
5.4	Entwässerung	34
5.4.1	Allgemeines	34
5.4.2	Technische Anforderungen	34
5.4.3	Bemessung	35
5.4.4	Kontrolle und Unterhalt.....	36
5.5	Leitungsquerungen	36
5.5.1	Projektierung.....	36
5.5.2	Bahneigene Querungen	36
5.5.3	Bahnfremde Querungen.....	37
5.5.4	Ausführung.....	37
5.6	Filterstabilität.....	37
5.7	Bautoleranz.....	38

5.8	Bankett	38
5.8.1	Allgemeines	38
5.8.2	Geometrie	38
5.8.3	Material	39
5.8.4	Aufwuchshemmendes Bankett	40
5.9	Dammschüttung	40
5.10	Übergänge freie Strecke – starrer Unterbau	41
5.11	Tunnel	41
5.11.1	Allgemeines	41
5.11.2	Entwässerung und Trockenhaltung der Fahrbahn	41
5.11.3	Drainierende Entwässerung der Fahrbahn im Tunnel	42
5.11.4	Verdrängende Entwässerung	42
5.12	Unterbau bei Fester Fahrbahn	42
5.12.1	Allgemeines	42
5.12.2	Grenzwerte für die Verformbarkeit der Planie	43
6	Unterbau bei Erhaltung	44
6.1	Allgemeines	44
6.2	Verformbarkeit	46
6.2.1	Grenzwerte	46
6.2.2	Wahl des Unterbaus und Dimensionierung auf Verformbarkeit	48
6.2.3	Sperr- und Foundationsschichten	51
6.2.4	Übergangsschicht auf starrem Unterbau	54
6.2.5	Geometrische Gestaltung	55
6.3	Frost	55
6.4	Entwässerung	55
6.4.1	Allgemeines	55
6.4.2	Technische Anforderungen	56
6.4.3	Wesentliche Änderung nach GSchV	56
6.4.4	Bemessung	57
6.4.5	Kontrolle und Unterhalt	57
6.5	Leitungsquerungen	57
6.5.1	Projektierung	57
6.5.2	Bahneigene Querungen	57
6.5.3	Bahnfremde Querungen	57
6.5.4	Ausführung	57
6.6	Filterstabilität	58
6.7	Bautoleranzen	58
6.8	Erhaltung von Banketten	58
6.8.1	Allgemeines	58
6.8.2	Geometrie und Material	59
6.8.3	Verbreiterung bestehender Bankette	59
6.9	Tierbauten im Fahrbahnbereich	61
6.10	Tunnel	61
7	Schotterbett	62
7.1	Aufbau	62
7.2	Realisierung der Bettungsquerschnitte in bestehenden Gleisen	63

7.3	Materialverwendung.....	63
7.4	Beurteilung von Schotter in bestehenden Gleisen.....	63
8	Schichteigenschaften, Materialqualitäten und Qualitätssicherung	65
8.1	Schotter	65
8.1.1	Anforderungen an den Schotter	65
8.1.2	Schotterklassen.....	65
8.2	Sperrschichten.....	65
8.2.1	Anwendung	65
8.2.2	AC Rail.....	66
8.2.3	Mineralische Sperrschicht	66
8.2.4	Kiessand PSS	66
8.2.5	Dichtungsbahnen	67
8.2.6	Qualitätssicherung	67
8.3	Ungebundene Gemische für Foundationsschichten	67
8.3.1	Anwendung	67
8.3.2	Materialeigenschaften und Qualitätssicherung	68
8.4	Geokunststoffe.....	68
8.4.1	Begriffe und Funktionen	68
8.4.2	Beständigkeit	70
8.4.3	Zugelassene Produkte und Qualitätssicherung	70
8.5	Schichten aus stabilisierten Materialien	70
8.5.1	Anwendung	70
8.5.2	Materialtypen und Qualitätssicherung	70
9	Qualitätssicherung bei der Ausführung	71
9.1	Materialbedarf	71
9.1.1	Ungebundenes Gemisch und Kiessand	71
9.1.2	Kiessandbedarf für Gleise	71
9.1.3	Schotterbedarf pro Laufmeter Gleis.....	72
9.1.4	Materialbedarf und Aushub bei Weichen	73
9.2	Materiallagerung	74
9.3	Kontrollen.....	74
9.3.1	Ausführungskontrollen in der Übersicht.....	74
9.3.2	Materialprüfungen auf der Baustelle	76
9.3.3	Ausführungskontrollen je Schicht	79
9.3.4	Befahrbarkeit der einzelnen Schichten	86
	Anhang A1 – A10 (Allgemein).....	88
A1	Entscheidungselemente für die Planung der Fahrbahnerhaltung, Beispiel SBB.....	88
A1.1	Grundlagenbeschaffung.....	88
A1.1.1	Checkliste Grundlagenbeschaffung.....	88
A1.2	Geotechnisches Gutachten	88
A1.3	Erhaltungsprojekt Fahrbahn	89
A1.3.1	Konzept «Fahrbahnerhaltung»	89
A1.3.2	Bauprojekt.....	89
A1.4	Ausführung und Kontrollen nach Inbetriebnahme.....	90

A1.5 Beispiel für ein Konzept Fahrbahnerhaltung	91
A2 Technische Spezifikation von ungebundenen Gemischen und Kiessand PSS für Foundationsschichten	92
A2.1 Gegenstand	92
A2.2 Eignungsprüfung	92
A2.3 Ungebundene Gemische	92
A2.4 Kiessand PSS	93
A2.5 Ergänzende Anforderungen an Laborversuche	96
A2.6 Bestimmung der Werte CBR, CBR ₂ und CBR _F	97
A2.7 Bestimmung der Trockendichte $\rho_{d\max}$ und des optimalen Wassergehalts w_{opt}	97
A2.8 Bestimmung der Durchlässigkeit nach Darcy (k-Wert)	98
A2.9 Prüfung der Verdichtbarkeit im Versuchsfeld	100
A2.10 Qualitätssicherung	100
A2.11 Kontrolle von Kiessand PSS, Beispiel SBB	101
A3 Unterbauabnahme nach Einbau von Kiessand PSS Prüfprotokoll, Beispiel SBB	102
A4 Technische Spezifikation von Gleisschotter	103
A4.1 Gleisschotter	103
A4.2 Prüfnormen und technische Anforderungen	103
A4.2.1 Prüfverfahren	103
A4.2.2 Technische Anforderungen für den Gleisschotter	104
A4.3 Qualifizierung und Qualitätsmanagement	105
A4.3.1 Eignung des Gesteinsvorkommens	106
A4.3.2 Eignung des Schotters	107
A4.3.3 Beurteilung des Schotterwerkes	107
A4.3.4 Werkseigene Produktionskontrolle	108
A4.3.5 Vorgehen bei Mängeln	108
A5 Prüfprotokoll für Gleisschotter, Beispiel SBB	109
A6 Korngrößenverteilung für mineralische Sperrschichten	111
A7 Normalprofile der Fahrbahn	112
A7.1 Schichtaufbau „ungebundenen Gemisch“ (für N4 und E4) und „AC Rail“ (für N1-3 und E1-3)	112
A7.2 Schichtaufbau „AC Rail“ (für E1-3 und N1-3) und „Kiessand PSS“ (für E1-4)	113
A7.3 Schichtaufbau „Kiessand PSS“ (für E1-4) und AC Rail für (E1-3)	114
A7.4 Schotterbettprofil für Normal- und Meterspur	116
A7.5 Entwässerungsdetails für bestehende Strecken (Normalspur)	117
A8 Fahrbahntwässerung	118
A8.1 Anwendungsbereich und Allgemeines	118
A8.2 Wahl der Entwässerungsart	118
A8.3 Hydraulische Kapazität der Entwässerung	118
A8.4 Anforderungen an Materialien	118
A8.4.1 Sickergeröll	118

A8.4.2 Sand	118
A8.4.3 Sohlenbeton	119
A8.5 Entwässerungstypen.....	119
A9 Frostindices und Frosttiefen für die Bemessung von Neubauten mit Schotteroberbau	126
A10 Unterbau in Tunnels: Hinweise für die Projektierung bei Neubauten und Erneuerungen	127
A10.1 Wasserinstabile Felssohle	127
A10.2 Deformationen.....	128
A10.2.1 Deformationen infolge Quellen.....	128
A10.2.2 Andere Deformationen	128
A10.3 Auffüllung beim Kreisprofil mit schotterlosem Oberbau	128

1 Allgemeines

1.1 Ziele der Regelung

Die vorliegende RTE-Regelung enthält Vorgaben für den Eisenbahnunterbau, dessen Entwässerung sowie das Schotterbett. Sie enthält Arbeitsmittel für die Planung und Erstellung im Bereich von Neubau und Erhaltung.

1.2 Anwendung

Grundlage für die vorliegende RTE-Regelung bilden Art. 17 EBG, die EBV und AB-EBV. Der Unterbau sowie die Dicke des Schotterbettes werden in den AB-EBV zu Art. 25 und die Übergänge auf Bauwerke in den AB-EBV zu Art. 26 geregelt.

Beim Bau sind die Vorschriften der BauAV zu beachten.

Die vorliegende RTE-Regelung wurde vor allem im Hinblick auf technische Gesichtspunkte ausgearbeitet. Für jegliche Entscheide sind aber auch zusätzliche Umweltaspekte und wirtschaftliche Kriterien zu berücksichtigen. Verfahrens-, Material- oder Materialaufbauentscheide sind umfassend zwischen Umweltauswirkungen, Technikanforderungen und wirtschaftlichen Kriterien abzuwägen. Es gilt der Grundsatz, dass Lösungen zu wählen sind, die im Sinne einer Güterabwägung möglichst nachhaltig sind, die technischen Anforderungen erfüllen und in einer Lebenszyklusbetrachtung kostengünstig sind.

Die Regelung richtet sich an projektierende Fachpersonen aus dem Bereich des Strassenbaus und des Fahrbahnoberbaus, an beauftragte fachkundige Ingenieurbüros und an ausführende Unternehmen (bahneigene oder Dritte).

1.2.1 Gültigkeitsbereich

Die vorliegende RTE-Regelung gilt für den Normalbetrieb in Abwesenheit von spezifischen Gegebenheiten wie Rutschungen, Damminstabilitäten und weichen Böden unterhalb der Gleise.

Die Aspekte der Störfallverordnung (StFV) sind in den beschriebenen Baumassnahmen nicht berücksichtigt. Die RL BAV «Massnahmen für Eisenbahninfrastrukturen gemäss Störfallverordnung im Rahmen eines Plangenehmigungsverfahrens» [2] ist anzuwenden.

1.2.2 Ersatz der bisherigen Regelungen

- R RTE 21110, 1. Ausgabe vom 30.11.2005
- R RTE 21110, 2. Ausgabe vom 01.09.2015

2 Grundlagen

2.1 Hoheitliche Regelungen

EBG SR 742.101	Gesetz über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahngesetz)	Stand 01.07.2024
EBV SR 742.141.1	Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung)	Stand 01.07.2024
AB-EBV SR 742.141.11	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung	Stand 01.07.2024
StFV SR 814.012	Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung)	Stand 01.07.2024
VBBö SR 814.12	Verordnung über Belastungen des Bodens	Stand 12.04.2016
GSchG SR 814.20	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz)	Stand 01.02.2023
GSchV 814.201	Gewässerschutzverordnung	Stand 01.02.2023
BauAV SR 832.311.141	Verordnung über die Sicherheit und den Gesund- heitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitneh- mer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung)	Stand 01.01.2024
NHG SR 451	Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz	Stand 01.01.2022
NHV SR 451.1	Verordnung über den Natur- und Heimatschutz	Stand 01.06.2017

2.2 Normen

SN EN ISO 10318-1 SN 670092-1 (VSS)	Geokunststoffe – Teil 1: Begriffe	Ausgabe 2015
SN EN ISO 14688-2 (VSS)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizie- rung	Ausgabe 2019
SN EN ISO 17892-11	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben, Teil 11: Bestim- mung der Wasserdurchlässigkeit	Ausgabe 2020
SN 505197 SIA 197	Projektierung Tunnel – Grundlagen	Ausgabe 2023

SN 505197/1 SIA 197/1	Projektierung Tunnel – Bahntunnel	Ausgabe 2019
SN 505261 SIA 261	Einwirkungen auf Tragwerke	Ausgabe 2020
SN 505267 SIA 267	Geotechnik	Ausgabe 2013
SN 508103 SIA 103	Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure	Ausgabe 2020
SN 531199 SIA 199	Erfassen des Gebirges im Untertagbau	Ausgabe 2015
SN 531203 SIA 203	Deponiebau	Ausgabe 2016
SN 533190 SIA 190	Kanalisationen	Ausgabe 2017
SN 564272 SIA 272	Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau	Ausgabe 2024
SN 564281 SIA 281	Kunststoff, Bitumen- und Ton-Dichtungsbahnen	Ausgabe 2017
SN 588469 SIA 469	Erhaltung von Bauwerken	Ausgabe 1997
SN 670090 (VSS)	Geokunststoffe – Grundnorm	Ausgabe 2012
SN EN 206 SIA 262.051	Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	Ausgabe 2022
SN EN 932-1 SN 670901-1a (VSS)	Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1: Probenahmeverfahren	Ausgabe 2004
SN EN 932-3 (VSS)	Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 3: Durchführung und Ter- minologie einer vereinfachten petrographischen Be- schreibung	Ausgabe 2022
SN EN 933-1 SN 670902-1 (VSS)	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1: Bestimmung der Korn- grössenverteilung – Siebverfahren	Ausgabe 2013
SN EN 933-2 (VSS)	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2: Bestimmung der Korngrössenverteilung – Analysensiebe, Nennweite der Sieböffnungen	Ausgabe 2021
SN EN 933-3 SN 670902-3 (VSS)	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 3: Bestimmung der Kornform – Plattigkeitskennzahl	Ausgabe 2013

SN EN 933-5 (VSS)	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 5: Bestimmung des prozentualen Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen und Gesteinskörnungsgemischen	Ausgabe 2024
SN EN 1097-2 (VSS)	Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung	Ausgabe 2021
SN EN 1097-5 SN 670903-5b (VSS)	Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 5: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung	Ausgabe 2010
SN EN 13108-1 (VSS)	Asphaltemischgut – Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton	Ausgabe 2022
SN EN 13108-8 (VSS)	Asphaltemischgut – Mischgutanforderungen – Teil 8: Ausbauasphalt	Ausgabe 2019
SN EN 13242 SN 670119-NA-13242-D (VSS)	Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau	Ausgabe 2021
SN EN 13250 (VSS)	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Eisenbahnbau	Ausgabe 2017
SN EN 13285 (VSS)	Ungebundene Gemische – Anforderungen	Ausgabe 2021
SN EN 13286-1 (VSS)	Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 1: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt – Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme	Ausgabe 2022
SN EN 13286-2 SN 670330-2 (VSS)	Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes – Proctorversuch	Ausgabe 2015
SN EN 13286-47 (VSS)	Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische, Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes	Ausgabe 2022
SN EN 13450 SN 670110 (VSS)	Gesteinskörnungen für Gleisschotter	Ausgabe 2004
SN EN 15382 (VSS)	Geosynthetic barriers – Characteristics required for use in transportation infrastructure (Geosynthetische Dichtungsbahnen – Eigenschaften, die für die Anwendung in Verkehrsbauten erforderlich sind)	Ausgabe 2020

SNR CEN/TR 15019 SNR 670245-NA (VSS)	Anforderungen Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Baustellenkontrolle	Ausgabe 2012
VSS 40525	Eigenschaften der Fahrbahnoberflächen – Anforderungen	Ausgabe 2019
VSS 40575	Erdarbeiten – Abbauklassen und Empfehlungen	Ausgabe 2022
VSS 40585	Verdichtung und Tragfähigkeit – Anforderungen	Ausgabe 2020
VSS 40302b	Strasse und Gleiskörper – Terminologie	Ausgabe 2019
VSS 40350	Oberflächenentwässerung von Strassen – Regenintensitäten	Ausgabe 2019
VSS 40353	Strassenentwässerung – Grundlagen zur Bestimmung des Abflusses	Ausgabe 2019
VSS 40430	Walzasphalt – Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten	Ausgabe 2022
VSS 40744	Verkehrsflächen mit ungebundenem Oberbau – Ausführung und Erhaltung	Ausgabe 2019
VSS 70009a	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geologische Terminologie der Lockergesteine	Ausgabe 2019
VSS 70115	Gesteinskörnungen – Qualitative und quantitative Mineralogie und Petrographie	Ausgabe 2019
VSS 70119	Ungebundene Gemische – Technische Lieferanforderungen	Ausgabe 2021
VSS 70125	Mineralische Filter und Filtermaterialien – Konzeption und Anforderungen	Ausgabe 2022
VSS 70140b	Frost	Ausgabe 2019
VSS 70241	Geotextilien – Anforderungen für die Funktionen Trennen und Filtern	Ausgabe 2019
VSS 70242	Geokunststoffe – Anforderungen für die Funktion Bewehren	Ausgabe 2019
VSS 70243	Geokunststoffe – Anforderungen für die Funktionen Schützen und Drainieren	Ausgabe 2022
VSS 71260	Unterirdische Querungen und Parallelführungen von Leitungen mit Gleisanlagen (Hinweis: Die AB-EBV, Ausgabe 01.07.2024, verweist auf diese Norm. Gemäss BAV spricht nichts gegen die Weiterverwendung der Norm während wenigen Jahren.)	Ausgabe 2019 gültig bis 18.09.2024

VSS 70311	Verdichtung und Tragfähigkeit – Kontrollmethoden	Ausgabe 2019
VSS 70313	Böden; Leichtes Fallgewichtsgerät und dynamischer Plattendruckversuch	Ausgabe 2019
VSS 70316a	Versuche an Böden – CBR-Penetrometer, Feldversuch	Ausgabe 2019
VSS 70317	Böden – Plattendruckversuch E_v und M_E	Ausgabe 2019
VSS 70321	Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Frosterhebungsversuch	Ausgabe 2019
VSS 70362	Eigenschaften der Fahrbahnoberflächen; Deflexionsmessungen – Benkelman-Balken	Ausgabe 2019
VSS 70830a	Mineralische Baustoffe – Zertrümmerungsprüfung	Ausgabe 2019

2.3 RTE-Regelungen und Regelungen der Bahnen

R RTE 20012	Lichtraumprofil Normalspur	4. Ausgabe 28.02.2022
R RTE 20100	Sicherheit bei Arbeiten im Gleisbereich	7. Ausgabe 30.11.2023
R RTE 20512	Lichtraumprofil Meterspur	2. Ausgabe 28.08.2023
R RTE 22041	Lückenlose und verlaschte Gleise und Weichen - Normalspur	2. Ausgabe 07.05.2019
R RTE 22541	Lückenlos verschweisstes Gleis (LVG), lückenlos verschweisste Weichen und verlaschte Gleise für Meterspur	2. Ausgabe 13.03.2024
D RTE 27900	Rückleitungs- und Erdungshandbuch - Dokumentation	2. Ausgabe 01.07.2014
SBB I-22211	Verwendung des Oberbaumaterials bei Erneuerung und Neubau von Gleis- und Weichenanlagen	Ausgabe 01.09.2014

2.4 Richtlinien und Merkblätter

[1] (RL BAV/BAFU)	Richtlinie – Entwässerung von Eisenbahnanlagen	Ausgabe 2018
[2] (RL BAV)	Richtlinie – Massnahmen für Eisenbahninfrastrukturen gemäss Störfallverordnung im Rahmen eines Plangenehmigungsverfahrens	Ausgabe 2019
[3] (RL VSA)	Richtlinie – Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter	Ausgabe 2019
[4] (CL BAV/BAFU)	Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen	Ausgabe 2022
[5] (RL BAV)	Gleisaushubrichtlinie	Ausgabe 2023

3 Abkürzungen und Begriffe

3.1 Abkürzungen

AB-EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
BAV	Bundesamt für Verkehr
d	rückfedernde Deflektion
EBV	Eisenbahnverordnung
E_{vd}	dynamischer Verformungsmodul
EN	Europäische Norm
GSchG	Gewässerschutzgesetz
LCC	Lebenszykluskosten (life-cycle-cost)
LFG	leichtes Fallgewichtgerät
M_{E1}	statischer Verformungsmodul
RC-I bzw. RC-II	Recycling-Schotter Klasse I bzw. II
SN	Schweizer Norm

3.2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Regelung gelten folgende Begriffe:

Bankett	Das Bankett bildet den seitlichen Abschluss der Fahrbahn. Es kann unterschiedliche Funktionen übernehmen, wie z.B. Dienstweg, Fluchtweg, Abstellfläche, Aufwuchsbremse etc.
Behandlungs-anlage	Naturnahe oder technische Anlage für Bahnabwasser, welche der Versickerung oder Einleitung vorgeschaltet ist und primär eine Reinigungswirkung erzielen soll.
Bitumenhaltige Sperrschicht	Wasserdichte Schicht aus Asphalt. Im Bahnbau kommt AC Rail 16 oder 22 zur Anwendung.
Entwässerungs-system	System zur Versickerung von Bahnabwasser im Untergrund oder zur Ableitung von Bahnabwasser in ein Oberflächengewässer oder in die öffentliche Kanalisation.
Fahrbahn	Bahnkörper, auf welchen eine Bahndurchfahrt einen Einfluss hat. Die Fahrbahn umfasst den Oberbau und den Unterbau mit der Fahrbahnentwässerung bis zur Ableitung.
Fahrweg	Der Fahrweg umfasst alle für den Betrieb der Bahn notwendigen Anlagenteile.

Filterstabilität	<p>Die Filterstabilität setzt sich aus den zwei Funktionen «Trennen» und «Filtern» zwischen zwei aneinandergrenzenden Materialien zusammen.</p> <p>«Filtern»: Begrenzung der Ausschwemmung von Feinmaterial bei Wasserdurchfluss von feinkörniger in die grobkörnige Bodenschicht bei Gewährleistung eines möglichst druckfreien Wasserdurchflusses.</p> <p>«Trennen»: Verhinderung der Durchmischung von Schichten mit unterschiedlichen Korngrössenverteilungen als Folge von dynamischen Belastungen.</p>
Geogewebe	Geotextil, das durch in der Regel rechtwinklige Verkreuzung von zwei oder mehr Systemen aus Fäden, Fasern, Filamenten, Bändchen oder anderen Elementen hergestellt wird. Im Bahnbau primär für die Funktion «Filtern» (Filtergewebe) oder temporär für die Funktionen «Trennen» und «Bewehren» (Bändchengewebe) verwendet.
Geokunststoffe	Oberbegriff für Geotextil, Geovlies, Geogitter, Geogewebe etc. Polymere, meist flächenhafte Strukturen, welche bei geotechnischen und bautechnischen Anwendungen eingesetzt werden. Sie können die Funktionen «Trennen», «Filtern», «Drainieren», «Bewehren», «Schützen», «Abdichten» und weitere Aufgaben übernehmen.
Geogitter	Regelmässiges flaches Gitter mit fest verbundenen Längs- und Querelementen, dessen Öffnungen grösser als die Fäden bzw. Streben sind. Die Verbindung erfolgt beispielsweise durch Extrudieren, Verweben, Kettenwirken oder Verschweissen. Im Bahnbau primär für die Funktion «Bewehren».
Geotextil	Oberbegriff u.a. für Geovliese und Geogewebe. Wasser- und luftdurchlässiges textiles Flächengebilde, welches in geotechnischen und bautechnischen Bereichen zum Einsatz kommt.
Geovlies	Geotextil, das aus einer Faserschicht von ausgerichteten oder wirr gelegten Fasern oder Filamenten durch Vernadeln und/oder thermische bzw. adhäsive Verfestigung hergestellt wird. Im Bahnbau primär für die Funktionen «Trennen» (Trennvlies) und «Schützen» (Schutzzvlies) verwendet.
Gesamtdicke der Gleisbettung	Die Gesamtdicke der Gleisbettung setzt sich aus der Schotterbettdicke und der Dicke der Übergangsschicht über starrem Unterbau zusammen.
Bruttotonnen [Bt]	Summe der Gewichte der Züge inkl. deren Lasten, die auf einem Gleis verkehren.
ungebundenes Gemisch	Ungebundenes Gemisch gemäss VSS 70119. Körniges Material bestehend aus natürlichen Gesteinskörnungen mit einer festgelegten Korngrössenverteilung, das als alleinige Foundationsschicht (bei gegebener Umweltverträglichkeit) oder als Foundationsschicht unter einer Sperrschicht im Unterbau angewendet wird. Ein ungebundenes Gemisch enthält kein Bindemittel.
Kiessand PSS	Ungebundenes Gemisch, welches aus natürlichen Gesteinskörnungen mit einer festgelegten Korngrössenverteilung besteht und bei der Erhaltung von bestehenden Bahnlinien als Sperr- und Foundationsschicht im Unterbau angewendet wird.

Mineralische Sperrschicht	Sperrschicht, welche direkt auf die Foundationsschicht eingebaut, standfest gewalzt und geschlämmt wird. Sie besteht aus natürlichem, gebrochenem Kiessand bzw. Kalkmergel 0/16 mm in Anlehnung an VSS 40744. Sie ist entweder ton-wassergebunden oder kalk-wassergebunden und weist eine gut abgestufte Korngrössenverteilung auf.
RC-Kiesgemisch	Ungebundenes Gemisch gemäss VSS 70119. Körniges Material bestehend aus rezyklierten Gesteinskörnungen mit einer festgelegten Korngrössenverteilung, das als alleinige Foundationsschicht (bei gegebener Umweltverträglichkeit) oder als Foundationsschicht unter einer Sperrschicht im Unterbau angewendet wird. Ein ungebundenes Gemisch enthält kein Bindemittel.
RC-Schotter	Unter dem Begriff RC-Schotter wird in der vorliegenden RTE-Regelung RC-Gleisschotter verstanden. Dabei handelt es sich um aufbereiteten (gesiebert, gewaschener und geprüfter) Altschotter.
Rückhalteanlage	Naturnahe oder technische Anlage für Bahnabwasser, welche der Einleitung oder Versickerung vorgeschaltet ist und primär eine zeitliche Drosselung des Abflusses erzielen soll. In besonderen Fällen kann sie auch zum Auffangen von Havarie-flüssigkeiten benötigt werden.
Schienengebundener Umbau	Erhaltung der Fahrbahn mit schienengängigen Baumaschinen.
Schotter	Unter dem Begriff Schotter wird in diesem Dokument Gleisschotter gemäss den SN EN 13450 und SN 70110 verstanden.
Schotterbettdicke (AB-EBV zu Art. 25, AB 25, Ziff. 3.2)	Die Schotterbettdicke ist definiert als der vertikale Abstand zwischen der Schwellenunterkante und der Planie unter der tiefer liegenden Schiene. Für Stahlschwellen ist eine fiktive Schwellenhöhe von 15 cm einzusetzen.
starrer Unterbau	Als starrer Unterbau werden beispielsweise verwitterungsunempfindliches Festgestein oder Schichten aus Beton unter dem Schotterbett bezeichnet.
strassenbaumässiger Umbau	Neubau oder Erhaltung der Fahrbahn mit im Strassenbau üblichen Baumaschinen. Das Verfahren kommt zur Anwendung, wenn die Baustelle nicht durch den Bahnbetrieb eingeschränkt wird.
Tragfähigkeit	Unter dem Begriff Tragfähigkeit wird in der vorliegenden RTE-Regelung das ermittelte Tragverhalten einer Laborprobe oder eines Bodenabschnitts anhand von CBR-Versuchen verstanden (California Bearing Ratio).
Verformbarkeit	Mit den Begriffen Verformbarkeit und Verformungsmodul wird das Verformungsverhalten von geotechnischen Tragsystemen der Eisenbahn bezeichnet. Als Kennwerte gelten der Verformungsmodul M_{E1} oder (auf bitumenhaltigen Sperrschichten) die rückfedernde Deflektion. Mit der Verwendung des Begriffs Verformbarkeit anstelle des bisher im Verkehrswegebau verwendeten Begriffs Tragfähigkeit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass der Begriff Tragfähigkeit (gemäss den aktuellen Tragwerksnormen) den

	<p>Grenzzustand der Tragfähigkeit beschreibt, währenddem der Begriff Verformbarkeit zum Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gehört. Hingegen ändert nichts am vorausgesetzten Zusammenhang, wonach bei einem als tragfähig bezeichneten Verkehrsweg die infolge von Verkehrslasten auftretenden Verformungen auf unschädliche Werte begrenzt bleiben.</p>
Wasserdichtigkeit von Unterbau-schichten [m/s]	<p>Zum Schutz von Planum und aus umweltrechtlichen Gründen ist im Regelfall eine möglichst wasserdichte Sperrschicht einzubauen. Ziel einer wasserdichten Sperrschicht ist anfallendes Niederschlagswasser seitlich abzuleiten. Typische Wasserdurchlässigkeiten nach Darcy:</p> <ul style="list-style-type: none">- Kiessand PSS $k \leq 10^{-6}$ m/s- AC Rail $k < 10^{-9}$ m/s <p>mineralische Sperrschichten $k < 10^{-7}$ m/s</p>

4 Grundsätze

4.1 Bautätigkeiten

(in Anlehnung an die SN 588469)

4.1.1 Neubau

Als Neubau gilt der Bau der gesamten Fahrbahn des Projektes auf einer vorher anders genutzten Fläche, exkl. der Anschlüsse an den Bestand. Bei grösseren Änderungen der Trassierung betrifft dies in der Regel den Bereich ausserhalb der bestehenden Bankette.

4.1.2 Erhaltung

Als Erhaltung gilt die Gesamtheit aller Tätigkeiten und Massnahmen zur Sicherstellung des Bestandes sowie der materiellen und kulturellen Werte der Fahrbahn. In Anlehnung an die SN 588469 werden folgende Unterscheidungen gemacht:

- Erneuerung
Wiederherstellen eines Bauwerks oder von Teilen desselben in einen mit dem ursprünglichen Neubau vergleichbaren Zustand ohne wesentliche Anpassung der Anlageteile. Eine Oberbauerneuerung umfasst z.B. den Ersatz von Schienen und Schwellen des gleichen Typs. Eine Unterbauerneuerung umfasst z.B. die Erneuerung der Foundationsschicht oder Sperschicht und die Erneuerung der Entwässerung.
- Anpassung
Anpassen des Bauwerks an neue Anforderungen, ohne wesentliche Eingriffe in das Bauwerk. Eine Anpassung umfasst z.B. einen Schienenprofilwechsel oder einen Wechsel von Holz- oder Stahlschwellen auf Betonschwellen.
- Umbau
Anpassen des Bauwerks an neue Anforderungen, mit wesentlichen Eingriffen in das Bauwerk. Ein Umbau umfasst z.B. die Verbesserung des Unterbaus, den Bau einer neuen Entwässerung und den Wechsel auf Betonschwellen.
- Erweiterung
Anpassen des Bauwerks an neue Anforderungen durch Hinzufügen neuer Bauwerksteile. Eine Erweiterung umfasst z.B. den nachträglichen Einbau von Weichen sowie den Einbau oder die Verbreiterung von starren Unterbauten.

4.2 Aufbau des Gleiskörpers

Die Begriffe für Schichten und Flächen im Bahnbau sind in VSS 40302b festgelegt.

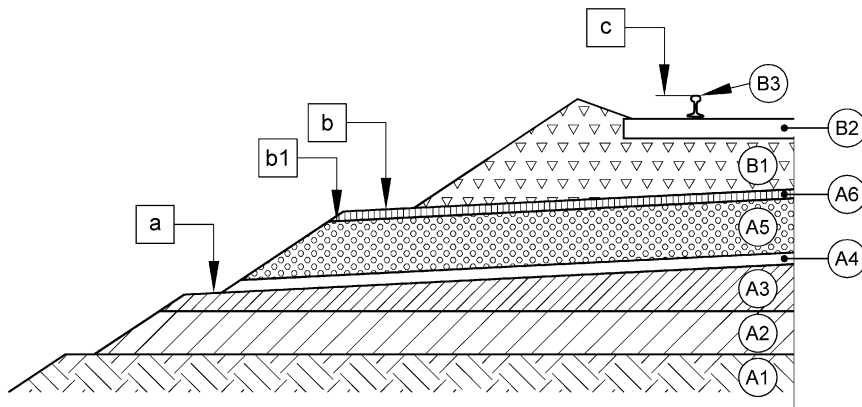
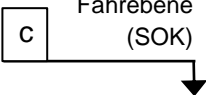
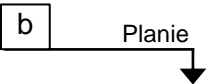
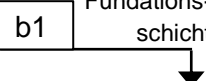
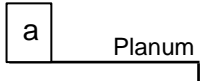


Abbildung 4-1: Schematischer Querschnitt mit Bezeichnungen

	Schichten	Flächen	Beispiele gebräuchlicher Materialien	
B Oberbau				
	B3 Schiene		– Schienenstahl	
	B2 Schwelle		– Beton – Stahl – Holz	
	B1 Schotter		– gebrochenes Hartgestein	
A Unterbau und Untergrund	A6 Sperrschicht		– bitumenhaltige Sperrschicht (+ Asphaltgranulat optional) – Mineralische Sperrschicht	– Kiessand PSS
	A5 Foundationsschicht	– ungebundenes Gemisch (GW oder GP)		
	A4 Übergangsschicht Drainageschicht ^{a)}		– Schotter – Splitt – Brechschotter – Sand – Geokunststoff	
	A3 verbesserter Untergrund		– verdichteter Untergrund – Stabilisierung – Ersatzmaterialien	
	A2 Damm		– verdichtetes Schüttmaterial	
	A1 Untergrund		– Baugrund	

a) über klüftigem, verwitterungsempfindlichem Felsen

Tabelle 4-2: Bezeichnungen und Beispiele.

4.3 Hauptfunktionen der Schichten

Je nach örtlichen Verhältnissen entfallen einzelne der unter Abschnitt 4.2 beschriebenen Schichten oder es müssen zusätzliche Schichten eingebaut werden.

Schienen und Schwellen bilden zusammen den Gleisrost. Die Schiene ist das primäre Trag- und Verschleisselement, während der Schwelle in erster Linie eine lastverteilende Funktion zukommt.

Der **Schotter**, eingebracht in der vorgeschriebenen geometrischen Form, bildet das Schotterbett. Er gewährleistet die elastische Lagerung des Gleisrostes und erlaubt Gleislagekorrekturen bei der Erhaltung. Die vorgeschriebene geometrische Form des Schotterbettes verhindert Instabilitäten des Gleisrostes infolge Verkehrslast und Temperatureinflüsse.

Die **Sperrschicht** verhindert das Eindringen von Wasser in den Unterbau und Untergrund, schränkt das Wachstum von Pflanzen ein, schützt das Grundwasser und reduziert die Auswirkungen eines Unfalls oder Störfalls (z.B. Ölunfall). Sie leitet das Oberflächenwasser aus dem Lastbereich auf die Seite des Gleises, wo es kontrolliert zu versickern oder abzuleiten ist.

Die **Foundationsschicht** hat eine lastverteilende Funktion. Sie reduziert die aus der Verkehrslast resultierende Beanspruchung auf die für die darunterliegenden Schichten zulässigen Werte. Sie schützt den Untergrund vor schädlichen Einwirkungen des Frostes.

Eine **multifunktionale Schicht** stellt eine Schicht aus **Kiessand PSS** dar. Sie stellt eine Kombination aus Sperr- und Foundationsschicht dar. Sie wird im Erhaltungsfall und infolge betrieblicher Einschränkungen bei Notwendigkeit einer Sperrschicht als Ersatz für die oben beschriebenen Sperrschichten eingebaut.

Die **Übergangsschicht** hat zwei verschiedene Funktionen:

1. Sie verhindert die Durchmischung von Foundationsschicht und darunterliegender Schicht und gewährleistet einen druckfreien Wasserdurchfluss.
2. Sie verringert die Einwirkungen eines starren Unterbaus (Brücken, Grundwasserrinnen, Tunnel etc.) auf das Schotterbett.

Die **Drainageschicht** erlaubt eine druckfreie Ableitung von Wasser aus wasserführendem, verwitterungsempfindlichem Felsen.

Verbesserter Untergrund: Bei ungenügendem Wert der Verformbarkeit ist das anstehende Material zu verbessern oder zu ersetzen.

Der **Damm** wird zum Ausgleich des Längensprofils oder zur Verbesserung der hydrologischen Situation geschüttet.

4.4 Beanspruchungsspektrum des Unterbaus

Der Unterbau wird vor allem durch die Witterung und die Verkehrslast beansprucht. Der Unterbau der bestehenden Bahnlinien wurde nicht für die heutige Verkehrslast ausgelegt. Die Kombination der Beanspruchung durch Witterung und Verkehrslast führt in vielen Fällen zu Schäden am Unterbau mit Folgen für die Gleislagestabilität.

Eine Nutzungsänderung (z.B. +10% Erhöhung der Geschwindigkeit oder Achslast) beeinflusst die Gebrauchstauglichkeit. Auch eine Erhöhung der Belastung bei gleichbleibender Achslast kann ein rascheres Altern bei genügender Erfüllung der einzelnen Funktionen bewirken.

Wasser in feinkörnigen Unterbaumaterialien führt bei dynamischer Verkehrsbelastung rasch zu grösseren Schäden. Dem Bau, der Überwachung und dem sorgfältigen Unterhalt effizienter Entwässerungssysteme kommt deshalb grösste Bedeutung zu.

Die Nutzungsdauer des Unterbaus ist auf den Oberbau abzustimmen. Die Nutzungsdauer soll mindestens der zweifachen Nutzungsdauer des Oberbaumaterials entsprechen. Beim Investitionsentscheid ist die erreichbare Restnutzungsdauer des Unterbaus ggü. der Erneuerung od. Umbau des Unterbaus abzuwägen.

4.5 Einteilung der Gleise und Belastungsprognose

Für die Bemessung des Unterbaus werden die Gleise in Gleisbelastungsgruppen zusammengefasst. Industrie- und Anschlussgleise (Stamm-, Verbindungs- und Ladegleise) werden wie N4 oder E4 behandelt.

Da ein den Vorschriften entsprechender Unterbau eine deutlich längere Nutzungsdauer als der Oberbau aufweist, sind bei der Einordnung in die Gleisbelastungsgruppe die zukünftigen Nutzungsabsichten (Belastung und Ausbaugeschwindigkeit) einzubeziehen. Die Belastung in Bruttotonnen pro Tag [Bt/d] ist aufgrund einer Verkehrsprognose festzulegen.

Gleisbelastungsgruppen Neubau (N) bzw. Erhaltung (E)		
Bezeichnung	künftige Belastung	künftige Geschwindigkeit
N1 / E1	> 30'000 Bt/d	oder ≥ 160 km/h
N2 / E2	15'000 – 30'000 Bt/d	oder ≥ 80 km/h
N3 / E3	5'000 – 15'000 Bt/d	
N4 / E4	< 5'000 Bt/d	

Tabelle 4-3: Definition der Gleisbelastungsgruppen.

Die Einteilung in Gleisbelastungsgruppen dient der Dimensionierung des Unterbaus sowie des Schotterbetts.

5 Unterbau bei Neubauten

5.1 Allgemeines

Die Abschnitte 5.2 bis 5.11 gelten für Neubauten gemäss Abschnitt 4.1 mit Schotteroberbau. Der Unterbau bei fester Fahrbahn z.B. in Tunnels ist in Abschnitt 5.12 geregelt. Für den Unterbau bei Erhaltung gilt Kapitel 6.

Das **Normalprofil** ist durch den Projektverfasser aufgrund von Anhang A7 und Anhang A8 entsprechend den örtlichen Verhältnissen sowie unter Berücksichtigung der anderen festen Anlagen einzeln zu konstruieren. Bei Ausbauten auf Doppelspur muss die Qualität von Unterbau und Entwässerung im bestehenden Gleis mit den angrenzenden Neubauverhältnissen abgestimmt werden.

Vor Baubeginn sind **geotechnische Untersuchungen** durchzuführen, die Aufschluss über die massgebenden Bodenarten und Eigenschaften geben müssen. Bei Lockergesteinsuntergrund im Freien sind insbesondere die Wasserempfindlichkeit, Frost- und Filterstabilität, Verformbarkeit, Setzungsempfindlichkeit, Wasserdurchlässigkeit, Lage und Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels sowie die Versickerungsmöglichkeiten abzuklären. Die Lockergesteine sind gemäss SN EN ISO 14688 zu klassifizieren.

Für die geologische Terminologie der Lockergesteine gilt VSS 70009a. Im Festgestein ist analog SN 531199 vorzugehen, wobei insbesondere das Quellpotenzial im Hinblick auf mögliche Hebungen des Planums, die Wasserverhältnisse sowie die Wasserempfindlichkeit der Schichten im Bereich des Planums zu untersuchen sind.

Die Behandlung des **Gleisabwassers** hat den Anforderungen des GSchG, der GSchV und der Richtlinie BAV/BAFU [1] zu genügen.

Bei Neubauten muss die Planie des Unterbaus (Sperrschicht) gemäss dem Vorsorgeprinzip des GSchG dicht ausgeführt werden. Im Weiteren muss das Entwässerungssystem den Anforderungen des Gewässerschutzes entsprechen (Grundwasser und Oberflächengewässer).

Aus all diesen Anforderungen ergeben sich beanspruchungsabhängige Schichtsysteme. Abweichungen davon (z.B. bei speziellen geotechnischen Gegebenheiten) sind mit dem zuständigen Fachdienst zu klären. Diesbezüglich sind auch die AB-EBV zu Art. 25, AB 25, Ziff. 4.3.11 und 4.3.12 zu beachten.

5.2 Verformbarkeit

5.2.1 Grenzwerte

Zur Vermeidung von erhöhtem Aufwand bei der Gleisinstandhaltung und vorzeitigen Erneuerungsmassnahmen am Gleis muss die Steifigkeit des Unterbaus so gewählt werden, dass die Beanspruchung des Oberbaus im zulässigen Bereich liegt. Die Tabelle 5-1 enthält deshalb einzuhaltende Grenzwerte für die minimale und maximale Verformbarkeit der Planie der Foundationsschicht, die für die Bemessung des Unterbaus zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Anforderungen für den Betrieb ausgelegt. Mit Ausnahme auf der Planie bei den Gleisbelastungsgruppen N1/N2 sind sie bereits aufgrund der schweren Baufahrzeuge erhöht. Betrieblich wäre auch bei N1/N2 eine maximale Verformbarkeit von $M_{E1} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ genügend.

Sowohl in Längs- als auch in Querrichtung des Gleises ist darauf zu achten, dass der Unterbau homogen und gleichmässig aufgebaut ist.

Insbesondere quer zur Gleisachse dürfen keine Deformationsunterschiede entstehen. Steifigkeitsunterschiede im Unterbau zwischen den Schienenauflagepunkten unter den Schwellen sind nicht zulässig.

Als Beurteilungsgrösse für die Verformbarkeit gilt analog zum Strassenbau der Verformungsmodul M_{E1} bei Erstbelastung gemäss VSS 70317 bzw. auf bitumenhaltigen Sperrschichten die rückfedernde Deflektion d gemäss VSS 70362. Für die Anforderungen an die Gleichmässigkeit sowie für mögliche Kontrollmethoden gelten sinngemäss VSS 40585 und VSS 70311. Bei der bitumenhaltigen Sperrschicht steht nicht die Verformbarkeit im Vordergrund, sondern die Wasserundurchlässigkeit. Daher haben sich für die Einbaukontrolle andere Verfahren (siehe Abschnitt 9.3.3) durchgesetzt.

Das Erfüllen der Anforderung bezüglich Verformbarkeit auf der Planie der Foundationsschicht ist unmittelbar vor Einbau der Sperrschicht nachzuweisen. Falls die Werte aus Tabelle 5-1 nicht eingehalten werden, wird die zulässige Beanspruchung des Oberbaus überschritten, was zu einer rascheren Alterung der Tragelemente führt.

Gleis- belastungs- gruppe (gemäss Abschnitt 4.5)	auf Planie				auf Planum
	maximale Verformbarkeit		minimale Verformbarkeit		max. Ver- formbarkeit
	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]
N1 / N2	60 ^{a)}	140 ^{b)}	150 ^{a) c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
N3	40 ^{d)}	170 ^{b)}	150 ^{c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
N4	15 ^{d)}		150 ^{c)}		15 ^{d)}

a) Auf der Planie der Foundationsschicht unter der Sperr- und Ausgleichsschicht.

b) Nur hinweisender Charakter, da die primäre Funktion der Sperrschicht die Wasserundurchlässigkeit ist und die Deflektion d keine Auskunft darüber gibt.

Nur relevant, wenn eine bitumenhaltige Sperrschicht eingebaut wird (vgl. Tabelle 5-2).

c) Erfahrungsgemäss können grössere Beanspruchungen des Schotterbetts bereits bei Verformungsmodulen $M_{E1} > 120 \text{ MN/m}^2$ nicht ausgeschlossen werden. Der Grenzwert der Verformbarkeit ($M_{E1} = 150 \text{ MN/m}^2$) wurde aus bautechnischen Gründen nicht heraufgesetzt.

d) Der Wert ist fallweise, entsprechend dem vorgesehenen Bauvorgang, zu erhöhen (z.B. auf mindestens 40 – 60 MN/m², wenn die Planie der Foundationsschicht bzw. das Planum von Pneufahrzeugen befahren werden muss).

Tabelle 5-1: Grenzwerte für die Verformbarkeit des Unterbaus bei Neubauten (Anforderungen für Betriebszustand).

5.2.1.1 Vorgehen beim Nachweis genügender Werte der Verformbarkeit

Die Bewertung des Verformungsverhaltens erfolgt grundsätzlich in herkömmlicher Weise mit dem Plattendruckversuch durch Bestimmung des Verformungsmoduls M_{E1} auf der zu prüfenden Schicht. Da der Plattendruckversuch aufwendig ist, kann ergänzend die Anwendung alternativer Versuche zweckmässig sein. Dank schneller Durchführung und sofortiger Verfügbarkeit der Messresultate bietet sich insbesondere die Bestimmung des dynamischen Verformungsmoduls E_{vd} mit dem leichten Fallgewichtsgerät (LFG) an. Dadurch können die zwingend zu bestimmenden M_{E1} -Werte mit E_{vd} -Werten ergänzt werden. Dies ermöglicht ein dichteres Messnetz und eine bessere Prüfung der Homogenität der Schicht.

Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Wirkungen ist keine generelle Korrelation zwischen dem statischen Verformungsmodul M_{E1} und dem dynamischen Verformungsmodul E_{vd} vorhanden. Deshalb darf der mit dem LFG bestimmte E_{vd} -Wert nur unter restriktiven Voraussetzungen und nach Kalibrierung der E_{vd} -Werte (anhand von auf der gleichen Prüffläche durchgeführten M_{E1} -Messungen) als Grundlage für Kontrollen und Bewertungen verwendet werden. Als Beurteilungsgrössen sind stets auch die entsprechend den unten aufgeführten Bedingungen abgeschätzten, äquivalenten M_{E1} -Werte anhand der bestimmten E_{vd} -Werte anzugeben.

Allgemein gilt, dass die gemessenen Werte für den Verformungsmodul M_{E1} bei Erstbelastung und den dynamischen Verformungsmodul E_{vd} stets im Zusammenhang mit dem vorhandenen Untergrund sowie den zum Zeitpunkt der Messung vorherrschenden Temperatur- und Wasserverhältnissen beurteilt werden müssen.

Für die Bewertung der Verformbarkeit mittels E_{vd} -Messwerten wird vorausgesetzt, dass bei der Messung

- die Lufttemperatur mindestens 0 °C beträgt,
- der Boden nicht gefroren, nicht stark durchfeuchtet und nicht aufgeweicht ist,
- der Schichtaufbau bis ca. 0.40 m unter das Niveau der Messung aufgeschlossen und bodenmechanisch klassifiziert wird, und
- sowohl die Klassifikation als auch der Beschrieb des Untergrundes sowie die übrigen Bedingungen mit den Messwerten dokumentiert und von einer Fachperson ausgewertet und interpretiert werden.

Für den Anwendungsbereich, das Gerät, die Versuchsbedingungen, die Versuchsdurchführung und die Versuchsprotokollierung zum LFG gilt die VSS 70313.

Betreffend die Versuchsbedingungen ist darauf zu achten, dass die Prüffläche unter dem LFG nicht mehr als 6 % (längs und quer) geneigt sein darf und die Führungsstange vertikal stehen muss. Das LFG eignet sich für Messungen auf grobkörnigen (sandigen und kiesigen) Böden, steifen bis harten feinkörnigen Böden sowie auf gemischtkörnigen Böden.

Erfahrungsgemäss liefert das LFG für einen Messbereich von $E_{vd} = \text{ca. } 10 - 70 \text{ MN/m}^2$ verwendbare Messwerte. Im Messbereich von $E_{vd} < 10 \text{ MN/m}^2$ können aus verschiedenen Gründen (u.a. zu wenig mächtige grobkörnige Schichten) keine zuverlässigen Messwerte mehr erzielt werden, weshalb hier gewöhnlich andere Versuchsmethoden (z.B. CBR) zur Abschätzung eines äquivalenten M_{E1} -Wertes zur Anwendung kommen. Auch im Messbereich von $E_{vd} > 70 \text{ MN/m}^2$ nimmt die Zuverlässigkeit des LFG aufgrund des geringen Fallgewichts stark ab. Wird das LFG trotzdem in diesem Messbereich eingesetzt, sind die E_{vd} -Messwerte mittels benachbarter M_{E1} -Messungen mit der statischen Lastplatte zu kalibrieren, wozu u.U. das Messnetz der statischen Versuche entsprechend zu verdichten ist.

Als Grundlage für die Dimensionierung des Unterbaus auf einem feinkörnigen Untergrund kann der California Bearing Ratio (CBR; Feldversuch gemäss VSS 70316a) durchgeführt werden.

5.2.1.2 Nachweis der Verformbarkeit

Die Durchführung von M_{E1} -Messungen ist für geotechnische Untersuchungen (Bewertung der vorhandenen Baugrundverhältnisse) und für Einbaukontrollen bei Neubauvorhaben zwingend, da beim Neubau die entsprechenden Voraussetzungen in aller Regel gegeben sind (v.a. kaum bahnbetriebliche Einschränkungen vorhanden).

Vorschriften für den Einbau und die Kontrolle von Schichten aus ungebundenem Gemisch sind unter Abschnitt 9.3.3.4 aufgeführt.

Nachweis der Verformbarkeit auf der Planie der Foundationsschicht:

Wird das LFG bei Neubauvorhaben entsprechend den im Abschnitt 5.2.1.1 aufgeführten Regeln ergänzend zum statischen Plattendruckversuch eingesetzt, was auf grobkörnigem, mindestens 40 cm dickem Material (Foundationsschicht aus ungebundenem Gemisch gemäss Tabelle 5-2 auf grobkörnigem Untergrund) meist möglich ist, so sind pro Messstelle auf der Planie 5 Messungen wie folgt angeordnet durchzuführen: je eine Messung in den Ecken sowie im Zentrum eines Quadrates mit einer Kantenlänge von 1 m. Falls einer der gemessenen Werte mehr als 20 % vom Mittelwert aller fünf Werte abweicht, wird er gestrichen und nicht weiter berücksichtigt.

Nachweis der Verformbarkeit des Untergrundes:

Damit als Grundlage für die Bemessung des Unterbaus das LFG ergänzend zum statischen Plattendruckversuch auf dem Untergrund eingesetzt werden kann, müssen die in Abschnitt 5.2.1.1 aufgeführten Bedingungen erfüllt sein.

Für die Messungen mittels LFG gelten folgende Mindestprüfhäufigkeiten, wobei eine Skalierung mittels statischem Plattendruckversuch vorzunehmen ist: Beim Normalspurgleis sind alle 5 m jeweils ca. 0.75 m links und rechts der Gleisachse, beim Meter-spurgleis jeweils ca. 0.5 m links und rechts der Gleisachse Einzelmessungen durchzuführen.

5.2.2 Wahl des Unterbaus und Dimensionierung auf Verformbarkeit

Die Tabelle 5-2 enthält die Minstdicken der Foundationsschicht und der Sperrschicht. Aufgrund von Bautoleranzen soll eine Minstdicke der Foundationsschicht von 25 cm bei den Gleisbelastungsgruppen N1, N2 und N3 nicht unterschritten werden. Bei N4 kann eine Minstdicke von 20 cm aufgrund der geringen Anforderungen auf der Planie genügend sein.

Bei der Gleisbelastungsgruppe N1 ist eine bitumenhaltige Sperrschicht auf der Foundationsschicht einzubauen. Bei den Gleisbelastungsgruppen N2 und N3 kann eine mineralische Sperrschicht genügen. Bei N4 ist allenfalls eine mineralische Sperrschicht aus Gewässerschutzgründen notwendig.

Vorbehalten bleiben die Bemessung in Bezug auf Frostsicherheit gemäss Abschnitt 5.3 und allfällige Massnahmen zum Gewässerschutz (Abschnitte 5.4 bzw. Anhang A8).

Die erforderlichen Materialqualitäten sind im Kapitel □ enthalten.

Gleisbelastungsgruppe	Planum		Aufbau Unterbau	
	M_{E1} ^{a)} min. [MN/m ²]	CBR ^{b)} min. [%]	Dicke [cm]	Material
N1	15...30	7...15	7 3 40	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
	> 30	> 15	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
N2	15...30	7...15	7 3 40	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
			5 40	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
	> 30	> 15	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
			5 25	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
N3	≥ 15	≥ 7	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
			5 25	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
N4	≥ 15	≥ 7	5 20	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
			25	F: ungebundenes Gemisch ^{d)}

- a) Falls der M_{E1} -Wert auf dem Planum geringer als 15 MN/m² ist, sind Massnahmen zur Verringerung der Verformbarkeit des Planums nach den Regeln des Strassenbaus zu treffen. Eine Fundationsschicht aus frostsicherem, gut wasserdurchlässigem Kies von mindestens 0.25 m ist unter der Sperrschicht bei den Gleisbelastungsgruppen N1, N2 und N3 immer notwendig (GW oder GP gemäss SN EN ISO 14688).
- b) California Bearing Ratio CBR gemäss SN EN 13286-47.
- c) Die Maximaldicke der bitumenhaltigen Sperrschicht beträgt 0.10 m. Bei Verwendung als bitumenhaltige Abdichtung beträgt die Minstdicke 0.07 m gemäss SN 531203.
- d) Der Einbau einer Fundationsschicht ohne Sperrschicht muss stets auf die umweltrechtliche Zulässigkeit geprüft werden

Tabelle 5-2: Minstdicken der Fundationsschicht (F) und Sperrschicht (S).

5.2.3 Sperr- und Foundationsschichten

5.2.3.1 Bitumenhaltige und mineralische Sperrschicht

Die Eigenschaften der bitumenhaltigen Sperrschicht gemäss Abschnitt 8.2 sind auf den Eisenbahnbetrieb ausgerichtet. Die Schicht besteht aus AC Rail 16 oder 22 und weist eine Dicke von mindestens 7 cm und höchstens 10 cm auf.

Die Eigenschaften der mineralischen Sperrschicht gemäss Abschnitt 8.2 stammen ursprünglich aus dem Forstwegebau. Vor der Bauausführung empfiehlt sich ein Einbauversuch durchzuführen, um Wassergehalt, Befahrbarkeit und Verdichtbarkeit zu optimieren.

Die Sperrschicht ist von einzelnen Schottersteinen zu befreien, um ein Einfahren zu verhindern. Falls die bitumenhaltige Sperrschicht während der Bauausführung von Transportfahrzeugen befahren werden soll, z.B. zum Einbringen des Schotters, ist die Beanspruchung angemessen zu berücksichtigen. Um Spurrinnen zu verhindern, ist die bitumenhaltige Sperrschicht bei hohen Lufttemperaturen nur in Tagesrandzeiten oder nachts zu befahren bzw. mit Wasser zu kühlen. Das Befahren der mineralischen Sperrschicht ist erst nach der vollständigen Aushärtung zulässig. Abweichend von der VSS 40744 wird eine genügende Aushärtung bereits innerhalb von 3 Tagen bis 3 Wochen (in Abhängigkeit von Exposition und Witterung) erreicht.

Die festgelegte Schichtdicke ist über die gesamte Einbaubreite beizubehalten und mit einem wasserdurchlässigen Material abzudecken, damit eine vorzeitige Alterung bzw. Brüchigkeit der Sperrschicht vermieden wird.

Es hat sich als zweckmässig erwiesen, dass zwischen dem ungebundenen Gemisch und der bitumenhaltigen Sperrschicht eine Ausgleichsschicht von ca. 3 cm aus bitumenhaltigem Asphaltgranulat 0/16 mm eingebaut wird (siehe SN EN 13108-8). Diese erhöht die wirksame Dicke der bitumenhaltigen Sperrschicht und verbessert die Elastizität des Unterbaus. Es muss sichergestellt sein, dass das Asphaltgranulat keine umweltgefährdenden Stoffe enthält.

5.2.3.2 Foundationsschicht aus ungebundenem Gemisch

Als Foundationsschicht kommen ungebundenes Gemisch 0/22 oder 0/45 bzw. entsprechende RC-Kiesgemische gemäss VSS 70119 zum Einsatz. Die Eigenschaften der ungebundenen Gemische gemäss Abschnitt 8.3 stammen aus dem Strassenbau. Die Notwendigkeit und der Einbau eines Geokunststoffes mit Trennfunktion richten sich nach VSS 70125 bzw. VSS 70241.

Sind eine genügende Filterstabilität gegenüber dem Untergrund sowie die umweltrechtliche Zulässigkeit vorhanden, darf auf die Sperrschicht über der Foundation aus ungebundenem Gemisch verzichtet werden. Auf unverwittertem Fels kann die Schichtdicke auf 20 cm reduziert werden.

5.2.4 Übergangsschicht auf starrem Unterbau

Falls zu erwarten ist, dass die minimal zulässige Verformbarkeit auf der Planie (Tabelle 5-1) unterschritten wird, wie zum Beispiel auf einer Betonplatte (Brücke, Tunnelsohle, Grundwasserwanne etc.) oder einer Felssohle, sind Massnahmen zur Reduktion der Unterbausteifigkeit im Projekt vorzusehen. Dies trägt zur Verlängerung der Nutzungsdauer des Rollmaterials, des Oberbaus (Schienen, Schwellen, Schotter, Befestigungsmittel) und des starren Unterbaus bei. Die Übergänge von freier Strecke auf starren Unterbau werden im Abschnitt 5.10 geregelt.

Für eine Verbesserung der Stopfbarkeit besteht eine einfache Bauart darin, unmittelbar unter das bahntechnisch notwendige Schotterbett eine Übergangsschicht aus homogen verdichtetem Schotter auf die harte Planie einzubauen.

Die notwendige Gesamtdicke der Gleisbettung über starrem Unterbau beträgt für alle Gleisbelastungsgruppen 30 cm Schotter plus eine allfällige Übergangsschicht. Diese Übergangsschicht ist gemäss Tabelle 5-3 abhängig von der Gleisbelastungsgruppe und der Schwellenart.

	Gleisbelastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)		
	N1	N2/N3	N4
Betonschwellen	10 cm	0 cm	0 cm
Stahl-/Holzschwellen	0 cm	0 cm	0 cm

Tabelle 5-3: Dicke der Übergangsschicht aus Schotter auf starrem Unterbau.

5.2.5 Geometrische Gestaltung

Die Sperrschicht und das Quergefälle von Planie und Planum dienen dem Schutz des Unterbaus vor eindringendem Wasser. Planie und Planum sind zu entwässern, was bei längs verlaufenden Hindernissen entsprechende, konstruktive Massnahmen erfordert (z.B. Fundation von Kabelkanälen auf Splitt 8/16 mm oder gröber, auf Glasgranulat oder in einem Sickerkörper; Einzelfundamente bei Lärmschutzwänden, etc.). Das Quergefälle auf dem Planum beträgt mindestens 5 %. Auf der Planie beträgt es:

- 3 % im Fall einer bitumenhaltigen Sperrschicht und auf starrem Unterbau
- 5 % in den übrigen Fällen.

Das Quergefälle von Planie und Planum bei Doppelspurstrecken ist auch in Gleisbögen und im Bereich von Weichen und Bahnübergängen sattelförmig und symmetrisch mit Gefällsbruch in der Doppelspurachse auszubilden.

Bei speziellen, örtlichen Gegebenheiten kann die Anordnung eines einseitigen Quergefälles über zwei Gleise zweckmässig sein (z.B. bei Spurwechseln in Kurven, allgemein im Bereich von Stützmauern und Brücken oder beim Neubau eines zusätzlichen Gleises neben einem Bestandgleis zur Optimierung des bestehenden Entwässerungssystems).

Spezielle Beachtung verlangt in diesem Fall der Einbau einer auch im Bereich von Übergängen von Arbeitsetappen funktionstüchtigen Sperrschicht sowie die homogene Verdichtung der Vorschotterung (Detailvorgaben siehe Abschnitt 9.1).

Beim Einbau einer Fundationsschicht aus ungebundenem Gemisch ohne Sperrschicht kann auf das Erstellen eines Quergefälles von Planie und Planum verzichtet werden (schadlose Versickerung).

Wechsel im Quergefälle sind über einen Bereich von 5 – 10 m auszuführen. Ein minimales Fallliniengefälle von 2 % ist anzustreben.

5.3 Frost

5.3.1 Allgemeines

Bei Neubauten sind Frostschutzmassnahmen für die Gleisbelastungsgruppen N1, N2 und N3 zu prüfen, wenn der Untergrund aus Böden der Kategorie G3 (mittel frostgefährdet) oder G4 (stark frostgefährdet) gemäss VSS 70140b besteht und gleichzeitig eine oder mehrere der folgenden, hydrologisch ungünstigen Bedingungen zutreffen:

- Einschnitttiefe (OK Terrain bis OK Schwelle) > 3 m
- Distanz massgebender Grundwasserspiegel zu OK Schwelle < 2 m
- druckgespanntes Bodenwasser vorhanden

Auf das Bemessen des Unterbaus auf Frost bei der Gleisbelastungsgruppe N4 kann verzichtet werden.

5.3.2 Dimensionierung des Unterbaus gegen Frost

Der wichtigste Bemessungsparameter gegen Frosteinwirkungen ist der Frostindex der Luft gemäss VSS 70140b. Auf Grund des standardisierten Aufbaus der Fahrbahn mit einem isolierenden Schotterbett und fehlenden, klimatisch extremen Verhältnissen resultieren geringe Unterschiede im Verhalten der Böden G3 und G4. Daher kann der Strahlungseinfluss vernachlässigt werden. Für Eisenbahnanlagen mit Schotteroberbau kann deshalb ein gegenüber dem Strassenbau vereinfachtes Bemessungsverfahren angewendet werden.

Vergleichsdicke [m]:

$$z = f_s \cdot d_s + f_b \cdot d_b + f_k \cdot d_k$$

Korrekturfaktoren:

- | | |
|----------------------------------|--|
| – Schotter: | $f_s = 0.5$ (0.8 bei günstigen örtlichen Klimabedingungen) |
| – bitumenhaltige Sperrschicht: | $f_b = 0.7$ |
| – Ungebundenes Gemisch/Kiessand: | $f_k = 1.0$ |

Schichtdicken [m]:

d_s : Schotterbett
 d_b : bitumhaltige Sperrschicht
 d_k : ungebundenes Gemisch/Kiessand

Frosttiefe [m]:

$$X = 0,00077 \cdot FI + 0.53$$

Frostindex der Luft [°C·Tage]:

FI (ein minimaler Frostindex von 200 °C Tage darf nicht unterschritten werden)

Bedingung für Frostbemessung [m]:

$$z \geq X$$

Die massgebenden Frostindices verschiedener Orte sind im Anhang A9 enthalten. Der Bemessungsindex für andere Orte ist zu interpolieren oder gemäss VSS 70140b zu bestimmen.

Die Frosttiefe ist ab Unterkante Schwelle zu bemessen.

5.4 Entwässerung

5.4.1 Allgemeines

Gute und dauerhaft funktionierende Entwässerungen sind entscheidend für die Verformbarkeit und die Nutzungsdauer des Bahnkörpers. Die Nutzungsdauer soll im Minimum derjenigen des Unterbaus entsprechen.

Für die Planung der richtigen Entwässerungsart sind zwei wichtige Randbedingungen zu beachten:

- die gesetzlichen Einschränkungen
- die geotechnischen Eigenschaften des Unterbaus und Untergrundes der Umgebung im Projektperimeter

Die RL BAV/BAFU [1] befasst sich mit den Anforderungen und der Zulässigkeit einer Entwässerung gemäss GSchG und GSchV. Die vorliegende RTE-Regelung definiert die technischen Lösungsmöglichkeiten in Abhängigkeit der geotechnischen Verhältnisse und richtet sich damit an die Ingenieure. Für die Abklärung der Zulässigkeit und die Wahl des Entwässerungssystems sind frühzeitig die notwendigen umweltrelevanten Abklärungen vorzunehmen.

Im Zusammenhang mit der Entwässerung können, nebst den zentralen Aspekten der Versickerung und der Einleitung gemäss RL BAV/BAFU [1], projektspezifisch weitere Umweltthemen relevant sein, wie z.B.:

- Schutz besonders sensibler, aquatischer Ökosysteme wie Laichgewässer
- Störfallvorsorge gemäss StFV:
 - Ableitung von Abwasser auf Strecken mit Gefahrguttransport, siehe RL BAV/BAFU [1] (Art. 3 StFV)
 - Massnahmen zum Schutz von Oberflächengewässer und Grundwasser, siehe RL BAV [2]
- Natur- und Landschaft (NHG und NHV): z.B. Einleitverbote in Moore
- Bodenschutz (gemäss VBBö)

Die CL BAV/BAFU [4] bietet eine Hilfe.

5.4.2 Technische Anforderungen

Das gewählte Entwässerungssystem muss in der Regel folgenden Anforderungen genügen:

- Wasser aus dem Fahrbahnbereich zur Seite führen
- seitlich zufließendes Wasser ausserhalb des Fahrbahnbereichs abfangen
- Eindringen von Wasser in den Unterbau verhindern
- Wasser ausserhalb der Foundationsschicht und unterhalb des Planums versickern oder ableiten
- dauerhaft funktionieren

Der Aufbau der Sperrschicht bei Neubauten muss eine genügende Wasserdichtigkeit von mindestens $k \leq 10^{-7}$ m/s aufweisen.

Wasser im Unterbau verursacht Tragfähigkeitsverluste in den einzelnen Schichten und kann zusammen mit der dynamischen Verkehrsbelastung zur Zerstörung der Schichtgrenzen führen. Damit verbunden ist eine Vermischung des Unterbaumaterials bis hin zu Feinanteil-Aufstössen ins Schotterbett. Das Eindringen von Wasser in den Unterbau ist

deshalb möglichst zu verhindern, wobei der Einfluss der dynamischen Verkehrslast zu berücksichtigen ist.

Ist aus technischer und umwelttechnischer Sicht keine Sperrschicht erforderlich, so kann bei der Gleisbelastungsgruppe N3 eine diffuse Versickerung durch den Unterbau geprüft werden.

Massnahmen gegen das Eindringen von seitlich zufließendem Wasser sind in der Regel mit den im Strassenbau gebräuchlichen Vorkehrungen identisch. Zur Gewährleistung der Filterfunktion kann der Einbau eines Geokunststoffs (Filtergewebe) zweckmässig sein (siehe Abschnitt 8.4). Gegen Meteorwasser sind Massnahmen gemäss Abschnitt 5.4.4 zu treffen (siehe auch Anhänge A7 und A8).

5.4.3 Bemessung

5.4.3.1 Wassermenge

Für die Dimensionierung von Entwässerungssystemen ist (abgesehen von Rückhalteanlagen, siehe Abschnitt 5.4.3.3) mit einem Abflusskoeffizienten von 0.5 – 0.7 für den Bahnkörper über der Planie zu rechnen. Die Abflusskoeffizienten der übrigen Flächen sind nach den Regeln des Strassenbaus (z.B. VSS 40353) zu bestimmen.

Die Wahl des Abflusskoeffizienten ist abhängig von der Schotterbettdicke (Gesamtoberfläche der Schotterkörner), von der Planie-Oberfläche (Absorption) und deren Gefälle (Abflussgeschwindigkeit).

Für die Leitungsbemessung ist der Kurzregen massgebend. Er kann mit einer Dauer von 15 Minuten angenommen werden. Die Bestimmung der Regenintensität richtet sich sinngemäss nach VSS 40350. Für die Wiederkehrperiode sind 2 Jahre einzusetzen.

5.4.3.2 Entwässerungsleitungen

Der Minimaldurchmesser von Entwässerungsrohren beträgt 200 mm. Das minimale Leitungsgefälle beträgt 5 ‰. Bei Verwendung von Kunststoffrohren sind in der Regel Produkte aus Polyethylen (PE, PE-HD) oder Polypropylen (PP, PP-HM) einzusetzen. Auf Rohre aus PVC ist zu verzichten. Die Ringsteifigkeit (Scheitelsteifigkeit) der Rohre im geschlitzten Zustand beträgt \geq SN8. Die Rohre müssen Qplus-zertifiziert sein.

Zwischen den Kontrollschächten sind die Leitungen ohne Knicke in einer stetigen Linie auszubilden. Das Einführen in die Kontrollschächte muss gerade und ohne sicht-verhindernde Richtungswechsel erfolgen. Die Schachtabstände sind gemäss Angaben in der SN 533190 auszuführen. In der Regel ist ein Schachtabstand von < 80 m zu wählen.

Für Drainagerohre (Sickerrohre) beträgt die Einlauffläche mindestens $100 \text{ cm}^2/\text{m}$. Bei grosser Versinterungsneigung des Grund-/Bergwassers sind entsprechend grössere Einlaufflächen zu wählen. Die Rohre weisen mindestens 8 mm breite Schlitze oder Löcher mit mindestens 16 mm Durchmesser auf (SN 564272).

Für Sickerpackungen ohne Stützwirkung (Banketterneuerung) darf kein Sickerbeton eingesetzt werden (Verhinderung einer Versinterungsbeschleunigung).

Entwässerungsleitungen sind um die Fundamente der Fahrleitungsmasten zu führen.

5.4.3.3 Rückhalteanlagen

Zur Verminderung von Hochwasserspitzen in einem Vorfluter mit beschränkter Kapazität ist in bestimmten Fällen ein Rückhalt des Regenwassers vorzusehen. Ein Rückhalt kann zusätzlich mit der Behandlung des Gleisabwassers kombiniert werden oder je nach Leistungsfähigkeit der Behandlungsanlage dieser vorgeschaltet sein.

Für die Bemessung von Rückhalteanlagen sind die lokalen Niederschlagsbedingungen, die Einleitbedingungen in das lokale Fließgewässer resp. die Vorgaben aus den kommunalen Entwässerungsplanungen (GEP) oder regionalen Entwässerungsplanungen (REP) zu beachten. Die RL BAV/BAFU [1] und als Ergänzung die RL VSA [3] bieten Projektierungshilfen, wobei bei Widersprüchen die RL BAV/BAFU [1] massgebend ist.

Rückhalteanlagen sollten nicht im Lastbereich der Fahrbahn erstellt werden und, wenn möglich, ausserhalb des Fahrwegs liegen. Eine möglichst einfache, gut einsehbare Bauweise ist anzustreben, damit Funktionskontrollen und Unterhaltsarbeiten ohne spezielle Vorkehrungen möglich sind.

In Bereichen mit erhöhtem Gefahrgutaukommen können Rückhaltmassnahmen auch für den Havariefall erforderlich sein. Dazu müssen die Anlagen mit einem Schieber geschlossen werden können. Unter Umständen ist ein zusätzliches Volumen für Löschwasser erforderlich. Auch soll in solchen Fällen eine gute Zugänglichkeit für Interventionskräfte bei der Standortwahl mitberücksichtigt werden.

5.4.4 Kontrolle und Unterhalt

Die Entwässerungsanlage ist im Plan des ausgeführten Bauwerks zu dokumentieren. Dies beinhaltet auch die Dokumentation von Ableitung und Beseitigung des Abwassers ausserhalb des Projektperimeters bzw. des Bahnareals.

Entwässerungsanlagen sind bei der Bauabnahme vollständig zu kontrollieren. In der Betriebsphase sind sie periodisch zu inspizieren und zu reinigen. Die Reinigungsintervalle sind auf den Schmutz-/Sandeintrag und allfällige Versinterungen, auf die Wasserhärte und auf die Verstopfungstendenz der Rohreinlauföffnungen abzustimmen. Schlecht funktionierende Entwässerungen führen zu Unterbauproblemen und begünstigen zudem den Bewuchs der Bankette, was die Unterhaltstätigkeit erhöht.

5.5 Leitungsquerungen

5.5.1 Projektierung

Bei der Bestimmung der Tiefe von Leitungsquerungen sind die Gestaltung des Unterbaus, der Aufbau des Untergrunds (geologische und geotechnische Aspekte) und allfällig vorhandenes Grundwasser zu berücksichtigen. Die Leitung inklusive der Rohrumhüllung sind generell unterhalb des Planums zu führen.

Leitungsquerungen sind rechtwinklig zum Gleis und grundsätzlich ausserhalb von Weichen vorzusehen. Bei Abweichungen sind die Fachdienste zu konsultieren.

Zwischen der Sohle des Sickergrabens und dem Scheitel der darunter liegenden Leitungsquerung ist in der Regel ein Abstand von mindestens 0.30 m einzuhalten.

5.5.2 Bahneigene Querungen

Für Leitungsquerungen soll der Abstand Rohrscheitel zu Schwellenoberkante grösser als 1.30 m sein. Damit kann eine spätere Unterbausanierung hindernisfrei durchgeführt werden.

Die Tiefe von Leitungsquerungen bei der Gleisbelastungsgruppe N4 ist im Einzelfall durch den Fachdienst zu bestimmen.

5.5.3 Bahnfremde Querungen

Bahnfremde Leitungsquerungen dürfen die bahntechnischen Anlagen weder behindern noch deren künftige Erstellung und Erhaltung erschweren.

Die Berücksichtigung aller Randbedingungen hat gewöhnlich eine Scheitelhöhe der Leitungsquerung von 2.00 m unter Schwellenoberkante oder tiefer zur Folge (siehe VSS 71260).

5.5.4 Ausführung

Vor jeder Ausführung ist ein Sicherheits- und Überwachungskonzept zu erstellen.

Beim offenen Leitungsbau sind Grabensohle und Auffüllung so zu gestalten, dass darüber eine homogene Foundation eingebaut werden kann.

Bei einer grabenlosen Erstellung ist eine Absprache mit dem zuständigen Fachdienst notwendig.

Die Scheiteldruckfestigkeit des Kunststoffrohrs ist zu dimensionieren (langfristige Ringsteifigkeit von mindestens PE100 und kurzfristige Ringsteifigkeit von mindestens SN 8).

5.6 Filterstabilität

Die Filterstabilität setzt sich aus den zwei Funktionen «Trennen» und «Filtern» zwischen zwei aneinandergrenzenden Materialien zusammen. Bei einer Wasserströmung steht die Funktion «Filtern» (druckfreier Wasserabfluss) im Vordergrund, sonst die Funktion «Trennen» (Verhinderung der Kornumlagerung).

In Abwesenheit einer Wasserströmung ist für die dynamische Beanspruchung des Unterbaus durch den Zugverkehr die Funktion «Trennen» im Vordergrund. Die Durchmischung an den Grenzflächen der Kiesschicht wird verhindert, wenn die Filterkriterien gemäss VSS 70125 eingehalten sind. Im Eisenbahnunterbau hat sich das ursprüngliche Terzaghi-Kriterium bewährt:

$$D_{15} \text{ Filtermaterial} / D_{85} \text{ feinkörnigeres Material} \leq 4$$

Zum Erreichen einer ausreichenden Filterstabilität auf dem Planum sind folgende Varianten möglich:

1. Einbau einer mineralischen Übergangsschicht
2. Einbau eines Geotextils, das die benachbarten Schichten trennt (Trennvlies)

Ein Geotextil oder ein stabilisierter Untergrund ohne Ausbildung einer Foundationsschicht aus ungebundenen Gemischen erfüllt die Filterstabilität nicht, da unter dynamischer Belastung feines Material aus dem Untergrund durch das Geotextil dringen und ins Schotterbett hochsteigen kann.

Zusätzlich muss die Filterstabilität auch im Bereich der Entwässerungsgräben mit seitlichem Hang- oder Schichtwasserzufluss oder im Bereich von Grundwasser gewährleistet werden (Filtern). Kornumlagerungen infolge von Wasserdurchströmung sind derart zu verhindern, dass es zu keiner Beeinträchtigung der Durchflussskapazität kommt.

Auch hier kann entweder ein mineralischer Filter oder ein Geotextil (Filtergewebe) eingebaut werden, welche die benachbarten Materialien trennt und das Wasser druckfrei durchströmen lässt.

5.7 Bauleranz

Die zulässigen Abweichungen gegenüber den Projekthöhen betragen beim Planum ± 3 cm, bei der Planie der Fundationsschicht ± 2 cm, bei einer bitumenhaltigen Sperrschicht ± 1 cm und bei der Vorschotterung ± 2 cm.

Unter der 3 m-Latte sind Vertiefungen von maximal 3 cm zulässig.

4 m-Latten dürfen bei Gleisen unter Fahrleitungen aus Sicherheitsgründen nicht verwendet werden.

Für bitumenhaltige Planien gilt VSS 40525.

5.8 Bankett

5.8.1 Allgemeines

Das Bankett bildet den seitlichen Abschluss der Fahrbahn und bildet bei Dämmen die Böschungsschulter. Es dient dem Personal als Dienstweg und soll auch als natürliche Sperre gegen unerwünschten Pflanzenaufwuchs wirken.

Bei der Projektierung des Banketts sind der Grünunterhalt und die gesetzlichen Anforderungen (Grundwasserschutz, Landschaftsschutz, Flora, Fauna etc.) zu beachten und nachzuweisen.

Begehbare Bankette sind, wenn technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar, beidseits von Einspur- und Doppelspur-Strecken zu erstellen (siehe AB-EBV zu Art. 18, Normalspur bzw. Meterspur, AB 18.3, Ziff. 2.2).

Ein Bankett gilt als begehbar, wenn die Abmessungen (Mindestabstand und Mindestbreite) gemäss Abschnitt 5.8.2 erfüllt sind und es keine Stufen oder Hindernisse aufweist.

Ein Bankett gilt dann als Fluchtweg, wenn der Gefahrenbereich nur entlang des Banketts verlassen werden kann. Vorhandene Hindernisse wie Anschnitte, Stützmauern und dergleichen lassen ein seitliches Verlassen nicht zu.

5.8.2 Geometrie

Die Massangaben beziehen sich auf die Gleislage gemäss Absteckung und ein Achsen-system, das definiert ist durch die Mitte der Oberkante der nächstliegenden Schiene.

Die Geometrie des Banketts (Breite und Höhe) ist abhängig von der Topografie, evtl. seitlichen Bauten (z.B. Masten, Lärmschutzwände) sowie vom Lichtraumprofil, inkl. der Berücksichtigung der Kurvenlage und der vorgesehenen Nutzung. In der Tiefe reicht das Bankett bis zum Planum, bei vorhandener Sperrschicht bis zur Planie.

Der Abstand der Bankettinnenseite zur relevanten Aussenschienenmitte sollte mindestens 1.50 m betragen (entspricht dem Sicherheitsabstand gemäss R RTE 20100).

Die Mindestbreite b_b des begehbaren Banketts entspricht in der Regel der Breite des Dienstweges gemäss AB-EBV zu Art. 18, Normalspur bzw. Meterspur, AB 18.3. Ist ein Kabelkanal vorhanden, sind folgende Mindestbreiten zu berücksichtigen:

- 0.60 m bei $v \leq 160$ km/h
- 0.90 m bei $v > 160$ km/h
- 1.00 m für rollstuhlgängigen Fluchtweg

Die Höhe des Banketts h_b wird bestimmt durch den Zugang zum Gleis und die Lagerungsmöglichkeit von Werkzeug und sollte idealerweise zwischen 0.40 m und 0.60 m unter der Oberkante der nächstliegenden Schiene liegen.

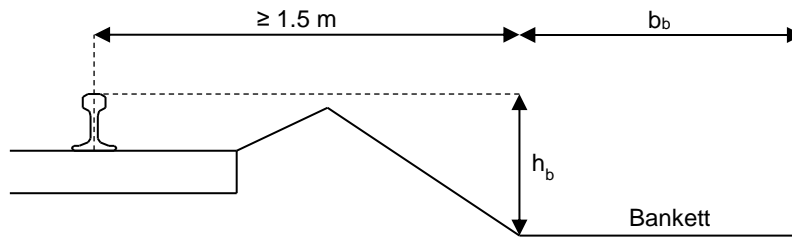


Abbildung 5-4: Geometrie des Banketts

Die Gestaltung des Bankettes mit einer maximalen Böschungsneigung von 2:3 im Dammbereich ist Voraussetzung dafür, dass es als amphibien- und reptilienfreundlich gilt.

Damit das lückenlose Mähen möglich ist, müssen Bankett und Böschung entsprechend ausgebildet werden.

5.8.3 Material

Zur Sicherstellung der Entwässerung der Fahrbahn ist das Bankett oberhalb der Planie aus wasserdurchlässigem Material (Brechschotter, gewaschen bzw. entstaubt oder unverschmutzter, gewaschener Altschotter) zu erstellen. Damit wird sowohl das Pflanzenwachstum reduziert als auch der seitliche Wasserabfluss aus dem Bankett ermöglicht.

Als Abdeckung eignet sich u.a. Brechschotter 8/32 oder 16/32 (letztenannter nur für Ebene und Einschnittslage). Das grobkörnige Bankett kann z.B. für eine bessere Begehrbarkeit mit einer ca. 10 cm dicken, feinkörnigen Schicht abgedeckt werden (z.B. gebrochener Kiessand 0/16¹). Der gebrochene Kiessand 0/16 ist als Gemisch in der VSS 40744 dargestellt. Für sämtliche Bankett- und Sickermaterialien müssen die Korngruppen 4/8 und 11/16² einen LA-Wert ≤ 40 bezüglich Widerstand gegen Zertrümmerung gemäss SN EN 1097-2 aufweisen.

Auf eine ausreichend tiefe Ausbaggerung von Oberboden und Pflanzenmaterial wie Grasnarben, Rhizomen etc. ist vor dem Einbau der Bankettmaterialien zu achten. In der Regel soll mindestens der A-Horizont (Humus) abgeführt bzw. in der Böschung wiederverwendet werden.

Wenn im Bereich der bisherigen Böschungen invasive Problempflanzen (Neophyten, wie z.B. der japanische Staudenknöterich) wachsen, ist ein spezielles Konzept zum Umgang mit dem Bodenmaterial nötig. Das Verschleppen von Pflanzenteilen ist zwingend zu vermeiden.

¹ Beispiele sind Trinerschutt aus erodiertem Kalkstein oder Netstaler Kalksteinschotter

² Je nach Produktionsart kann der LA-Wert anstelle an der Korngruppe 11/16 auch an der Korngruppe 8/11 oder 8/16 nachgewiesen werden.

5.8.4 Aufwuchshemmendes Bankett

Ein aufwuchshemmendes Bankett ist so aufzubauen, dass es für Pflanzen schlechte Wachstumsbedingungen aufweist. Aufwuchshemmende Bankette sollen damit zu einem geringeren Einsatz von Herbiziden führen (siehe RL BAV/BAFU [1]).

Damit ein Bankett als aufwuchshemmend gilt, muss es in der Regel neu erstellt werden und folgende Eigenschaften haben:

- wenig Feinanteile
- optimaler Wasserabfluss

Dies kann durch einen Aufbau aus grobkörnigem Material ab Planum oder durch die Nutzung der Sperrschicht im Bankettbereich erreicht werden. Möglich sind zudem in vorgehendem Kapitel beschriebene lehmige Kalksteinmaterialien, mit welchen die ISB in der Praxis gute Resultate erzielen konnten.

5.9 Dammschüttung

Grundsätzlich sind Dammschüttungen für Bahnen nach den gleichen Regeln zu erstellen wie solche für Strassen (siehe SN 505267, Kap. 15). Den Werten der Verformbarkeit der Planie gemäss Abschnitt 5.2.1 ist Rechnung zu tragen.

Bei geneigter Untergrundoberfläche ist zu prüfen, ob die Stabilität des Dammes eine stufenförmig ausgebildete Sohle erfordert. Die Nutzungsdauer und die gemäss SN 505261 zu bestimmenden Einwirkungen aus dem Bahnverkehr (u.a. Lastmodelle und zugehörige Beiwerte) sind in der Nutzungsvereinbarung bzw. in der Projektbasis festzuhalten. Für Dammschüttungen darf der dynamische Beiwert gemäss SN 505261, Abs. 11.3.1.6. $\Phi = 1$ gesetzt werden.

Weiche, setzungs- oder erschütterungsempfindliche Böden des Untergrunds (weicher Lehm, Torf, Seekreide usw.) müssen bis in genügende Tiefe ausgehoben und ersetzt oder allenfalls stabilisiert werden. Falls aufgrund von Berechnungen und/oder Messungen keine grösseren Schichtdicken notwendig sind, gilt folgende Faustregel: Unter dem Schotterbett sind stabile Bodenschichten von total mindestens 3 m Dicke notwendig.

Beim Anschütten an einen bestehenden Damm sind Stufen als Verzahnung auszuführen. Falls das für die Anschüttung verwendete Material weniger durchlässig als der bestehende Damm ist, muss zwischen dem alten und dem neuen Damm und unter dem neuen Damm eine Drainageschicht vorgesehen werden, die das Wasser ableitet und einen Wasserstau vermeidet.

Bei hohem und/oder stark wechselndem Grundwasserspiegel sowie bei einem bindigen, gesättigten Untergrund ist zwecks Brechen der Kapillarwirkung und Erreichen der Filterstabilität zwischen dem Untergrund und dem Dammkörper eine Flächendrainage einzubauen.

Für die Anforderungen an den Verdichtungsgrad und an die Verformbarkeit ist die VSS 40585 massgebend. Die Ausführung der Aushub- und Schüttarbeiten ist in VSS 40575 geregelt.

5.10 Übergänge freie Strecke – starrer Unterbau

Für Übergänge von freier Strecke auf starren Unterbau (Brücken, Unterführungen, Tunnel, Grundwasserwannen etc.) sind die zuständigen Fachdienste für die Fahrbahn und den Ingenieurbau beizuziehen.

Beim Wechsel von freier Strecke auf starre Bauwerke oder auf Tunnelportale ändern beim durchgehenden Schotteroberbau, meist konstruktiv bedingt, die Gleissteifigkeit, der Querverschiebewiderstand sowie die Verformbarkeit und Geometrie der Planie und die Bankettgestaltung (seitlichen Schotterhalterungen). Insbesondere in Bezug auf die Steifigkeitssprünge müssen zusätzlich die Hinterfüllungs- bzw. Portalbereiche der Bauwerke berücksichtigt werden.

Die Vorgaben bezüglich Übergänge auf Brücken und sinngemäss für die übrigen Übergänge sind in den AB-EBV zu Art. 26, AB 26.1 dargelegt. Zusätzlich sind die Bestimmungen gemäss AB-EBV zu Art. 31, Normalspur, AB 31 betreffend Übergänge zwischen verschiedenen Gleissteifigkeiten zu beachten.

5.11 Tunnel

5.11.1 Allgemeines

Der Unterbau der Fahrbahn und das Tunnelbauwerk sind für dieselbe Nutzungsdauer zu planen. Die Nutzungsdauer und die Einwirkungen (u.a. Lastmodelle und zugehörige Beiwerte) sind in der Nutzungsvereinbarung bzw. in der Projektbasis auf der Grundlage von SN 505261 festzulegen.

Der Anhang A10 enthält Hinweise für die Projektierung bei Neubauten und Erneuerungen.

5.11.2 Entwässerung und Trockenhaltung der Fahrbahn

Bei Tunnelentwässerungen ist der Fachdienst beizuziehen.

Grundsätzlich wird bei Tunnels gemäss SN 505197, SN 505197/1 und SN 564272 zwischen zwei Entwässerungskonzepten unterschieden:

- a. drainierend:
Grund- oder Bergwasser wird ohne Wasserdruckaufbau unterhalb des Sohlengewölbes bzw. am tiefst möglichen Punkt des Tunnels abgeleitet.
- b. verdrängend:
Grund- oder Bergwasser bleibt ausserhalb des Bauwerks. Die Sohle bzw. der Unterbau sind in jedem Fall auf Wasserdruck zu bemessen.

Im Tunnel ist ein Entwässerungskonzept zur Vermeidung von punktuellm Wasserdruckaufbau unter der Sohle oder im Sohlbereich zu erstellen. Schäden können vorgebeugt werden durch:

- tiefe Lage der Drainagerohre,
- Fassung aller Bergwasserzutritte sowie der diffusen Wasserzutritte
- gute Zugänglichkeit der Entwässerungseinrichtungen
- grosszügige Rohrrinnendurchmesser
- grosszügige/zusätzliche Drainageeinrichtungen bei Orten mit Injektionen zur Gebirgsverfestigung oder Wasserverdrängung

5.11.3 Drainierende Entwässerung der Fahrbahn im Tunnel

Die Entwässerung der Fahrbahn ist so zu konzipieren, dass der Unterbau dauerhaft entwässert ist. Im Unterbau dürfen keine Porenwasserüberdrücke entstehen. Dies bedeutet, dass der Bergwasserdruck in genügender Tiefe unter der Fahrbahn dauerhaft voll zu entspannen ist (Sohlleitung, Entlastungsbohrungen). Eine lediglich teilweise Wasserdruckentspannung baut den Wasserdruck nicht vollständig ab. Dieser nimmt in der Regel während der Betriebszeit durch Kolmation und Versinterung im Unterbau bzw. im Entwässerungssystem zu.

Das minimale Quergefälle von zu entwässernden Flächen im Tunnel ist materialabhängig; in der Regel soll es $\geq 2.5 \%$ betragen.

Die Trockenhaltung von Unterbau und Felssohle sowie eine ausreichende Wasserdruckentspannung auf der Tunnelsohle während Bau und Betrieb beeinflussen die Nutzungsdauer und die Unterhaltsintensität positiv.

5.11.4 Verdrängende Entwässerung

Kann keine drainierende Entwässerung projektiert werden, so bestehen folgende Möglichkeiten:

- Bemessung der Tunnelsohle auf Wasserdruck (auch bei geringen Wasserdrücken; z.B. 0.5 m über Unterkante Fahrbahn)
- Abdichtung der Sohle (Fugenbänder, Abdichtungsbahn)

Für die verdrängende Tunnelentwässerung ist der zuständige Fachdienst Tunnelbau beizuziehen.

5.12 Unterbau bei Fester Fahrbahn

5.12.1 Allgemeines

Eine Feste Fahrbahn (schotterloser Oberbau) verlangt einen während der gesamten Nutzungsdauer stabil bleibenden Unterbau. Falls Deformationen auftreten, dürfen diese während der Nutzungsdauer ein bestimmtes Grenzmass, das von der Oberbaukonstruktion abhängt, nicht überschreiten. Im Gegensatz zur Schotterfahrbahn bestehen bei der Festen Fahrbahn im Notfall nur sehr geringe Korrekturmöglichkeiten am Gleis.

Auf eine Feste Fahrbahn ist zu verzichten

- bei Deformationsrisiken,
- bei Hebungsgefahr der Fahrbahn (z.B. durch Wasserdrücke oder quelfähiges Gestein)
- in Bodensenkungsgebieten oder
- in setzungsempfindlichen Böden.

Der Unterbau ist so steif, homogen und gleichmässig wie möglich auszuführen.

5.12.2 Grenzwerte für die Verformbarkeit der Planie

Als Massstab für die Verformbarkeit der Planie unter der Gleistragplatte gilt der M_{E1} -Wert gemäss VSS 70317 oder, wo dieser nicht zweckmässig ist, die rückfedernde Deflektion d gemäss VSS 70362 mit folgenden Grenzwerten:

M_{E1} [MN/m ²]	M_{E2}/M_{E1} [-]	d [$\frac{1}{100}$ mm]
≥ 100	≤ 2.5	≤ 50

Tabelle 5-5: Grenzwerte für die Verformbarkeit der Planie unter der Gleistragplatte.

Für die Anforderungen an die Gleichmässigkeit sowie für mögliche Kontrollmethoden gelten sinngemäss VSS 40585 und VSS 70311.

6 Unterbau bei Erhaltung

6.1 Allgemeines

Dieses Kapitel enthält die Vorgaben, welche bei Erhaltungsvorhaben gemäss Abschnitt 4.1 anzuwenden sind.

Bei Erhaltung ist insbesondere bei Gleisbelastungen $> 30'000 \text{ Bt/d}$ ein zweischichtiger Aufbau (getrennte Fundaments- und Sperrschicht) anzustreben.

Erneuerungsvorhaben können aufgrund geotechnischer Gegebenheiten und/oder aus bahnbetrieblichen Gründen oft nicht mit schweren Baufahrzeugen erfolgen:

Falls die örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten einen strassenbaumässigen Umbau mit schweren Baufahrzeugen ermöglichen, ist in der Regel ein zweischichtiger Aufbau anzustreben.

Häufig erfolgen Erhaltungsvorhaben mit seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) oder nur mit leichten Baumaschinen. In diesen Fällen kann ein einschichtiger Aufbau erstellt werden.

Notwendigkeit und Ausmass von Unterbauerhaltungsmassnahmen sind aufgrund einer angemessenen, geotechnischen Untersuchung des vorhandenen Unterbaus, des Untergrundes sowie unter Berücksichtigung der Unterhaltserfahrungen festzulegen. Die geotechnische Untersuchung liefert Entscheidungsgrundlagen für die Festlegung von Massnahmen an Unterbau und Entwässerung.

Eine geotechnische Untersuchung ist in Gleisen der Gleisbelastungsgruppen E1 und E2 immer durchzuführen, wenn

- ein Wechsel von Stahl- oder Holzschwellen auf Betonschwellen geplant ist,
- eine Erneuerung von Betonschwellen geplant ist,
- Stabilitätsprobleme der Fahrbahn resp. Unterbauprobleme bekannt sind oder
- bei einer höheren Gleisbelastung das Auftreten von Unterbauproblemen nicht ausgeschlossen werden kann.

Bei Gleisen der Gleisbelastungsgruppen E3 bis E4 ist eine geotechnische Untersuchung bei einem Wechsel auf Betonschwellen nur zwingend durchzuführen, wenn zugleich

- grössere Unterbauprobleme bestehen und
- wesentlich höhere Belastungen vorgesehen sind.

In allen anderen Fällen kann auf eine geotechnische Untersuchung verzichtet werden.

Grundsätzlich ist bei einem Schwellenwechsel das Einhalten der Dicke des Schotterbettes gemäss Tabelle 7-1 anzustreben.

Kommt die geotechnische Untersuchung zum Schluss, dass der bestehende Unterbau nicht mehr für eine nächste Nutzungsdauer des Oberbaus genügt bzw. eine unzulässige Reduktion der Nutzungsdauer zur Folge hätte, so sind Massnahmen im Unterbau notwendig.

Folgende Schichtsysteme haben sich bewährt:

- Bitumenhaltige oder mineralische Sperrschicht mit darunterliegender Fundationschicht
- Sperr- und Fundationsschicht aus Kiessand PSS mit/ohne Geokunststoff
- Drainageschicht und Sperrschicht als «Sandwich»
- Fundationsschicht aus wasserdurchlässigem Material
- Dichtungsbahn mit Drainage- und Schutzschicht
- Leichtbaustoffe

Die Projektierung richtet sich nachfolgendem Ablauf:

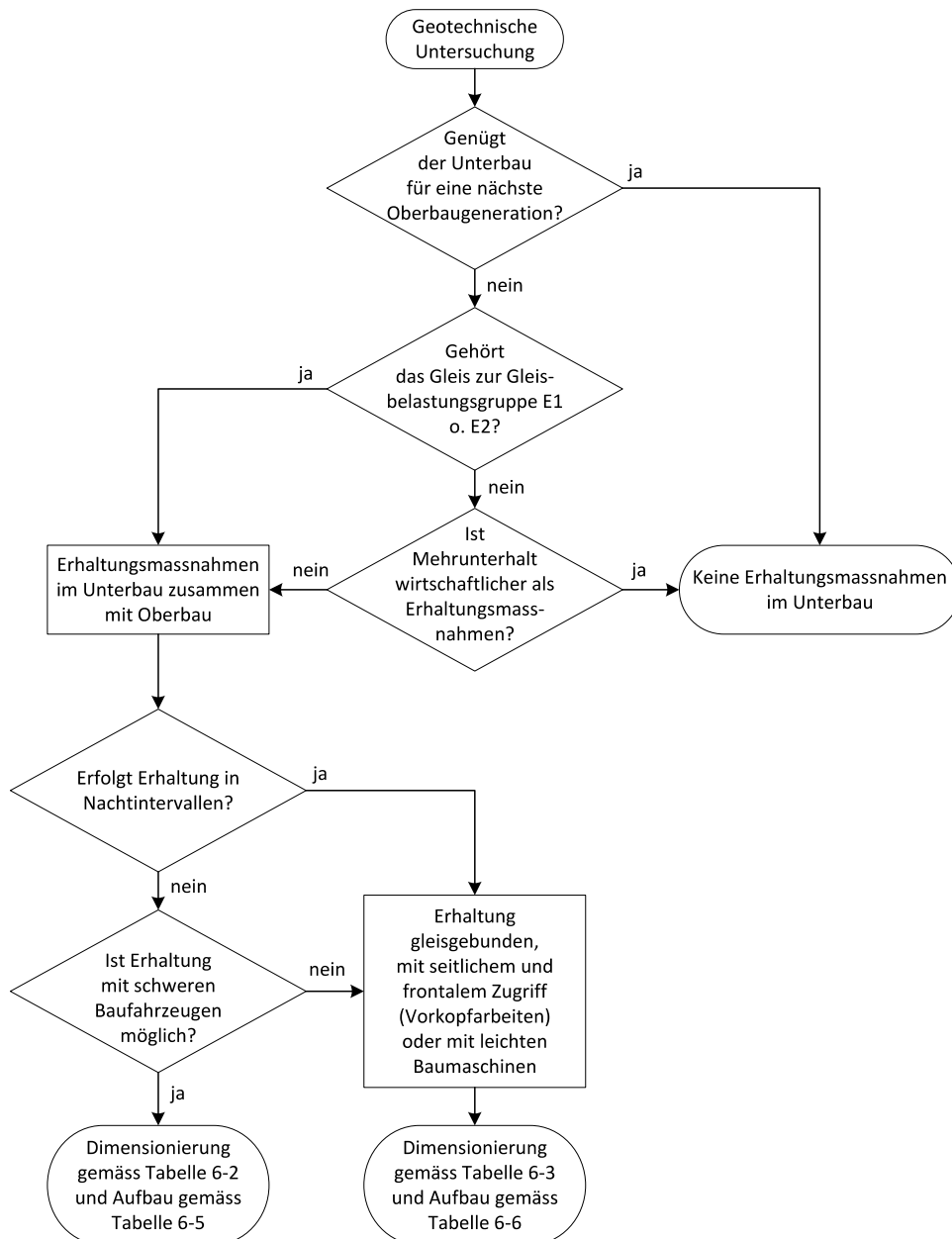


Abbildung 6-1: Vorgehensweise zur Bestimmung der Erhaltungsart

6.2 Verformbarkeit

Die Verformbarkeit im Erhaltungsfall ist abhängig von der Einbaumethode, da die betrieblichen Anforderungen an die Verformbarkeit auf der Planie aufgrund vorhandenem Oberbau stets gleich oder geringer sind als im Bauzustand.

Entscheidend ist, ob die Planie während des Einbaus von schweren Baufahrzeugen (z.B. Einbaufertiger) befahren werden muss. Ist dies der Fall, müssen erhöhte Anforderungen an die Verformbarkeit erreicht werden (siehe Tabelle 6-2). Schwere Baufahrzeuge sind Raupenfahrzeuge mit einer Bodenpressung grösser 80 kN/m^2 oder Pneufahrzeuge mit einer Achslast grösser als 2 t.

Falls Gleisbaumaschinen eingesetzt werden oder nur leichte Baufahrzeuge Planum und Planie befahren, sind angepasste Werte der Verformbarkeit anzuwenden (siehe Tabelle 6-3).

6.2.1 Grenzwerte

Für Erneuerungsvorhaben mit schweren Baufahrzeugen gelten die einzuhaltenden Grenzwerte gemäss Tabelle 6-2. Dabei sind die Anforderungen für den Betrieb ausgelegt. Mit Ausnahme auf der Planie bei den Gleisbelastungsgruppen E1/E2 sind sie bereits aufgrund der schweren Baufahrzeuge erhöht. Betrieblich wäre auch bei E1/E2 eine maximale Verformbarkeit von $M_{E1} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ genügend.

Gleisbelastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)	auf Planie				auf Planum
	maximale Verformbarkeit		minimale Verformbarkeit		maximale Verformbarkeit
	M_{E1} [MN/m ²]	d [$\frac{1}{100}$ mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [$\frac{1}{100}$ mm]	M_{E1} [MN/m ²]
E1/E2	60 ^{a)}	140 ^{b)}	150 ^{a) c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
E3	40 ^{d)}	170 ^{b)}	150 ^{c)}	40 ^{b)}	15 ^{d)}
E4	15 ^{d)}	-	150 ^{c)}	-	15 ^{d)}

a) Auf der Planie der Foundationsschicht unter der Sperr- und Ausgleichsschicht

b) Nur hinweisender Charakter, da die primäre Funktion der Sperrschicht die Wasserundurchlässigkeit ist und die Deflektion d keine Auskunft darüber gibt.

Nur relevant, wenn eine bitumenhaltige Sperrschicht eingebaut wird (vgl. Tabelle 6-5).

c) Erfahrungsgemäss können grössere Beanspruchungen des Schotterbetts bereits bei Verformungsmoduln $M_{E1} > 120 \text{ MN/m}^2$ nicht ausgeschlossen werden. Der Grenzwert von $M_{E1} = 150 \text{ MN/m}^2$ wurde aus bautechnischen Gründen nicht herabgesetzt.

d) Der Wert ist fallweise, entsprechend dem vorgesehenen Bauvorgang, zu erhöhen (z.B. auf mindestens $40 - 60 \text{ MN/m}^2$, wenn die Planie der Foundationsschicht bzw. das Planum von Pneufahrzeugen befahren werden muss).

Tabelle 6-2: Grenzwerte für die Verformbarkeit des Unterbaus (Anforderungen für Betriebszustand) bei Erhaltungsvorhaben mit schweren Baufahrzeugen.

Bei gleisgebundenen Bauvorhaben mit nur seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) bzw. mit leichten Baumaschinen gemäss Abschnitt 9.3.4 erfolgen, gelten die einzuhaltenden Grenzwerte gemäss Tabelle 6-3.

Gleis-belastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)	Auf Planie				Auf Planum
	Maximale Verformbarkeit		Minimale Verformbarkeit		Maximale Verformbarkeit
	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]	d [¹ / ₁₀₀ mm]	M_{E1} [MN/m ²]
E1/E2	40	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}
E3	30 ^{c)}	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}
E4	15 ^{c)}	-	150 ^{a)}	-	6 ^{b)}

- a) Erfahrungsgemäss können grössere Beanspruchungen des Schotterbetts bereits bei Verformungsmodulen $M_{E1} > 120$ MN/m² nicht ausgeschlossen werden. Der maximal zulässige Grenzwert von $M_{E1} = 150$ MN/m² wurde aus bautechnischen Gründen nicht herabgesetzt.
- b) M_{E1} -Äquivalent, da mittels statischem Plattendruckversuch nicht messbar.
- c) Der Wert ist fallweise, entsprechend dem vorgesehenen Bauvorgang, zu erhöhen (z.B. auf mindestens 40 – 60 MN/m², wenn die Planie der Foundationsschicht bzw. das Planum von Pneufahrzeugen befahren werden muss).

Tabelle 6-3: Grenzwerte für die Verformbarkeit des Unterbaus (Anforderungen für Betriebszustand) bei Erhaltungsvorhaben mit geringer Belastung des Planums und der Planie.

6.2.1.1 Vorgehen beim Nachweis genügender Werte der Verformbarkeit

Auch bei Erhaltungsvorhaben bestehender Gleisanlagen gelten dieselben Grundsätze wie bei Neubauten (vergleiche Abschnitt 5.2.1.1). Insbesondere sind die Anwendungsvoraussetzungen für den Einsatz des LFG zu berücksichtigen.

6.2.1.2 Nachweis der vorhandenen Verformbarkeit

Aus Zeit- und Verfahrensgründen kann bei der Erhaltung von Gleisanlagen im Vorfeld des Umbaus meistens kein Verformungsmodul M_{E1} bei Erstbelastung gemessen werden, wie dies im Neubaufall zwingend erforderlich ist. Für den Nachweis der Verformbarkeit bei geotechnischen Untersuchungen und für Einbaukontrollen werden daher andere Verfahren angewendet.

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen im Schwellenfach werden in der Gleisachse Messungen mit dem LFG auf bereits vorhandenen Foundationsschichten (ungebundenes Gemisch, Brechsand, Kiessand PSS o.ä.) durchgeführt. Diese Messungen dienen zudem dem Abschätzen des Wertes der Verformbarkeit des (künftigen) Planums. Dabei wird in Übereinstimmung mit der VSS 70313 ausnahmsweise nur eine Messung durchgeführt.

Der Einsatz des LFG und die Verwendung der damit bestimmten E_{vd} -Werte (auf Planie oder Planum) als Grundlage für die Bemessung des Unterbaus setzt voraus, dass der Schichtaufbau bis mindestens ca. 0.40 m unterhalb der Prüffläche aus grobkörnigen, gemischtkörnigen oder steifen bis harten, feinkörnigen Böden besteht. Im Bereich der Normalkonsolidation durch die Eisenbahn kann es auch auf mittelsteifen, feinkörnigen Böden eingesetzt werden. Die Böden dürfen weder gefroren noch durchnässt sein (vergleiche Abschnitt 5.2.1.1).

Sofern auch die übrigen im Abschnitt 5.2.1.1 als Voraussetzung für die Bewertung der Verformbarkeit mittels gemessener E_{vd} -Werte aufgeführten Bedingungen eingehalten sind, kann im Messbereich von $10 \text{ MN/m}^2 \leq E_{vd} \leq 70 \text{ MN/m}^2$ näherungsweise wie folgt auf äquivalente M_{E1} -Werte geschlossen werden (siehe Tabelle 6-4):

E_{vd} [MN/m ²]	10	20	30	40	50	60	70
M_{E1} [MN/m ²]	11	22	34	50	67	83	100

Tabelle 6-4: Näherungswerte für äquivalente M_{E1} -Werte infolge Messungen mit leichtem Fallgewicht.

Vorschriften für den Einbau und die Kontrolle auf der Planie sind unter Abschnitt 9.3.3.4 (ungebundenes Gemisch) bzw. 9.3.3.7 (Kiessand PSS) aufgeführt.

Nachweis der Verformbarkeit auf der Planie:

Der Messbereich des LFG richtet sich nach den Regeln in Abschnitt 5.2.1.1. So soll auf Fundationsschichten aus grobkörnigen Materialien wie ungebundenem Gemisch, Brechsand, Kiessand PSS o.ä. gemessen werden. Mit zuverlässigen Messresultaten ist im Messbereich von ca. $10 \text{ MN/m}^2 \leq E_{vd} \leq 70 \text{ MN/m}^2$ zu rechnen.

Resultate im Messbereich von $E_{vd} > 70 \text{ MN/m}^2$ haben ohne benachbarte M_{E1} -Messungen höchstens hinweisenden Charakter. Dabei wird vorausgesetzt, dass das grobkörnige Material bis mindestens ca. 0.40 m unterhalb der Prüffläche reicht und weder gefroren noch durchnässt ist.

Nachweis der Verformbarkeit des Untergrundes:

Die Bewertung der Verformbarkeit des Untergrundes erfolgt oft anhand gemessener E_{vd} -Werte auf der Planie (Abschätzung des E_{vd} -Wertes auf dem Planum). Der Einsatz des LFG auf dem Planum kann bei längeren Bauzeiten, bei kurzen strassenbaumässigen Umbauten im Schichtintervall (z.B. Bahnübergängen) oder bei vergleichbaren Verhältnissen zweckmässig sein.

Falls die oben aufgeführten Einsatzbedingungen für das LFG zur Bestimmung der Verformbarkeitswerte des Untergrundes als Grundlage für die Bemessung des Unterbaus nicht erfüllt sind, müssen die fraglichen Eigenschaften des Untergrundes mittels alternativer Methoden gemessen und/oder abgeschätzt werden (z.B. CBR-Penetrometer, Feldversuch).

6.2.2 Wahl des Unterbaus und Dimensionierung auf Verformbarkeit

Bei Bauvorhaben mit schweren Baufahrzeugen sind die Anforderungen an die Werte der Verformbarkeit gemäss Tabelle 6-2 einzuhalten. Dabei haben sich die Schichtsysteme gemäss Tabelle 6-5 bewährt.

Bei gleisgebundenen Bauvorhaben mit nur seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) bzw. mit leichten Baumaschinen gemäss Abschnitt 9.3.4 gelten die Anforderungen gemäss Tabelle 6-3. Dabei haben sich die Schichtsysteme gemäss Tabelle 6-6 bewährt.

Die Tabellen zeigen nicht alle möglichen Kombinationen von ein- bzw. zweischichtigem Aufbau mit leichten/schweren Baufahrzeugen.

Die Tabelle 6-5 zeigt die minimal einzuhaltenden Schichtaufbauten bei Erneuerungsvorhaben nach Neubaustandard mit schweren Baufahrzeugen.

Gleisbelastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)	Planum		Aufbau Unterbau	
	$M_{E1}^{a)}$ min. [MN/m ²]	CBR ^{b)} min. [%]	Dicke [cm]	Material
E1	15...30	7...15	7 3 40	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
	> 30	> 15	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
E2	15...30	7...15	7 3 40	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
			5 40	S: Mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
	> 30	> 15	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: ungebundenes Gemisch
			5 25	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
E3	≥ 15	≥ 7	7 3 25	S: AC Rail ^{c)} Asphaltgranulat F: Ungebundenes Gemisch
			5 25	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
			25	F: ungebundenes Gemisch
E4	≥ 15	≥ 7	5 20	S: mineralische Sperrschicht F: ungebundenes Gemisch
			25	F: ungebundenes Gemisch ^{d)}

- a) Falls der M_{E1} -Wert auf dem Planum < 15 MN/m² ist, sind Massnahmen zur Verringerung der Verformbarkeit des Planums nach den Regeln des Strassenbaus zu treffen. Eine Fundationsschicht aus frostsicherem, gut wasserdurchlässigem Kies mit einer Minstdicke von ≥ 0.25 m ist unter der Sperrschicht bei den Gleisbelastungsgruppen E1, E2 und E3 immer notwendig (GW oder GP gemäss SN EN ISO 14688).
- b) California Bearing Ratio CBR gemäss SN EN 13286-47
- c) Die Maximaldicke der bitumenhaltigen Sperrschicht beträgt 0.10 m. Bei Verwendung als bitumenhaltige Abdichtung beträgt die Minstdicke 0.07 m gemäss SN 531203.
- d) Der Einbau einer Fundationsschicht ohne Sperrschicht muss stets auf die umweltrechtliche Zulässigkeit geprüft werden.

Tabelle 6-5: Minstdicken der Fundationsschicht (F) und Sperrschicht (S) bei Erneuerungsvorhaben mit schweren Baufahrzeugen

Die Tabelle 6-6 zeigt die minimal einzuhaltenden Schichtaufbauten bei gleisgebundenen Bauvorhaben mit nur seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) bzw. mit leichten Baumaschinen gemäss Abschnitt 9.3.4.

Gleisbelastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)	Planum		Aufbau Unterbau	
	M_{E1} [MN/m ²]	CBR ^{a)} [%]	Dicke [cm]	Material
E1/E2	6...8	3...4	40	S+F: Kiessand PSS
	> 8...10	> 4...5	35	S+F: Kiessand PSS
	> 10	> 5	30	S+F: Kiessand PSS
E3	6...8	3...4	5	S: mineralische
			25	F: ungebundenes Gemisch
			30	S+F: Kiessand PSS
	> 8	> 4	30	F: ungebundenes Gemisch ^{b)}
			5	S: mineralische Sperrschicht
			20	F: ungebundenes Gemisch
E4	≥ 6	≥ 3	30	S+F: Kiessand PSS
			25	F: ungebundenes Gemisch ^{b)}
			20	F: ungebundenes Gemisch ^{b)}

a) California Bearing Ration CBR gemäss SN EN 13286-47

b) Der Einbau einer Fundationsschicht ohne Sperrschicht muss stets auf die umweltrechtliche Zulässigkeit geprüft werden

Tabelle 6-6: Mindestdicken der Fundationsschicht (F) und Sperrschicht (S) bei gleisgebundenem Umbau bzw. geringer Belastung von Planum und Planie

Unterbauten, die von den in Tabelle 6-5 und Tabelle 6-6 aufgeführten Konstruktionen resp. Kombinationen abweichen, sind unter Angabe entsprechender Begründungen mit dem BAV abzusprechen (siehe AB-EBV zu Art. 25, AB 25, Ziff. 4.3.12).

Der Einbau einer Sperr- und Fundationsschicht aus Kiessand PSS entspricht den Anforderungen an die Dichtigkeit gemäss Art. 3.4 GSchG. Er ist bei wesentlichen Änderungen (siehe der RL BAV/BAFU [1], Ziff. 3.1.3) angezeigt. Der Einbau einer Fundationsschicht ohne Sperrschicht muss stets auf die umweltrechtliche Zulässigkeit geprüft werden.

Auf filterstabilem bzw. verwitterungsunempfindlichem Fels kann der Aufbau auch nur aus Schotter bestehen (siehe Erläuterungen im Abschnitt 6.2.4 zum starren Unterbau).

Bei der Dimensionierung auf Verformbarkeit müssen zudem folgende Parameter des bisherigen Fahrbahnaufbaus angemessen berücksichtigt werden. Diese Parameter beruhen auf Erfahrungen, können die künftigen Anforderungen beeinflussen und/oder geben einen Hinweis auf die bestehenden Verhältnisse:

- der Schwellentyp,
- die vorhandene Schotterbettdicke,
- die Fahrbahmentwässerung,
- die bisherige Nutzungsdauer sowie
- die Unterhaltsintensität.

Die Dimensionierung auf Verformbarkeit hat im Hinblick auf die künftige Gleisbelastung und Fahrgeschwindigkeit zu erfolgen. Sollen bei den Gleisbelastungsgruppen E3 und E4 mit Geschwindigkeiten $v \geq 80$ km/h neu Betonschwellen eingebaut werden, so müssen auf der Planie die minimalen M_{E1} -Werte der nächsthöheren Gleisbelastungsgruppe eingehalten werden.

6.2.3 Sperr- und Foundationsschichten

6.2.3.1 Bitumenhaltige und mineralische Sperrschicht

Vergleiche Abschnitt 5.2.3.1

6.2.3.2 Foundationsschicht aus ungebundenem Gemisch

Vergleiche Abschnitt 5.2.3.2

6.2.3.3 Sperr- und Foundationsschicht aus Kiessand PSS

Die Eigenschaften des Kiessandes PSS gemäss Abschnitt 8.2.4 stammen aus dem Eisenbahnbau. Der Kiessand PSS muss in der Regel gleichzeitig die Aufgaben der Sperrschicht und der Foundationsschicht erfüllen:

- Verformbarkeit reduzieren
- Filterstabilität gewährleisten
- geringe Wasserdurchlässigkeit sicherstellen (k -Wert $\leq 10^{-6}$ m/s)
- Frostwirkungen reduzieren

Je dicker die Schicht ist, umso wirkungsvoller kann sie diese Aufgaben übernehmen. Als Regeldicke sind 30 cm zu wählen. Eine Schichtdicke von 25 cm sollte zwecks Gewährleistung der Filterstabilität nicht unterschritten werden. Eine reduzierte Schichtdicke von 20 cm kommt beispielsweise direkt auf unverwittertem Fels zum Einsatz.

Können die zu erwartenden Setzungen des Untergrundes – als Folge der Mehrbelastung durch den Kiessand PSS und allfälligen Wechsel z.B. von Stahl- auf Betonschwellen – toleriert werden, ist die Dicke des Kiessandes PSS gemäss den Werten auf dem Planum nach Tabelle 6-6 festzulegen.

Genügen die in Tabelle 6-6 beschriebenen Schichtsysteme in Abhängigkeit von Gleisbelastungsgruppe und vorhandener Verformbarkeit auf dem Planum nicht mehr, so müssen zusätzliche Massnahmen im Untergrund getroffen werden.

Bei zu hohen Setzungen ist statt Kiessand PSS ein Leichtbaustoff unter einer Sperrschicht gemäss Abschnitt 6.2.3.8 zu wählen.

6.2.3.4 Sperr- und Foundationsschicht aus Kiessand PSS und Geokunststoff

Es gibt primär zwei Fälle für die Anwendung eines zusätzlichen Geokunststoffes auf dem Planum unter einer Sperr- und Foundationsschicht aus Kiessand PSS:

- Verbesserung der Filterstabilität (Funktion Trennen)
- Verbesserung der Tragfähigkeit durch Bewehrung

Die Variante **Verbesserung der Filterstabilität (Funktion «Trennen»)** (i.d.R. mittels Geovlies) gelangt gemäss Abschnitt 6.6 zur Anwendung, wenn der alleinige Einbau einer Schicht aus Kiessand PSS gegenüber dem Untergrund nicht genügend filterstabil ist. In diesem Fall wird zwischen dem Kiessand PSS und dem Untergrund ein Geokunststoff mit Trennfunktion verlegt. Der Geokunststoff kann direkt auf den feinkörnigen Untergrund verlegt werden. Die Bemessung richtet sich nach VSS 70241 (Trennfunktion in Eisenbahnkörpern).

Die Variante **Verbesserung der Tragfähigkeit** (i.d.R. mittels Geogittern) kann zur Anwendung gelangen, wenn auf dem Planum ein CBR-Wert $\leq 6\%$ bzw. M_{E1} -Wert $< 15 \text{ MN/m}^2$ vorhanden ist. Bei CBR-Werten $< 3\%$ gelangen üblicherweise dehnsteifere Geogitter zum Einsatz. Bei solchen Verhältnissen ist eine Dimensionierung des richtigen Geogittereinsatzes notwendig. Bei CBR-Werten von 3 bis 4 % ist der Einsatz von Geogittern mit den minimalen Anforderungen gemäss VSS 70242 nötig. Bei CBR-Werten von 4 bis 6 % ist das Vorhalten von Geogittern mit den minimalen Anforderungen gemäss VSS 70242 im Falle nasser Witterung während der offenen Baugrube zu empfehlen – u.a. auch um eine bessere Verdichtbarkeit der obliegenden Schicht zu erreichen.

Zusätzliche Geokunststoffe zur Verbesserung der Filterstabilität (Funktion Trennen) sind unter dem Bewehrungsgeokunststoff zu verlegen (gemäss VSS 70242, Ziff. 12).

6.2.3.5 Drainageschicht und Sperrschicht als «Sandwich»

Dieser Aufbau kommt z.B. bei einem Untergrund aus Mergelfels oder dessen Verwitterungsprodukten zur Anwendung. Kann durch das Erstellen von Fahrbahn- und Hangentwässerungssystemen eine Vernässung unterhalb der Sperrschicht ausgeschlossen werden, so kann auf das Sandwichprofil verzichtet und gemäss Abschnitt 6.2.3.1 vorgegangen werden.

Wenn damit gerechnet werden muss, dass sich unter der relativ undurchlässigen Sperrschicht ein Wasserdruck aufbauen kann, z.B. in Tunnels, bei hohem Grundwasserspiegel oder in wassergesättigten Böden, muss unter die Sperrschicht eine Drainageschicht³ eingebaut werden, die das aufsteigende Wasser in die seitliche Entwässerung leitet. Dies ist dem Sandwichprofil stets vorzuziehen. Folgender Schichtaufbau (von oben nach unten) hat sich bewährt (Gesamtdicke 25 cm):

- 7 cm AC Rail
- 0 – 3 cm Asphaltgranulat
- 10 – 15 cm Drainageschicht aus Brechschotter 4/32 oder 8/32 oder ungebundenem Gemisch
- Geokunststoff mit Trennfunktion

Alternativ zur bitumenhaltigen Sperrschicht kann eine mineralische Sperrschicht (5 cm) eingebaut werden. Der Einbau eines Kiessandes PSS (15 – 20 cm) ist nur bei Geschwindigkeiten $\leq 80 \text{ km/h}$ vorzusehen.

³ Auf die Drainageschicht darf auch bei kleinen Wassermengen nicht verzichtet werden, da das Risiko von Porenwasserüberdrücken besteht, die bei dynamischer Belastung zu einer «schwimmenden Foundation» oder zu Durchbrüchen in der Sperrschicht mit konzentriertem Feinmaterialaufstieg ins Schotterbett führen können.

Die Notwendigkeit einer beidseitigen Entwässerung ist zu prüfen.

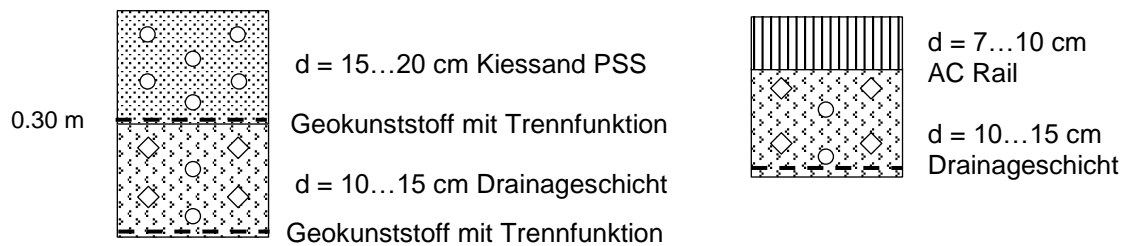


Abbildung 6-7: Aufbauten Sandwichprofile mit Kiessand PSS und AC Rail

6.2.3.6 Foundationsschicht aus wasserdurchlässigen Materialien

Bei hohem Grundwasserstand oder im Schwankungsbereich eines Seespiegels muss die Foundationsschicht wasserdurchlässig sein. Als Materialien eignen sich ungebundenes Gemisch 0/22 oder 0/45 bzw. die entsprechenden RC-Kiesgemische gemäss VSS 70119 sowie Brechschotter 4/32 oder 8/32 und müssen die minimale Wasserdurchlässigkeit von $k\text{-Wert} > 10^{-4} \text{ m/s}$ erfüllen. Die Materialien gemäss VSS 70119 gewährleisten eine genügende Wasserdurchlässigkeit nur in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften (u. a. Korngrößenverteilung, Lithologie, Kornform) und der Verdichtungsenergie. Darüber ist eine Sperrschicht einzubauen. Falls der Höchstwasserstand über der Kote der Planie liegt, müssen entsprechende technische Massnahmen getroffen werden. Die Notwendigkeit und der Einbau eines Geokunststoffes mit Filterfunktion richten sich nach VSS 70125.

Ist eine genügende Filterstabilität gegenüber dem Untergrund sowie die umweltrechtliche Zulässigkeit vorhanden, darf auf die Sperrschicht über der Foundation aus ungebundenem Gemisch verzichtet werden.

6.2.3.7 Dichtungsbahn mit Drainage- und Schutzschicht

Dieser Aufbau ist nur in Spezialfällen zweckmässig.

Eine Dichtungsbahn verhindert das Eindringen von Oberflächenwasser in den Unterbau. Voraussetzung für die Anwendung ist eine genügend geringe Verformbarkeit des Unterbaus. Über der Dichtungsbahn ist eine Schutzschicht und darunter eine Drainageschicht notwendig. Kunststoff-Dichtungsbahnen müssen mindestens 2 mm (SN 564281) und Bitumen-Dichtungsbahnen mindestens 5 mm dick sein. Beim Verlegen sind die Enden der Dichtungsbahnen entsprechend den Vorschriften des Herstellers zu verschweissen.

Die Drainageschicht unter der Dichtungsbahn muss das Bodenwasser aufnehmen und auf die Seite ableiten können. Sonst bildet sich unter der Dichtungsbahn eine nasse Zone, die den Boden aufweicht und die Verformbarkeit so stark erhöhen kann, dass das Schotterbett und die Dichtungsbahn auf dem Untergrund «schwimmen». In der Regel wird eine mindestens 10 cm dicke Schicht aus sauberem Sand mit hoher Durchlässigkeit eingebaut (z.B. Sand 1/4 mm).

Zwischen Dichtungsbahn und Schotterbett ist eine 5 – 10 cm dicke Schicht aus Sand oder Kiessand bestehend aus Rundkorn (nicht gebrochen) zum Schutz der Dichtungsbahn einzubauen. Ohne diese Schutzschicht wird die Dichtungsbahn von den Schotterkörnern perforiert.

Bitumen-Dichtungsbahnen eignen sich für die Erneuerung von Sperrschichten aus Asphalt. Dabei wird eine mit einem Geokunststoff bewehrte Bitumen-Dichtungsbahn von 5 – 6 mm Dicke (Geokunststoff für die Bewehrungsfunktion gemäss VSS 70242) verlegt. Als Drainageschicht zwischen Asphalt und Dichtungsbahn kann ein Geokunststoff mit hoher Wasserdurchlässigkeit in der Ebene eingelegt werden (Geokunststoff mit

Drainagefunktion gemäss VSS 670243). Als Schutzschicht ist eine 5 – 10 cm dicke Sandschicht auf die Dichtungsbahn bzw. den Geokunststoff einzubauen.

6.2.3.8 Leichtbaustoffe

Dieser Aufbau ist nur in Spezialfällen zweckmässig.

Der Aufbau ist auf stark zusammendrückbarem Untergrund, insbesondere Torfböden, anzuwenden. Eine Kiessandschicht kann nicht direkt auf Torf eingebaut werden, da infolge sehr ungleichmässiger Verformbarkeit der Kiessand auch bei Verwendung eines Geokunststoffes ungleich stark eindringt bzw. versinkt. Zudem kann der Kiessand nicht verdichtet werden, eine ebene Planie ist nicht herstellbar und es entstehen relativ grosse Setzungen. Als Leichtbaustoffe sind Blähton, Schaumglas usw. denkbar. Blähton hat eine Feuchtraumdichte von weniger als 10 kN/m³. Bei Verwendung dieses Materials ergibt sich im Allgemeinen eine Entlastung des Untergrundes. Eine Blähtonschicht muss mit einer Kiessandschicht (Material gemäss Abschnitt 8.3) oder mit einer bitumenhaltigen Sperrschicht abgedeckt werden. Im Normalfall wird Kiessand PSS verwendet. Kiesgemisch 0/22 oder 0/45 ist in Ausnahmefällen bei hohem Grundwasserspiegel einzubauen. Diese Schicht erlaubt eine genügende Wasserzirkulation.

Folgender Aufbau wurde schon mit Erfolg angewendet:

- Matratzenartiges Einpacken einer Blähtonschicht oder Schaumglasschotter in einen Geokunststoff, allenfalls verstärkt mit Gewebe oder Gitter. Dabei wird der Geokunststoff auf dem Planum ausgelegt und an den Seiten hochgezogen. Nach Einbringen des Leichtbaustoffes wird der Geokunststoff darübergelegt und kraftschlüssig verbunden.
- Auf dieser Matratze erfolgt der Einbau einer Kiessand- oder Asphaltschicht.

6.2.4 Übergangsschicht auf starrem Unterbau

Bei bestehenden Brücken oder Objekten mit starrem Unterbau entspricht die Gesamtdicke der Gleisbettung oft nicht der Regeldicke. Eine Übergangsschicht, wie sie unter Abschnitt 5.2.4 erläutert wird, fehlt häufig. Die Gesamtdicke der Gleisbettung setzt sich zusammen aus der Dicke des Schotterbetts und der Übergangsschicht.

Ein Unterschreiten der Gesamtdicke der Gleisbettung hat eine erhöhte Schotterbeanspruchung durch den Verkehr zur Folge. Die daraus notwendigen Stopfarbeiten beanspruchen den Schotter zusätzlich, was die Bildung von Kornbruch beschleunigt und die Nutzungsdauer des Schotters und der Fahrbahn massiv reduziert. Zudem kann dadurch die Abdichtung des Bauwerks beschädigt werden.

Bei Erhaltungsvorhaben oder beim Ersatz des starren Unterbaus unter dem Schotterbett (vgl. Kap. 7) von bestehenden Strecken ist eine Übergangsschicht gemäss Tabelle 6-8, wenn immer möglich, zu realisieren.

	Gleisbelastungsgruppe (gemäss Abschnitt 4.5)		
	E1	E2/E3	E4
Betonschwellen	10 cm	0 cm	0 cm
Stahl-/Holzschwellen	0 cm	0 cm	0 cm

Tabelle 6-8: Dicke der Übergangsschicht auf starrem Unterbau bei Erhaltung.

In Ausnahmefällen sind fallweise Sonderlösungen (z.B. Einsatz von Schwellenbesohlung oder Unterschottermatten) in Absprache mit den zuständigen Fachdiensten zu prüfen.

Die Fachdienste regeln das Vorgehen bei Sonderlösungen bzw. Unterschreitung von 30 cm Schotterbettdicke im Einvernehmen mit der Aufsichtsbehörde.

6.2.5 Geometrische Gestaltung

Für die Gestaltung von Planie und Planum bei der Erhaltung von Gleisanlagen gelten dieselben Anforderungen wie bei Neubauten (vergleiche Abschnitt 5.2.5). Insbesondere müssen die Quergefälle bei späteren Erweiterungen von Gleisanlagen und zusätzlichen Weichen in bestehenden Gleisen gewährleistet werden.

6.3 Frost

Frostschutzmassnahmen sind gemäss den in Abschnitt 5.3 für Neubauten aufgeführten Kriterien mindestens auch für die Gleisbelastungsgruppen E1, E2 und E3 zu prüfen:

Massnahmen wie z.B. Vergrösserung von Schichtdicken oder Frostschutzplatten sind vorzusehen, wenn Hinweise auf Frostprobleme in Form von dokumentierten Ereignissen (sicherheitsrelevante Gleishebungen bei kalter Witterung), schlechter Gleislage und/oder erhöhtem Unterhalt als Folge von Frost-Auftauzyklen bestehen.

Auf Massnahmen kann verzichtet werden, wenn seit den letzten Frostereignissen entweder der Unterbau (Einbau von mindestens 30 cm Kiessand PSS) oder das Entwässerungssystem (regelkonformes Quergefälle auf Planie und Planum; Bau einer Entwässerungsleitung) verbessert wurde und seither keine Frostprobleme aufgetreten sind.

6.4 Entwässerung

6.4.1 Allgemeines

Einer gut funktionierenden Entwässerung ist auch bei Erhaltungsarbeiten grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Bei Anzeichen von Entwässerungsproblemen ist die Wirksamkeit der Entwässerung im Rahmen einer geotechnischen Untersuchung abzuklären.

Der Unterbautyp und die Entwässerungsart stehen in einer gegenseitigen Wechselbeziehung. Mit einem Erhaltungsprojekt für den Unterbau sind deshalb in jedem Fall auch die Entwässerungsverhältnisse auf ihre technische Eignung und umweltrechtliche Zulässigkeit zu überprüfen. Höhere Erstellungskosten für eine neue Entwässerung können sich durch die längere Nutzungsdauer (LCC) lohnen.

Für die Planung der richtigen Entwässerungsart sind zwei wichtige Randbedingungen zu beachten:

- die gesetzliche Erforderlichkeit und Zulässigkeit
- die geotechnischen Eigenschaften von Unterbau und Untergrund im Projektperimeter

Die Wahl des Entwässerungstyps bzw. -systems hat gemäss RL BAV/BAFU [1] zu erfolgen. Diese stützt sich auf die Gewässerschutzgesetzgebung und bietet die notwendigen Grundlagen, um bei einem Bahnprojekt die aus Umweltsicht zulässige Beseitigung des Abwassers festzulegen. Für die Abklärung der Zulässigkeit und die Wahl des Entwässerungssystems ist frühzeitig mit dem für Umweltfragen zuständigen Fachdienst Kontakt aufzunehmen.

Die Grundsätze für neue Gleisanlagen sind auch für die Erhaltung von Gleisanlagen gültig. Entwässerungsleitungen sind dann vorzusehen, wenn das Gleis nicht auf einem Damm verläuft, das Meteorwasser nicht schadlos versickern kann und Bahngräben oder Entwässerungsschalen nicht genügend wirksam sind.

Im Zusammenhang mit der Entwässerung können, nebst den zentralen Aspekten der Versickerung und der Einleitung gemäss der RL BAV/BAFU [1], projektspezifisch weitere Umweltthemen gemäss Abschnitt 5.4.1 relevant sein.

6.4.2 Technische Anforderungen

Das gewählte Entwässerungssystem muss in der Regel folgenden technischen Anforderungen genügen:

- Wasser aus dem Fahrbahnbereich zur Seite führen
- seitlich zufließendes Wasser ausserhalb des Fahrbahnbereichs abfangen
- Eindringen von Wasser in den Unterbau verhindern
- Wasser möglichst ausserhalb des Lastabtragbereichs der Schwellen und unterhalb des Planums versickern oder ableiten
- dauerhaft funktionieren

Ist aus technischer und umwelttechnischer Sicht keine Sperrschicht erforderlich, so kann bei Gleisbelastungsgruppen E3 und E4 eine diffuse Versickerung durch den Unterbau erfolgen.

Die Entwässerungsanlagen sind zeitlich vor oder mit der Fahrbahnerhaltung zu bauen oder instand zu stellen. Es kann in gewissen Fällen auch zweckmässig sein, ohne Unterbauerneuerung eine Entwässerung instand zu setzen oder zu erstellen.

Entwässerungsleitungen sind um die Fundamente der Fahrleitungsmasten zu führen.

6.4.3 Wesentliche Änderung nach GSchV

Die Abklärung, ob das Bauvorhaben eine wesentliche Änderung im Sinne der GSchV entspricht oder nicht, erfolgt anhand der Kriterien in Ziff. 3.1.3 der RL BAV/BAFU [1].

6.4.3.1 Vorgehen bei wesentlicher Änderung

Bei der Erhaltung von Gleisanlagen, welche eine wesentliche Änderung nach GSchV darstellt, ist aus Gründen des Grundwasserschutzes grundsätzlich bei allen Gleisbelastungsgruppen (E1 – E4) eine Sperrschicht einzubauen. Kann bei den Gleisbelastungsgruppen E3 und E4 aus technischer Sicht auf den Einbau einer Sperrschicht verzichtet werden, ist die umweltrechtliche Zulässigkeit dieser Lösung zu prüfen. Wird eine Sperrschicht eingebaut, ist folgende Materialisierung möglich:

- bitumenhaltige Sperrschicht ($k\text{-Wert} < 10^{-9} \text{ m/s}$) oder alternativ mineralische Sperrschicht ($k\text{-Wert} < 10^{-7} \text{ m/s}$) ausserhalb von Grundwasserschutzzonen oder -arealen
- Kiessand PSS ($k\text{-Wert} \leq 10^{-6} \text{ m/s}$)

Wird eine dichte Planie ($k\text{-Wert} \leq 10^{-6} \text{ m/s}$) eingebaut, so fällt nach Definition des GSchG Abwasser an. Es ist fallweise zu beurteilen, ob das Abwasser direkt versickert werden kann oder abgeleitet werden muss. Die Wahl des Entwässerungssystems ist gemäss der RL BAV/BAFU [1] (Zulässigkeit) und gemäss dem Anhang A8 (technische Machbarkeit) zu bestimmen. Entwässerungen sind mit künftigen Erweiterungen zu koordinieren.

Für Gefahrgutstrecken sind zudem die Massnahmen aus der RL BAV [2] zu prüfen und allenfalls die erforderlichen Massnahmen zu treffen.

6.4.3.2 Vorgehen ohne wesentliche Änderung der Anlage

Falls keine wesentliche Änderung vorliegt, besteht keine Verpflichtung, den Unterbau dicht zu gestalten oder die bestehende Entwässerung anzupassen. Eine Abklärung der Versickerungsmöglichkeiten oder Ableitung ist hinsichtlich der Verbesserung der LCC zu prüfen, jedoch nicht erforderlich.

Für Gefahrgutstrecken bleiben die Massnahmen aus der RL BAV [2] vorbehalten.

6.4.4 Bemessung

Für die Dimensionierung von Entwässerungssystemen bei einer Erhaltung von Gleisanlagen gelten dieselben Grundsätze wie bei Neubauten (siehe Abschnitt 5.4.3).

6.4.5 Kontrolle und Unterhalt

Für Kontrolle und Unterhalt von Entwässerungssystemen bei einer Erhaltung von Gleisanlagen gelten dieselben Grundsätze wie bei Neubauten (siehe Abschnitt 5.4.4)

6.5 Leitungsquerungen

6.5.1 Projektierung

Für die Erhaltung gelten dieselben Anforderungen an die Projektierung von Leitungsquerungen wie für den Neubau (siehe Abschnitt 5.5.1).

In der Regel ist bei einer geplanten Unterbausanierung mittels Gleisbaumaschinen eine vorgängige Tieferlegung oder Leitungserstellung nötig. Allenfalls kann auf eine Tieferlegung von Leitungsquerungen verzichtet werden, falls nur Massnahmen im Schotterbett geplant und keine auffällige Gleislageprobleme vorhanden sind.

In jedem Fall sind die Arbeiten an Leitungsquerung und die geplanten Gleisbauarbeiten mit den verantwortlichen Fachdiensten zu koordinieren.

6.5.2 Bahneigene Querungen

Für Leitungsquerungen soll der Abstand Rohrscheitel zu Schwellenoberkante grösser als 1.30 m sein. Damit kann eine spätere Unterbausanierung hindernisfrei durchgeführt werden.

Die Tiefe von Leitungsquerungen bei der Gleisbelastungsgruppe E4 ist im Einzelfall durch den Fachdienst zu bestimmen.

6.5.3 Bahnfremde Querungen

Für die Erhaltung gelten dieselben Anforderungen an die Leitungsquerungen wie für den Neubau (siehe Abschnitt 5.5.3)

6.5.4 Ausführung

Vor jeder Ausführung ist ein Sicherheits- und Überwachungskonzept zu erstellen.

Beim nachträglichen, offenen Leitungsbau sind Grabensohle und Auffüllung so zu gestalten, dass darüber ein homogener Gleisunterbau eingebaut werden kann. Wird eine bestehende Sperrschicht verletzt, ist diese mit Abschluss des Leitungsbaus wiederherzustellen.

Bei einer grabenlosen Erstellung ist das horizontale Bohr-Pressvortrieb-Verfahren zu bevorzugen. Bei Böden ohne Torf oder Grundwasser ist der Pressvortrieb (PP- oder Stahl-Rohre) ebenfalls möglich. In jedem Fall ist eine Absprache mit dem zuständigen Fachdienst erforderlich.

Die Scheiteldruckfestigkeit des Kunststoffrohrs ist zu dimensionieren (langfristige Ringsteifigkeit von mindestens PE100 und kurzfristige Ringsteifigkeit von mindestens SN 8).

6.6 Filterstabilität

Die Filterstabilität setzt sich aus den zwei Funktionen «Trennen» und «Filtern» zwischen zwei aneinandergrenzenden Materialien zusammen. Bei einer Wasserströmung steht die Funktion «Filtern» (druckfreier Wasserabfluss) im Vordergrund, sonst die Funktion «Trennen» (Verhinderung der Kornumlagerung).

In Abwesenheit einer Wasserströmung ist für die dynamische Beanspruchung des Unterbaus durch den Zugverkehr die Funktion «Trennen» im Vordergrund. Die Durchmischung an den Grenzflächen der Kiesschicht (i.d.R. Kiessand PSS oder ungebundenes Gemisch) wird verhindert, wenn die Filterkriterien gemäss VSS 70125 eingehalten sind. Im Eisenbahnunterbau hat sich das ursprüngliche Terzaghi-Kriterium bewährt:

$D_{15} \text{ Filtermaterial} / D_{85} \text{ feinkörnigeres Material} \leq 4$

Die Kornverteilung des Kiessandes PSS ist bereits auf die Filterstabilität gegenüber filterkritischen Böden optimiert. Eine Verbesserung der Filterstabilität ist im Erhaltungsfall i.d.R. nur mit einem zusätzlichen Geotextil auf dem Planum möglich, das die benachbarten Schichten trennt (Trennvlies). Der Einbau einer zusätzlichen mineralischen Übergangsschicht ist nicht praxistauglich. Erfahrungsgemäss erfüllt der Kiessand PSS die Filterkriterien gemäss VSS 70125 oft nicht, weshalb vereinfacht – ohne Nachweis der Filterkriterien – ein zusätzliches Geotextil mit der Funktion «Trennen» gemäss VSS 70241 auf dem Planum zu verlegen ist. Bei weniger filterkritischem Untergrund kann bei entsprechendem Nachweis der Filterkriterien auf das zusätzliche Geotextil verzichtet werden. Durch den Einbau von Kiessand PSS mit zusätzlichem Geotextil (Funktion «Trennen», Trennvlies) bzw. mit entsprechendem Nachweis ohne Geotextil wird stets eine ausreichende Filterstabilität erreicht.

Ein Geotextil oder ein stabilisierter Untergrund ohne Ausbildung einer Foundationsschicht aus ungebundenen Gemischen oder Kiessand PSS erfüllt die Filterfunktion nicht, da unter dynamischer Belastung feines Material aus dem Untergrund durch den Geotextil dringen und ins Schotterbett hochsteigen kann.

Zusätzlich muss die Filterstabilität auch im Bereich der Entwässerungsgräben mit seitlichem Hang- oder Schichtwasserzufluss oder im Bereich von Grundwasser gewährleistet werden (Funktion «Filtern»). Kornumlagerungen infolge von Wasserdurchströmung sind derart zu verhindern, dass es zu keiner Beeinträchtigung der Durchflusskapazität kommt.

Hier kann entweder ein mineralischer Filter oder ein Geotextil (Filtergewebe) eingebaut werden, welche die benachbarten Materialien trennt und das Wasser druckfrei durchströmen lässt.

6.7 Bautoleranzen

Für die Bautoleranzen bei einer Erhaltung von Gleisanlagen gelten dieselben Anforderungen wie bei Neubauten (siehe Abschnitt 5.7).

6.8 Erhaltung von Banketten

6.8.1 Allgemeines

Das Bankett bildet den seitlichen Abschluss der Fahrbahn und bildet bei Dämmen die Böschungsschulter. Es dient dem Personal als Dienstweg und soll auch als natürliche Sperre gegen unerwünschten Pflanzenaufwuchs wirken.

Bei Erhaltungsmassnahmen des Schotterbetts ist der Zustand des Banketts zu analysieren und, wo nötig, gemäss den Vorschriften für Neubauten anzupassen (sickerfähiger bzw. aufwuchshemmender Aufbau gemäss Abschnitt 5.8.3 und 5.8.4).

Beim Einbau von Foundationsschichten im Rahmen einer Unterbauerhaltung muss die Wasserdurchlässigkeit des Banketts sichergestellt werden. Ist diese mangelhaft, kann die Verbesserung durch den Einbau von wasserdurchlässigem Material erreicht werden.

Bei einem Einsatz von Gleisbaumaschinen ist darauf zu achten, dass der Abtrag resp. Ersatz des Bankettmaterials bis mindestens zur Reichweite der Gleisbaumaschinen erfolgt.

Andere zweckmässige Massnahmen sind möglich. Die aufwuchshemmende Bauweise muss dann separat dargelegt werden bzw. kann möglicherweise nicht erreicht werden.

Bei Eingriffen im Bankettbereich sind der Grünunterhalt und die gesetzlichen Anforderungen (Grundwasserschutz, Landschaftsschutz, Flora, Fauna etc.) zu beachten und nachzuweisen. Zudem ist darauf zu achten, dass keine problematischen Pflanzen durch den Eingriff verschleppt werden.

Weitergehende Funktionen der Bankettkonstruktion, wie die Nutzung zur Stabilisierung des Bahndammes, sind separat nachzuweisen.

Bei der Erhaltung von Gleisen genügt ein einseitig begehbare Bankett.

6.8.2 Geometrie und Material

Geometrie, Schüttmaterialien und Abdeckung des Banketts richten sich nach Abschnitt 5.8.2 bis 5.8.4.

Als aufwuchshemmend gilt in Ergänzung zu Abschnitt 5.8.4 der Abtrag der Planieschicht im Bankettbereich von 10 – 15 cm und Wiederauffüllen mit bindigem, stark mergelhaltigem Kies 0/16 bis auf Planiehöhe. Ebenso als aufwuchshemmend gelten Banketthalterungen mit Schüttgut gemäss folgendem Abschnitt.

6.8.3 Verbreiterung bestehender Bankette

6.8.3.1 Allgemeines

Für die Verbreiterung bestehender Bankette stehen folgende Methoden zur Verfügung (Aufzählung nicht abschliessend):

- Dammverbreiterung durch Anschütten, allenfalls in Kombination mit Stützbauwerken am Dammfuss
- Bankettverbreiterung mit Stützbauwerken:
 - mit Rammpfählen (z.B. Schienen) und vorgefertigten Längselementen
 - mit Injektionslanzen (injizierte Rammpfähle aus gelochten Stahlrohren) und vorgefertigten Längselementen
 - mit Stützmauern
 - mit Grünverbauungen (intensive Unterhaltszone 5 – 7 m ab Gleisachse ohne Gehölze)
- Bankettverbreiterung mit Banketthalterungen (siehe auch Abschnitt 6.8.3.2):
- Absenkung des Gleises in Kombination mit einem Totalumbau
- Abtragen der Böschung in Einschnitten
- Erstellen eines Stützbauwerkes in Einschnitten
- Heben des Gleises in Einschnitten

Eine Kombination von Schüttmaterial und Stützbauwerken bzw. Halterungen wird vor allem im Dammbereich eingesetzt, wo der Damm selbst aus Gründen der Verhältnismässigkeit oder des Grundeigentums nicht verbreitert werden kann.

6.8.3.2 Banketthalterungen

Banketthalterungen sind konstruktive Halterungsmassnahmen zur dauerhaften Sicherung eines entlang der Planiekante verlaufenden, niedrigen Geländesprunges.

Als Banketthalterungen werden Konstruktionen wie Verpresspfähle oder Rammträger mit Ausfachungen sowie erdseitig offene, mit Schotter- oder Geröll verfüllte Stahlgitterelemente und dergleichen verwendet.

Banketthalterungen dürfen keine Bahnlasten aufnehmen. Entsprechend dürfen sie nur oberhalb und keinesfalls unterhalb des vereinfachend angenommenen Lastabtragungsbereiches von Bahnlasten (45° ab UK Schwellenkopf) eingesetzt werden. Zudem darf die Höhe von Banketthalterungen maximal 1 m betragen. Hierbei muss die Stabilität der Böschung, in der die Banketthalterung fundiert wird, stets gewährleistet sein.

Banketthalterungen sind derart auszubilden, dass kein Wasser gestaut und innere Erosion vermieden wird. Elemente von Banketthalterungen, die aus Stahl bestehen, sind zudem der vorausgesetzten Nutzungsdauer entsprechend gegen Korrosion zu schützen.

Das Verbinden von sehr gut wasserdurchlässigem Material mit fester und platzsparender Halterung, meist bestehend aus Steinkörben oder Winkelgittern, kann Vorteile für die Entwässerung bringen und in geeigneter Ausgestaltung sogar als ökologische Aufwertung (siehe Abschnitt 6.8.3.3) angerechnet werden.

Der Maschenabstand bei Steinkörben und Winkelgittern sollte mindestens 2.5 cm betragen. Für eine reptilienfreundliche Bauweise sind 5 cm notwendig.

Halterungen (Steinkörbe etc.) müssen so ausgebildet oder abgedeckt werden, dass keine Stolperfallen entstehen. Zudem dürfen die Halterungen (Unterhalts-)Arbeiten an Schotterbett und Unterbau nicht behindern.

Banketthalterungen aus metallischen Gittern sind gemäss D RTE 27900 zu erden.

6.8.3.3 Querungsmöglichkeit für Kleintiere

Grundsätzlich ist die Querungsmöglichkeit für Kleintiere wie Amphibien und Reptilien durch die Erstellung einer Banketthalterung nicht zu erschweren oder gar zu verunmöglichen.

Besonders bei der durchgehenden seitlichen Halterung, ist auf die Möglichkeit zur Querung von Amphibien und Reptilien zu achten. Deshalb sollen barrierenartige Systeme nur zum Einsatz kommen, wenn diese entweder auf wenige Meter beschränkt sind, andere Querungsmöglichkeiten durch Lücken unter der Halterung mit einem Durchlass bis zum Schotter oder durch regelmässige Anschüttung von Kies zur Überwindung der Halterung geschaffen werden. Wenn mit den Fachleuten abgeklärt wurde, dass keine Reptilien- oder Amphibienarten im entsprechenden Streckenabschnitt vorkommen, dürfen barriereartige Systeme ebenfalls eingesetzt werden.

Falls andere Gründe, wie z.B. die Landschaftsgestaltung oder denkmalpflegerische Aspekte für eine Ausgestaltung mit einer nicht kleintierfreundlichen Bauweise sprechen, ist eine Interessenabwägung vorzunehmen. Zudem ist die wirtschaftliche Verhältnismässigkeit zu berücksichtigen.

Winkelgitter mit Maschenweite 5 cm können mit entsprechender Befüllung von grobkörnigen Steinen und Schroppen der Grösse 80/200 zur Aufwertung von Lebensräumen

beitragen und gelten als reptilienfreundlich. Mit den Fachleuten ist abzuklären, wo eine solche Massnahme sinnvoll ist und im Projekt auch als Ersatzmassnahme angerechnet werden kann.

Bei der Befüllung ist darauf zu achten, dass eher locker geschüttet wird. Die Steine sind in einer hohlraumreichen Art und Weise zu platzieren.

6.9 Tierbauten im Fahrbahnbereich

Tierbauten (Dachs, Fuchs, Biber) dürfen die Stabilität der Fahrbahn und der Böschung nicht beeinträchtigen. Sie sind durch geeignete Massnahmen fernzuhalten. Durch Biber gestauten Wasser sollte nicht höher als 2.50 m unter Schwellenoberkante liegen.

6.10 Tunnel

In bestehenden Tunneln ist vielfach eine ungenügende Schotterbettdicke vorhanden. Eine Übergangsschicht zur Minderung der Schotterbeanspruchung gemäss Abschnitt 6.2.4 fehlt meistens.

Grundsätzlich ist auch im Tunnel im Rahmen der Erhaltung das Einhalten der Regeldicke des Schotterbetts gemäss Tabelle 7-1 anzustreben. Bei Unterschreitung der Regeldicke des Schotterbetts ist als Entscheidungsgrundlage eine Analyse des Ist-Zustandes (Schotterbettdicke, Belastung Bt/d, Unterhalt, Messwagendiagramme, Nutzungsdauer etc.) unter Berücksichtigung künftiger Verkehrsentwicklungen in die Überlegungen einzubeziehen. Das Vorgehen regeln die Fachdienste der Bahnunternehmen im Einvernehmen mit der Aufsichtsbehörde. Die zu projektierenden Hebungsreserven richten sich nach der R RTE 20012 bzw. R RTE 20512.

Die dauerhafte Drainage des Sohlbereichs ist sicherzustellen. Es gelten die Grundsätze gemäss den Abschnitten 5.4 und 5.11.

7 Schotterbett

7.1 Aufbau

Die minimalen Dicken des Schotterbetts unter der massgebenden Schiene sind in Tabelle 7-1 festgehalten. Massgebend ist die Schiene mit dem kleinsten Abstand zur Planie.

Gleisbelastungsgruppe		min. Dicke des Schotterbetts [m]	Schotterklasse ^{c)}
N1/E1	> 160 km/h	0.35	1 ^{b)}
N1/E1	≤ 160 km/h	0.30	1 ^{a) b)}
N2/E2	> 15'000 Bt/d	0.30	1 ^{a) b)}
N2/E2	≤ 15'000 Bt/d	0.30	2 oder RC-I
N3/E3	–	0.30	2 oder RC-I
N4	–	0.25	2, 3, RC-I oder II
E4	–	0.20	2, 3, RC-I oder II

a) für Meterspur auch Schotterklasse 2 möglich

b) RC-I zur Vorschotterung möglich

c) Schotterklassen gemäss Anhang A4.2.2

Tabelle 7-1: Minimalanforderungen an die Schotterbettdicke und die Schotterklasse.

Die maximale Schotterbettdicke gemessen ab Schwellenunterkante soll 70 cm nicht überschreiten. Gründe dafür sind:

- Homogenität des Oberbaus
- Seitliche Stabilität
- Erschwerte künftige Erhaltungsmassnahmen
- Schonung der Schottervorkommen.

Das Schotterbettprofil ist gemäss den Vorgaben aus der R RTE 22041 bzw. R RTE 22541 zu erstellen.

Dort, wo durch Schotterflug Personen gefährdet werden, ist ein Tieferkehren zu prüfen. Zur Verhinderung von Schotterflug ist das Schotterbett bei Beton- und Holzschwellen bei Geschwindigkeiten > 65 km/h im Schwellenfach abzusenken. Dazu sind standardmässig 5 cm ab Oberkante Schwelle und auf einer Breite von ca. 2.40 m bei Normalspur bzw. 1.70 m bei Meterspur tieferzukehren (Anhang A7). Bei Stahlschwellen und generell bei Weichen ist das Tieferkehren nicht zugelassen.

Über starrem Unterbau (Tunnel, Unterführungen, Brücken, Fels etc.) ist unter dem Schotterbett eine Übergangsschicht zur Erreichung einer ausreichenden Elastizität notwendig (siehe Abschnitte 5.2.4 und 6.2.4). Die Übergangsschicht kann aus Schotter bestehen.

Die Gleishebungsreserve nach R RTE 20012 bzw. R RTE 20512 ist in obigen Dicken nicht enthalten.

7.2 Realisierung der Bettungsquerschnitte in bestehenden Gleisen

Bei Erhaltungsmassnahmen am Unterbau von Gleisen der Gleisbelastungsgruppen E1, E2, E3 oder E4 ist die gleichzeitige Realisierung der Dicke für das Schotterbett zwingend erforderlich. Bei einer Unterschreitung der Schotterbettdicke ist eine Genehmigung des BAV (siehe AB-EBV zu Art. 25, AB 25, Ziffer 3.3) einzuholen.

Bei der Erhaltung bestehender Gleise ohne gleichzeitige Massnahmen am Unterbau soll die Dicke des Schotterbettes durch Heben des Gleises oder Absenken der Planie realisiert werden.

Die grössere Dicke des Schotterbetts darf nur dann durch eine Absenkung der Planie realisiert werden, wenn deren Entwässerung sichergestellt ist und durch geotechnische Untersuchungen nachgewiesen wird, dass ein einwandfreier Bahnkörper erhalten bleibt (siehe zudem Abschnitt 6.1 und 6.2.2).

Über starrem Unterbau (Tunnel, Unterführungen, Brücken usw.) können nach Absprache und nach Genehmigung durch den zuständigen Fachdienst Sonderlösungen eingesetzt werden. Bei einer Unterschreitung der Dicke des Schotterbetts bleibt zudem eine Genehmigung des BAV (siehe AB-EBV zu Art. 26, AB 26.1, Ziffer 2.3.3) vorbehalten.

Vor Schotterreinigungen muss der Ist-Zustand bezüglich Dicke des Schotterbetts erhoben werden. Um Beschädigungen an der bestehenden Planie zu verhindern, ist das Längsprofil an kritischen Stellen vor den Erhaltungsarbeiten anzupassen.

Es ist auf die Einhaltung der minimalen Fahrdrathöhe gemäss den AB-EBV zu Art. 44, AB 44.c, Ziffer 5.2.1 unter Einbezug von Durchhängen, Temperatureinfluss, dynamischen Bewegungen, Montagetoleranzen und Gleishebungsreserven zu achten. In heiklen Fällen ist der zuständige Fachdienst beizuziehen.

7.3 Materialverwendung

Die Minimalanforderungen an die Schotterbettdicke und die Schotterklasse richten sich nach Tabelle 7-1 (siehe Abschnitt 7.1). Die Anforderungen an die Qualität sind in der SN EN 13450 festgelegt. Ergänzende Prüfungen zu den Vorschriften dieser Norm sind im Anhang A4 aufgeführt. Falls deren Anwendung gemäss Tabelle 7-1 zugelassen ist, ist grundsätzlich der RC-Schotter bzw. der Schotter mit den geringeren Anforderungen zu verwenden.

7.4 Beurteilung von Schotter in bestehenden Gleisen

Bei Fahrbahnerneuerung und Projekten mit bestehenden Gleisen ist eine Schotterreinigung zu prüfen. Davon ausgenommen sind nur diejenigen Projekte, bei welchen bei Untersuchungen des Schotterbetts eine Schotterreinigung ausgeschlossen wurde.

Die Anforderungen für einen Schotter, der nicht auf der ursprünglichen Baustelle verwendet wird, sind im A4.2 aufgeführt. Die Anforderungen an einen auf der Baustelle verwendeten Schotter sind minimal und beschränken sich auf die Begrenzung des Siebdurchgangs auf 5% bei 22.4 mm (vgl. auch A5).

Bei der Schotterreinigung ist das Beschädigen der Planie sowie der Abdichtung auf starrem Unterbau durch geeignete Massnahmen zu verhindern.

Im Rahmen von Erhaltungsarbeiten wird der Schotter vorgängig hinsichtlich seiner Reinigbarkeit klassifiziert. Für die Beurteilung wird von einer Trockensiebung ausgegangen. Folgende Einteilung hat sich bewährt:

- S1: Leicht mit Betriebsschmutz und Schotterabrieb verunreinigter Schotter, gut reinigbar.
- S2: Mittelmässig mit Betriebsschmutz und Schotterabrieb verunreinigter Schotter, reinigbar.
- S3: Stark mit Betriebsschmutz und Schotterabrieb bzw. mit seitlich eingeschwemmten Feinanteilen verunreinigter Schotter, nicht mehr wirksam stopf- und reinigbar.
- S4: Mit Feinanteilen von unten verlehmt Schotter, nicht mehr wirksam stopf- und reinigbar.

8 Schichteigenschaften, Materialqualitäten und Qualitätssicherung

8.1 Schotter

8.1.1 Anforderungen an den Schotter

In Anhang A4 sowie in VSS 70110 und SN EN 13450 sind die Anforderungen, die Voraussetzungen für die Lieferung sowie das Abnahmeverfahren von Schotter beschrieben. Der Bauführer der Baustelle wacht darüber, dass das Material den Qualitätsvorschriften entspricht. Im Zweifelsfall ist die Entnahme von Proben zu veranlassen (Anhänge A4 und A5).

Der Schutz von Personen und Umwelt erfordert das Erlassen von Vorschriften über die Entstaubung des Materials.

Der Schotter eines Herstellers bzw. Lieferanten muss durch die Fachtechnik des jeweiligen Infrastrukturunternehmens zugelassen werden.

Das Bahnunternehmen ist allein befugt, die Anforderungen an die Gesteinsqualität festzulegen.

Schotter muss aus beständigen, festen, kompakten und rissfreien Gesteinskörnern bestehen, deren Oberfläche zu 100 % als vollständig gebrochen beschrieben werden kann. Die Körner müssen unregelmässig geformt, scharfkantig, keilförmig und kubisch sein. Die Scharfkantigkeit darf nicht durch mehrfaches Führen der Körner über die Brechanlage oder durch die Verwendung spezieller Brechertypen beeinträchtigt werden. Stark gerundete Körner sind ungeeigneten Körnern gleichzusetzen.

Bei Neuschotter der Klasse 1 ist es strengstens verboten, wissentlich Gesteine mit grundlegend unterschiedlicher Härte zu mischen, z.B. mittelhartes Gestein mit hartem Gestein.

8.1.2 Schotterklassen

Es kommen drei Neuschotterklassen sowie zwei RC-Schotterklassen zum Einsatz (siehe Tabelle 7-1). Die Schotterklassen müssen bezüglich ihrer technischen Eigenschaften den entsprechenden Qualitätsvorschriften genügen (Technische Spezifikationen gemäss Anhang A4, VSS 70110 und SN EN 13450).

8.2 Sperrschichten

8.2.1 Anwendung

Sperrschichten haben in erster Linie eine abdichtende Funktion gegen eindringendes Wasser zu übernehmen. Sie können auch hemmend gegen unerwünschten Pflanzenaufwuchs im Gleisbereich wirken. Entsprechend ihrer Funktion sind Materialzusammensetzung und Einbauverfahren auf einen möglichst dichten Schichtaufbau auszurichten.

In Grundwasserschutzzonen (Versickerungsverbot) erfüllt eine bitumenhaltige Sperrschicht mit mindestens 7 cm Dicke die Anforderungen an eine bitumenhaltige Abdichtung gemäss SN 531203. Mineralische Sperrschichten hingegen sollten aufgrund ihrer Verletzbarkeit in Grundwasserschutzzonen möglichst nicht eingebaut werden.

Bei Neubauten bzw. strassenbaumässigen Umbauten muss unter der Sperrschicht immer eine mindestens 0.25 m dicke Schicht aus wasserdurchlässigem und kapillarbrech-

endem Kies (ungebundenes Gemisch gemäss VSS 70119) vorhanden sein. Kapillarbrechend ist ein Kies nur, wenn der Anteil < 0.063 mm höchstens 5 % beträgt.

Kiessand PSS ist zu verwenden, wenn aus betrieblichen Gründen in bestehenden Gleisen nur einschichtig eingebaut werden kann. Schichten aus Kiessand PSS haben in der Regel gleichzeitig die Funktionen von Sperrschicht, Foundationsschicht und Übergangsschicht zu erfüllen (siehe 6.2.3.3). Im Erhaltungsfall erfüllt in Grundwasserschutzzonen (Versickerungsverbot) eine Schicht aus Kiessand PSS (min. 30 cm Dicke) die Anforderung als Abdichtung.

Die Werte für die Beurteilung der Verformbarkeit (M_{E1} -Wert auf der Planie der Foundationsschicht, elastische Deflektion auf der Oberfläche der Sperrschicht) sind dem Abschnitt 5.2.1 zu entnehmen.

8.2.2 AC Rail

Für die Zusammensetzung des Mischgutes AC Rail 16 und 22 und die Materialkennwerte der fertigen Sperrschicht gilt VSS 40430. Diese Norm regelt die Anforderungen an bitumenhaltige Sperrschichten im Gleisbau. Zur Erreichung der geforderten Eigenschaften sind ein relativ weiches Bindemittel, eine relativ hohe Bindemitteldosierung und ein relativ hoher Sand- und Fülleranteil erforderlich. Die Erfahrung hat gezeigt, dass dafür ein Probeeinbau notwendig ist. Die geforderten Werte wie Hohlraumgehalt und Bitumenpenetration sind an Bohrkernen aus der fertig erstellten Schicht nachzuweisen.

VSS 40525 regelt die Anforderungen an die Ebenheit der Schicht.

8.2.3 Mineralische Sperrschicht

Die mineralische Sperrschicht ist als «Juramergel», «Bergschotter geschlämmt 0/16», «Gebrochener Kalkmergel 0/16», «Gebrochener Kiessand 0/16» oder als «Kiessand-Verschleisschicht» v.a. im Güter- und Waldstrassenbau verbreitet.

Die mineralische Sperrschicht 0/16 wird direkt auf die Foundationsschicht eingebaut, standfest gewalzt und geschlämmt. Das Material ist ton-wassergebunden oder kalk-wassergebunden analog den Verschleisschichten für Strassen ohne Belag. Die Korngrößenverteilungen gehen aus Anhang A6 hervor, jedoch mit Grösstkorn 16 mm. Diese Verschleisschichten bestehen aus einem gut abgestuften Kiessand-Material, welches einen natürlichen Tonbinder bzw. Karbonat enthält ($k < 10^{-7}$ m/s).

Die übliche Schichtdicke liegt bei 5 cm. Diese Verschleisschichten werden nur auf eine ungebundene Foundationsschicht aufgebracht.

Die Reduktion auf das vorgeschriebene Grösstkorn wird durch Sieben oder Brechen erreicht, wobei gebrochenes Material eine bessere Qualität ergibt.

8.2.4 Kiessand PSS

8.2.4.1 Materialeigenschaften und Qualitätssicherung

Die Korngrößenverteilung von Kiessand PSS ist für die Anwendung als Sperr- und Tragschicht optimiert worden. Die Korngrößenverteilung innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte muss insbesondere auf die geringe Wasserdurchlässigkeit ($k \leq 10^{-6}$ m/s) abgestimmt sein. Das Material muss durch den jeweiligen Fachdienst zugelassen werden.

Die Anforderungen inkl. Definition und Versuchsdurchführung sind im Anhang A2 enthalten. Der Kiessand PSS ist nur bei der Erhaltung und in der vorgegebenen Qualität und Schichtdicke (siehe Abschnitt 6.2.2) anzuwenden.

Für Kiessand PSS gelten die je Lieferwerk festgelegten Anlieferwassergehalte.

Für den Kiessand PSS gilt nebst den charakteristischen Merkmalen zudem, dass Materialien aus gebrochenen Körnern ein besseres Wasserbindevermögen als Materialien aus Rundkorn aufweisen. Dies hat Auswirkungen auf den Lieferwassergehalt und die Verdichtbarkeit.

Es dürfen keine rezyklierten Gesteinsmischungen verwendet werden.⁴

Die Qualitätssicherung des Kiessandes PSS ist Sache des Lieferwerkes bzw. des Unternehmers. Hinweise über Kontrollen enthält sinngemäss VSS 70119. Die Bauherrschaft bzw. die Bauleitung überprüft die Qualität auf der Baustelle mittels Stichproben.

8.2.5 Dichtungsbahnen

Der Einbau von Dichtungsbahnen aus Kunststoff, Bitumen oder Bentonit ist nur in Spezialfällen bei der Erhaltung bestehender Gleise zulässig. Zur Materialwahl sind die Fachdienste der Bahnunternehmung einzubeziehen, siehe Abschnitt 6.2.3.7.

8.2.6 Qualitätssicherung

Das ausführende Unternehmen führt die nötigen Eignungsversuche und den Probereinbau auf seine Kosten durch. Mittels Probereinbau weist es in Zusammenarbeit mit dem Aufbereitungswerk nach, dass das angebotene Material unter Einsatz der vorgesehenen Einbaugeräten die Erreichung der Qualitätswerte garantiert. Im Übrigen gelten die im Strassenbau gebräuchlichen Normen und Vorschriften.

8.3 Ungebundene Gemische für Foundationsschichten

8.3.1 Anwendung

Die technischen Spezifikationen für ungebundene Gemische für Foundationsschichten sind in der VSS 70119 enthalten, bzw. für Kiessand PSS in der vorliegenden RTE-Regelung (siehe Abschnitt 8.2.4 bzw. Anhang A2). Zugelassen sind grundsätzlich folgende Materialien:

- ungebundenes Gemisch 0/45 (frostsicher)
- ungebundenes Gemisch 0/22 (frostsicher)
- ungebundenes Gemisch 0/16 (frostsicher)
- die entsprechenden RC-Kiesgemische (frostsicher)

Ist eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit gefordert (gemäss Kapitel 6.2.3.6), so muss dies bei der Produktion entsprechend berücksichtigt werden.

Ungebundene Gemische sind zu verwenden, wenn die betrieblichen Randbedingungen bei der baulichen Umsetzung einen mehrschichtigen Aufbau des Unterbaus mit Foundationsschicht und Sperrschicht zulassen (Regelfall bei Neubauten gemäss Kapitel 5) oder als alleinige Foundationsschicht, sofern umweltrechtlich zugelassen.

Das Grösstkorn muss aus Gründen einer homogen verdichteten Schicht immer kleiner als ein Drittel einer Schichtlage sein.

⁴ Bei rezyklierten Gesteinskörnungen ist die Homogenität der Gesteinskörnungen nicht oder nur bedingt vorhanden. Dies hätte eine intensivere Qualitätsüberwachung, variierende Einbauparameter (optimaler Wassergehalt, Trockendichte) sowie stark variierendes Verhalten bezüglich Wassergehaltsänderungen zur Folge.

8.3.2 Materialeigenschaften und Qualitätssicherung

Für alle ungebundenen Gemische gelten folgende charakteristischen Merkmale:

- Je grösser das Grösstkorn, desto grösser ist die Entmischungsgefahr.
- Je grösser das Grösstkorn, desto aufwendiger ist die Herstellung der vorschriftsgemässen Planiegeometrie.
- Aus gebrochenen Körnern hergestellte Schichten sind tragfähiger und weniger verformungsempfindlich als solche aus Rundkorn.

Die Qualitätssicherung des ungebundenen Gemisches ist Sache des Lieferwerkes bzw. des Unternehmers. Hinweise über Kontrollen enthält VSS 70119. Die Bauherrschaft bzw. die Bauleitung überprüft die Qualität auf der Baustelle mittels Stichproben.

8.4 Geokunststoffe

8.4.1 Begriffe und Funktionen

Im Folgenden werden nur Anwendungen von Geokunststoffen im Lastbereich und der Entwässerung dargestellt.

Grundsätzlich wird bei den Geokunststoffen zwischen wasserdurchlässigen Produkten (Geotextilien und geotextilverwandte Produkte wie Gewebe, Gewirke, Vliese, Gitter sowie Verbundstoffe) und wasserundurchlässigen Produkten (geosynthetische Dichtungsbahnen) unterschieden. Eine Übersicht der gängigen Begriffe und Definitionen vermitteln SN 670090 und SN EN ISO 10318-1.

Im Rahmen der Projektierung ist abzuklären, welche Funktionen und allfällige Nebenfunktionen die Geotextilien resp. geotextilverwandten Produkte im Bauwerk zu übernehmen haben (siehe SN 670090). Die funktionsspezifischen Anforderungen, die Gebrauchsdauer und die Umwelteinflüsse sind festzulegen. Daraus ergeben sich die Minimalanforderungen an das Produkt.

Grob zusammengefasst ist zwischen sechs verschiedenen Funktionen bzw. Kombinationen davon zu unterscheiden, welche auf Seiten der Geokunststoffe entsprechende Anforderungen bedingen:

Funktion und Nebenfunktion	Anwendung	Zweck	Eigenschaften	Anforderungen
Trennen ^{a)}	Verwendung bei feinkörnigem, wenig bindigem Untergrund. Einbau unterhalb der Fundationssschicht.	Verhindern einer Durchmischung der Schichten. Erhöhen der Filterstabilität. Dabei wird das Produkt auf die Funktion Trennen dimensioniert. Ein gleichzeitiges Optimieren auf die Funktion Filtern ist nicht bzw. begrenzt möglich.	Mechanische und hydraulische Eigenschaften. Chemische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70241 Funktion «Trennen»
Filtern	Verwendung bei Sickergräben zur Grundwasserabsenkung oder zur Gleisentwässerung.	Verhindern der inneren Erosion bei gewährleisteter Wasserdurchlässigkeit.	Hydraulische und mechanische Eigenschaften. Witterungsbeständigkeit, chemische und biologische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70241 Funktion «Filtern»
Drainieren	Verwendung bei hoch liegender Fels-oberfläche. Einbau bei «Sandwichbauweise» zwischen Fundations- und Drainageschicht.	Verhindern einer Durchmischung der Schichten. Seitliches Ableiten des Wassers.	Mechanische und hydraulische Eigenschaften. Chemische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70243
Bewehren und Trennen	Verwendung bei weichem Untergrund (CBR ≤ 3 %) bzw. gemäss Abs. 6.2.3.4. Einbau unterhalb Dammschüttung bzw. Fundation.	Vereinfachen der Bauausführung. Verringern der Verformbarkeit und Reduktion der Fundationsschichtdicke. Verhindern einer Durchmischung der Schichten. Verbessern der Verdichtbarkeit.	Mechanische und hydraulische Eigenschaften. Witterungsbeständigkeit, biologische und chemische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70242
Bewehren	Verwendung bei weichem Untergrund (CBR ≤ 3 %) bzw. gemäss Abs. 6.2.3.4. Matratzenartiger Aufbau der Fundationssschicht.	Vereinfachen der Bauausführung. Verringern der Verformbarkeit und Reduktion der Fundationsschichtdicke.	Mechanische und hydraulische Eigenschaften. Chemische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70242
Dichten	Verwendung im Bereich von Grundwasserschutzzonen bzw. bei hoher Vulnerabilität des Grundwassers.	Abdichten von Sickergräben und Bankett zum Schutz des Grundwassers.	Mechanische und hydraulische Eigenschaften. Witterungsbeständigkeit, biologische und chemische Beständigkeit berücksichtigen.	gemäss SN EN 15382
Schützen	Verwendung zur Schonung eines Bauwerks oder des Schotters.	Erhöhen der Nutzungsdauer.	Mechanische Eigenschaften. Witterungsbeständigkeit berücksichtigen.	gemäss VSS 70243

a) Trennen und Filtern gemäss VSS 70241

Tabelle 8-1: Anforderungen an Geokunststoffe.

Die festgelegten Anforderungen an das Produkt sind in den Ausschreibungsunterlagen zu definieren. Dazu kann das Datenblatt des Produkts verwendet werden (vergleiche SN 670090).

8.4.2 Beständigkeit

Die Gebrauchsdauer wird von der Witterung und von chemischen, biologischen und physikalischen Faktoren beeinflusst. Die dadurch reduzierte Nutzungsdauer ist durch Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen (siehe SN EN 13250, Anhang B).

Zur Schonung sind die Geokunststoffe bei einer längerfristigen Lagerung im Freien (> 1 Monat) gegen Nässe und UV-Strahlung zu schützen.

Für den Einsatz in normalem Boden und Grundwasser mit nahezu neutralem pH-Wert ($5 \leq \text{pH-Wert} \leq 9$) weisen die Geokunststoffe im Allgemeinen eine ausreichende Beständigkeit auf.

Vorsicht ist jedoch in folgenden Fällen geboten:

- Einsatz in direktem Kontakt mit Frischbeton, kalk- und zementstabilisierten Schichten. Es herrscht ein stark alkalisches Milieu.
- Einsatz in Tunneln in direktem Kontakt mit Bergwasser ausserhalb des nahezu neutralen pH-Wertebereichs (pH-Wert > 9 oder pH-Wert < 5).
- Verwendung von Geokunststoffen mit Funktion Drainieren unter grosser Auflast. Die Transmissivität nimmt im Laufe der Zeit ab.

8.4.3 Zugelassene Produkte und Qualitätssicherung

Für die Verwendung von Geokunststoffen im Eisenbahnbau gelten SN EN 13250 bzw. die spezifischen Normen je Funktion.

Die Baustellenkontrolle ist in der SNR CEN/TR 15019 geregelt. Die Produkte aus dem Produktkatalog des Schweizerischen Verbands der Geokunststoffe (SVG) sind automatisch einer Qualitätssicherung unterzogen.

8.5 Schichten aus stabilisierten Materialien

8.5.1 Anwendung

Der Anwendungsbereich für Schichten aus stabilisierten Materialien ist grundsätzlich mit dem Anwendungsbereich dieser Materialien im Strassenbau vergleichbar. Der Einbau einer Schicht aus stabilisiertem Material direkt unter dem Schotterbett bzw. direkt unter einer Sperrschicht ist nicht zulässig. Im ausgehärteten Zustand haben stabilisierte Schichten eine sehr geringe Verformbarkeit (Bruchgefahr) und neigen zu Rissen. Als Massnahme gegen aufsteigendes Feinmaterial sind sie deshalb ungeeignet.

Der in Abschnitt 5.2.1 festgelegte Grenzwert für M_{E1} -Wert $\leq 150 \text{ MN/m}^2$ wird auf einer Planie aus stabilisiertem Material überschritten. Auch die minimale Deflektion von $d \geq 40 \text{ }^{1/100} \text{ mm}$ auf einer bitumenhaltigen Sperrschicht kann nicht eingehalten werden, falls die Sperrschicht direkt auf die stabilisierte Schicht aufgebracht wird. Über einer Schicht aus stabilisiertem Material muss deshalb eine elastisch wirkende, wasserdurchlässige und filterstabile Schicht (z.B. ungebundenes Gemisch) von mindestens 0.25 m Dicke eingebaut werden.

8.5.2 Materialtypen und Qualitätssicherung

Es gelten die im Strassenbau gebräuchlichen Normen und Vorschriften

9 Qualitätssicherung bei der Ausführung

9.1 Materialbedarf

9.1.1 Ungebundenes Gemisch und Kiessand

Beim Einbau von Kies ist eine Höhenzugabe zu berücksichtigen, welche die Verdichtung von loser Schüttung auf die feste Schicht berücksichtigt (siehe Abbildung 9-1).

verlangte Schichtstärke
nach dem Verdichten
= 30 cm



notwendige Einbaudicke
bei Höhenzugabe 20 %
= 36 cm

Abbildung 9-1: Beispiel Höhenzugabe für verlangte Schichtstärke nach Verdichtung.

9.1.2 Kiessandbedarf für Gleise

Die Tabelle 9-2 zeigt den Bedarf an ungebundenem Gemisch und Kiessand PSS mit einem Feuchtraumgewicht von 2.30 t/m^3 in Tonnen pro 100 m Gleislänge für verschiedene, fest verdichtete Schichtdicken und Planiebreiten sowie deren Reichweite (Rw) pro Bahnwagen mit 25 t Ladegewicht:

Planie breite [cm]	Kiessandbedarf in Abhängigkeit der Schichtdicke mit dazugehöriger Reichweite (Rw)									
	20 cm [t]	Rw [m]	25 cm [t]	Rw [m]	30 cm [t]	Rw [m]	35 cm [t]	Rw [m]	40 cm [t]	Rw [m]
300	138	18.1	173	14.5	207	12.1	242	10.3	276	9.0
320	147	17.0	184	13.6	221	11.3	258	9.7	294	8.5
340	156	16.0	196	12.8	235	10.6	274	9.1	313	8.0
360	166	15.1	207	12.1	248	10.1	290	8.6	331	7.6
380	175	14.3	219	11.4	262	9.5	306	8.2	350	7.1
400	184	13.6	230	10.9	276	9.1	322	7.8	368	6.8
420	193	13.0	242	10.3	290	8.6	338	7.4	386	6.5
440	202	12.4	253	9.9	304	8.2	354	7.1	405	6.2
460	212	11.8	265	9.4	317	7.9	370	6.8	423	5.9
480	221	11.3	276	9.1	331	7.5	386	6.5	442	5.7
500	230	10.9	288	8.7	345	7.2	403	6.2	460	5.4
520	239	10.5	299	8.4	359	7.0	419	6.0	478	5.2
540	248	10.1	311	8.0	373	6.7	435	5.7	497	5.0
560	258	9.7	322	7.8	386	6.5	451	5.5	515	4.9
580	267	9.4	334	7.5	400	6.2	467	5.4	534	4.7
600	276	9.1	345	7.2	414	6.0	483	5.2	552	4.5

Tabelle 9-2: Kiessandbedarf für Gleise.

9.1.3 Schotterbedarf pro Laufmeter Gleis

Bezüglich der Gestaltung des Schotterbettprofils wird auf die Normalprofile im Anhang A7 verwiesen. Die Mengen in Tabelle 9-3 (Einspurgleis) und Tabelle 9-4 (Doppelspur) enthalten die minimalen, theoretischen Querschnittswerte für die Normalspur resp. Tabelle 9-5 (Einspurgleis) für die Meterspur und werden in Abhängigkeit der Überhöhung \ddot{u} und des Quergefälles q aufgeführt.

Schwellenart	normale Bettung				verstärkte Bettung		
	ü = 0 mm		ü = 150 mm		ü = 150 mm		
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	
Holz							
	[m³/m]	1.67	1.75	1.81	1.73	2.15	2.06
	[t/m]	2.60	2.75	2.85	2.70	3.35	3.25
Stahl (Trogswelle)							
	[m³/m]	1.77	1.86	1.92	1.84	2.25	2.17
	[t/m]	2.80	2.90	3.00	2.90	3.50	3.40
Beton Monoblock B91							
	[m³/m]	1.87	1.95	2.00	1.92	2.37	2.28
	[t/m]	2.95	3.05	3.15	3.00	3.70	3.60

Tabelle 9-3: Schotterbedarf Einspurgleis
(Schotterdicke $d = 30 \text{ cm}$, Schwelleneinteilung $e = 60 \text{ cm}$, 1 m^3 Schotter wiegt 1.56 t)

Schwellenart	normale Bettung				verstärkte Bettung		
	ü = 0 mm		ü = 150 mm		ü = 150 mm		
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %	
Holz							
	[m³/m]	3.29	3.47	4.12	4.31	4.61	4.85
	[t/m]	5.15	5.45	6.45	6.75	7.20	7.60
Stahl (Trogswelle)							
	[m³/m]	3.50	3.68	4.33	4.53	4.82	5.06
	[t/m]	5.50	5.75	6.75	7.10	7.55	7.90
Beton Monoblock B91							
	[m³/m]	3.64	3.84	4.48	4.69	5.01	5.27
	[t/m]	5.70	6.00	7.00	7.35	7.85	8.25

Tabelle 9-4: Schotterbedarf Doppelspur
(Gleisabstand $a = 3.8 \text{ m}$, Schotterdicke $d = 30 \text{ cm}$, Schwelleneinteilung $e = 60 \text{ cm}$, 1 m^3 Schotter wiegt 1.56 t)

Schwellenart	normale Bettung			
	ü = 0 mm		ü = 105 mm	
	q = 3 %	q = 5 %	q = 3 %	q = 5 %
Holz	[m³/m]	1.69	1.75	1.78
	[t/m]	2.64	2.73	2.78
Stahl (Trogswelle)	[m³/m]	1.79	1.85	1.88
	[t/m]	2.79	2.89	2.93
Beton Monoblock B91	[m³/m]	1.79	1.85	1.88
	[t/m]	2.79	2.89	2.93

Tabelle 9-5: Schotterbedarf Einspurgleis Meterspur
(Schotterdicke d = 30 cm, Schwelleneinteilung e = 60 cm, 1 m³ Schotter wiegt 1.56 t)

9.1.4 Materialbedarf und Aushub bei Weichen

Für Weichenumbauten können die Aushubkubaturen und Einfüllmengen der Tabelle 9-6 (Normalspur) resp. 9-7 (Meterspur) entnommen werden. Bei deren Planieflächenberechnung wurde ab den Schwellenköpfen beidseits je ein Streifen von 50 cm berücksichtigt.

Weichen- typ	Planie [m²]	Aushub [m³ lose] Auflockerung: 25 %		PSS 30 cm, verdichtet 1 m³ \triangleq 2.3 t [t]
		Tiefe 80 cm	Tiefe 50 cm	
EW 185	106	106	67	73
EW 300	133	133	84	92
EW 500	168	168	105	116
EW 900	225	225	141	155
EW 1600	323	323	202	223
DKW 160	120	120	75	83
DKW 185	137	137	86	95

Tabelle 9-6: Materialbedarf und Aushub bei Weichen Normalspur

Weichentyp	Planie [m ²]	Aushub [m ³ lose], Auflockerung: 25%		PSS 30 cm, verdichtet 1 m ³ = 2.3 t [t]	Schotter bei Holzschwellen 15/26 1 m ³ = 1.56 t [t]
		Tiefe 75 cm	Tiefe 45 cm		
EW 60	55	57	37	36	42
EW 80	67	69	45	44	52
EW 130	82	85	56	54	63
EW 185	96	99	65	63	74
EW 250	118	121	79	77	91
EW 350	136	140	92	89	105
EW 500	160	165	108	105	123
EW 700	185	190	124	121	142
EW 900	234	241	158	153	180
EW 1600	282	290	190	184	217
DKW 80	110	114	75	72	86
DKW 106	118	122	80	77	91
DKW 15/245	119	124	82	78	93

Tabelle 9-7: Materialbedarf und Aushub bei Weichen Meterspur
(Weichenlänge: WA bis letzte durchgehende Schwelle, Planumquergefälle: 5 %)

9.2 Materiallagerung

Baustoffe sind durch geeignete Massnahmen vor Witterungseinflüssen zu schützen. In der Regel muss der Lagerort eine befestigte Oberfläche aufweisen (z.B. Asphalt, Beton, ausgelegte Platten).

Die Baustoffe dürfen beim Umladen/Lagern nicht befahren werden und sind schonend zu verarbeiten. Auch bei der Erstellung z.B. von Schotterhaufen darf mit den Fahrzeugen (Radlader/Raupenbagger) nicht hochgefahren werden, da dadurch unzulässiger Bruch und Abrieb entstehen.

Kiessand PSS ist vor dem Einbau mit geeigneten Massnahmen vor den Witterungseinflüssen zu schützen. Hierzu sind die Zuständigkeiten des Herstellers, Verladers, Wagen-eigentümers und Transporteurs frühzeitig zu klären. Auch sind Zwischenlager zu vermeiden (Wichtigkeit des korrekten Wassergehaltes!).

9.3 Kontrollen

Im Kapitel 9.3.1 wird die Übersicht der nötigen Ausführungskontrollen von Material und Einbauten wiedergegeben. In den anschliessenden Kapiteln werden die einzelnen Kontrollen beschrieben.

9.3.1 Ausführungskontrollen in der Übersicht

Die Anforderungen an die Baustoffe sind im Kapitel 8 sowie in den darin zitierten Normen und verwiesenen Anhängen enthalten. Nachfolgend werden für Neubauten bzw. strassenbaumässige Erhaltungsvorhaben im Neubaustandard mit schweren Baumaschinen sowie für gleisgebundene Bauvorhaben nur mit seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) bzw. nur mit leichten Baumaschinen die nötigen Baustoff- und Einbaukontrollen dargestellt.

Bei Neubauten bzw. strassenbaumässigen Erhaltungsvorhaben im Neubaustandard mit schweren Baumaschinen

Die Tabelle 9-8 zeigt eine Übersicht über die im Neubau bzw. bei strassenbaumässigen Erhaltungsvorhaben im Neubaustandard mit schweren Baumaschinen notwendigen Prüfungen. Kennwerte und Versuchsdurchführung sind dem Kapitel □ sowie den darin zitierten Normen zu entnehmen.

Kontrolle	Planum	Planie ungebundenes Gemisch	Mineralische Sperrschicht	bitumenhaltige Sperrschicht
Eignung Baugrund	X	–	–	–
Eignung Baustoff	–	X	X	X
Versuchseinbau	–	–	X	–
Verdichtungsgrad	–	X	–	X
Tragfähigkeit	X	X	–	–
Deflektion	–	–	–	X ^{a)}
geometrische Ebenheit	X	X	X	X
Schichtdicke	–	X	X	X
Anschluss an die Entwässerung	X	X	X	X
Bohrkern	–	–	–	X

a) In der Praxis hat sich alternativ bewährt: kontinuierliche Messung und Protokollierung der Einbautemperatur des AC Rails; Mischgut-Untersuchungen (Korngrössenverteilung, Bindemittelgehalt, Marshallwerte) und Kontrollen am Bohrkern der eingebauten Schicht (Verdichtungsgrad, Hohlraumgehalt, Schichtdicke und Bitumenpenetration)

Tabelle 9-8: Notwendige Prüfungen bei Neubauten bzw. bei strassenbaumässigen Erhaltungsvorhaben im Neubaustandard mit schweren Baumaschinen.

Bei gleisgebundenen Bauvorhaben nur mit seitlichem und frontalem Zugriff (Vorkopf) bzw. mit leichten Baumaschinen

Die Tabelle 9-9 zeigt eine Übersicht über die bei gleisgebundenen Bauvorhaben nur mit seitlichem oder frontalem Zugriff bzw. mit leichten Baumaschinen notwendigen Prüfungen. Kennwerte und Versuchsdurchführung sind dem Kapitel □ sowie den darin zitierten Normen zu entnehmen.

Kontrolle	Planum	Planie Kiessand PSS	Mineralische Sperrschicht	bitumenhaltige Sperrschicht
Eignung Baugrund	X	–	–	–
Eignung Baustoff	–	X	X	X
Verdichtungsgrad	–	X	X	X
Geometrische Ebenheit	X	X	X	X
Schichtdicke	–	X	X	X
Anschluss an die Ent- wässerung	X	X	X	X

Tabelle 9-9: Notwendige Prüfungen bei gleisgebundenen Bauvorhaben nur mit seitlichem oder frontalem Zugriff bzw. mit leichten Baumaschinen.

9.3.2 Materialprüfungen auf der Baustelle

9.3.2.1 Allgemeines

Dem Materiallieferanten bzw. dem Unternehmer wird der Preis für ein den Qualitätsvorschriften entsprechendes Produkt bezahlt. Er hat dafür zu sorgen, dass die vereinbarten Mindestqualitätswerte bei jeder Lieferung auf die Baustelle erreicht werden und ist somit für die Qualitätssicherung seiner Ware allein verantwortlich. Insbesondere ist bei der Lieferung von Kiessand PSS die Witterung zu beachten.

Auf der Baustelle erfolgen Stichprobenkontrollen durch den Bauherrn bzw. die Bauleitung. Nach erfolgter Lieferung und Abnahme der Materialien auf der Baustelle ist diese für Qualitätseinbussen verantwortlich.

Die notwendigen Prüfungen und Anforderungswerte zu allen Materialien sind dem Prüfplan des Projekts oder den Kapiteln 8 und 9 sowie der darin zitierten Normen zu entnehmen.

9.3.2.2 Visuelle Kontrollen (Eingangskontrolle)

Die gesamten Qualitätsanforderungen und Prüfungen von Schotter und Unterbaumaterial sind in den Anhängen A2 bis A6 beschrieben. Nachfolgend eine Auswahl der wichtigsten vor Ort:

Schotter

Auf der Baustelle bzw. der Empfangsstation ist die Qualität des gelieferten Schotters visuell zu überprüfen oder überprüfen zu lassen. Die Durchführung der visuellen Prüfung und eine allfällige Probenahme sind zu protokollieren (z.B. mit Prüfprotokoll analog Beispiel im Anhang A5 oder entsprechender digitaler Erfassung).

Bei der visuellen Prüfung des gelieferten Schotters ist auf folgende Punkte zu achten:

- Gehalt an ungeeigneten Schotterkörnern (normal/viel)
- Korngrösse (normal / zu gross / zu klein)
- Kornform (normal/gerundet/plattig/stängelig)
- Feinanteile (normal/viel)
- Fremdstoffe?
- Ist der Schotter gewaschen?

Kiessand PSS

- Maximalkorn (i.d.R. 32 mm)
- Anteil an Feingehalt (i.d.R. 8 – 12 %)
- Keine Entmischungen
- Wassergehalt (siehe unten)

Damit der Kiessand PSS gut verdichtet werden kann und die Anforderungen nach dem Einbau erfüllt, muss er den richtigen Wassergehalt aufweisen. Kiessand PSS mit dem richtigen Wassergehalt weist folgende Merkmale auf:

- keine Staubentwicklung beim Verdichten
- kein «Gummieffekt» beim Verdichten
- keine nassen Flecken auf der Oberfläche beim Verdichten
- keine Wasserlachen im Wagen
- beim Quetschen in der Hand («Klumpenprüfung») bleibt der Kiessand leicht ballig, leicht klebrig und bricht geringfügig auseinander. Ist der Kiessand PSS zu trocken, so ist kein Klumpen formbar bzw. er bricht auseinander. Ist der Kiessand PSS zu nass, so zerfließt das Material.

Ungebundenes Gemisch

- keine Staubentwicklung beim Abladen/Verdichten
- Maximalkorn (i.d.R. 63 mm) Anteil an Feingehalt (i.d.R. < 5 %)
- keine Entmischungen

AC Rail

Auf der Baustelle sind folgende Punkte zu beachten:

- Lieferscheinkontrolle «Mischgutsorte» (Einbaubeginn)
- Temperaturmessung des Mischgutes
- keine Entmischungen

Mineralische Sperrschicht

- Maximalkorn (i.d.R. 32 mm)
- Gehalt an genügend bindefähigem Material (Ton/Kalk)
- Wassergehalt gemäss den Vorgaben des Lieferwerks

Bankett- und Sickermaterialien

- Maximalkorn
- Kornform (z.B. nur runde Körner bei Sickergeröll, keine runden Körner bei Brechschotter)
- Feinanteile (Material gewaschen?)
- Maschenweite bei Banketthalterungen (Standard ≥ 2.5 cm, Reptilienoptimiert ≥ 5 cm)

Entwässerungssystem

- Q-Plus Zertifikat (Lieferscheine oder Etikett auf dem Rohr)
- Kunststoffart (PE, PH-HD oder PP, PP-HM), kein PVC
- Schlitzbreite (8 mm) oder Löcher (16 mm)
- Ringsteifigkeit
- Rohrverbindungen und Rohre besitzen die gleiche Ringsteifigkeit
- Rohrverbindungen (Bögen, Muffen usw.) bestehen aus dem gleichen Material wie die Rohre
- visuelle Kontrolle der Rohre und Schächte auf Beschädigungen
- Verformungen der Kunststoffrohre
- Lieferschein resp. Qualität des Sohlenbetons

Geokunststoffe

- Lieferscheinkontrolle (inkl. Vergleich mit Etikett auf Produkt)

9.3.2.3 Vorgehen bei Abweichungen (bei Eingangskontrolle)**Schotter und Foundationsschichten**

Werden Unstimmigkeiten bei der Materialqualität vermutet, ist durch die Bauleitung eine gemeinsame Probenahme für eine unabhängige Expertise zu organisieren. Eine repräsentative Probe wird mittels Schaufel entnommen (bei Schotter 80 kg an verschiedenen Stellen, bei Kiessand bzw. ungebundenen Gemischen 50 kg an verschiedenen Stellen) und diese einem Prüflabor zukommen gelassen. Zudem ist der Sachverhalt fotografisch festzuhalten, mit Übersicht- und Detailfotos mit jeweiligem Massstab, und die entsprechenden Fachdienste zu informieren. Bei eindeutig festgestellten Mängeln ist nach Möglichkeit der Rücktransport ins Werk auf Kosten des Lieferanten zu verfügen. Muss das fehlerhafte Produkt wegen dringender Arbeiten trotzdem eingebaut werden, erfolgt die Abnahme mit Vorbehalt. Wird dieser Vorbehalt bestätigt, soll mindestens eine Preisreduktion entsprechend dem Minderwert der Ware erfolgen.

Oft sind Lieferwerke von Schotter und Kiessand PSS mittels Rahmenverträge gebunden, welche entsprechende Abweichungen in Korngrössenverteilung, Zusammensetzung oder Wassergehalt regeln.

Bei einem Wassergehalt ausserhalb des Toleranzbereiches ist das Lieferwerk, insbesondere bei Kiessand PSS (zu trocken oder zu nass), sofort zu informieren, damit Korrekturmassnahmen erfolgen können für die nachfolgenden Lieferungen.

Angaben bei einer Probenahme:

- Wagen-Nr. (falls per Eisenbahnwagen geliefert)
- Lieferwerk
- Einbaustrecke mit Kilometerangabe
- Datum der Probenahme
- Unterschrift und Kontaktadresse

Beispiele für Prüfprotokolle befinden sich in den Anhängen A2 bis A6.

Sperrschichten

Es sind nur die Mischgutsorten AC Rail 16 und 22 zu verwenden. Werden andere Mischgutsorten angeliefert, sind diese nicht einzubauen bzw. zurückzuweisen.

Bankett- und Sickermaterialien

Werden Unstimmigkeiten bei der Materialqualität vermutet, ist durch die Bauleitung eine repräsentative Probe mittels Schaufel zu entnehmen (ca. 50 kg) und diese einem Prüflabor zukommen zu lassen.

Entwässerungssystem (Leitungen und Schächte)

Die festgestellten Elemente mit ungenügender Qualität sind entsprechend zu ersetzen.

Geokunststoffe

Entspricht die gelieferte Ware nicht den Bestellanforderungen, so muss sie ersetzt werden. Defekte Ware muss ersetzt werden.

9.3.2.4 Vorgehen bei Abweichungen (beim Einbau)

Bezüglich Qualitätseinbussen ist analog vorangehendem Kapitel zu verfahren. Durch eine konsequente Durchführung der Eingangskontrollen sollten Qualitätseinbussen durch Materiallieferungen möglichst verhindert werden. Verfahrens- oder witterungsbedingte Einflüsse können allerdings ebenfalls zu Qualitätseinbussen führen. In der Folge werden die bekanntesten Ursachen sowie der Umgang damit beschrieben.

Schotter

Verschmutzung auf der Baustelle (Materiallagerung und -umschlag): genügend Abstand zwischen den einzelnen Lagern einhalten, Böden für Materiallager befestigen und Bodensatz (z.B. Restschotter) nicht einbauen, sondern in den Aushub geben. Transportfahrzeuge vor Beladen auf Verschmutzung kontrollieren und allenfalls reinigen.

Kiessand PSS

Der Kiessand PSS ist nach erfolgter Lieferung vor Witterung zu schützen. Zwischenlager sind zu vermeiden. Sind aufgrund von Lagerung auf der Baustelle zu grosse Abweichungen beim Wassergehalt vorhanden, so ist wie folgt damit umzugehen:

- Viel zu trocken: Verzicht auf Einbau oder homogene Wasserzugabe (nur mittels Förderbandsystem möglich) oder Erhöhung der Einbauenergie (Einsatz schwereres Gerät, grössere Anzahl Verdichtungsübergänge)
- Viel zu nass: kein Einbau des Materials. Durchnässtes Material musste bisher stets wieder ausgebaut und mit neuem Material ersetzt werden. Aus diesem Grund ist der Einbau von durchnässtem Material zu vermeiden. Falls ein bereits erfolgter Aushub gefüllt werden muss: Aushubstopp, Reduktion der Baulänge und Verwendung des besten verfügbaren Materials für das Verfüllen.

Bankett- und Sickermaterial

Verschmutztes Bankett- und Sickermaterial ist zu ersetzen.

Sperrschichten

Beim Einbau sind bezüglich Sperrschichten folgende Punkte zu beachten:

- Keine Entmischungen beim Transport, Umschlag und Einbau
- Der AC Rail ist möglichst dicht herzustellen. Ist dies erreicht, weist die Oberfläche eine leichte Bindemittelanreicherung auf.

Entwässerungssystem

Defekte Rohre sowie Schächte dürfen nicht eingebaut werden.

Geokunststoffe

Die Geokunststoffe dürfen nicht länger als ein Tag direkt der Sonne ausgesetzt werden und dürfen nicht direkt befahren werden.

9.3.3 Ausführungskontrollen je Schicht

Im Abschnitt 9.3.2 wurden die Eingangskontrolle und die visuelle Überprüfung der Materialien während des Einbaus sowie Aufpassfelder dargestellt. In der Folge werden Aufpassfelder bei der Erstellung der einzelnen Schichten beleuchtet – hier dem Bauablauf folgend von unten nach oben.

9.3.3.1 Aushubarbeiten

Bei sämtlichen Aushubarbeiten (Schotterbett, Unterbau, Untergrund, Bankett, Entwässerung etc.) muss die korrekte Aushubtiefe kontinuierlich überprüft und entsprechend den Vorgaben protokolliert werden.

Der Baugrund ist vor Witterung zu schützen. Je nach Baumethodik muss bei nasser Witterung die Länge der Baugrube begrenzt werden und/oder der Einbau Vor-Kopf oder seitlich erfolgen.

Die aufgeweichte Oberfläche des Planums ist entweder zu entfernen oder zu befestigen (Einwalzen von etwas Schotter oder Verlegen eines Geogitters mit Funktion «Bewehren»).

Bei allen Aushubarbeiten ist spezielles Augenmerk auf die seitlichen Anschlüsse am Tiefpunkt des Aushubs zu legen. Hier wird später der primäre Wasserabfluss sein. Daher muss das seitlich in der Baugrubenwand befindliche Material genügend wasserdurchlässig sein. Andernfalls muss es entfernt werden («Dreckriegel»). Ist dies z.B. aufgrund begrenzter Reichweite der Maschine nicht möglich, so ist er manuell zu entfernen (z.B. Schottergabel).

Die Prüfung, ob ein Lehmriegel vorhanden ist, erfordert das Entfernen der oberen Schicht von rund 10 – 20 cm seitlich in der Baugrubenböschung, da es sich dabei meist um heruntergefallenes (Neu-) Material handelt. Daher muss der Anschluss an das genügend wasserdurchlässige Material mittels Schaufel überprüft werden.

Der ungenügende Wasserabfluss aus dem Gleis ist eine der Hauptursachen für spätere Schäden am Unterbau.

9.3.3.2 Planum

Falls die Verformbarkeit auf dem Planum auf Basis einer geotechnischen Untersuchung bzw. an den gemäss Messschrieben auffälligen Stellen ermittelt wurde, so erübrigt sich eine messtechnische Verifizierung der Verformbarkeit auf dem Planum während der Ausführung. Es muss visuell überwacht werden, ob wider Erwarten schlechtere Zonen vorhanden sind. In diesem Fall ist die Tragfähigkeit zu verbessern.

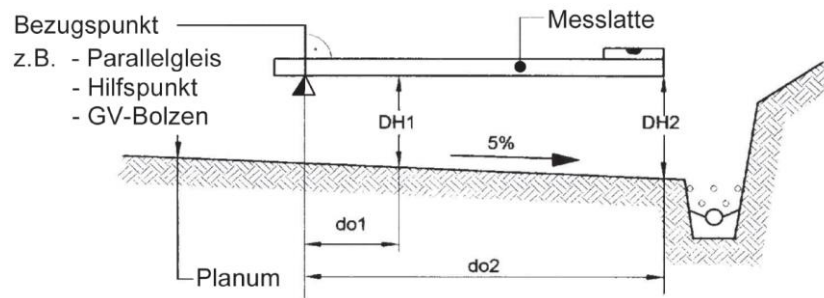
In allen übrigen Fällen (d.h. primär Neubau von Gleisen oder Umbau von Gleisen ohne vorhandene Messschriebe) ist das Einhalten der Anforderung bezüglich Verformbarkeit und Gleichmässigkeit des Planums mittels statischem Plattendruckversuch oder leichtem Fallgewichtsgesetz zu prüfen. Bei bindigen Böden kann die Prüfung allenfalls mit alternativen Methoden erfolgen (z.B. CBR-Nadel oder Taschenpenetrometer).

Das Einhalten der Anforderung bezüglich Verformbarkeit und Gleichmässigkeit des Planums ist gemäss Norm SN 40585 zu kontrollieren. Die M_E -Werte sind aufgrund der einschlägigen Normen (VSS 70317) zu bestimmen, wobei der M_{E1} -Wert (Erstbelastung) und der M_{E2} -Wert (Zweitbelastung) bei folgenden Laststufen zu bestimmen sind:

Planum: 0.05 – 0.15 MN/m²

Das Planum ist stets mit 5 % Quergefälle auszubilden. Allfällige durch den Aushub entstandene Unebenheiten und Risse sind durch Abwalzen zu verbessern (Verhinderung von Wassersäcken).

Die Abbildung 9-10 beschreibt die Vermessung des Planums und der Planie mittels Messlatte.



$$\begin{aligned} \text{Berechnung Quergefälle: } \frac{(DH2 - DH1) \cdot 100}{do2 - do1} &= 5 \% \\ DH1 &= DH2 - \frac{(do2 - do1)}{20} \\ DH2 &= DH1 + \frac{(do2 - do1)}{20} \end{aligned}$$

Abbildung 9-10: Vermessung des Planums und der Planie mittels Messlatte.

9.3.3.3 Geokunststoffe

Beim Einbau von Geokunststoffen ist zu berücksichtigen, dass sie frei von Falten und satt auf dem Untergrund aufliegend verlegt werden. Für eine nicht kraftschlüssige Verbindung einzelner Geokunststoffflächen gilt:

- Überlappungen parallel zur Gleisachse sind zu vermeiden
- min 0.30 m Überlappung quer zur Gleisachse bei ebenem Untergrund
- min 0.50 m Überlappung quer zur Gleisachse bei unebenem Untergrund
- min 1.00 m Überlappung quer zur Gleisachse, falls das Geotextil im Wasser verlegt werden muss.

Zudem ist darauf zu achten, dass die Vliese am Tiefpunkt des Planums nicht nach oben gezogen werden, da sonst ein Hindernis für den Wasserabfluss entsteht.

Bei Geokunststoffen mit der Funktion «Bewehren» gelten projektspezifische Anforderungen zur Erstellung der kraftschlüssigen Verbindungen.

Bei Geokunststoffen mit den Funktionen «Filtern» oder «Drainieren» ist darauf zu achten, dass der tiefste Punkt nicht unter dem Gleis liegt, damit keine Bewässerung des Planums durch Kapillareffekte erfolgt.

Bei Geokunststoffen mit Funktion «Dichten» ist darauf zu achten, dass sie durch speziell geschultes Personal verlegt werden. Die Hersteller bzw. Vertreiber bieten diesbezüglich Ausbildungen an bzw. führen die Montage selbst durch. Oft sind zudem Verlegeanleitungen vorhanden.

9.3.3.4 Ungebundenes Gemisch

Bei Strassenbauverfahren richtet sich die Prüfhäufigkeit von M_E -Werte an die VSS 40585:

- Planum: Ein Messpunkt alle 50 m bzw. pro 600 m²
- Planie: Ein Messpunkt alle 30 m bzw. pro 300 m²

Auch hier ist die Verifizierung der Verformbarkeit auf dem Planum primär im Falle fehlender Messschriebe nötig. Auf der Planie ist die Verifizierung der Verformbarkeit der Stand der Technik.

Das Einhalten der Anforderung bezüglich Verformbarkeit und Gleichmässigkeit des Planums und der Planie ist gemäss Norm SN 640317 zu kontrollieren. Die M_E -Werte sind aufgrund der einschlägigen Normen (VSS 70317) zu bestimmen, wobei der M_{E1} -Wert (Erstbelastung) und der M_{E2} -Wert (Zweitbelastung) bei folgenden Laststufen zu bestimmen sind:

Planie: 0.15 – 0.25 MN/m², Planum: 0.05 – 0.15 MN/m²

Ob die Werte erfüllt sind, muss mit Abschnitt 5.2.1 bzw. 6.2.1 abgeglichen werden. Zudem soll das Verhältnis von Zweit- und Erstbelastung $M_{E2}/M_{E1} \leq 2.5$ betragen. Bei Nichterfüllung ist mit dem jeweiligen Fachdienst Kontakt aufzunehmen oder nachzuverdichten bzw. zu prüfen, ob die Trockendichte mindestens 97 % der Proctordichte gemäss SN EN 13286-2 beträgt.

Die Foundationsschicht ist in Lagen von max 30 cm (verdichtet) einzubringen.

Die korrekte Schichtdicke muss kontinuierlich überprüft und entsprechend den Vorgaben protokolliert werden.

Die (Roh-)Planie ist mit einem Quergefälle von 5 % auszuführen. Ausnahme bilden Einbauten von ungebundenem Gemisch ohne darüberliegende Sperrschicht in unterklassigen Gleisen (da oft flächige Versickerung).

9.3.3.5 Sperrschichten

Während der Bauausführung sorgt das Unternehmen für zweckmässige Einbaukontrollen, die ihm erlauben, allfällige Mängel sofort zu beheben. Zur Messung des Verdichtungsgrades der bitumenhaltigen Sperrschicht oder des Kiessandes PSS unmittelbar nach Verdichtung hat sich die Verwendung von Isotopengeräten als zweckmässig erwiesen.

Bei der bitumenhaltigen Sperrschicht sind die geforderten Werte wie Verdichtungsgrad, Hohlraumgehalt, Bitumenpenetration und Anteil an gebrochenen Mineralstoffen an Bohrkernen aus der fertig erstellten Schicht wie folgt nachzuweisen:

Eigenschaft	Norm	Mittelwert ^{a)}	Grenzwert ^{b)}
Mindestwert Verdichtungsgrad ^{c)} [%]	VSS 40430, Tab. 7	≥ 99	≥ 97
Höchstwert Hohlraumgehalt [Vol-%]	VSS 40430, Tab. 7	≤ 3	≤ 5
Mindestwert Bitumenpenetration ^{d)} [_{1/10} mm]	VSS 40430, Tab. 7	≥ 90	≥ 70
Mindestanteil an gebrochenen Mineralstoffen [Masse-%]	SN 670103-NA, Tab. 4	≥ 50	≥ 40

a) Mittel aus mindestens vier Einzelwerten einer Einbaustrecke.

b) Der Grenzwert ist ein Einzelwert, der in keinem Fall unter- bzw. überschritten werden darf.

c) Dieser Wert ist zwecks Hemmen der Vegetation auch im Bereich von Bankett und Böschungsschulter einzuhalten.

d) Bindemittel 160/220 vgl. SN EN 13108-1

Tabelle 9-11: Die vier Hauptanforderungen an AC Rail 16 oder 22.

Eine Kopie aller Prüfprotokolle (Verformbarkeitswerte, Verdichtungsgrade, Bohrkerne, Lieferwassergehalte, Versickerungs- oder Pumpversuche etc.) ist von der Projektleitung/Bauleitung den jeweiligen Fachdiensten abzugeben.

9.3.3.6 AC Rail

Der AC Rail-Einbau ist zu verschieben, falls folgende Witterungs- und Einbauverhältnissen vorherrschen:

- wenn bei Niederschlägen sich ein geschlossener Wasserfilm auf der Unterlage bildet
- wenn die Lufttemperatur unter +5 °C liegt
- wenn die Planie bzw. Unterlage gefroren, mit Eis bzw. Schnee bedeckt oder aufgeweicht ist.

Muss bei ungenügenden Temperaturen und/oder ungünstigen Bedingungen der AC Rail aus zwingenden Gründen eingebaut werden, sind besondere Massnahmen zu treffen. Dies könnten sein:

- Vorwärmen der Unterlage
- hochwirksame Vorverdichtung und/oder Verdichtungsgeräte

Bei zeitkritischen Bauprogrammen (Intensivbauphase o.ä.) ist es empfehlenswert, zwei Mischgut-Lieferwerke bzw. Asphaltfertiger einzuplanen (unvorhersehbare Ereignisse wie technischer Ausfall o.ä.).

Vorsicht bei temporärer Benutzung (Baupiste o.ä.): Es ist auf eine angemessene Beanspruchung zu achten.

Arbeitsfugen/Anschlussflächen sind vorzubereiten.

Die korrekte Schichtdicke sowie die Einbautemperatur müssen kontinuierlich überprüft und entsprechend den Vorgaben protokolliert werden.

Die Planie ist mit einem Quergefälle von 3 % auszuführen.

9.3.3.7 Kiessand PSS

Schichten bis 30 cm werden einlagig eingebracht. Grössere Schichten werden zweilagig eingebracht, wobei die untere Schicht aufgrund der geringen Tragfähigkeit auf dem Planum oft nur statisch verdichtet wird.

Durch die im Vorfeld des Umbaus mittels geotechnischer Untersuchungen festgelegten oder baubegleitend ermittelten Werte der Verformbarkeit ergibt sich die nötige Schichtdicke des Kiessandes PSS. Eine Verifizierung der Verformbarkeit auf dessen Oberfläche erübrigt sich daher bzw. ist aufgrund des sich aufbauenden Porenwasserdruckes nicht aussagekräftig und darf frühestens 12 Stunden nach dem Einbau durchgeführt werden. Es hat sich daher die Kontrolle des Verdichtungsgrades mittels Isotopengerät bewährt.

Dazu werden der optimale Wassergehalt M_{opt} [%] und die Proctordichte DD_{opt} im Proctorversuch gemäss SN EN 13286-2 ermittelt. In der Schweiz sollen die im Anhang A2 definierten Prüfeinrichtungen für die Analyse von Kiessand PSS benutzt werden⁵.

Der optimale Wassergehalt ist wichtig für die Verdichtbarkeit. Für die Kontrolle des Verdichtungsgrades ist die Trockendichte DD im Verhältnis zur Proctordichte massgebend. Der Quotient der beiden Trockendichten wird als Verdichtungsgrad PR bezeichnet:

$$\%PR = \frac{DD}{DD_{opt}} \%$$

DD = Trockendichte

DD_{opt} = Proctordichte gemäss SN EN 13286-2

Dabei ist pro 500 m eingebaute Schutzschicht eine Messreihe mit 10 Kontrollmessungen notwendig.

Die Messungen sind 10 cm unterhalb der Oberfläche der Kiessandschicht auszuführen. Der mittlere Verdichtungsgrad darf folgende Grenzwerte nicht unterschreiten:

- 95 % bei Umbauten im Schichtintervall
- 97 % bei Umbauten mit dauernd ausser Betrieb gesetztem Gleis

Für den **minimalen Verdichtungsgrad** dürfen keine Einzelwerte folgende Grenzwerte unterschreiten:

- 90 % bei Umbauten im Schichtintervall
- 92 % bei Umbauten mit dauernd ausser Betrieb gesetztem Gleis

Für die zulässige Anzahl Einzelwerte (E) pro Kontrollabschnitt, die in den Bereichen $90 \% \leq E < 95 \%$ (Umbauten im Schichtintervall) bzw. $92 \% \leq E < 97 \%$ (dauernd ausser Betrieb gesetzte Gleise) liegen dürfen, gilt Folgendes:

- höchstens $\frac{1}{3}$ der Werte bei 10 und mehr Messungen
- höchstens 2 Werte bei 5 – 9 Messungen und
- kein Wert bei weniger als 5 Messungen

Werden diese Vorschriften eingehalten, ist der Kontrollabschnitt homogen und genügend verdichtet. Bei ungenügender Verdichtung ist die Ursache zu ermitteln (vgl. weiter unten).

Es ist zu beachten, dass Kiessand PSS infolge seiner speziellen Korngrössenverteilung und damit verbundenem erhöhtem optimalem Wassergehalt kein ideales Material bezüglich Verdichtbarkeit ist. Dieser Nachteil kann aber im Allgemeinen durch einen erhöhten Verdichtungsenergieaufwand kompensiert werden.

Die Eignung von Verdichtungsgeräten ist durch Feldversuche abzuklären. Einige Hinweise sind in SN 640585 enthalten. Folgende Verdichtungsgeräte sind in offener Baugrube für den Einbau von 36 cm Kiessand (lose geschüttet) geeignet:

⁵ Die SBB AG hat diese in Zusammenarbeit mit der Vereinigung Akkreditierter Baustoffprüflabors (VAB) definiert. Die Prüfeinrichtungen sollen mit geringen Abweichungen der Versuchsdurchführungen für alle Gemische gelten.

- Drückende und knetende Geräte:
 - Gitter- und Pneuwalzen mit einem minimalen Gewicht von ca. 15 t⁶
 - Grabenwalzen mit einem minimalen Gewicht von 1.5 t⁷
- Vibrationsgeräte:
 - Reversierbare Plattenvibratoren mit einem minimalen Gewicht von 0.5 t
 - Duplexwalzen mit einem minimalen Gewicht von 1 t
 - Tandemwalzen mit einem minimalen Gewicht von 2 t
- Kombi-Walzen mit einem minimalen Gewicht von 4 t

Um die vorgeschriebenen Verdichtungswerte für 30 cm Kiessand PSS (verdichtet) zu erreichen, ist in der Regel folgende Anzahl von Übergängen mit dem Verdichtungsgerät notwendig:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| – bei Vibrationswalzen (2.5 t–5 t) | 4 und 1 mit ausgeschaltetem Vibrator |
| – bei Pneuwalzen (ca. 8 t) | 6–8 |
| – bei Mehrplattenvibratoren der Gleisbaumaschine Puscal | ≥ 4 |

Problematisch ist die Verdichtung von Kiessand PSS auf weichen Böden. Insbesondere mit Vibrationsgeräten werden über weichen Böden auf einschichtig eingebrachten Sperr- und Foundationsschichten immer wieder ungenügende Verdichtungswerte gemessen. Wenn möglich, ist ein mehrlagiger Einbau mit nach oben zunehmender Verdichtungsenergie (evtl. schwerere Walze) vorzusehen.

Soll der verdichtete Kiessand PSS eine Schichtdicke von 35 cm – 40 cm aufweisen, so muss er in zwei Lagen eingebaut werden, was bei der Planung zu berücksichtigen ist. Die untere Lage darf bei einem geringen M_{E1} -Wert bzw. bei sehr grosser Verformbarkeit nur mit einem leichten Verdichtungsgerät bzw. bei der Gleisbaumaschine Puscal mit einer geringeren Anzahl Übergängen und/oder höherer Geschwindigkeit bearbeitet werden.

Die beste Verdichtungswirkung wird dann erzielt, wenn der Einbauwassergehalt dem optimalen Wassergehalt entspricht. Mit höherem Wassergehalt nimmt die Verdichtbarkeit sehr rasch ab. Aus praktischen Gründen soll der Einbau-Wassergehalt im Toleranzbereich von M_{opt} bis ($M_{opt} - 2\%$) liegen.

Das Vorgehen bei nicht optimalem Wassergehalt des Kiessandes PSS ist wie folgt:

Der Kiessand PSS ist etwas zu trocken:

- primär Erhöhung der Einbauenergie durch grössere Anzahl Verdichtungsübergänge oder Einsatz eines schwereren Gerätes / mehrerer Geräte

Der Kiessand PSS ist etwas zu feucht:

- primär Reduktion der dynamischen Verdichtung / Abstellen Vibrofunktion beim Verdichtungsgerät. Falls möglich Einsatz leichterer Verdichtungsgeräte. Möglichst keine Reduktion der Anzahl Verdichtungsübergänge

Der Kiessand PSS ist zu nass:

- keine dynamische Verdichtung, Reduktion der Anzahl Verdichtungsübergänge

⁶ Setzt einen entsprechend hohen M_{E1} -Wert bzw. geringe Verformbarkeit auf dem Planum voraus.

⁷ Erfordert ein Abwalzen nach erfolgter Verdichtung.

Die Fälle «zu trocken» bzw. «zu nass» sollten bei der Produktion (vgl. Abschnitt 8.2.4), bei der Eingangskontrolle auf der Baustelle (vgl. Abschnitt 9.3.2.2) und korrektem Umgang auf der Baustelle (vgl. Abschnitt 9.3.2.4) verhindert werden.

Das Vorgehen bei ungenügender Verdichtung resp. zu grosser Verformung ist wie folgt:

Die Dicke der Kiessandschicht ist zu gering:

- Erhöhen der Schichtdicke

Die Verdichtungsenergie ist zu gering:

- Erhöhung der Anzahl der Übergänge des Verdichtungsgerätes.
- Verringern der Arbeitsgeschwindigkeit des Verdichtungsgerätes auf 4 m– 6 m pro Minute
- Anpassen bzw. Verändern der Vibratorfrequenz
- Einsetzen eines schwereren und wirksameren Verdichtungsgerätes (schwere Pneuwalzen)
- Bei der Gleisbaumaschine Pusal ist darauf zu achten, dass die Vibratoren satt und mit ihrem ganzen Gewicht ständig auf der Kiesschicht aufliegen.

Der Untergrund ist zu weich und setzt der Verdichtungsenergie einen zu geringen Widerstand entgegen:

- Die Dicke der Kiessandschicht ist zu vergrössern und/oder ein Geokunststoff mit der Funktion «Bewehren» gemäss VSS 70242 ist unter die Kiessandschicht einzubauen.

Die korrekte Schichtdicke muss kontinuierlich überprüft und entsprechend den Vorgaben protokolliert werden. Die Planie ist mit einem Quergefälle von 5 % auszuführen.

9.3.3.8 Mineralische Sperrschicht

Es ist auf den korrekten Wassergehalt zu achten, was bei tonigem Material zu einer Bewässerung mit anschliessender Ruhezeit führt. Allfällige Senken können mittels Brechsand 0/4 aus dem gleichen Material gefüllt werden (Absanden).

Die korrekte Schichtdicke muss kontinuierlich überprüft und entsprechend den Vorgaben protokolliert werden.

Die Planie ist mit einem Quergefälle von 5 % auszuführen.

9.3.3.9 Verdichtung der Vorschotterung

Bei Umbauten mit Schotterersatz ist nach Abnahme der Planie und vor Verlegen der Schwellen eine untere Schicht aus Schotter (Vorschotterung) einzubringen und mit geeigneten Geräten homogen und optimal zu verdichten. Bewährt hat sich die Verdichtung mit einer 2.5 – 4 Tonnen-Vibroglattwalze in zwei Durchgängen, einmal mit und einmal ohne Vibration. Mit dem Verdichtungsgerät der Gleisbaumaschine Pusal sind mindestens 2 Durchgänge für eine genügende Verdichtung nötig.

Üblicherweise reicht die Vorschotterung bis ca. 10 cm unter die Endlage. Sind grössere Schotterbettdicken nötig, muss darauf geachtet werden, dass der Schotter in Lagen von maximal 30 cm eingebaut und verdichtet wird.

Die Oberfläche der Vorschotterung liegt bei den Gleisbelastungsgruppen N1, N2, N3 und N4, sowie E1, E2 und E3 0.10 m unter der Sollhöhe der Schwellenunterkante und ist parallel zu ihr. Bei der Gleisbelastungsgruppe E4 liegt die untere Schotterlage ca. 0.05–0.07 m unter der Soll-Höhe der Schwellenunterkante.

Bei Stahlschwellen mit langen Kappen (S220) muss die Einbaudicke der Vorschotterung mindestens 30 cm betragen. Bei Stahlschwellen und Schwellen mit Sicherungskappen sollen für einen erleichterten Einbau Furchen in die Vorschotterung gezogen werden.

Die Breite der Vorschotterung soll die Schwelle beidseitig um mindestens 0.50 m überragen.

Folgende Toleranzen der verdichteten Vorschotterungsplanie sind bei den Gleisbelastungsgruppen N1/E1 und N2 einzuhalten:

- Höhe in Gleisachse ± 2 cm
- Quergefälle im Schwellenbereich ± 0.5 %
- Breite ab Gleisachse ± 5 cm
- Ebenheit in allen Richtungen: Örtliche Abweichungen ab der 3 m Messlatte von max. ± 3 cm

9.3.3.10 Einschotterung

Eine Verdichtung des Schotters oberhalb der Vorschotterung ist nicht zielführend, da dieser möglichst nur Korn-zu-Korn-Kontakte aufweisen soll. Durch Einfahren, Schwellenfachverdichtung o.ä. wird verhindert, dass zu grosse Anfangssetzungen auftreten.

9.3.3.11 Entwässerung

- Bei der Normalspur ist ein maximaler Abstand zur äusseren Schiene von 1.40 m einzuhalten (Reichweite der Gleisbaumaschine PUSCAL für den sauberen Anschluss an Planie und Planum)
- Leitungen sind ohne Knicke in einer stetigen Linie auszubilden. Rohreinführung in die Kontrollschächte muss gerade und ohne sichtverhindernde Richtungswechsel erfolgen
- Sickerrohre sind vor dem Einbau des Sohlenbetons mit Halbschalen abzudecken
- Rohre sind strikt mit der Scheitelmarkierung bzw. mit der korrekten Lage der Einlauföffnungen nach oben einzubauen.
- Schachtdeckelrahmen und Schachtdeckel sind passend auf den Konus mit Zementrohrfalz einzubauen. Der Schachtdeckelrahmen ist einzumörteln.
- Die abgeschrägte Seite des Konus des Schachtes ist senkrecht zur Gleisachse einzubauen; bei ungenügenden Platzverhältnissen (Distanz Entwässerung zur Gleisachse < 2.25 m) längs zur Gleisachse.
- Die Schachtunterteile sind auf eine horizontale Betonsohle (Unterlags-/Sohlenbeton) C 12/15 zu versetzen.
- Beim Einbau einer Leiter ist diese zu montieren, dass der Ausstieg in Richtung Bankett oder längs zur Gleisachse erfolgt.

9.3.3.12 Bankette

Bei der Normalspur muss der Aushub des Bankettmaterials bis 1.40 m zur äusseren Schiene erfolgen (Reichweite der Gleisbaumaschine PUSCAL für den sauberen Anschluss an Planie und Planum).

9.3.4 Befahrbarkeit der einzelnen Schichten

Geokunststoffe dürfen nicht direkt befahren werden; es ist eine minimale Überschüttung von 0.30 m einzuhalten.

9.3.4.1 Planum

Das Planum darf ohne den Nachweis einer entsprechend geringen Verformbarkeit weder mit Raupen- noch mit Pneufahrzeugen befahren werden. Zulässig sind einzig die der

vorhandenen Verformbarkeit angepassten Verdichtungsgeräte und kleinen Raupenbagger.

9.3.4.2 Planie

Die Planie der Foundationsschicht darf im Neubaufall entsprechend der vorhandenen Verformbarkeit i.d.R. mit den gängigen Pneu- und Raupenfahrzeugen befahren werden.

Im Erhaltungsfall darf die Planie der Foundationsschicht mit leichten Baufahrzeugen, also mit Raupenfahrzeugen mit einer maximalen Bodenpressung von 80 kN/m^2 oder Pneufahrzeugen mit maximal 2 t Achslast, befahren werden. Der Einsatz von Pneufahrzeugen oder Raupenfahrzeugen mit einer höheren Bodenpressung erfordert den Nachweis einer entsprechend geringen Verformbarkeit.

9.3.4.3 Vorschotterung

Die Vorschotterung darf mit Pneufahrzeugen mit einer maximalen Achslast von 5 t oder mit Raupenfahrzeugen mit einer maximalen Bodenpressung von 320 kN/m^2 befahren werden.

Anhang A1 – A10 (Allgemein)

A1 Entscheidungselemente für die Planung der Fahrbahnerhaltung, Beispiel SBB

A1.1 Grundlagenbeschaffung

Die Grundlagen dienen dem geotechnischen Gutachter und dem Projektverfasser. Sie sind in der ersten Planungsphase so vollständig wie möglich zu beschaffen und in den Untersuchungsantrag Geotechnik einfließen zu lassen.

A1.1.1 Checkliste Grundlagenbeschaffung

- Gleisart, Verkehrslast, Verkehrsprognose und Zuggeschwindigkeit (Zustand heute, zukünftig)
- vorhandener und vorgesehener Oberbautyp
- vorhandener Unterbau und Schutzschichten
- Unterhaltsart und Unterhaltsaufwand
- Art und Lage von Schäden (Deformationen, Schlammaufstösse, Frost)
- Messwagendiagramme
- Ergebnisse von Voruntersuchungen und Baugrundaufschlüssen aus der näheren Umgebung (Konsultation von Ingenieurbau, Architektur, Fahrstrom, Energie sowie geotechnischen Archiven)
- Vorhandene und vorgesehene Trassierung (geplante Verschiebung von Gleisen und Weichen)
- Vorhandene und vorgesehene Bauwerke im Gleisbereich (Entwässerungen, Querungen, Übergänge)
- Versickerungsfähigkeit abklären (bewachsene Flächen, k-Wert nach Darcy)
- Anschlussmöglichkeit für Entwässerung (Einleitung in Oberflächengewässer, Einleitung in Kanalisation) und allenfalls Zustimmung der zuständigen Behörde
- Umwelt-GIS SBB (Grundwasserschutzzone usw.)
- Zustand und ausgeführte Erhaltungsmassnahmen im Nachbargleis, vorgesehene Erhaltungsmassnahmen
- betriebliche Vorgaben und Randbedingungen während der Erhaltungsarbeiten

A1.2 Geotechnisches Gutachten

Der projektierende Ingenieur veranlasst auf Antrag des verantwortlichen Unterhaltsdienstes die Erstellung eines geotechnischen Gutachtens pro Erhaltungsprojekt Fahrbahn. Das Gutachten hat einen standardisierten Aufbau und enthält Empfehlungen bezüglich Erhaltungsmassnahmen im Unterbau und an den Entwässerungsanlagen, wenn möglich mit Varianten.

Das geotechnische Gutachten gibt dabei Auskunft über die Funktionalität des Gleises betreffend Schotterbett, Unterbau, Untergrund und Entwässerung gemäss den entsprechenden Kapiteln im Erhaltungsfall. Das Nicht-Einhalten einzelner oder auch mehrerer reglementarischer Vorgaben bedeutet dabei nicht, dass das betreffende Anlageteil saniert werden muss. Entscheidend ist, ob die Funktionalität genügend ist bzw. zumindest für eine weitere Nutzungsdauer Generation des Oberbaus ausreicht. Kommt die geotechnische Untersuchung zum Schluss, dass z. B. der bestehende Unterbau nicht mehr für eine nächste Nutzungsdauer des Oberbaus genügt bzw. eine unzulässige Reduktion der

Nutzungsdauer zur Folge hätte, so sind Massnahmen im Unterbau gemäss Kapitel 6 notwendig.

Der u. a. auf dem geotechnischen Gutachten abgestützte Investitionsentscheid der Infrastrukturbetreiberin kann somit eine Reduktion der Nutzungsdauer des Oberbaus in Kauf nehmen – insbesondere bei in naher Zukunft anstehenden Umbauten, welche eine grössere Investition als nicht zweckmässig erscheinen lassen. Zudem können erschwerte Bau-Rahmenbedingungen, wie z. B. schlecht zugängliche Baustelle im Felseinschnitt mit hoch liegendem, verwitterungsempfindlichem Felsen dazu führen, dass der Investitionsentscheid in Ausnahmefällen von den Empfehlungen des geotechnischen Gutachtens abweichen kann.

Der für das Erhaltungsprojekt zuständige Unterhaltsdienst stellt dem geotechnischen Gutachter das für die Durchführung der Feldarbeiten benötigte Personal zur Verfügung und organisiert den Sicherheitsdienst. In einfachen Fällen erstellt der zuständige Unterhaltsdienst das geotechnische Gutachten mit eigenem Personal.

A1.3 Erhaltungsprojekt Fahrbahn

A1.3.1 Konzept «Fahrbahnerhaltung»

Das Konzept «Fahrbahnerhaltung» ist gleichzeitig mit dem Fahrbahnerhaltungsprogramm zu erstellen. Es wird gemeinsam mit diesem anlässlich der jährlichen, technischen Besprechung zur Fahrbahnerhaltung anfangs X-2 (X = Jahr der Bauausführung) zwischen dem Fachdienst und den projektierenden Ingenieuren genehmigt. Im Konzept «Fahrbahnerhaltung» sind folgende Elemente in einem schematischen Längenprofil analog dem Beispiel unter Anhang A1.5 oder auf der Grundlage der graphischen Darstellung der Feldaufnahmen und Empfehlungen des geotechnischen Berichtes darzustellen:

- Topografie (Damm, Ebene, Einschnitt, Anschnitt)
- geometrische Zwangspunkte
- Unterhaltsfrequenzen der letzten zehn Jahre bzw. Unterhaltsentwicklung seit der letzten Gesamterneuerung
- Zustand des Gleises gemäss Messwagendiagramm
- Empfehlungen des geotechnischen Berichtes
- geplante Erneuerungsbereiche (Unterbau, Entwässerung, Schotterbettvergrösserungen, Bankette).

A1.3.2 Bauprojekt

Die Genehmigungsinstanz für das Teilprojekt «Unterbau und Entwässerung» ist der zuständige Fachdienst Fahrbahn. Der Projektumfang soll die Abschätzung der Kosten mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ erlauben, was einem Projektumfang nach SN 508103 entspricht. Das Bauprojekt enthält mindestens:

- den Situationsplan,
- die Normalprofile,
- die kritischen Querprofile,
- den technischen Bericht sowie
- den Kostenvoranschlag.

Im Situationsplan sind Dämme, Einschnitte, Schutzgebiete, bestehende und projektierte Leitungen, Schächte, Vorfluter usw. darzustellen. Falls kein Längenprofil erstellt wird, sind die Gefälls- und Tiefenverhältnisse auf dem Situationsplan einzutragen. Für jeden homogenen Abschnitt ist ein Normalprofil mit Unterbau, Entwässerung, geometrischen Abmessungen und bautechnischen Details zu konstruieren. Kritische Querprofile sind u.a. die Querprofile im Höchst- und Tiefpunkt der Entwässerung.

Der technische Bericht ergänzt die Aussagen der Pläne, enthält die Begründung, die Beschreibung und Erläuterung der einzelnen Teile des Erhaltungsprojekts Fahrbahn, die betrieblichen Randbedingungen während der Ausführung, die Beurteilung von Versickerungsmöglichkeiten, Vorflutverhältnissen und Schutzgebieten sowie die Kosten.

Der Leitfaden Sicherheitsorientierte Prüfung A (SIOP A) führt die Projektleitung durch den Prozess und stellt die inhaltlichen Anforderungen an ein komplettes Dossier dar. Die Checkliste SIOP A «Unterbau» dient dem Projektverfasser zur Kontrolle seines Projekts.

A1.4 Ausführung und Kontrollen nach Inbetriebnahme

Beim Einbau von Schutzschichten sind Materialproben zu entnehmen, der Einbauwassergehalt zu bestimmen sowie Verdichtungsgradmessungen auszuführen.

In die grafische Darstellung des Oberbaus sind das Schotterbett (km, Dicke in cm, Reinigungsjahr, Erneuerungsjahr) und der Unterbau (km, Unterbautyp, Dicke in cm, Einbaujahr) lagegerecht einzutragen.

A1.5 Beispiel für ein Konzept Fahrbahnerhaltung

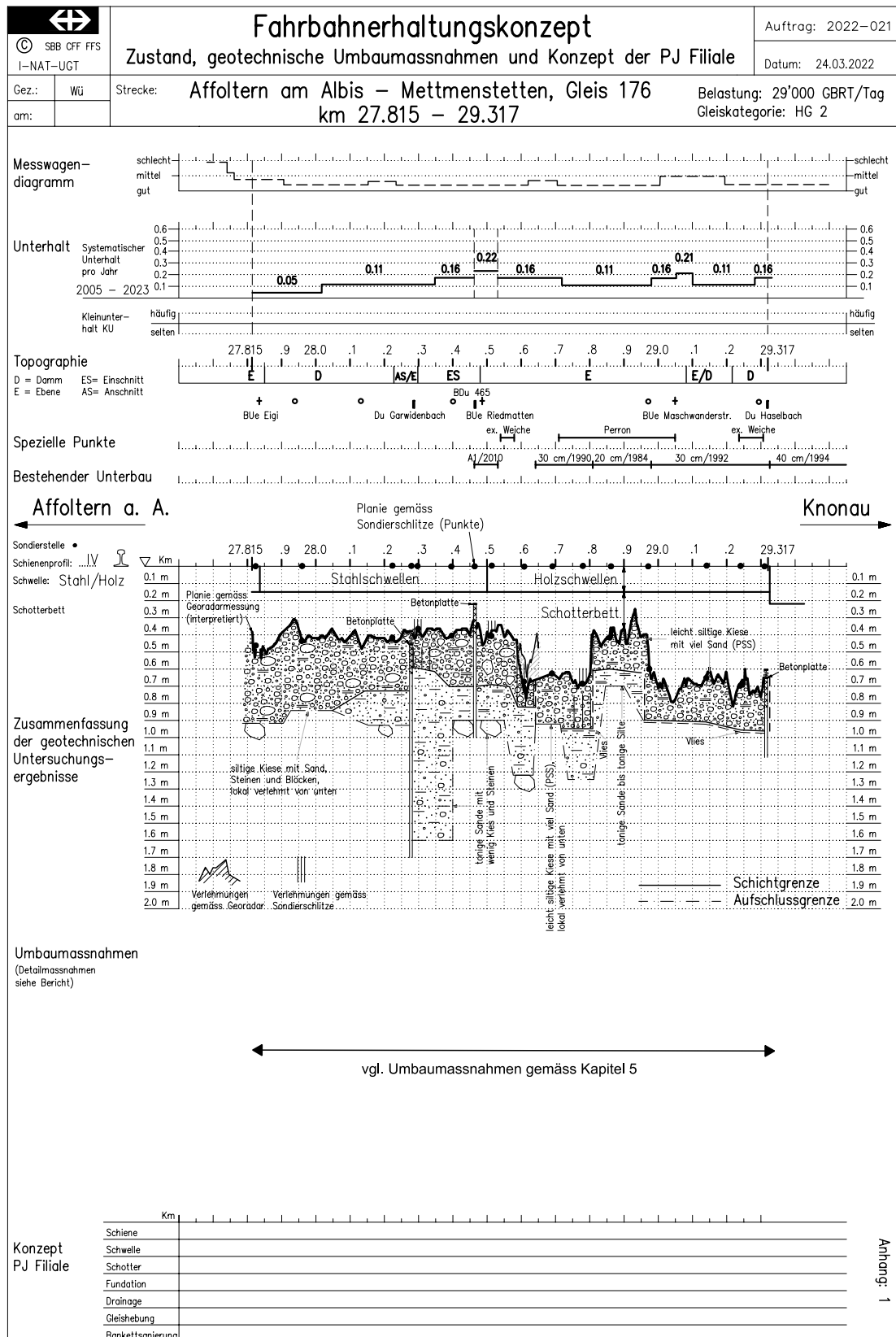


Abbildung A1-1: Beispiel für ein Erhaltungskonzept der Fahrbahn

A2 Technische Spezifikation von ungebundenen Gemischen und Kiessand PSS für Fundations-schichten

A2.1 Gegenstand

Diese Spezifikationen definieren die Qualitätsanforderungen von Gesteinsmaterialien für Fundationsschichten.

Es wird zwischen folgenden Materialien unterschieden: ungebundenes Gemisch und Kiessand PSS.

A2.2 Eignungsprüfung

Die Anforderungen an das Material und an die Qualitätssicherung sind für ungebundene Gemische und grösstenteils auch für Kiessand PSS in der VSS 70119 aufgeführt.

Mit der Eignungsprüfung wird der Nachweis erbracht, dass die Materialkennwerte die Qualitätsanforderungen erfüllen. Für die Eignungsprüfung entnimmt das Prüflabor, das durch den Unternehmer oder den Kiessandlieferanten im Einvernehmen mit dem Bahnunternehmen bestimmt wird, am Aufbereitungs- oder Lagerort die notwendigen Proben. Die Probenahme erfolgt gemäss SN EN 932-1 und ist in Gegenwart der Parteien zu protokollieren.

Die Eignungsprüfung ist bei Änderung der Eigenschaften, des Vorkommens oder der Produktionsmethode, jedoch mindestens alle 5 Jahre durchzuführen bzw. zu wiederholen. Die Kosten der Eignungsprüfung gehen vollständig zu Lasten des Unternehmers bzw. des Kieslieferanten.

A2.3 Ungebundene Gemische

Ungebundene Gemische müssen wasserdurchlässig und frostsicher sein (GW oder GP gemäss SN EN ISO 14688-2). Die Anforderungen richten sich nach VSS 70119. Fehlen die Nachweise oder sind die Anforderungen nicht erfüllt (siehe Abschnitt 8.3.1) darf das Material nicht verwendet werden, da eine verminderte Nutzungsdauer des Unterbaus zu erwarten ist.

Insbesondere zugelassen sind ungebundene Gemische (aus natürlichen Gesteinskörnungen) oder RC-Kiesgemisch P, RC-Kiesgemisch B sowie (eingeschränkt) RC-Kiesgemisch A (aus rezyklierten Gesteinskörnungen), jeweils mit der Kornverteilung 0/16, 0/22 oder 0/45.

A2.4 Kiessand PSS

Kiessand PSS ist ein frostsicheres, relativ wasserundurchlässiges, ungebundenes Gemisch aus beständigen, festen Gesteinskörnern und mit stetig verlaufender Korngrössenverteilung.

Kiessand PSS ist ein natürliches Material, welches aufbereitet und dosiert wird. Es wird verwendet, wenn in bestehenden Gleisanlagen aus betrieblichen Gründen nur einschichtig eingebaut werden kann.

Die Anforderungen richten sich nach SN EN 13242 und SN EN 13285. Zu berücksichtigen sind ferner SN EN 932-1, SN EN 933-1, SN EN 933-2, SN EN 933-3, SN EN 933-5, SN EN 1097-2, SN EN 1097-5, SN EN 13286-1, SN EN 13286-2, SN EN 13286-47, VSS 70321 und SN EN ISO 17892-11. Fehlen die Nachweise oder sind die Anforderungen nicht erfüllt (siehe Abschnitt 8.2.4.1) darf das Material nicht verwendet werden, da eine verminderte Nutzungsdauer des Unterbaus und des Schotters zu erwarten ist.

Aufgrund des speziellen Korngrössenverteilungsbandes (siehe Abschnitt A2.11) wird auf eine Normierung gemäss VSS 70119 verzichtet.

Die geometrischen, physikalischen und chemischen Anforderungen an Gesteinskörnungen für Kiessand PSS sind aus der Tabelle A2-1 ersichtlich (in Anlehnung an VSS 70119).

Eigenschaft	Anforderungen an Gesteinskörnungen für Kiessand PSS
Plattigkeitskennzahl	Fl ₃₅ (Korngruppen 8/16, 16/31,5)
gebrochene Körner	ist anzugeben (Korngruppen 4/8, 8/16, 16/31.5, 31.5/63)
Qualität der Feinanteile	gemäss d und Anmerkung 1 (SN EN 13242, Anhang A)
Widerstand gegen Zertrümmerung	LA ₄₀ (Korngruppen 4/8 und 11/16)
Wasserlösliche Sulfate	bei Verdacht abzuklären

Tabelle A2-1: Anforderungen an Gesteinskörnungen an Kiessand PSS

Eine Zusammenstellung der Eigenschaften und Anforderungen für die Basisproduktion von Kiessand PSS gibt die Tabelle A2-2.

Eigenschaft		Referenz	Anforderungen an Kiessand PSS
Bezeichnung des Gemischs		–	Kiessand PSS
oberer Grenzwert für den Feinanteil		SN EN 13285, Tab. 2	UF ₁₂
unterer Grenzwert für den Feinanteil		SN EN 13285, Tab. 3	LF _N
Analysesiebe		SN EN 13285, Tab. 4 und 5	0/63; zusätzlich 22.4 mm, 0.5 mm, 0.125 mm und 0.063 mm ^{a)}
Korngrößenverteilungsbereich		–	Korngrößenverteilung muss innerhalb der Grenzen von Abbildung A2-12 liegen.
Korngrößenverteilung der einzelnen Lose	Vergleich mit dem vom Lieferanten angegebenen Wert	–	Korngrößenverteilung muss innerhalb der Grenzen von Abbildung A2-12 liegen.
	Differenzen der Durchgänge für jedes Sieb	in Anlehnung an SN EN 13285, Tab. 8	Siebdurchgänge in Massenanteilen: zwischen A (16 mm) und B (8 mm): max: 22 %, min: 8 % zwischen B (8 mm) und C (4 mm): max: 19 %; min: 7 % zwischen C (4 mm) und E (2 mm): max: 16 %, min: 4 % zwischen E (2 mm) und F (1 mm): max: 14 %, min: 4 %
Frostbeständigkeit		VSS 70321 SN EN 13286-47	CBR ₂ /CBR ≥ 0.5 und CBR _F /CBR ≥ 0.5
Trockendichte und optimaler Wassergehalt		SN EN 13285, Abschnitt 5.3	sind anzugeben
Tragfähigkeit		SN EN 13286-47	CBR ₂ -Wert: ≥ 40 % bzw. ≥ 80 % für gebrochenes Material; gebrochenes Material ab einem Anteil von ≥ 50% an gebrochenen Körnern
Verdichtbarkeit		siehe Abschnitt A2.9	im Versuchsfeld nachzuweisen
Wasserdurchlässigkeit		siehe Abschnitt 6.4.3.1	k-Wert ≤ 1 · 10 ⁻⁶ m/s ^{b)} (k-Wert nach Darcy)
Klassifizierung der Bestandteile		–	PSS besteht aus natürlichen Gesteinskörnungen; keine sichtbaren Verunreinigungen

a) Alternativ kann der untere Korngrößenbereich (< 0.25 mm) auch mittels Schlämmanalyse bestimmt werden.

b) Laborversuch an 0/16 mm-Fraktion; aufgrund der stetigen Korngrößenverteilung wird angenommen, dass auch die Gesamtfraktion die Anforderung erfüllt.

Tabelle A2-2: Zusammenstellung der Eigenschaften und Anforderungen an Kiessand PSS (Basisproduktion)

Nach erfolgreicher Basisproduktion gelten zusätzlich zu den Anforderungen aus Tabelle A2-2 folgende, strengere Anforderungen an die Korngrößenverteilung (Produktion im Vergleich zur erfolgreichen Basisproduktion):

Eigenschaft		Referenz	Anforderungen an Kiessand PSS
Korngrößenverteilung der einzelnen Lose	Vergleich mit dem vom Lieferanten angegebenen Wert	-	Korngrößenverteilung muss innerhalb der Grenzen von Abbildung A2-12 liegen.
	Differenzen der Durchgänge für jedes Sieb	In Anlehnung an Tab. 8 der SN EN 13285	<p>Siebdurchgänge in Massenanteilen in Prozent zum jeweiligen Siebdurchgang der Basisproduktion:</p> <p>bei Sieb A (16 mm): $\pm 8 \%$ bei Sieb B (8 mm): $\pm 8 \%$ bei Sieb C (4 mm): $\pm 8 \%$ bei Sieb E (2 mm): $\pm 7 \%$ bei Sieb F (1 mm): $\pm 5 \%$ bei Sieb G (0.5 mm): $\pm 5 \%$</p> <p>Zusätzlich gilt für die ermittelte Kornverteilungskurve:</p> <p>bei 0.25 mm: $\pm 3 \%$ bei 0.125 mm: $\pm 3 \%$ bei 0.063 mm: $\pm 2 \%$</p> <p>wobei das Vorzeichen der Abweichung (Siebe bis 0.5 mm bzw. ermittelte Massendurchgänge < 0.5 mm) immer gleich sein muss, damit die Sperrfunktion gewährleistet bleibt.</p>

Tabelle A2-3: Zusammenstellung der Anforderungen an Kiessand PSS
(Produktion im Vergleich zur erfolgreichen Basisproduktion)

Zur Verwendung von anderen Gesteinskörnungen:

Es dürfen keine rezyklierten oder industriell hergestellten Gesteinskörnungen verwendet werden⁸.

⁸ Bei rezyklierten Gesteinskörnungen ist die Homogenität der Gesteinskörnungen nicht oder nur bedingt vorhanden. Dies hätte eine intensivere Qualitätsüberwachung, variierende Einbauparameter (optimaler Wassergehalt, Trockendichte) sowie stark variierendes Verhalten bezüglich Wassergehaltsänderungen zur Folge.

A2.5 Ergänzende Anforderungen an Laborversuche

Nachfolgende Spezifikationen gelten für die Bestimmung von CBR-Werten, Trockendichten und Durchlässigkeitswerten nach Darcy gemäss folgenden Abschnitten A2.6 bis A2.8 dieses Anhangs.

Laborversuch	Werte	Abschnitt	Einbau-Wassergehalt	Energie [MJ/m ³]	Topf
Tragfähigkeit/Frost	CBR, CBR ₂ und CBR _F	A2.6	w _{opt}	1.2	B
Trockendichte (Proctor)	ρ _{d max} und w _{opt}	A2.7	verschiedene	0.6	A oder B
Durchlässigkeit nach Darcy	k	A2.8	w _{opt}	0.6	B

Tabelle A2-4: Übersicht über die zu verwendenden Energien und Proctortöpfe bei den verschiedenen Laborversuchen aus den Abschnitten A2.6 bis A2.8

Proctortöpfe

Es sind Normgeräte gemäss SN EN 13286-2 zu verwenden. Alternative Topf-Abmessungen sind zugelassen, sofern das Labor nachweisen kann, dass eine ausreichende Übereinstimmung zu den Versuchsergebnissen mit Normgeräten besteht (Validierung inkl. Vergleichsversuche oder Ringversuche).

Proctortopf A – folgende Ausmasse sind zugelassen:

Durchmesser [mm]	Höhe [mm]
100 ±1	120 ±1

Tabelle A2-5: Proctortopf A: Normierte Ausmasse

Proctortopf B – folgende Ausmasse sind zugelassen:

Durchmesser [mm]	Höhe [mm]
150 ±1	120 ±1

Tabelle A2-6: Proctortopf B: Normierte Ausmasse

Verteilung der Schläge bei der Verdichtung

Die Verteilung der Schläge soll gemäss SN EN 13286-2 mit jeweiligen Mittenschlägen mittels Automat oder von Hand erfolgen.

Korngruppe

Die Bestimmung von CBR-Werten, Trockendichten und Durchlässigkeitswerten nach Darcy erfolgt an der Korngruppe 0/16.

A2.6 Bestimmung der Werte CBR, CBR₂ und CBR_F

Laut SN EN 13286-47 muss der Proctortopf B gemäss SN EN 13286-2 verwendet werden.

Gewicht Fallhammer [kg]	Durchmesser der Grundfläche [mm]	Fallhöhe [mm]	Anzahl der Schichten	Anzahl Schläge je Schicht	Energie [MJ/m ³]
4.50 ±0.04	50.0 ±0.5	457 ±3	5	28	1.2

Tabelle A2-7: Angaben für die Verdichtung bei CBR-Versuchen

Damit CBR-Prüfergebnisse vergleichbar sind, werden die Probekörper bei optimalem Wassergehalt w_{opt} mit einer Verdichtungsenergie von 1.2 MJ/m³ hergestellt (5 Schichten mit je 28 Schlägen bei Normgeräten). Der Stempeleindringversuch erfolgt immer mit einer Auflast gemäss VSS 70321.

A2.7 Bestimmung der Trockendichte $\rho_{d \max}$ und des optimalen Wassergehalts w_{opt}

Damit Proctor-Prüfergebnisse vergleichbar sind, werden die Probekörper mit einer Verdichtungsenergie von 0.6 MJ/m³ hergestellt. Es gibt vorerst folgende Möglichkeiten:

Proctortopf A

Gewicht Fallhammer [kg]	Durchmesser der Grundfläche [mm]	Fallhöhe [mm]	Anzahl der Schichten	Anzahl Schläge je Schicht	Energie [MJ/m ³]
2.50 ±0.02	50.0 ±0.5	305 ±3	3	25	0.6

Tabelle A2-8: Angaben für die Verdichtung bei der Bestimmung der Trockendichte im Proctortopf A

Proctortopf B

Gewicht Fallhammer [kg]	Durchmesser der Grundfläche [mm]	Fallhöhe [mm]	Anzahl der Schichten	Anzahl Schläge je Schicht	Energie [MJ/m ³]
2.50 ±0.02	50.0 ±0.5	305 ±3	3	56	0.6
4.50 ±0.04	50.0 ±0.5	457 ±3	5	13	0.6

Tabelle A2-9: Angaben für die Verdichtung bei der Bestimmung der Trockendichte im Proctortopf B

Die SN EN 13286--2 gibt das Vorgehen vor.

A2.8 Bestimmung der Durchlässigkeit nach Darcy (k-Wert)

Die Wasserdurchlässigkeit ist im Proctortopf B bei konstanter Druckhöhe in einer Versuchseinrichtung in Anlehnung an SN EN ISO 17892-11 durchzuführen.

Damit die Durchlässigkeitswerte vergleichbar sind, müssen die in Tabelle A2-10 dargestellten Vorgaben eingehalten werden. Einzelne Spezifikationen:

Prüfeinrichtung

Der Proctortopf B muss eine Filterplatte aus einem Drahtgewirk oder einer gelochten Messingplatte aufweisen. Zusätzlich ist auf die Filterplatte gegen das einzubauende Kiessand PSS Material ein grobes Filterpapier, Vlies o.ä. einzubauen. Die charakteristische Öffnungsweite beträgt üblicherweise 0.05 mm – 0.07 mm.

Probenvorbereitung

Der Versuch muss bei optimalem Wassergehalt w_{opt} durchgeführt werden. Das Prüfmaterial muss 12 Stunden vor Versuchsbeginn mit der entsprechenden Wassermenge angerührt und danach bei Raumtemperatur in geeigneten, luftdichten Behältern gelagert werden, welche eine Änderung des Wassergehalts verhindern. Dadurch wird die homogene Wasseraufnahme garantiert. Erst dann wird das Material schichtweise in den Proctortopf B eingebaut.

Herstellung des Prüfkörpers

Die Prüfkörper werden im Proctortopf B mit einer Verdichtungsenergie von 0.6 MJ/m^3 bei optimalem Wassergehalt w_{opt} hergestellt. Vorerst sollen die Versuchsarten mit beiden Fallhämmern gemäss der Bestimmung der Proctordichte (siehe Tabelle A2-8) zugelassen sein. In der Tabelle A2-9 ist das Standardbeispiel mit dem 2.5 kg-Fallhammer und entsprechendem Proctortopf dargestellt.

Die Feuchtdichte des Prüfkörpers ist zu bestimmen. Daraus wird mit dem Wassergehalt der Parallelprobe die Trockendichte berechnet. Diese sollte eine Abweichung von nicht mehr als $10 \text{ kg/m}^3 - 20 \text{ kg/m}^3$ im Vergleich zur maximalen Trockendichte aus dem Proctor-versuch aufweisen.

Versuchsdurchführung

Für die Durchführung des Versuchs darf Leitungswasser verwendet werden. Die Sättigungsdauer erfolgt bis zum ersten Ausfliessen von Wasser. Dann wird das Auslassventil nochmals für 15 Minuten geschlossen, dann beginnt der Versuch. Die Messdauer beträgt je nach ausfliessender Wassermenge 5 oder 10 Minuten. Die minimale Gesamtversuchsdauer beträgt 8 Stunden. Nach einer allfälligen, anfänglichen Zunahme der Durchlässigkeit darf die maximale Zunahme der Durchlässigkeit in der Folge nicht mehr als $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ betragen. Während der ganzen Versuchsdauer muss ein linearer Strömungsbereich vorhanden sein. Als Ergebnis des Versuchs wird der Mittelwert aus den 3 Messungen nach 4, 6 und 8 Stunden ermittelt.

Eigenschaft	Einheit	Anforderung
Prüfeinrichtung		
Verhältnis Grösstkorn/Topf min	[-]	-
Art des Topfs	[-]	Proctortopf B
Topf Durchmesser	[mm]	150.0
Topf Innenhöhe	[mm]	120.0
Fallhammer Gewicht	[g]	2500
Fallhammer Fallhöhe	[mm]	305
Fallhammer Durchmesser	[mm]	50 ±1
Filterplatte	[-]	Drahtgewirk oder Messingplatte; zusätzlich grobes Filterpapier, Vlies o.ä. (charakt. Öffnungsweite 0.05 – 0.07 mm)
Probenvorbereitung		
Korngruppe	[mm]	0/16
Optimaler Wassergehalt / w_{opt}	[-]	ja
Bestimmung des effektiven Wassergehalts	[-]	ja
Ruhezeit nach Wasserzugabe (w_{opt})	[h]	mind. 12
Herstellung des Prüfkörpers		
Anzahl Schichten	[-]	3
Anzahl Schläge pro Schicht	[-]	56
Verdichtungsenergie	MJ/m ³	0.6
Verteilung der Schläge	[-]	gemäss EN (Mittenstellung)
Lagerungsdichte	[-]	-
Bestimmung Feuchtdichte und Berechnung Trockendichte	[-]	ja
Versuchsdurchführung		
Versuchseinrichtung	[-]	-
Temperatur Umgebung	[-]	-
Konstante Druckhöhe	[-]	ja
Art des Wassers	[-]	Leitungswasser
Sättigung Art	[-]	-
Sättigung Dauer	[min]	«vorsichtig und langsam» Ventil öffnen bis erstes Wasser fliesst; Ventil schliessen; 15 Minuten warten; dann Start
Messdauer	[min]	5 – 10 (je nach Wassermenge)
Messhäufigkeit	[-]	Erste Messung nach 5 – 10 Minuten, danach nach ca. 1, 2, 4, 6 und 8 Stunden
Gesamtversuchsdauer minimal	[h]	8
Hydraulischer Gradient i	[-]	< 5 laminarer Strömungsbereich
Verhältnis Aus-/Einfluss	[-]	konstant
Variation k-Wert bei 4 Messungen	[%]	Nach anfänglicher Zunahme der Durchlässigkeit darf die maximale Zunahme in der Folge noch $5 \cdot 10^{-6}$ m/s betragen.
Stationäre Strömung gefordert	[-]	ja
Periodisches Entlüften	[-]	ja
Wassertemperatur während des Versuchs	[°C]	±2

Tabelle A2-10: Anforderungen an die Versuchsdurchführung zur Bestimmung der Durchlässigkeit eines Kiessandes PSS

Nachprüfung

Die Feuchtdichte und der Wassergehalt des Prüfkörpers sind zu bestimmen. Daraus wird die End-Trockendichte berechnet.

Beim Ausbau der Probe muss insbesondere darauf geachtet werden, ob die Befeuchtung im ganzen Querschnitt stattgefunden hat und ob das Vlies nicht kolmatiert ist. Ein kolmatiertes Vlies würde den k-Wert entsprechend senken. In einem solchen Fall muss der Versuch mit einem kleineren, hydraulischen Gradienten wiederholt werden, sodass ein linearer Strömungsbereich vorliegt.

A2.9 Prüfung der Verdichtbarkeit im Versuchsfeld

Der Nachweis der Verdichtbarkeit ist durch den Unternehmer bzw. den Kieslieferanten im Versuchsfeld zu erbringen, wobei mit den beim Einbau vorgesehenen Geräten bzw. der gleichen Verdichtungsenergie zu verdichten ist (z.B. Mehrplattenvibrator der Gleisbaumaschine Puscal).

Grundsätzlich ist bei allen Sorten, ausser bei frostsicheren, wasserdurchlässigen Kiesgemischen, die Verdichtbarkeit in einem Versuchsfeld nachzuweisen. Bei kleineren Baustellen, bei denen die Materialmenge etwa 5'000 m³ nicht übersteigt, kann auf das Versuchsfeld verzichtet werden. Die Überprüfung der Verdichtbarkeit erfolgt in diesen Fällen auf Risiko des Unternehmers mit der Qualitätskontrolle der eingebauten Schicht.

Im Versuchsfeld, in dem die Wirkung der vorgesehenen Verdichtungsgeräte zu prüfen ist, sind mindestens folgende Kennwerte nachzuweisen (Beispiel Kiessand PSS mit maximaler Verformbarkeit von 15 MN/m² auf dem Planum, Erhaltungsfall):

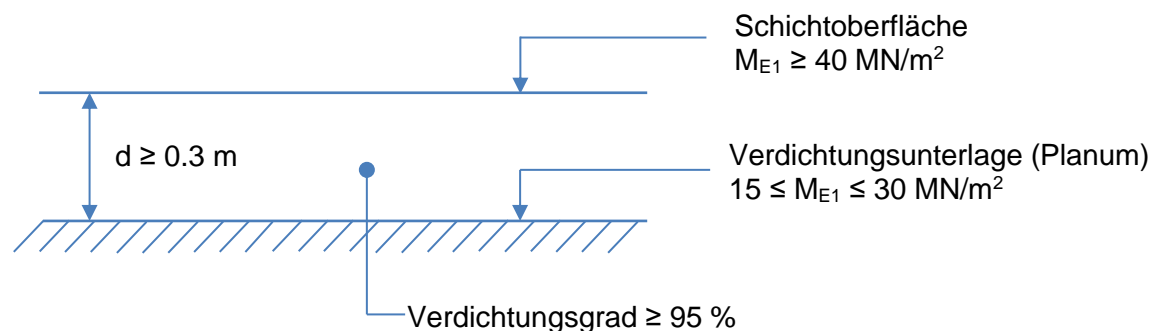


Abbildung A2-11: Prüfung der Verdichtbarkeit im Versuchsfeld

A2.10 Qualitätssicherung

Der Kieslieferant bzw. der Unternehmer sorgt dafür, dass die vereinbarten Mindestqualitätswerte bei jeder Lieferung erreicht werden. Er ist daher für die Qualitätssicherung seiner Ware allein verantwortlich.

Auf der Baustelle erfolgen Stichprobenkontrollen durch den Bauherrn bzw. die Bauleitung.

A2.11 Kontrolle von Kiessand PSS, Beispiel SBB

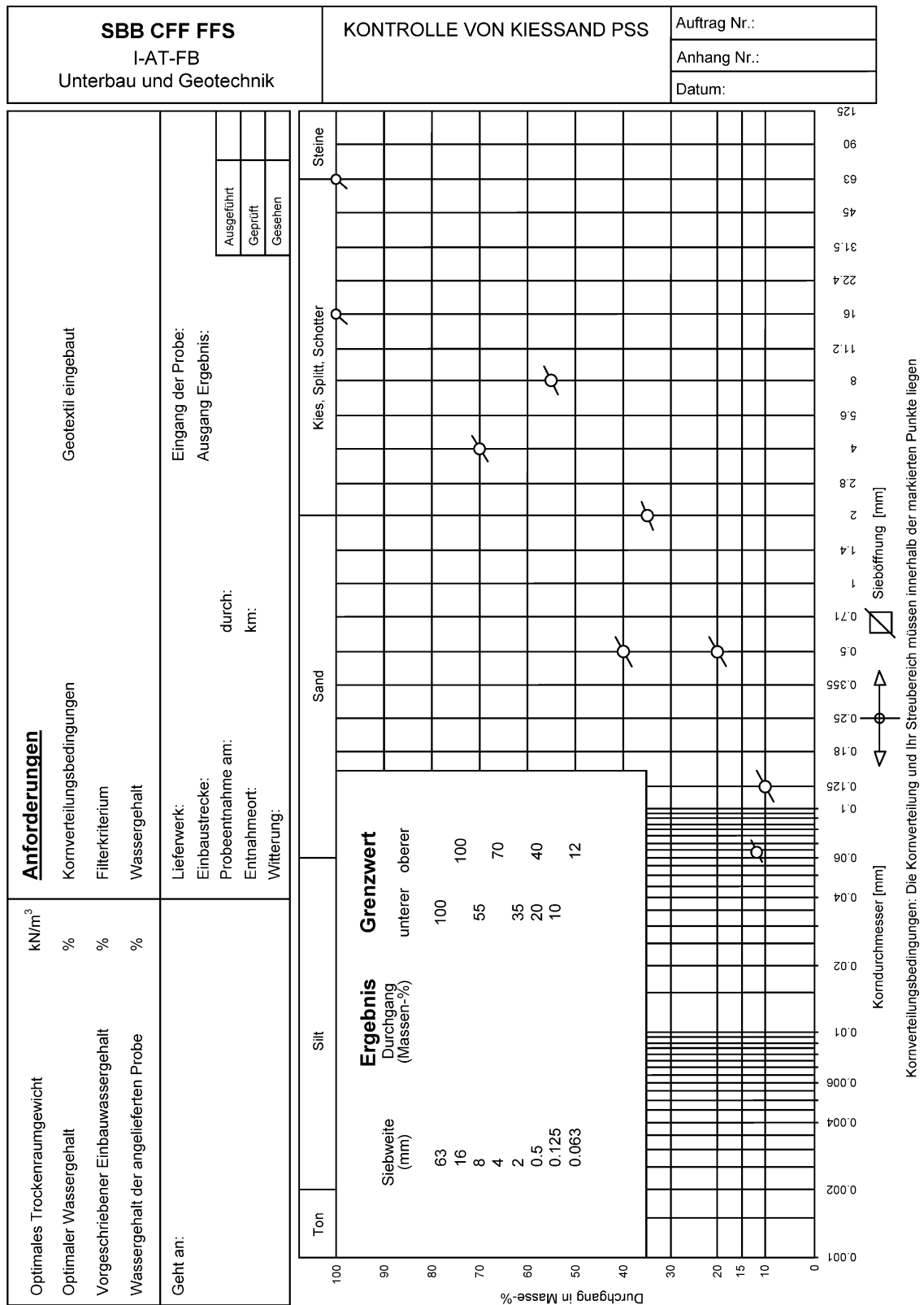


Abbildung A2-12: Kornverteilungskurve Kiessand PSS.

A3 Unterbauabnahme nach Einbau von Kiessand PSS Prüfprotokoll, Beispiel SBB


 SBB CFF FFS	I-NAT-FB-Unterbau und Geotechnik	Auftrag Nr:							
	Abnahme des Unterbaus Prüfprotokoll für Kiessand PSS	Datum der Abnahme:							
Strecke:.....	Gleis/Weiche:.....	km von bis							
Hersteller Kiessand PSS: % M _{opt} = % DD _{opt} = kg/m ³ (Eignungsprüfung Kiessand PSS erfolgt am:) Unternehmung: Witterung: Kontrolle ausgeführt durch: Wagen zugedeckt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein									
Verdichtung - Gerätetyp: <input type="checkbox"/> Erneuerung im Schichtintervall - Betriebsgewicht: t <input type="checkbox"/> Gleis dauernd ausser Betrieb - Anzahl Arbeitsgänge: statisch:..... vibrierend:.....									
Geokunststoff auf Planum verlegt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Typ:.....									
① Messung des Verdichtungsgrades: DD = Trockendichte % PR = Verdichtungsgrad									
10 Messungen bei km: Messtiefe: cm o= mit Dorn gemessen									
Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR	Versuch Nr.	WD	DD	% M	% PR
1 <input type="checkbox"/>					6 <input type="checkbox"/>				
2 <input type="checkbox"/>					7 <input type="checkbox"/>				
3 <input type="checkbox"/>					8 <input type="checkbox"/>				
4 <input type="checkbox"/>					9 <input type="checkbox"/>				
5 <input type="checkbox"/>					10 <input type="checkbox"/>				
					Mittel				
WD = Feuchtraumgewicht			% M = Wassergehalt						
Anforderungen an Mittel:			% PR ≥ 95 % (Erneuerung im Schichtintervall oder mit Gleisbaumaschinen);						
			% PR ≥ 97 % (Gleis dauernd ausser Betr. und Erneuerung. strassenbmssg)						
② Messung der Schichtgeometrie:									
1. Schichtdicke [cm]			2. Schichtbreite [cm]			3. Quergefälle [%]			
A	B	C	A	B	C	A	B	C	
4. Höhentoleranz: max. Mulden unter 3-m-Latte: 3 cm (in Falllinie gemessen)									
Mulde 1: cm			Mulde 2: cm			Mulde 3: cm			
Wasserabfluss auf Planie gewährleistet? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein									
③ Beurteilung: Anforderungen an PSS erfüllt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein									
Durchgeführte Massnahmen, falls nicht erfüllt (R RTE 21110, Ziffer 9.3.3.7):									
Anschluss Entwässerung gewährleistet? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> nicht einsehbar									
Verteiler: - Projektierung - Ausführung - Überwachung - Lieferant - Einkauf/Logistik					Ort/Datum:..... Unterschrift:.....				

Abbildung A3-1: Unterbauabnahme nach Einbau von Kiessand PSS Prüfprotokoll, Beispiel SBB

A4 Technische Spezifikation von Gleisschotter

(Ergänzung zu Abschnitt 8.1.1)

A4.1 Gleisschotter

Die VSS 70110 sowie die SN EN 13450 sind die massgebenden Grundlagen dieser technischen Spezifikationen.

Die technischen Spezifikationen gelten für die Lieferung von Gleisschotter zur Verwendung beim Neubau und der Instandhaltung von Gleisanlagen.

A4.2 Prüfnormen und technische Anforderungen

A4.2.1 Prüfverfahren

Die Vorgaben und die anzuwendenden Prüfverfahren sind in den folgenden Normen angegeben:

- VSS 70110
- SN EN 13450
- VSS 70115
- SN EN 932-3
- VSS 70830a

A4.2.2 Technische Anforderungen für den Gleisschotter

	Anforderungen an die Schotterklassen 1, 2, 3 und RC I und RC-II					
Eigenschaften	Wert					Messgrösse
	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	RC I	RC II	
Korngrössen- verteilung	80 mm:100			100		Massen-% Siebdurch- gang
	63 mm:97 bis 99			Mind. 60 % zwischen 31.5 und 63 mm		
	50 mm:65 bis 99					
	40 mm:30 bis 65					
	31.5 mm:1 bis 25					
	22.4 mm:0 bis 3			0 bis 3		
Feinkorn	≤ 0.6 Massen-%					Siebdurchgang (< 0.5 mm)
Feinstkorn	≤ 0.5 Massen-%					Siebdurchgang (< 0.063 mm)
Kornform	SI20 ≤ 20 Massen-%					Kornformkennzahl (SI)
Kornlänge	≤ 4 Massen-%			Keine Anforderung		Kornlänge > 100 mm
Widerstand gegen Zertrümmerung	L _{ARB} 16 ≤ 16	L _{ARB} 22 ≤ 22	L _{ARB} 28 ≤ 28	L _{ARB} 16 ≤ 16	L _{ARB} 28 ≤ 28	Los Angeles-Koeffi- zient (LA)
Zertrümmerungs- prüfung	Z-Wert ≤ 40	Z-Wert ≤ 48	Z-Wert ≤ 56	Z-Wert ≤ 40	keine An- forderung	Zertrümmerungs-grad (Z-Wert)
Dauerhaftigkeit	MS ≤ 3 Massen-%			keine Anforderung		Magnesiumsulfat-Wert (MS)
	≤ 5 Mas- sen-%	≤ 6 Mas- sen-%	≤ 7 Mas- sen-%	keine Anforderung		Petrographie gemäss SN 70 115
geeignete Altschotterkörner				> 90 Massen-%		Geeignete Komponen- ten
Fremdstoffe	keine			Gemäss VVEA		
Kanten	Vollständig gebrochen, scharfkantig			Teilweise Kantenrundungen erlaubt		Visuelle Prüfung

Tabelle A4-1: Technische Anforderungen für den Gleisschotter

Anforderungen an gereinigten Schotter

Die Anforderungen an einen auf der Baustelle verwendeten Schotter sind minimal und beschränken sich auf die Begrenzung des Siebdurchgangs auf 5% bei 22.4 mm (vgl. auch A5).

Gereinigter Schotter, der nicht auf der ursprünglichen Baustelle eingesetzt wird, muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Korngrössenverteilung gemäss RC-Schotter (Tab.)
- LA-Wert ≤ 22 ,
ungeeignete Körner gemäss RC-Schotter (Tab.)
- Kanten gemäss RC-Schotter (Tab.), k
eine organoleptisch feststellbare Verschmutzung (z.B. Fett, Öl, Schlacke...)

A4.3 Qualifizierung und Qualitätsmanagement

Das Qualitätssicherungssystem für Gleisschotter ist mehrstufig aufgebaut und besteht aus den folgenden Elementen:

	Qualifizierung	örtliche Zuordnung	Nachweisdokument
3.1	Eignung des Gesteinsvorkommens	Gebirge, Fels	Gutachten Geologie
3.2	Eignung des Schotters (Produkt)	Schotter	Gutachten Petrographie: Resultate Prüfverfahren - Gutachten Drittlabor
3.3	Eignung des Werkes	Steinbruch, Aufbereitung, Logistik, QS-System	Gutachten Drittlabor; Prüfung SBB-Geotechnik; Prüfung SBB-Logistik; Referenzprobe
	Produktion, Lieferung, Einbau		
3.4	Qualitätssicherung Lieferant nach SN EN 13450	Werk, Lieferant	Protokolle, Bericht
3.5	Abnahmekontrolle auf Einbaustelle	Baustelle	Werk, Lieferant Einbauprotokoll

Tabelle A4-1: Qualitätssicherungssystem für Gleisschotter.

Die Qualifizierung ist im Rahmen der Submission durch die Bahn zu definieren und durch den Offerenten darzulegen.

Technische Voraussetzungen für die Lieferung von Gleisschotter sind folgende:

- Eignung des Gesteinsvorkommens: Die geologisch-petrologische Untersuchung hat die Eignung des Gesteinsvorkommens für die Aufbereitung von Schotter einer spezifischen Schotterklasse nachgewiesen.
- Eignung des Schotters: Die Eignungsprüfung des Schotters hat die Konformität des Schotters der spezifischen Schotterklasse nachgewiesen.
- Eignung des Werkes: Die Beurteilung des Steinbruchs und der Logistik durch das Bahnunternehmen entspricht den Anforderungen. Die Qualifizierung als Schotterlieferant ist erteilt.

A4.3.1 Eignung des Gesteinsvorkommens

Die Gesteine müssen nach den Normen SN EN 932-3 und VSS 70115 bezeichnet werden. Die Gesteinsarten, die zur Aufbereitung von Gleisschotter verwendet werden, müssen aus frisch abgebautem, unverwittertem Gestein bestehen. Ungeeignet sind z.B. Gesteine, die hydrothermal umgewandelt, verwittert oder tektonisch stark zerrüttet sind. Das Gestein darf nicht spreng- oder bruchempfindlich sein und muss witterungsbeständig sein.

Die Gesteinshärte ist in der VSS 70115 definiert:

- Nur Hartgesteinsvorkommen eignen sich für die Aufbereitung von Schotter der Klasse 1.
- Mittelharte Gesteinsvorkommen eignen sich für die Aufbereitung von Schotter der Klasse 2.
- Unter bestimmten Bedingungen können Vorkommen bestimmter Weichgesteinsarten für die Aufbereitung von Schotter der Klasse 3 verwendet werden.

Sehr weiche Gesteinsvorkommen sind für die Aufbereitung zu Gleisschotter ungeeignet. Die Eignungsuntersuchung besteht aus einem Gutachten eines Sachverständigen, der im Einvernehmen mit dem Auftraggeber durch das Bahnunternehmen bezeichnet und durch den Schotterhersteller beauftragt wird. Der Sachverständige führt alle aus fachlicher Sicht nötigen Untersuchungen und Prüfungen durch.

Das Erst- oder Basisgutachten enthält folgende Elemente:

- Geologische, stratigraphische und tektonische Beschreibung des Gebietes.
- Geologische Beschreibung der für Gleisschotter geeigneten und ungeeigneten Gesteinsschichten (Struktur, Textur, technische und petrologische Eigenschaften, insbesondere Witterungsbeständigkeit, Gesteinhärte und die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung, usw.)
- Bewertung der Homogenität, respektive der Variabilität der Lagerstätte, der lateralen und vertikalen Faziesänderungen. Abgrenzung der für die Schotterproduktion geeigneten und ungeeigneten Bereiche, der Zonen mit hartem, mittelhartem und weichem Gestein, der verwitterten oder hydrothermal umgewandelten Partien sowie der Verwerfungen, die die Qualität des Rohstoffs negativ beeinflussen, usw.
- Schätzung der Menge an geeignetem und ungeeignetem Material im konzessionierten Abbaugelände und allenfalls in jenen Erweiterungsbereichen, in denen unter Umständen Bewilligungen denkbar sind.
- Beurteilung des Gesteinsvorkommens bezüglich Qualitätsfähigkeit für die Schotterproduktion und Schätzung der Schotterklassen, die aufbereitet werden können.
- Massnahmen, die bei der Gewinnung und Aufbereitung zu treffen sind, um die Konformität des Gleisschotters zu gewährleisten
- Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Systems der werkseigenen Produktionskontrolle gemäss den Grundlagen in SN EN 13450, Anhang I (werkseigene Produktionskontrolle).

A4.3.2 Eignung des Schotters

Gleisschotter wird aus unverwittertem und wenig zerklüftetem bzw. brüchig tektonisiertem Felsgestein hergestellt. Nach dem Sprengen und Brechen wird das Gestein gesiebt und gewaschen oder entstaubt.

Die Eignungsprüfung des Schotters kann durchgeführt werden, wenn das Gutachten die Eignung des Gesteinsvorkommens für eine spezifische Schotterklasse nachgewiesen hat. Das Bahnunternehmen entnimmt anschliessend die notwendigen Proben im Einvernehmen mit dem Schotterhersteller. Die Probenahmen finden am Aufbereitungs- und Lagerort und/oder bei der Verladung statt. Die Proben werden in Gegenwart der Parteien entnommen und ein Protokoll ist zu erstellen. Für eine vollständige Eignungsprüfung wird eine repräsentative Probe von mindestens 300 kg benötigt. Ein Referenzmuster der Probe für die Eignungsprüfung dient als Beleg und zum Vergleich und wird vom Bahnunternehmen bis zur nächsten Eignungsprüfung aufbewahrt.

Die Durchführung dieser Prüfung erfolgt durch eine vom Bahnunternehmen im Einvernehmen mit dem Schotterhersteller zu bezeichnende Stelle (Drittlabor). Die Eignungsprüfung von Schotter umfasst folgende Prüfmerkmale:

- Petrographische Beschaffenheit der Gesteine und mineralogische Zusammensetzung, Gehalt an harten, mittelharten, weichen und ungeeigneten Komponenten im Schotter (sehr weiche, brüchige, poröse, verwitterte, witterungsempfindliche Körner, sehr stumpfe Kanten, abgerundete Körner usw.)
- Widerstand gegen Zertrümmerung (Los-Angeles-Versuch)
- Korngrössenverteilung
- Kornform
- Kornlänge
- Gehalt an Feinstkorn
- Gehalt an Feinkorn
- Verwitterungsbeständigkeit und Dauerhaftigkeit (Frost-, Temperaturwechsel, Hitze, Salze, Wasser, usw.)
- Widerstand gegen Stopfung, ermittelt durch eine Zertrümmerungsprüfung gemäss VSS 70830a
- Schädliche Bestandteile

Die Eignung ist bei Änderungen im Rohmaterialvorkommen oder der Herstellungsart, die eine Beeinflussung der Qualität zur Folge haben können, spätestens aber alle 5 Jahre wieder nachzuweisen.

A4.3.3 Beurteilung des Schotterwerkes

Ist die Eignungsuntersuchung des Gesteinsvorkommens sowie die Eignungsprüfung des Schotters positiv ausgefallen, wird das Schotterwerk einer Beurteilung durch die Bahnunternehmung unterzogen. Diese umfasst das Gesteinsvorkommen, die Art der Gewinnung, die Aufbereitung, die Lagerung, die Verladeart, die Verlademöglichkeiten, die Erreichbarkeit (Fahrplan), die Abstellmöglichkeiten für Wagen, die Materialvorhaltung sowie die werkseigene Produktionskontrolle. Eine Wiederholung der Beurteilung erfolgt in der Regel nach einer Änderung im Produktionsvorgang oder stichprobenweise in unregelmässigen Abständen nach Ermessen der Bahnunternehmung.

Die Häufigkeit der Beurteilung des Schotterwerkes richtet sich nach der Qualitätsfähigkeit und dem Qualitätssicherungssystem der einzelnen Lieferwerke. Anlässlich der Beurteilung des Schotterwerkes können Eignungsuntersuchungen des Gesteinsvorkommens und Eignungsprüfungen des Schotters angeordnet werden. Solche sind zu veranlassen, wenn Qualitätskontrollen auf Mängel hinweisen.

A4.3.4 Werkseigene Produktionskontrolle

Dem Hersteller bzw. dem Unternehmer wird der Preis für ein den Qualitätsanforderungen genügendes Produkt bezahlt. Er hat dafür zu sorgen, dass die technischen Anforderungen bei jeder Lieferung erreicht werden. Er muss deshalb ein System der werkseigenen Produktionskontrolle betreiben. Die vom Hersteller geführten Aufzeichnungen müssen angeben, welche Verfahren zur Qualitätskontrolle während der Herstellung des Gleisschotters angewendet wurden. SN EN 13450 enthält als Anhang I das anzuwendende System der werkseigenen Produktionskontrolle, in der die Vorschriften bezüglich Organisation, Kontrollverfahren, Prozesslenkung, Überwachung und Prüfung, Aufzeichnungen, Lenkung fehlerhafter Produkte, Handhabung im Werk, Lagerung und Behandlung im Werk, Transport und Verpackung sowie Schulung des Personals festgehalten sind.

Der Hersteller muss dem Bahnunternehmen die Resultate der werkseigenen Kontrollen für jeden Monat mit Produktion von Schotter unaufgefordert zuzustellen. Sie sind während mindestens 5 Jahren aufzubewahren. Dem Bahnunternehmen ist auf Verlangen Einblick in diese Unterlagen zu gewähren.

A4.3.5 Vorgehen bei Mängeln

Wird dieser Vorbehalt durch weitere Untersuchungen (Laborprüfungen, Prüfungen auf der Baustelle) bestätigt, erfolgt eine Preisreduktion entsprechend dem Minderwert der Ware, wenn Korngrößenverteilung, Feinstkorn, Kornform oder Kornlänge fehlerhaft sind.

Wird der Widerstand gegen Zertrümmerung oder die Verwitterungsbeständigkeit beanstandet, hat der Lieferant den Schaden zu ersetzen (Kosten für Ersatz sowie Aus- und Einbau im Gleis), da eine reduzierte Gebrauchsdauer des Schotters zu erwarten ist.

A5 Prüfprotokoll für Gleisschotter, Beispiel SBB

[illegible]

Tabelle A5-1: Prüfprotokoll für Gleisschotter, Beispiel SBB (Seite 1 von 2)

Messwerte im Labor																																																	
<p>Siebdurchgang [%]</p> <p style="text-align: center;">Sieböffnung [mm]</p> <p>* (5 %) für Proben, die auf der Baustelle und nicht im Werk entnommen wurden (Schotterreinigung).</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Kennwert</th> <th style="text-align: left;">Grenzwert</th> <th style="text-align: left;">Ergebnis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80 mm</td> <td>100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>63 mm</td> <td>97 - 100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>50 mm</td> <td>65 - 99 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>40 mm</td> <td>30 - 65 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>31,5 mm</td> <td>1 - 25 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>22,4 mm</td> <td>0 - 3 (5) % *</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Kornformkennzahl</td> <td>≤ 20 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kornlänge > 100 mm</td> <td>≤ 4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Feinstkorn < 0,063 mm</td> <td>≤ 0,5 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Feinkorn < 0,5 mm</td> <td>≤ 0,6 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LA-Koeff. Kl. 1 und RC ≤ 16</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kl. 2 ≤ 24; Kl. 3 ≤ 28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Magnesiumsulfat-beständigkeit</td> <td>≤ 3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>angewitterte und schiefrige Körner</td> <td></td> <td> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div> </td> </tr> <tr> <td>Körner mit stark gerundeten Kanten</td> <td></td> <td> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div> </td> </tr> </tbody> </table>	Kennwert	Grenzwert	Ergebnis	80 mm	100 %		63 mm	97 - 100 %		50 mm	65 - 99 %		40 mm	30 - 65 %		31,5 mm	1 - 25 %		22,4 mm	0 - 3 (5) % *		Kornformkennzahl	≤ 20 %		Kornlänge > 100 mm	≤ 4 %		Feinstkorn < 0,063 mm	≤ 0,5 %		Feinkorn < 0,5 mm	≤ 0,6 %		LA-Koeff. Kl. 1 und RC ≤ 16			Kl. 2 ≤ 24; Kl. 3 ≤ 28			Magnesiumsulfat-beständigkeit	≤ 3 %		angewitterte und schiefrige Körner		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div>	Körner mit stark gerundeten Kanten		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div>
Kennwert	Grenzwert	Ergebnis																																															
80 mm	100 %																																																
63 mm	97 - 100 %																																																
50 mm	65 - 99 %																																																
40 mm	30 - 65 %																																																
31,5 mm	1 - 25 %																																																
22,4 mm	0 - 3 (5) % *																																																
Kornformkennzahl	≤ 20 %																																																
Kornlänge > 100 mm	≤ 4 %																																																
Feinstkorn < 0,063 mm	≤ 0,5 %																																																
Feinkorn < 0,5 mm	≤ 0,6 %																																																
LA-Koeff. Kl. 1 und RC ≤ 16																																																	
Kl. 2 ≤ 24; Kl. 3 ≤ 28																																																	
Magnesiumsulfat-beständigkeit	≤ 3 %																																																
angewitterte und schiefrige Körner		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div>																																															
Körner mit stark gerundeten Kanten		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; text-align: center;">viel</div> <div style="width: 20px; text-align: center;">wenig</div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> <div style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></div> </div>																																															
<p>Bemerkungen:</p> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>																																																	
<p>Entscheid des Laborleiters</p> <p><input type="checkbox"/> Anforderung erfüllt, Schotterabnahme ist erfolgt.</p> <p><input type="checkbox"/> Anforderung nicht erfüllt</p> <div style="margin-left: 20px;"> <p><input type="checkbox"/> Abnahme erfolgt mit Preisreduktion, da Produkt fehlerhaft</p> <p><input type="checkbox"/> Abnahme verweigert, da verkürzte Lebensdauer von Gleisen mit solchem Schotter zu erwarten ist</p> <p><input type="checkbox"/> Schotterwerk für weitere Lieferungen sperren</p> <p><input type="checkbox"/> Werkseigene Produktionskontrolle überprüfen</p> <p><input type="checkbox"/> Eignungsprüfung durchführen</p> <p><input type="checkbox"/> Beurteilung des Schotterwerkes durchführen</p> <p><input type="checkbox"/></p> </div>																																																	
<p>Ort und Datum: Der Laborleiter:</p>																																																	
<p>Geht an: - Projektierung</p> <p> - Ausführung</p> <p> - Lieferant</p> <p style="text-align: right;">- Logistik</p> <p style="text-align: right;">- Einkauf (wenn Probe nicht erfüllt)</p>																																																	
<p>SBB 01.06.2024 2/2</p>																																																	

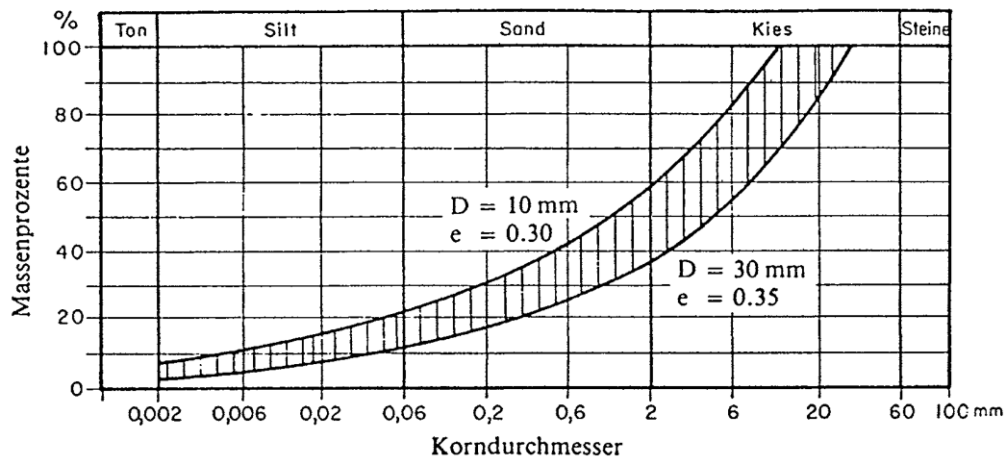
Tabelle A5-2: Prüfprotokoll für Gleisschotter, Beispiel SBB (Seite 2 von 2).

A6 Korngrößenverteilung für mineralische Sperrschichten

(Ergänzung zu Abschnitt 8.2.3)

Bemerkung: Abbildung A6-1 basiert auf Rundlochsieben. Die Korngrößenverteilung mit Quadratlochsieben für ton-wassergebundene Sperrschichten ist in der VSS 40744 enthalten. Das Grösstkorn beträgt 16 mm.

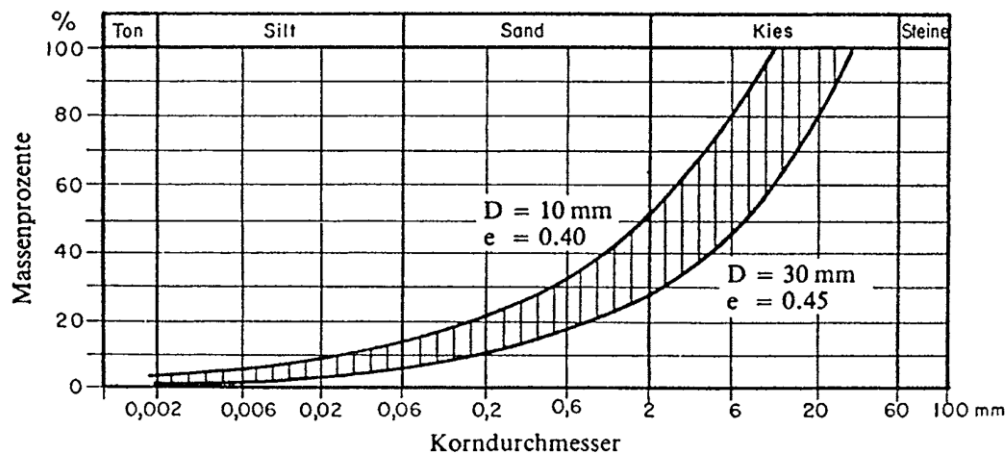
Materialzusammensetzung für ton-wassergebundene Verschleisschichten



D : Grösstkorndurchmesser

e : Parabelexponent

Materialzusammensetzung für kalk-wassergebundene Verschleisschichten



$$p = 100 \frac{d^e}{D^e}$$

p : Durchgang in % durch das Sieb mit der Sieböffnung d

D : Durchmesser des Grösstkorns

d : Durchmesser des Korns für Siebdurchgang p

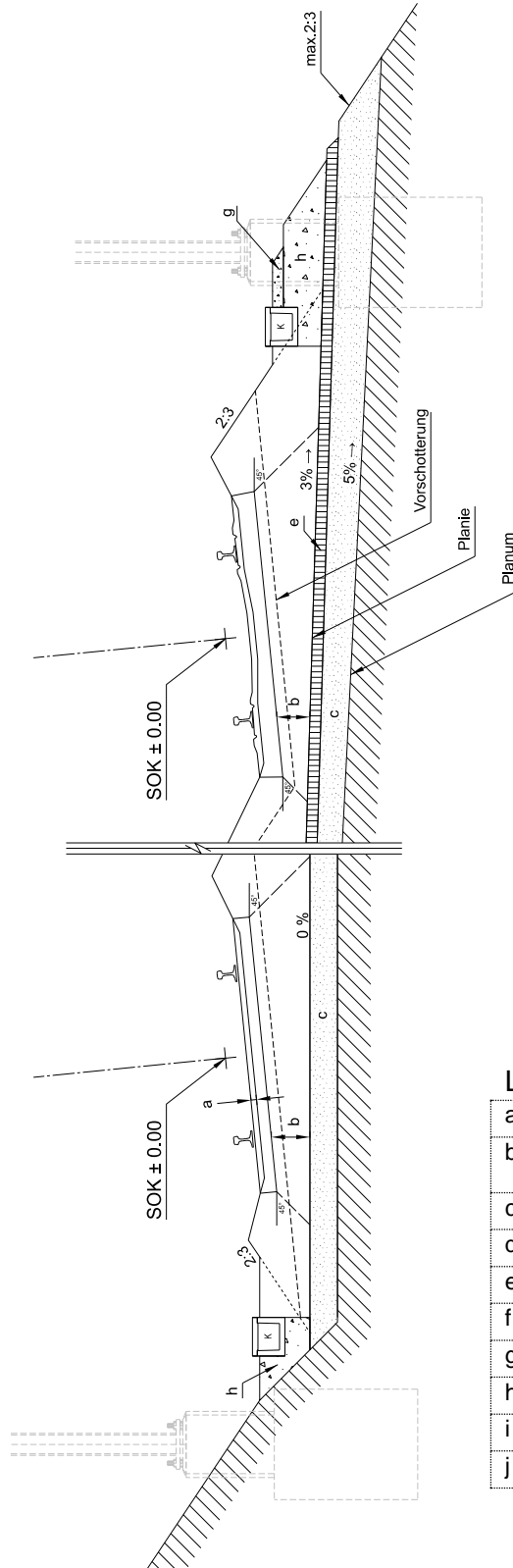
e : Parabelexponent (Fullerkurve: e = 0.5)

Abbildung A6-1: Materialzusammensetzungen für Verschleisschichten.

Quelle: Viktor Kuonen, Prof. ETHZ, Wald und Güterstrassen (1983)

A7 Normalprofile der Fahrbahn

A7.1 Schichtaufbau „ungebundenes Gemisch“ (für N4 und E4) und „AC Rail“ (für N1-3 und E1-3)



Hinweise zur Abbildung:

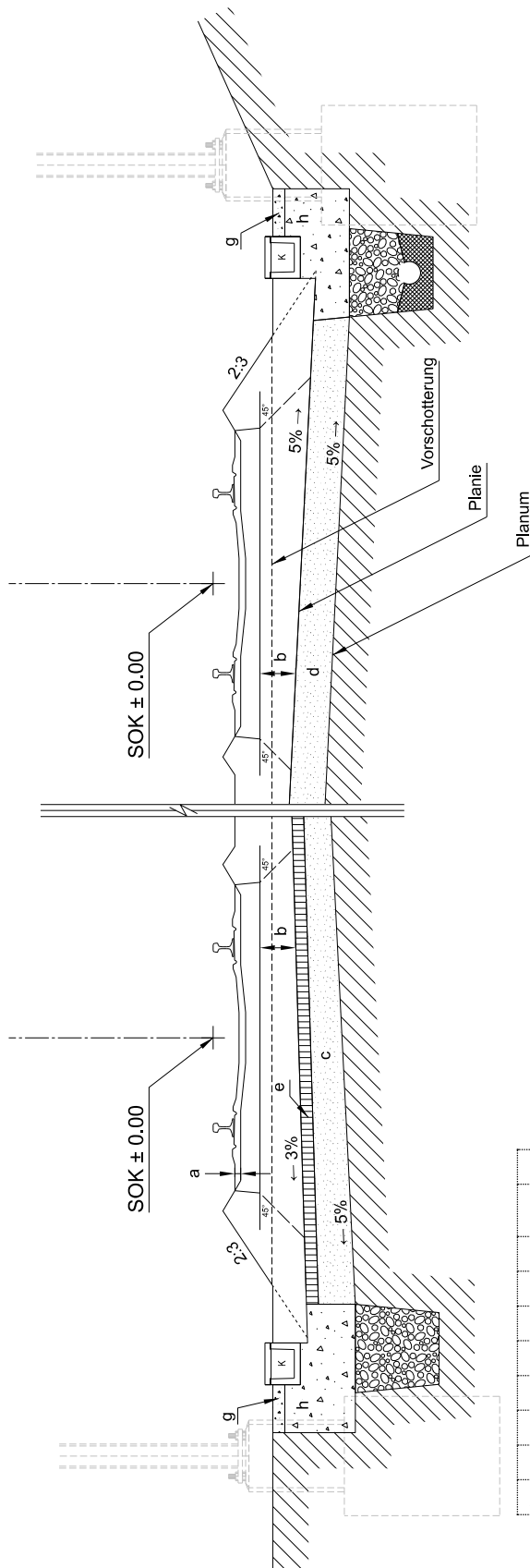
- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.
- Die Breite des AC Rail ist abhängig von der gewählten Entwässerungslösung.
- Die abgebildeten Neigungen der eingebauten Materialien können je nach Bauverfahren und -ablauf von der Realität abweichen.

Legende

a	Tieferkehren Schotterbett, vgl. Abschnitt 7.1
b	Schotterbett, vgl. Kapitel 7, Abschnitt 8.1 und Vorschotterung, vgl. Abschnitt 9.3.3
c	Fundationsschicht, vgl. Abschnitt 8.2
d	Kiessand PSS, vgl. Abschnitt 8.2.4
e	Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
f	mineralische Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
g	Abdeckung Bankett, vgl. Abschnitt 5.8.3
h	Bankett, vgl. Abschnitte 5.8 und 6.8
i	Böschungsentwässerung
j	Bankethalterung, vgl. Abschnitt 6.8.3

Abbildung A7-1

A7.2 Schichtaufbau „AC Rail“ (für E1-3 und N1-3) und „Kiessand PSS“ (für E1-4)



Hinweise zur Abbildung:

- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.
- Die Breite des AC Rail ist abhängig von der gewählten Entwässerungslösung.
- Die abgebildeten Neigungen der eingebauten Materialien können je nach Bauverfahren und -ablauf von der Realität abweichen.

Legende

a	Tieferkehren Schotterbett, vgl. Abschnitt 7.1
b	Schotterbett, vgl. Kapitel 7, Abschnitt 8.1 und Vorschotterung, vgl. Abschnitt 9.3.3
c	Fundationsschicht, vgl. Abschnitt 8.2
d	Kiessand PSS, vgl. Abschnitt 8.2.4
e	Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
f	mineralische Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
g	Abdeckung Bankett, vgl. Abschnitt 5.8.3
h	Bankett, vgl. Abschnitte 5.8 und 6.8
i	Böschungsentwässerung
j	Bankethalterung, vgl. Abschnitt 6.8.3

Abbildung A7-2

A7.3 Schichtaufbau „Kiessand PSS“ (für E1-4) und AC Rail für (E1-3)

Hinweise zur Abbildung:

- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.
- Die Breite des AC Rail ist abhängig von der gewählten Entwässerungslösung.
- Die abgebildeten Neigungen der eingebauten Materialien können je nach Bauverfahren und -ablauf von der Realität abweichen.

Legende

a	Tieferkehren Schotterbett, vgl. Abschnitt 7.1
b	Schotterbett, vgl. Kapitel 7, Abschnitt 8.1 und Vorschotterung, vgl. Abschnitt 9.3.3
c	Fundationsschicht, vgl. Abschnitt 8.2
d	Kiessand PSS, vgl. Abschnitt 8.2.4
e	Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
f	mineralische Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
g	Abdeckung Bankett, vgl. Abschnitt 5.8.3
h	Bankett, vgl. Abschnitte 5.8 und 6.8
i	Böschungsentwässerung
j	Banketthalterung, vgl. Abschnitt 6.8.3

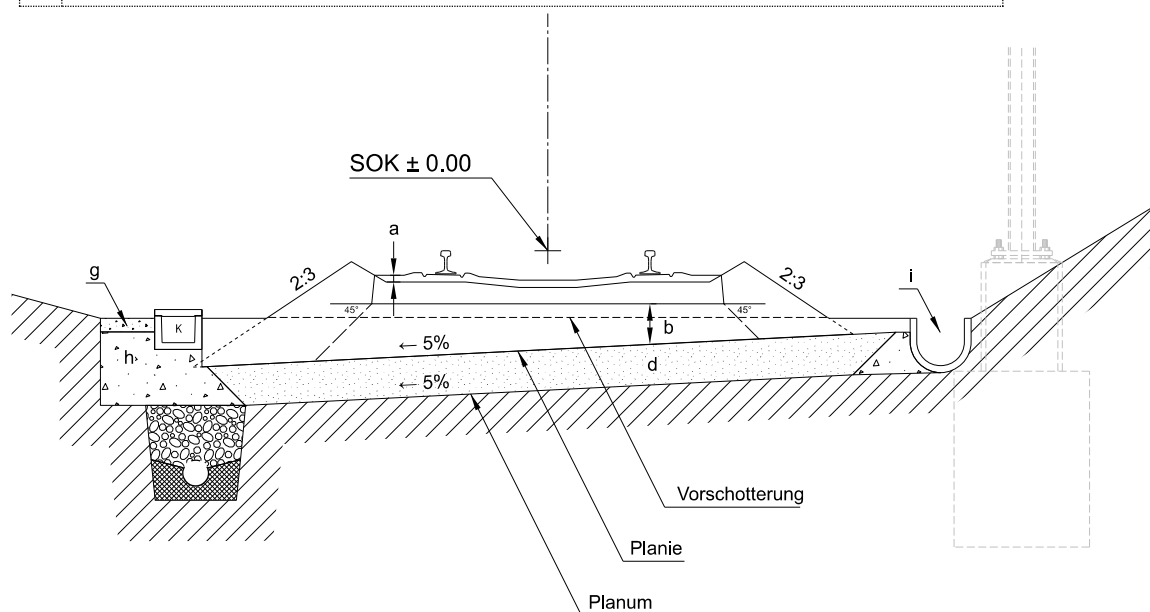


Abbildung A7-3

Hinweise zur Abbildung:

- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.
- Die Breite des AC Rail ist abhängig von der gewählten Entwässerungslösung.
- Die abgebildeten Neigungen der eingebauten Materialien können je nach Bauverfahren und -ablauf von der Realität abweichen.

Legende

a	Tieferkehren Schotterbett, vgl. Abschnitt 7.1
b	Schotterbett, vgl. Kapitel 7, Abschnitt 8.1 und Vorschotterung, vgl. Abschnitt 9.3.3
c	Fundationsschicht, vgl. Abschnitt 8.2
d	Kiessand PSS, vgl. Abschnitt 8.2.4
e	Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
f	mineralische Sperrschicht, vgl. Abschnitt 8.2.3
g	Abdeckung Bankett, vgl. Abschnitt 5.8.3
h	Bankett, vgl. Abschnitte 5.8 und 6.8
i	Böschungsentwässerung
j	Banketthalterung, vgl. Abschnitt 6.8.3

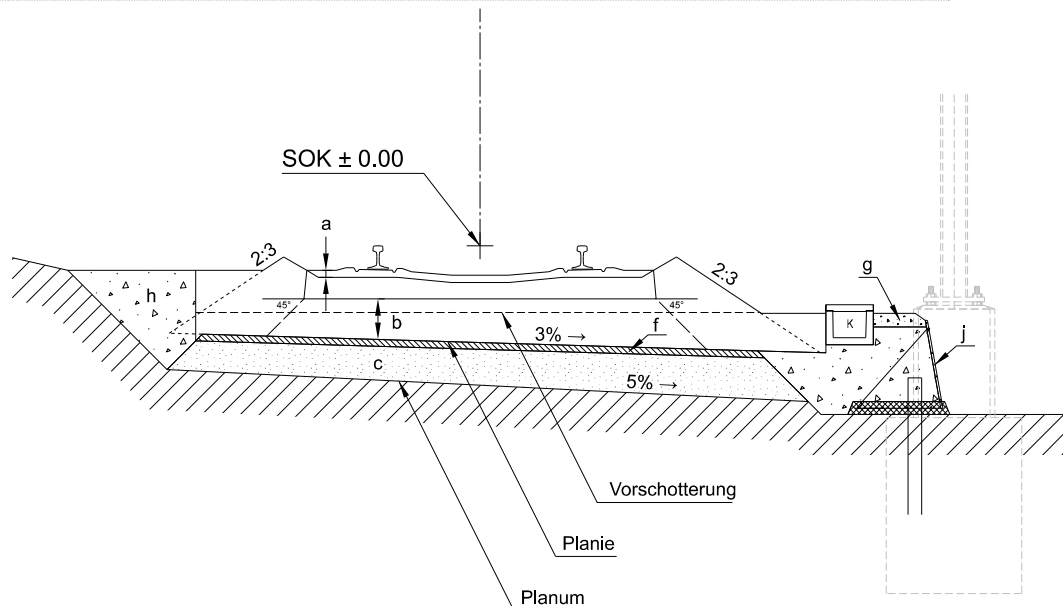


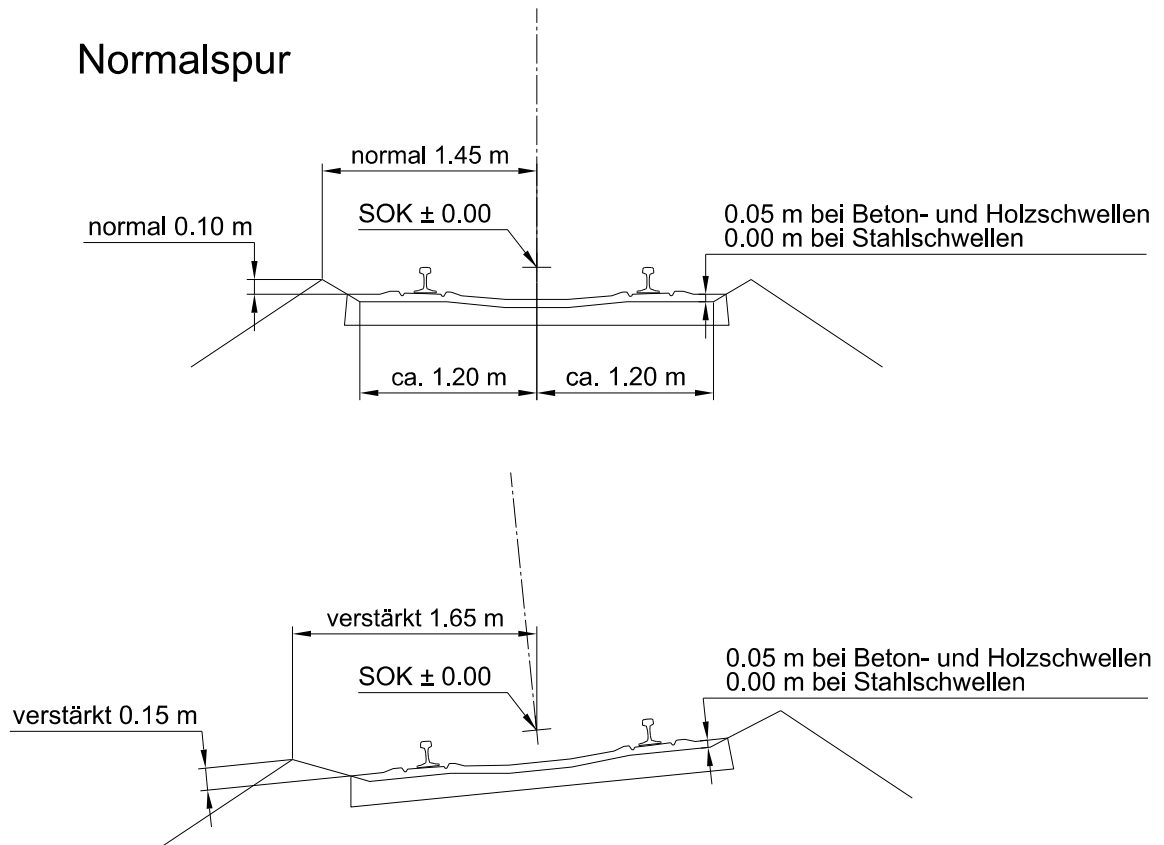
Abbildung A7-4

A7.4 Schotterbettprofil für Normal- und Meterspur

Hinweise zu den Abbildungen:

- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.
- Die abgebildeten Neigungen der eingebauten Materialien können je nach Bauverfahren und -ablauf von der Realität abweichen.

Normalspur



Meterspur

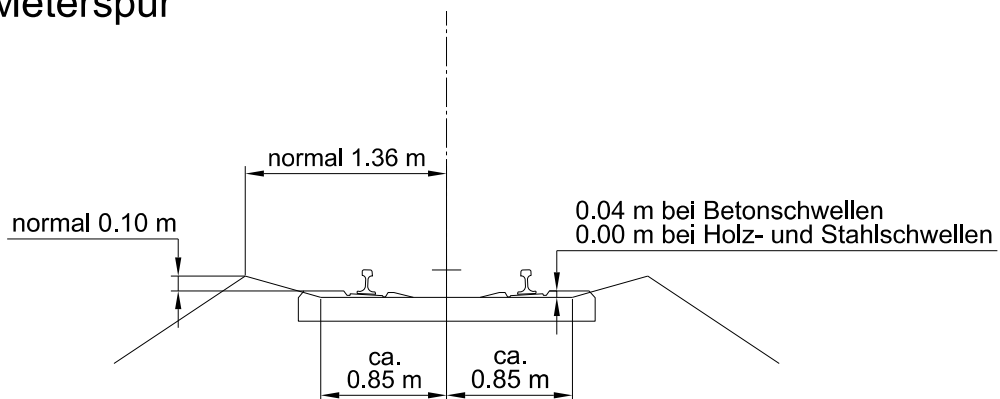


Abbildung A7-5

A7.5 Entwässerungsdetails für bestehende Strecken (Normalspur)

Hinweis zur Abbildung:

- Details zur Fahrbahntwässerung sind in Anhang A8 aufgeführt.

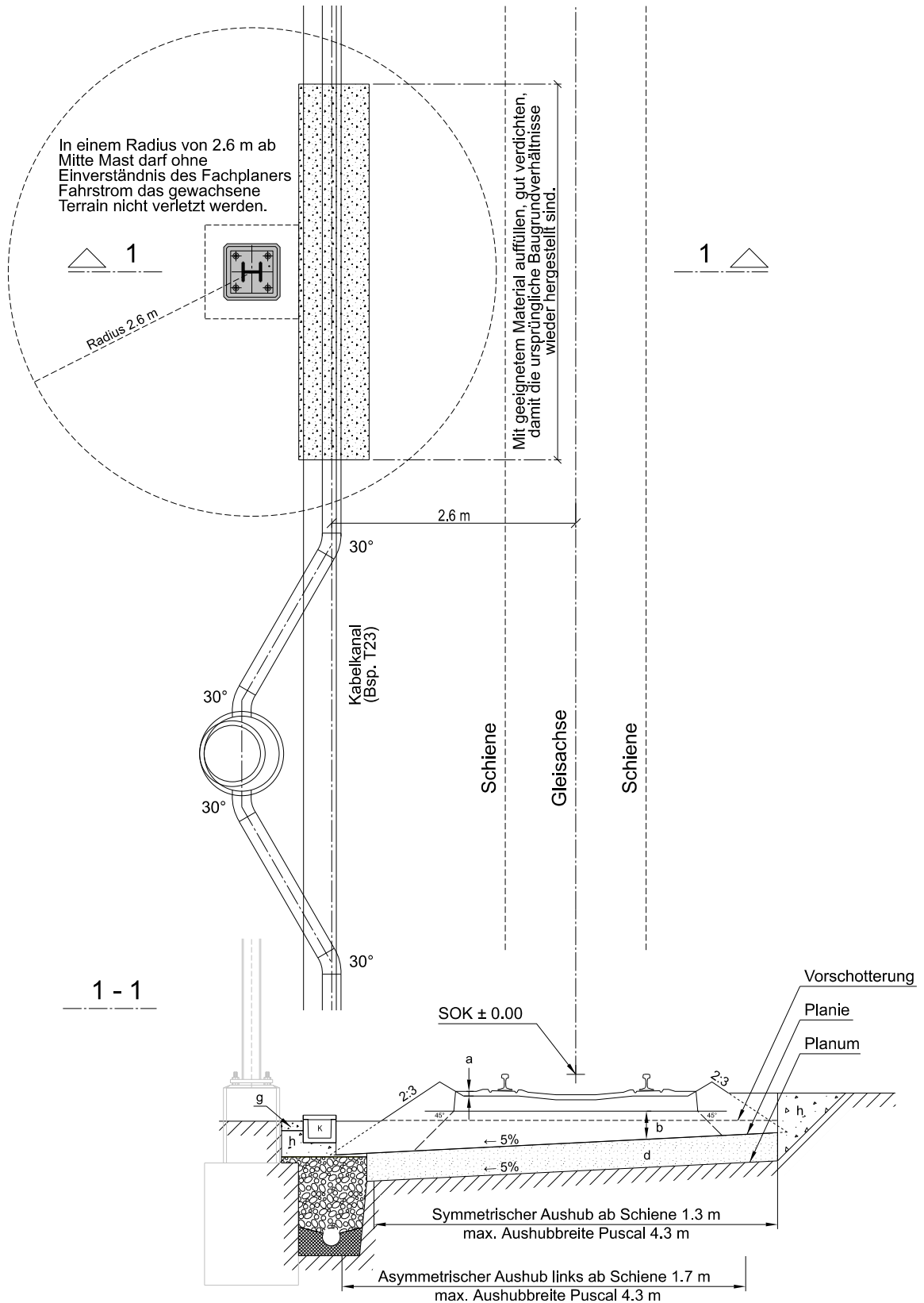


Abbildung A7-6

A8 Fahrbahntwässerung

(Ergänzungen zu Abschnitt 5.4 und 6.4)

A8.1 Anwendungsbereich und Allgemeines

Die folgenden Regeln gelten für die Entwässerung von:

- Neubaustrecken, Ausbau auf mehrere Spuren und
- Strecken, für die das Projekt eine wesentliche Änderung nach GSchV vorsieht (RL BAV/BAFU [1]).

Auf Systeme zur Hangentwässerung wird in diesem Anhang nicht weiter eingegangen.

A8.2 Wahl der Entwässerungsart

Die Wahl der Entwässerungsart muss grundsätzlich gemäss RL BAV/BAFU [1] vorgenommen werden. Dabei sind sowohl diffuse Versickerung im Unterbau, Versickerung im Bankettbereich oder Ableitung möglich.

Nachdem die möglichen Beseitigungsarten abgeklärt wurden, ist auch aufgrund von LCC-Vergleichen die zweckmässigste Variante für das Gesamtsystem (Fahrbahn, Vegetationskontrolle, Entwässerung ausserhalb Gleisbereich, Abwasserbehandlung, etc.) zu bestimmen.

A8.3 Hydraulische Kapazität der Entwässerung

Die Entwässerung ist so zu dimensionieren, dass das Wasser ausreichend schnell vom Oberbau und Unterbau abgeführt werden kann.

Unter Berücksichtigung der Versickerungsfähigkeit des Bodens (k-Wert nach Darcy), welche im geotechnischen Bericht dargestellt ist, stellt Tabelle A8-1 dieses Anhangs die Profiltypen dar.

A8.4 Anforderungen an Materialien

A8.4.1 Sickergeröll

Unverschmutzter, gewaschener oder entstaubter Altschotter 16/32,
RC-Gleisschotter 32/50,
Rundkies 16/32 oder 32/50,
Brechschotter 16/32 oder 32/50.

A8.4.2 Sand

Gewaschener Rund- oder Brechsand $\frac{1}{4}$

A8.4.3 Sohlenbeton

Die Anforderungen an den Sohlenbeton richten sich nach SN EN 206:

- Druckfestigkeitsklasse: C12/15
- Expositionsklasse: XC0(CH)
- Nennwert Grösstkorn: D_{\max} 32
- Klasse des Chloridgehalts: Cl 0,10
- Konsistenzklasse: C3

A8.5 Entwässerungstypen

Nachfolgend sind die Entwässerungstypen in Abhängigkeit der Topografie und der Entwässerungsart definiert. Diese Typen sind in Tabelle A8-1 beschrieben und auf den folgenden Seiten abgebildet.

Übersicht der Entwässerungstypen/Prüfung der hydraulischen Kapazität

Typ	Entwässerungstyp	Lage	Entwässerungs-art	k-Wert [m/s] Grabensohle
1	Böschung	Damm Anschnitt	Versickern Verdunsten	---
2a	Bahngraben mit bewachsener Oberfläche	Einschnitt Anschnitt	Versickern Verdunsten	---
2b	Bahngraben mit bewachsener Oberfläche und Abdichtung	Einschnitt Anschnitt	Ableiten mit Vorbehandlung	---
3a	Sickergraben	Einschnitt Ebene	Versickern	$k > 10^{-4}$
3b	Sickergraben mit Vollsickerrohr	Einschnitt Ebene	Verteilen Versickern	$10^{-4} \geq k > 10^{-5}$
3c	Sickergraben mit Teilsickerrohr	Einschnitt Ebene	Versickern Ableiten	$10^{-5} \geq k > 10^{-6}$
4a	Ableitung ohne Grabenabdichtung	Einschnitt Ebene	Ableiten	$k \leq 10^{-6}$
4b	Ableitung mit Grabenabdichtung	Einschnitt Ebene	Ableiten	---
5	Diffuse Versickerung	Einschnitt Ebene	Versickern	---

Tabelle A8-1: Übersicht der Entwässerungstypen.

Auf hoch liegendem Felsen kann für die Entwässerung von Planie/Planum anstelle eines tief reichenden Entwässerungssystems eine offene Halbschale eingebaut werden. Die Halbschale muss jedoch in jedem Fall das Planum entwässern und zufließendes Fels-oberflächenwasser ableiten.

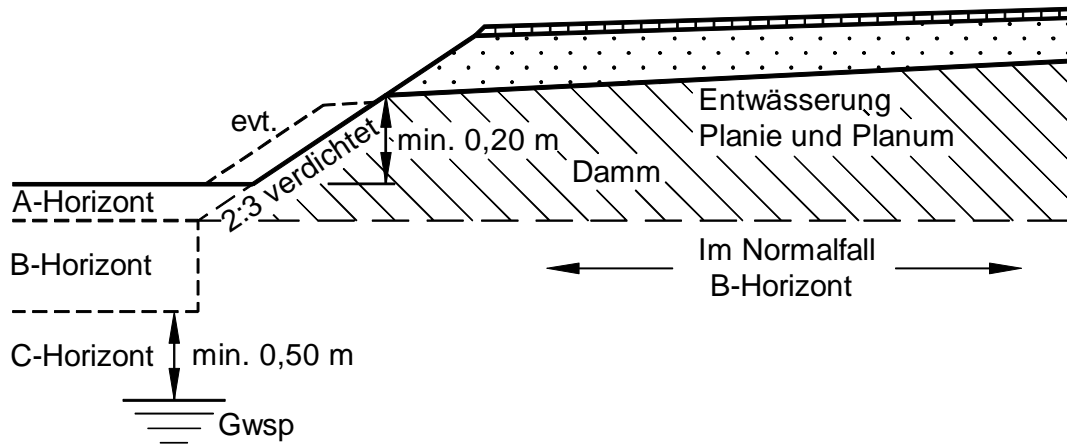


Abbildung A8-2: Entwässerungstyp 1, Böschung.

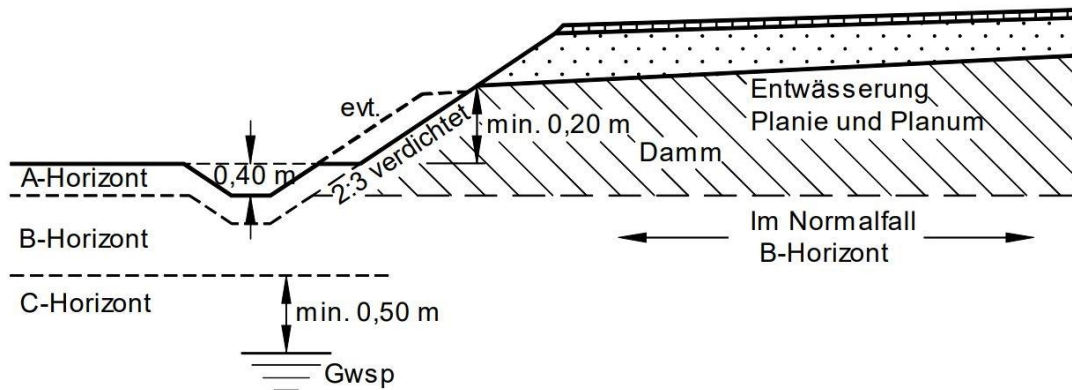


Abbildung A8-3: Entwässerungstyp 2a, Bahngraben mit bewachsener Oberfläche

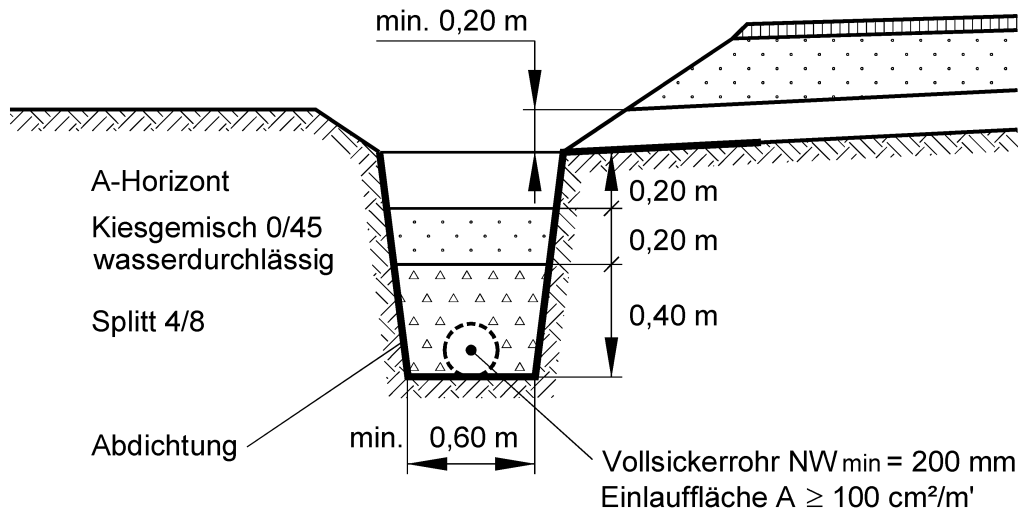


Abbildung A8-4: Entwässerungstyp 2b, Bahngraben mit bewachsener Oberfläche und Abdichtung.

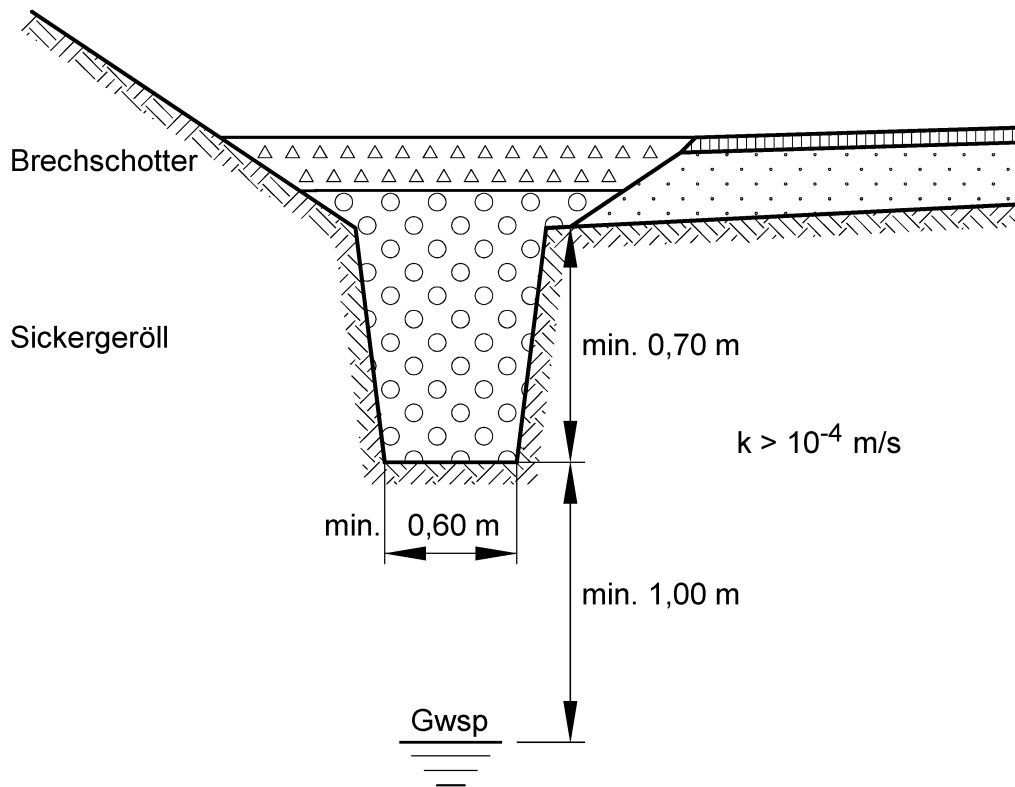


Abbildung A8-5: Entwässerungstyp 3a, Sickergraben (Sickergeröll).

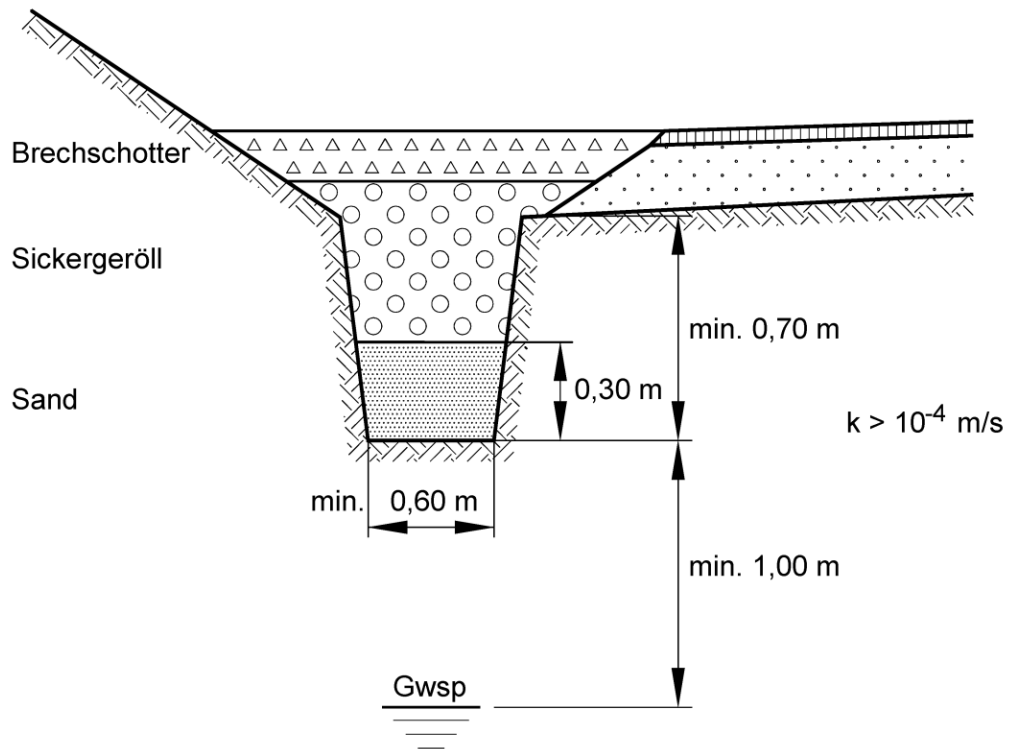


Abbildung A8-6: Entwässerungstyp 3a, Sickergraben (Sickergeröll, Sand).

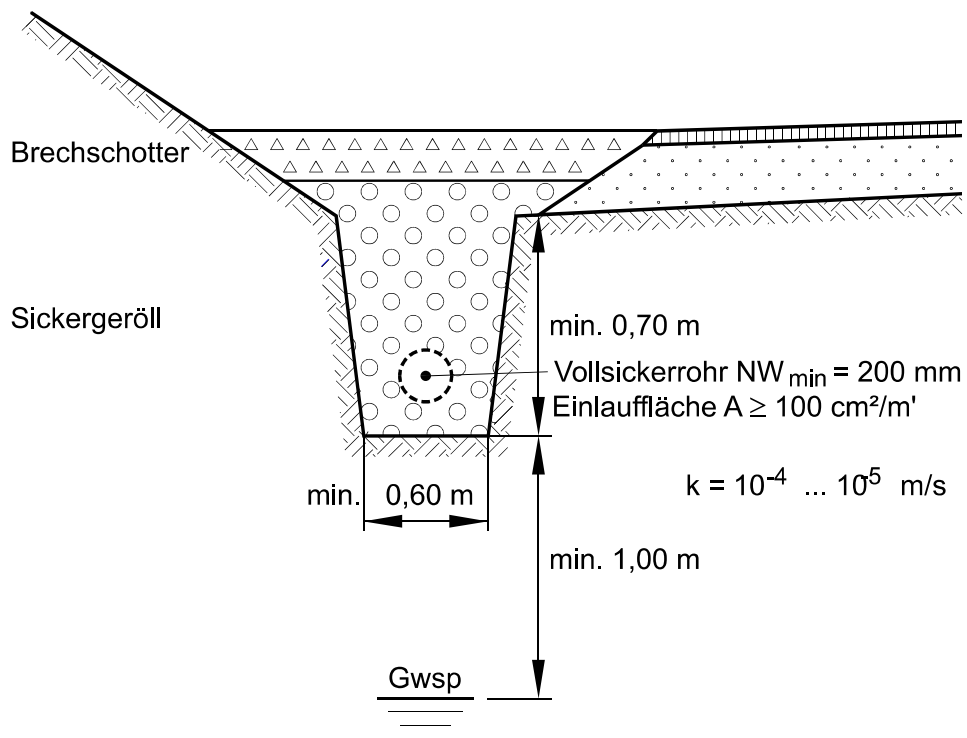


Abbildung A8-7: Entwässerungstyp 3b, Sickergraben mit Vollsickerrohr (Sickergeröll).

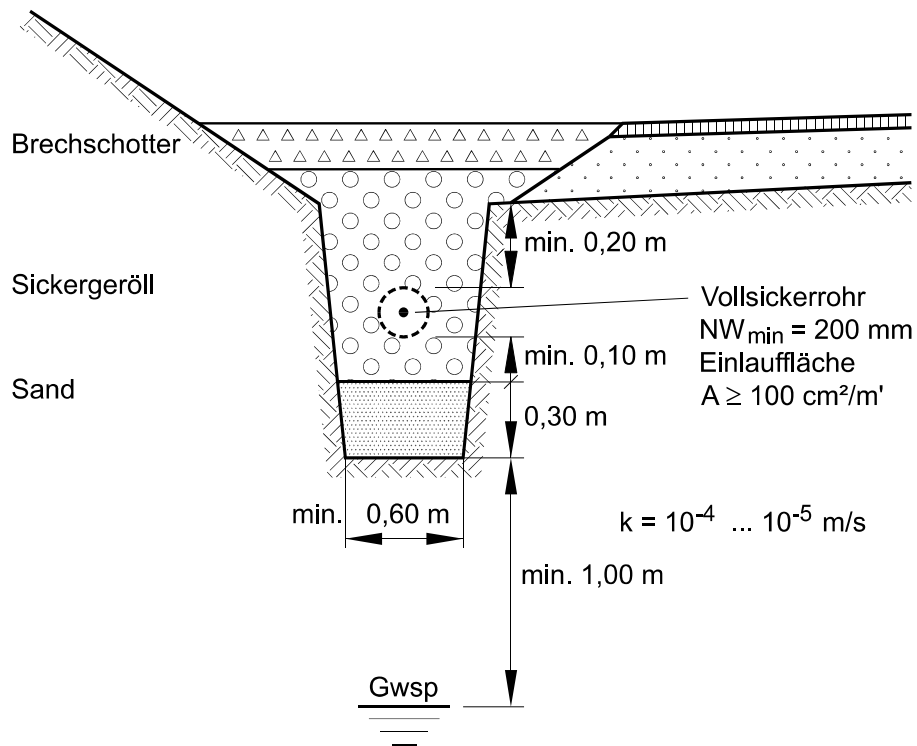


Abbildung A8-8: Entwässerungstyp 3b, Sickergraben mit Vollsickerrohr (Sand, Sickergeröll).

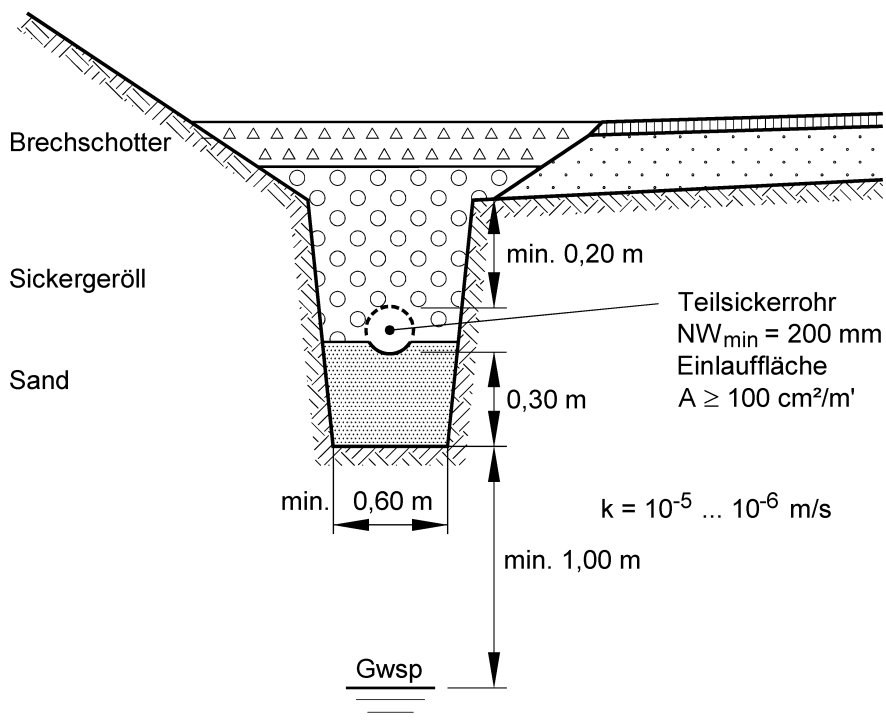


Abbildung A8-9: Entwässerungstyp 3c, Sickergraben mit Teilsickerrohr.

Bei diesem Entwässerungstyp muss die Zulässigkeit der Versickerung und der Einleitung in ein Gewässer geprüft werden.

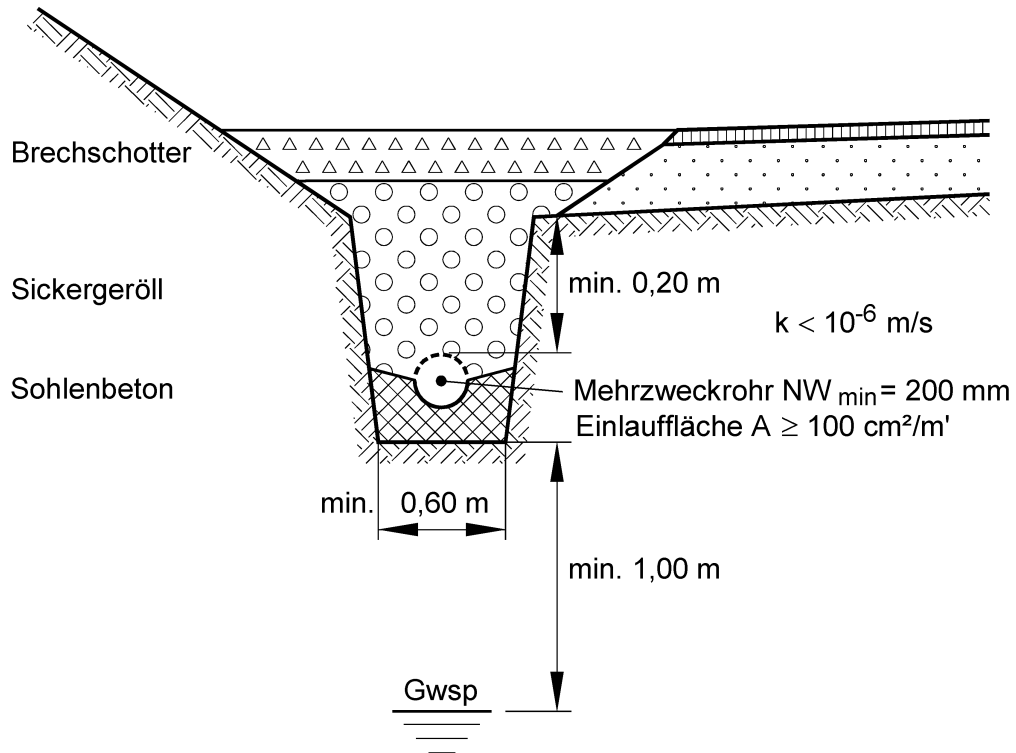


Abbildung A8-10: Entwässerungstyp 4a, Ableitung ohne Grabenabdichtung.

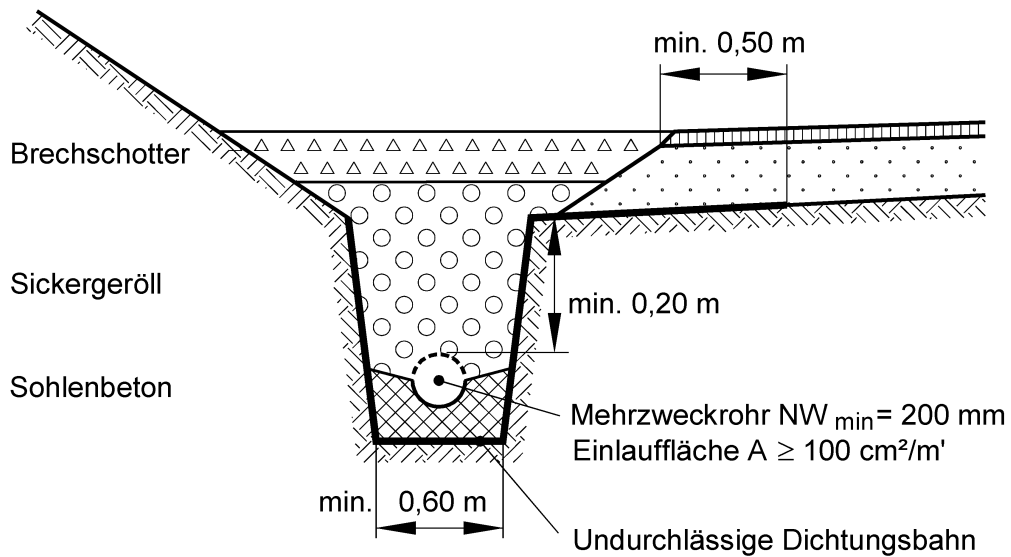


Abbildung A8-11: Entwässerungstyp 4b, Ableitung mit Grabenabdichtung (Neubau).

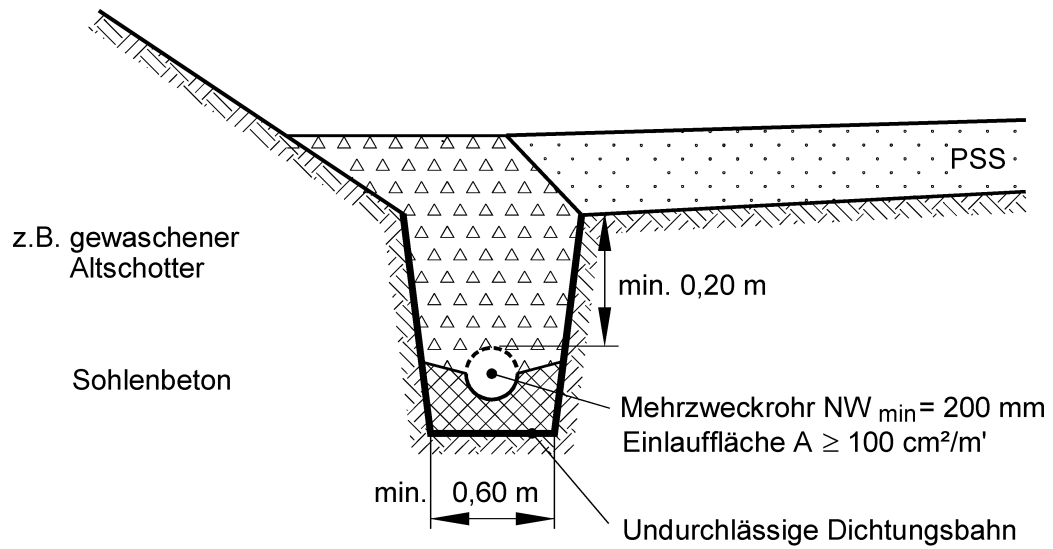


Abbildung A8-12: Entwässerungstyp 4b, Ableitung mit Grabenabdichtung (Erhaltung).

A9 Frostindices und Frosttiefen für die Bemessung von Neubauten mit Schotteroberbau

(Ergänzungen zu den Abschnitten 5.3 und 6.3)

Frostindices und Frosttiefen

Ort	Frostindex FI [°C·Tage]	Frosttiefe X [m] ^{*)}	^{*)} $X = 0.00077 \cdot FI + 0.53$
Aarau	100	0.68	
Airolo	122	0.68	
Altdorf	68	0.68	
Altstätten SG	117	0.68	
Basel	108	0.68	
Bellinzona	48	0.68	
Bern	114	0.68	
Biel	97	0.68	
Brig	138	0.68	
Chur	105	0.68	
Davos	490	0.91	
Delémont	115	0.68	
Frauenfeld	142	0.68	
Fribourg	110	0.68	
Genève	55	0.68	
Glarus	110	0.68	
Göschenen	184	0.68	
Kreuzlingen	110	0.68	
La Chaux-de-Fonds	173	0.68	
Langnau i.E.	134	0.68	
Lausanne	58	0.68	
Locarno	23	0.68	
Lugano	14	0.68	
Luzern	94	0.68	
Martigny	70	0.68	
Meiringen	102	0.68	
Montreux	61	0.68	
Muri AG	96	0.68	
Neuchâtel	80	0.68	
Olten	100	0.68	
Rheinfelden	106	0.68	
Romont	135	0.68	
Rorschach	106	0.68	
Sargans	108	0.68	
Schaffhausen	122	0.68	
Sion	92	0.68	
Solothurn	100	0.68	
St. Gallen	140	0.68	
Thun	106	0.68	
Wädenswil	104	0.68	
Winterthur	121	0.68	
Yverdon-les-Bains	82	0.68	
Zürich	121	0.68	
Zug	87	0.68	

A10 Unterbau in Tunnels: Hinweise für die Projektierung bei Neubauten und Erneuerungen

(Ergänzungen zu den Abschnitten 5.11 und 6.10)

A10.1 Wasserinstabile Felssohle

Wenn die Felsoberfläche bei Wasserzutritt und unter Verkehrslast während der geplanten Nutzungsdauer nicht zu Lockergestein zerfallen kann, ist sie wasserstabil (z.B. feinkörniger Granit, harter Kalkstein). Im Gegensatz dazu sind gewisse Felsarten (Tonstein, Tonschiefer, Mergel, Kalkmergel, Sandstein mit Mergellagen usw.) wasser-instabil, da sie bei Wasserzutritt und mechanischer Beanspruchung infolge Verkehrslast relativ rasch zu Lockergestein zerfallen.

Falls der Schotteroberbau oder die Fahrbahnplatte bei schotterlosem Oberbau direkt auf eine wasserinstabile Felssohle aufgebracht werden soll, muss die Felsoberfläche zuerst so stabilisiert werden, dass sie den Anforderungen an eine wasserstabile Felssohle entspricht.

Bei Verwendung von Beton als Ersatz von Fels oder als abdeckende Bodenplatte ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich im Beton Risse bilden.

Falls sich auf der Oberfläche des Ersatzmaterials Wasser ansammelt, das durch Risse auf die wasserinstabile Felsoberfläche einsickern kann, oder von unten durch den Fels (z.B. durch Felsschlüfte) Bergwasser zufließen kann, muss mit durchgehenden, kapillarbrechenden Flächendrainagen für einen drucklosen Abfluss des Wassers in die Tunnelentwässerung gesorgt werden.

Zu keiner Zeit und in keinem Fall darf sich unter Verkehrslast zwischen Ersatzmaterial und Fels ein Wasserdruck ergeben. Bei gesättigten und unter Porenwasserüberdruck stehenden Böden können bereits nach relativ kurzer Zeit Pumpeffekte entstehen, die Wasser-Boden-Gemische hochpressen, was zu grossen Schäden mit hohen Kostenfolgen und empfindlichen Betriebseinschränkungen führen kann.

Mit konstruktiven Massnahmen ist zu verhindern, dass die Felsoberfläche während der Nutzungsphase des Tunnels erodiert und die entstehenden Feinanteile durch Risse oder Fugen in den Bereich der Fahrbahn gepumpt werden.

A10.2 Deformationen

Deformationen der Felssohle wirken sich auf die Fahrbahn aus, weshalb sie in der Planungsphase abzuschätzen sind. Dabei ist insbesondere zwischen Deformationen infolge Quellen, infolge Spannungsumlagerungen und infolge Tektonik zu unterscheiden.

A10.2.1 Deformationen infolge Quellen

Das Einlagern von Wasser in Tonmineralien und die Umwandlung von Anhydrit in Gips führen zu einer Volumenzunahme, die als «Quellen» bezeichnet wird. Quelfähige Schichten aus Tonstein, Anhydrit und Ton-Anhydrit-Mischgestein, insbesondere wenn sie in der Tunnelsohle oder im Entlastungsbereich darunter anstehen, führen zu Sohlhebungen.

Das Quellpotenzial (Quellmass und Quelldruck) ist abzuschätzen und bei der Bemessung zu berücksichtigen. Wenn Sohlhebungen verhindert werden müssen, ist ein Sohlgewölbe mit möglichst kleinem Radius notwendig. Ohne Sohlgewölbe oder bei einem Sohlgewölbe mit zu grossem Radius (Extremfall Bodenplatte) werden Sohlhebungen nicht verhindert.

A10.2.2 Andere Deformationen

Beim Ausbruch des Tunnels werden Spannungen umgelagert, die beim Überschreiten der Festigkeit plastische Deformationen erzeugen. Diese Deformationen klingen erst ab, wenn ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht ist.

Die Gebirgsbildung ist z.B. im Bereich der Alpen nicht abgeschlossen, was zu einer relativen Hebung gegenüber dem Mittelland von ca. 1 – 2 mm pro Jahr führt.

Wesentlich ist, ob diese Hebung gleichmässig über die Tunnelstrecke stattfindet, oder ob infolge tektonischer Störzonen mit differentiellen Hebungen zu rechnen ist.

Allenfalls sind die geschätzten Deformationen während der Bauausführung mit messtechnischen Massnahmen zu verifizieren. Mit bautechnischen Massnahmen ist dafür zu sorgen, dass keine unzulässigen Deformationen der Tunnelsohle während der Bau- und der Nutzungsphase entstehen.

A10.3 Auffüllung beim Kreisprofil mit schotterlosem Oberbau

Als Auffüllmaterial ist Kies aus geeigneten, beständigen, harten und kubischen Gesteinskörnern gemäss Anhang A2 zu verwenden.

Falls die Kiese mit Zement stabilisiert werden, ist auf minimalste Zementdosierung zu achten. Wenn Beton verwendet wird, ist dieser gleichmässig und möglichst dicht herzustellen. Die Gefährdung von Entwässerungen durch Versinterung und der Gleistragplatte durch die sich im zementstabilisierten Kies bzw. im Beton bildenden Risse, z.B. infolge Schwinden, ist mit geeigneten Massnahmen zu verhindern.

Die optimale Verdichtung der Auffüllung und ihre Trockenhaltung während der Bauausführung und während des Betriebs des Tunnels sind die entscheidenden Faktoren für ein günstiges Alterungsverhalten des Unterbaus und zur Vermeidung von Schäden während der Nutzungsphase. Eine oberste Schicht von mindestens 0.5 m Dicke muss dauernd entwässert sein und darf kein gespanntes Wasser enthalten. Die durch die Verdichtung zu erreichende Trockendichte beträgt 103 % der modifizierten Proctordichte.