Allianz Fahrweg Normalspur / Genfergasse 11, CH-3001 Bern / info@allianz-fahrweg.ch / allianz-fahrweg.ch

Railway Track Bed on Soft Soil

Eisenbahn auf weichem Boden
Chemin de fer sur sol mou

Version	Erstelldatum	Änderungen	Autor(en)	Freigabe
V1.0	06.02.2023	-	James Fern	FB FB, 06.09.23

ALLIANZ FAHRWEG

Inhaltsverzeichnis / Table of Contents

1 Management Summary 4

2 Ausgangslage & Ziel / Scope &Objectives 5

3 Herangehensweise / Methodology 5

4 Ergebnisse / Results & findings 5

4.1 The mechanics of soft soils 5
4.1.1 Traffic loads and stresses 6
4.1.2 Types of failures 8
4.1.3 Types of soft soil 9
4.2 Soft soils in Switzerland 16
4.2.1 Contractive fine-grained soils: Delta soils 16
4.2.2 Contractive organic soils: peats and organic silts and clays 19
4.2.3 Sensitive and collapsible soils 19
4.3 Current practice for assessing railway track beds on soft soil 19
4.3.1 DB Netz (D) 19
4.3.2 ProRail (NL) 21
4.3.3 CalTrans (USA) 21
4.4 Proposed assessment and methodology 23
4.4.2 Identification of soft soils 23
4.4.3 Assessment of ground mobilisation 27
4.4.4 Assessment of post-failure stability 29
4.4.5 Assessment of deformation and risk of damage 29
4.4.6 Design and evaluation of mitigation measures 29

5 Diskussion & Schlussfolgerungen / Discussion & Conclusion 30

Literaturverzeichnis | References 32

Appendix A: Assessment flow chat i

Appendix B: Assesment using (seismic) piezocones ii

Site conditions ii
Soil behaviour identification ii
Soil structure iii
Soil class v
Soil state vi
Soil stiffness vii
Static soil strength viii
Cyclic soil strength (fatigue-like failures) ix
Resonance xi

Abbildungsverzeichnis / List of Figures

Figure 1: Deformation patterns of the track bed, modified from Seed et al. (2003). 6
Figure 2: Illustration du schéma statique pour la résolution des équations de Boussinesq. 7
Figure 3: Bousinesq strip load stress distribution for a uniform load of 80 kPa over 2.50m:(a) vertical stresses and (b) shear stresses (single train). 7
Figure 4: Track bed subsoil failure modes. 8
Figure 5: Schematic representation of water pressure build-up due to railway traffic. 9
Figure 6: Stress paths of (a) flow liquefaction, (b) cyclic liquefaction and (c) cyclic mobility. 13
Figure 7: Shear strain thresholds for Swiss soils, data after Dysli et al. (2013) and figure after Vucetic (1994). 14
Figure 8: Plasticity and organic content of organic soils and peats. 15
Figure 9: Types of glacial soils, source: US National Park Service (public domain). 18
Figure 10: Geomorphological map of Switzerland, pink is glacial soil and green fluvial soil. 18
Figure 11: Thickness [in metres] of soil deposits in Switzerland. 18
Figure 12: DB Netz (2018a) first-order assessment charts for (a) organic soils and (b) inorganic soils. 20
Figure 13: Morphological map of a given study area. 23
Figure 14: SBTn chart and profile for Site A with organic silts and peat. iii
Figure 15: Example of varved soils at Site B. iv
Figure 16: Glacio-lacustrine soil at site C. v
Figure 17: Liquified organic silts and sands at Site D. vi
Figure 18: Delta soil at Site E. viii
Figure 19: Strength profiles at Site F. ix
Figure 20: Cyclic and liquefaction resistance at Site G. x

1 Management Summary

Much of the European railway network was built between 1850s and 1950s and, although the track has been renewed a few times, the subsoil remained in place. Over the past century, there has been a substantial increase in the number of train passages, train length and axle load for which the ageing network must be verified to guarantee the safety of the track bed, control maintenance costs and ensure the overall network quality. However, soil exists in many different types, forms and states which affect its mechanical behaviour. *Soft soils are soils which can undergo unacceptable deformation under conventional loads* and these soft soils must be identified. *There is no universal definition* to qualify a soil as soft and the main challenge of this project was to provide a comprehensive description of which soils in which state can deform in an unacceptable way, let aside the evolution of the mechanical characteristics with time and cyclic loading. *A cost-effective assessment method was then developed to categories the different sites and identify the needs for further verification of the track bed foundations.* This first-order assessment allows dedicating the financial and technical resources to the areas presenting a substantial geotechnical risk.

Ein Grossteil des europäischen Eisenbahnnetzes wurde zwischen den 1850er und 1950er Jahren gebaut, und obwohl die Gleise einige Male erneuert wurden, blieb der Untergrund erhalten. Im Laufe des letzten Jahrhunderts haben die Anzahl der Zugfahrten, die Zuglänge und die Achslast erheblich zugenommen, so dass das alternde Netz überprüft werden muss, um die Sicherheit des Gleisbetts zu gewährleisten, die Instandhaltungskosten zu kontrollieren und die Gesamtqualität des Netzes sicherzustellen. Es gibt jedoch viele verschiedene Arten, Formen und Zustände des Bodens, die sein mechanisches Verhalten beeinflussen. Weiche Böden sind Böden, die unter konventioneller Belastung eine unannehmbare Verformung erfahren können, und diese weichen Böden müssen identifiziert werden. Es gibt keine allgemeingültige Definition für die Einstufung eines Bodens als weich, und die grösste Herausforderung dieses Projekts bestand darin, eine umfassende Beschreibung dafür zu liefern, welche Böden sich in welchem Zustand in unannehmbarer Weise verformen können, ganz abgesehen von der Entwicklung der mechanischen Eigenschaften im Laufe der Zeit und bei zyklischer Belastung. Anschliessend wurde eine kosteneffiziente Bewertungsmethode entwickelt, um die verschiedenen Standorte zu kategorisieren und den Bedarf an weiteren Überprüfungen der Gleisbettfundamente zu ermitteln. Diese Bewertung erster Ordnung ermöglicht es, die finanziellen und technischen Ressourcen den Bereichen zu widmen, die ein erhebliches geotechnisches Risiko darstellen.

Une grande partie du réseau ferroviaire européen a été construite entre les années 1850 et 1950 et, bien que la voie ait été renouvelée à quelques reprises, le sous-sol est resté en place. Au cours du siècle dernier, il y a eu une augmentation du nombre de passages de trains, de la longueur des trains et de la charge à l'essieu pour lesquels le réseau vieillissant doit être vérifié afin de garantir la sécurité de la voie, de contrôler les coûts d'entretien et d'assurer la qualité globale du réseau. Cependant, le sol existe sous de nombreux types, formes et états qui affectent son comportement mécanique. Les sols mous sont des sols qui peuvent subir une déformation inacceptable sous des charges conventionnelles et ces sols mous doivent être identifiés. Il n'existe pas de définition universelle pour qualifier un sol de mou et le principal défi de ce projet était de fournir une description complète de ces sols. Une méthode d'évaluation rentable a ensuite été développée pour classer les différents sites et identifier les besoins de vérifications supplémentaires des fondations de la voie ferrée. Cette évaluation de premier ordre permet de consacrer les ressources financières et techniques aux zones présentant un risque géotechnique substantiel.