

Internationale Literaturrecherche zum Thema Unterbau bei Bahnstrecken

Bericht zu Allianz Projekt Nr. 100 007 201

Im Auftrag der Allianz Fahrweg Normalspur und mit finanzieller Unterstützung des BAV für die Allianz Fahrweg Normalspur

Version	Erstelldatum	Autor(en)	Freigabe
1.0	15.11.2021	H.R. Schneider	ohne
1.1	13.12.2021	H.R. Schneider	ohne
1.2	18.01.2022	H.R. Schneider	ohne
1.3	31.01.2022	H.R. Schneider	ohne
1.4	17.02.2022	H.R. Schneider	Begleitgruppe, 15.03.22

Begleitgruppe

Leitung:

Kilian Gerber, SBB

Mitglieder:

Markus Brechbühl, BLS

James Fern, SBB

Rolf Guldenfels, BAV – Sektion Bautechnik

Matthias Niklaus, SBB

Martin Siegen, MGB

Armin Zemp, Allianz Fahrweg

Michael Zimmermann, BLS

Gilbert Zimmermann, RhB

Internationale Literaturrecherche zum Thema Unterbau bei Bahnstrecken

Expertenmandat zur Unterstützung der AGR zu AB-EBV Art. 25

Zusammenfassender Bericht



Im Auftrag der Allianz Fahrweg Normalspur mit Mitfinanzierung des BAV

15.11.2021; rev. 13.12.2021; 18.1.2022 / 31.1.2022 / 17.2.2022 / SCH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Auftrag	5
1.2	Ziele und Umfang	5
2	Grundlagen und Definitionen	6
2.1	Aufbau des Bahnkörpers und Begriffe	6
2.2	Einwirkungen / Belastungen aus Bahnbetrieb	7
2.3	Auswirkungen des Bahnbetriebs auf Unterbau	9
2.4	Widerstand im Untergrund.....	10
2.5	Grundlagenliteratur zum Thema «Geotechnik und Bahnbau»	11
3	Schäden im Gleiskörper infolge Bahnbetrieb	12
3.1	Beobachtungen und frühere (bis 1980) Erfahrungen SBB	12
3.2	Typische Schäden im Bahnkörper.....	12
3.2.1	Erfahrungen und Beobachtungen SBB	12
3.2.2	Erfahrungen und Beobachtungen international	12
3.3	Massgebende geotechnische Schadenbilder für das Regelprofil	14
3.3.1	Progressive Scherdeformationen, verursacht durch dyn. Wechselbelastungen	14
3.3.2	Abscheuern der Untergrundoberfläche infolge dynamischer Horizontalbelastung	15
3.3.3	Übermässige plastische Verformung bei weichem Untergrund (Schottersäcke)	15
3.3.4	Verflüssigung (liquefaction) und cyclic mobility	16
4	Geotechnische und bodendynamische Bemessung des Unterbaus	17
4.1	Allgemeines	17
4.2	Bemessungsgrundlagen nach SIA 260 – 267 und Eurocode EC1 – EC7	18
4.3	Geotechnische Bemessung von Bahnkörpern	19
4.4	Zusammenstellung von verschiedenen Bemessungsmethoden für die vier Hauptschäden.....	19
4.4.1	Frost.....	19
a)	Allgemeines.....	20
b)	Physikalische Grundlagen.....	20
c)	Was ist ein frostempfindlicher Boden	22
d)	Vergleich verschiedener Frostbemessungsmethoden	23
e)	Einfluss der Klimaveränderung	28
f)	Sanierungsmassnahmen	28
g)	Unklarheiten, Wissenslücken, Fragen.....	30

4.4.2	Filterstabilität, innere Erosion, Schlammaufstösse.....	30
a)	Allgemeines und Filterstabilität nach SBB / BAV.....	30
b)	Filterkriterien bei statischen Belastungen.....	31
c)	Filterkriterien für zyklische / dynamische Belastungen aus Bahnbetrieb.....	33
d)	Selbst stabilisierende Filter bei zyklischen Belastungen.....	33
e)	Filtern, Trennen und Drainieren mit Geotextilien.....	35
4.4.3	Entwässerung, Drainage, innere Erosion.....	35
a)	Allgemeines.....	35
b)	Wasserquellen.....	35
c)	Auswirkungen von Wasser auf den Bahnkörper.....	36
d)	Innere Erosion, Piping.....	38
e)	Entwässerung mit Geotextilien.....	38
f)	Entwässerung in Schotter- und Foundationsschicht.....	38
g)	Bemessungsmethode für die innere Entwässerung der Foundationsschicht.....	38
h)	Schottersäcke.....	40
i)	Verbesserung und Sanierung der Entwässerung.....	40
k)	Kernsätze von G. Schmutz (1980), die immer noch aktuell sind.....	40
4.4.4	Deformationen und Setzungen.....	41
a)	Allgemeines.....	41
b)	Wiederbelastungsmodul.....	42
c)	Deformationsmodelle.....	42
	KUMULATIVE PLASTISCHE DEFORMATIONEN.....	42
	GRUNDLAGEN DES LI-SELIG DEFORMATIONSMODELL.....	43
	BESTIMMUNG DER ERFORDERLICHEN BODENKENNGRÖSSEN.....	44
	DIFFERENTIELLE SETZUNGEN UND UNTERHALTSZEITPUNKT FÜR SCHOTTERBETT.....	45
d)	Methoden zur Bemessung der Schotter- und Foundationsschicht.....	45
e)	Bemessungsgrundsätze basierend auf Schadenmechanismen.....	46
	SCHERDEHNUNGEN BIS ZUM PROGRESSIVEN SCHERBRUCH.....	47
	ÜBERMÄSSIGE PLASTISCHE VERFORMUNGEN (SETZUNGEN).....	47
	ABRIEB (ATTRITION) AUF PLANUM, DAS SCHLAMMAUFSTÖSSE ERZEUGEN KANN.....	48
f)	Anwendung der Bemessungsmethode nach Li-Selig (2016).....	50
g)	Bemessungsbeispiele.....	53
4.4.5	Resonanzgefahr während Bahnbetrieb und kritische Fahrgeschwindigkeit.....	56
a)	Allgemeines.....	56
b)	Kritische Fahrgeschwindigkeit.....	56
c)	Typische Scherwellengeschwindigkeiten.....	57
5	Geotechnische Zustandsbeurteilung bestehender Bahnstrecken:	
	«Sanierungsentscheid»	58
5.1	Dynamische Stabilität	58
5.2	Grundlagen.....	58
5.3	Scherdehnungsgrenzen und deren Bedeutung.....	60
5.4	Nachweis der dynamischen Stabilität	60

5.5	In situ Messkonzept	61
5.6	Sanierungszeitpunkt: Bestimmt aus in situ Messungen bei Zugsdurchfahrt.....	62
6.	Ermittlung von erforderlichen Bodenkenngrößen	63
6.1	Feld- und Laborversuche.....	63
6.2	Seismische Drucksondierungen SCPTu	64
6.2.1	SCPTu : Messeinrichtung und Resultate.....	64
6.2.2	Scherwellengeschwindigkeit V_s	65
7.	Internationale Erfahrungen von Bahninfrastrukturbetreibern	65
8.	Zusammenfassung mit Empfehlungen	72
	Neue Erkenntnisse aus der Literaturrecherche	
	Wissenslücken	
	Weiteres Vorgehen	

Anhang

A1	Anhang A1: Tabellen für die Bemessung der Foundationsschicht nach Li-Selig (2016)
A2	Anhang A2: Tabellen für die Bemessung der Foundationsschicht nach Li-Selig (2016)
A3	Literaturverzeichnis

8. Zusammenfassung mit Empfehlungen

ERKENNTNISSE AUS DER LITERATURRECHERCHE

- Die in der Schweiz vorkommenden Hauptschäden werden auch international bestätigt
- Generell wird quasistatisch bemessen, womit mehrere Schadenursachen, die infolge dynamischer Auswirkungen (z.B. Rotation der Hauptspannungen) entstehen, nicht vollständig verstanden werden können. Dies betrifft z.B. die Entwicklung progressiver Scherdeformationen, Schlammaufstösse infolge dynamisch erzeugten Porenwasserüberdrücken.
- Bei der Frostbemessung in der Schweiz gibt es einige Unklarheiten. Hier könnte eine Überarbeitung die bestehenden Bemessungsunsicherheiten ausräumen.
- Bezüglich Felduntersuchungen am Bahnkörper könnte es technisch wie auch finanziell zielführend sein, wenn die bisherigen bewährten Untersuchungsmethoden mit z.B. elektrischen Drucksondierungen CPT ergänzt würden. Mit so einem kombinierten Vorgehen könnten praktisch alle erforderlichen geotechnischen Kenngrössen für die Neubemessung wie auch für die Beurteilung des Istzustandes ermittelt werden. CPT Versuche können rasch ausgeführt werden und sind kostengünstig.
- Die Methode nach Li-Selig scheint für feinkörnigen Untergrund gut geeignet und praxistauglich zu sein. Die meistens relevanten Einflussfaktoren können explizit berücksichtigt werden. Die Anwendung ist einfach und alle erforderlichen Werte könnten mit SCPTu-Sondierungen oder mit geschätzten Erfahrungswerten ermittelt werden.
- Die grössten Wissenslücken international bestehen im Bereich „Filter bei dynamischen Bahnbelastungen“, obwohl gerade in Australien seit einigen mit beträchtlichem Aufwand an sogenannten „constriction filters“ (= basierend auf dem Prozess der sich stabilisierenden Selbstfiltration) geforscht wird.

In der Praxis wird meist mit den Filterkriterien von Terzaghi/Casagrande gearbeitet, die vor vielen Jahrzehnten für Staudämme empirisch entwickelt wurden.

Der Filter ist ein ausserordentlich wichtiger Teil des Unterbaus. Ein nicht funktionierender Filter verursacht viele Probleme und grossen Sanierungsaufwand.

- Wo alle Publikationen gleicher Meinung sind, ist: das Wasser muss effektiv vom Planum weggeführt werden. Dies scheint der wichtigste Bemessungsratschlag quer durch alle Publikationen zu sein.

und

Die Foundationsschicht darf nicht mit Feinanteilen von unten (mud pumping) oder von oben verunreinigt werden. Feinanteile müssen in einem begrenzten Teil über dem Planum herausgefiltert werden und dürfen die Foundationsschicht darüber nicht verschmutzen.