

AFFIDAVIT

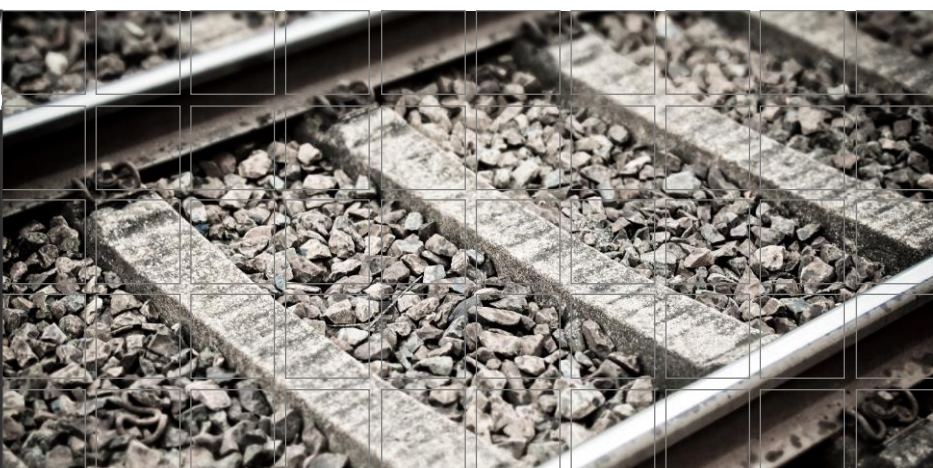
I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

22.03.2019

Date



Signature



Ballast Evaluation as Part of Tamping Measures

Master 's Thesis

Submission March 2019

Stefan Offenbacher
BSc
01330203
stefan.offenbacher@tugraz.at

Supervisor:
Matthias Landgraf
Dipl.-Ing. Dr.techn.
m.landgraf@tugraz.at

Second supervisor:
Johannes Neuhold
Dipl.-Ing. Dipl.-Ing.
johannes.neuhold@tugraz.at



Acknowledgements

I would first like to thank Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Veit, not only for providing me the opportunity to write a master's thesis at the Institute of Railway Engineering and Transport Economy, but also for admitting me to your great team as student project employee. Everything I have learned and experienced since I started this job is as invaluable as the grown friendships with my colleagues.

A very special thank appertains to my mentor and supervisor Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias Landgraf. I am deeply grateful for all your support, for sharing your knowledge of railway engineering and backing me up in any situation. I am equally thankful to my second supervisor, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Johannes Neuhold. Thank you for always taking your time and instantly answering my questions, no matter the time of the day or the day of the week. The same applies to the entire team at the institute.

Finally, I would like to thank my family who supported me through my entire life and enabled my studies in the first place. Without the absolute support of my parents Gerlinde and Michael, I would not be who and where I am today (in a positive sense). Also thank you to my brother Michael, who I always have looked up and will look up to.

Abstract

In combination with rails and sleepers, track ballast forms the superstructure of most railway lines. Its condition is influenced by many factors, e.g. cumulated tonnage, and therefore varies heavily. Poor ballast condition combined with high loads of train operation almost always causes issues with track geometry. These are generally met by lifting, realigning and tamping the respective sections.

This master's thesis deals with data measured during such track works. Sensors mounted on tamping tines record different parameters. These are compared with prevailing ballast condition, known from other evaluation methodologies. As the tamping tines come in contact with the ballast bed during the tamping process, the measurements are expected to reflect its current condition. These findings can provide additional information for infrastructure managers who need to know the state of their network. Furthermore, these data enable optimization of tamping machine settings in consideration of different ballast conditions. Eventually, condition based tamping processes will be possible, with machine settings automatically adjusting to current ballast condition. This should improve track quality and sustainability of maintenance works.

The analyses of this study provide evidence of a connection between ballast condition and tamping machine recordings. Although further surveys using more data to erase any uncertainties are advisable, the possibility to determine ballast condition with tamping machines and modify settings accordingly, exists.

Kurzfassung

Die meisten Bahnstrecken weltweit werden mit Schotteroberbau ausgeführt, bestehend aus Schienen, Schwellen und dem Gleisschotter. Der Zustand des Gleisschotters wird von vielen Randbedingungen, wie zum Beispiel der kumulativen Verkehrsbelastung, beeinflusst, weshalb er netzweit starken Schwankungen unterliegt. Dieser Zustand beeinträchtigt seinerseits die Gleislagequalität maßgeblich. Verschmutzter Bahnschotter führt in Kombination mit hohen Achslasten von Zügen zwangsweise zu einer Verschlechterung der Gleisgeometrie. Um sicheren und reibungslosen Betrieb gewährleisten zu können, muss daher von Zeit zu Zeit eine Korrektur der Gleislage vorgenommen werden. Dieser Instandhaltungsprozess inkludiert Heben, Richten und Unterstopfen des Gleisrostes, um ein definiertes Schwellenauflager wiederherzustellen.

Im Zuge dieser Masterarbeit werden Messdaten analysiert, die während Stopfeinsätzen von mit Sensoren ausgestatteten Stopfpickeln aufgezeichnet wurden. Auf Grund des direkten Kontakts zwischen Stopfpickel und Gleisschotter wird ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Parametern und der Schotterverschmutzung angenommen. Anschließend werden die Daten mit dem Schotterzustand auf den bearbeiteten Streckenabschnitten, welcher mittels valider Methoden evaluiert wurde, abgeglichen. Sind Zusammenhänge erkennbar, können die gewonnenen Kenntnisse in Zukunft einerseits zusätzliche Informationen für Infrastrukturbetreiber liefern und andererseits dazu verwendet werden, den gesamten Stopfprozess weiterzuentwickeln, beziehungsweise für unterschiedliche Schotterzustände zu optimieren. Auch eine automatische Adjustierung von Stopfparametern entsprechend dem aktuell erfassten Schotterzustand und eine damit einhergehend bessere und nachhaltigere Gleislagequalität soll damit ermöglicht werden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eindeutig, dass eine Korrelation zwischen den aufgezeichneten Messwerten und Schotterzuständen besteht. Dennoch sind weitergehende Analysen, basierend auf einer größeren Anzahl von Stopfeinsätzen und damit größeren Datenmengen, empfehlenswert, um Unsicherheiten und Schwankungen in den verwendeten Daten zu eliminieren.

Table of Contents

1	Introduction, Structure and Aim	1
1.1	Introduction	1
1.2	Aim and Structure.....	2
2	Track Ballast.....	4
2.1	Superstructure	4
2.1.1	Slab Track.....	5
2.1.2	Ballasted Track	6
2.2	Elasticity and Load Distribution of Ballasted Track.....	7
2.3	Ballast Fouling.....	9
2.3.1	External Input.....	10
2.3.2	Train Operation and Maintenance	10
2.3.3	Substructure Particles	11
2.4	Evaluation of Ballast Condition	12
2.4.1	Ground Penetrating Radar	12
2.4.2	Fractal Analysis	13
3	Tamping.....	16
3.1	Tamping – Historical Overview	16
3.2	Levelling, Lining and Tamping	19
3.2.1	Measuring System	19
3.2.2	Tamping Process	20
3.3	Tamping Parameters	21
3.3.1	Lifting Height.....	22
3.3.2	Tamping Depth	22
3.3.3	Tamping Tine Oscillation	22
3.3.4	Squeezing Velocity and Squeezing Time	23
3.3.5	Tamping Force	23
3.4	Track Refurbishing Train	24
4	Data Sources	26
4.1	Infrastructure Data	26
4.2	Tamping Data	29
5	Data Preparation and Connection	33
5.1	Preparation of Infrastructure Data	33
5.1.1	Asset Data and Machine Actions	33
5.1.2	Ground Penetrating Radar	34
5.1.3	Fractal Analyses	34
5.2	Preparation of Tamping Data.....	36
5.3	Connecting the Data Sets	38
5.4	Treatment of Extreme Values	40
6	Data Analysis and General Results.....	42
6.1	Evaluation of GPS Data.....	42
6.2	Comparison of Literature and Tamping Data.....	43
6.2.1	Squeezing Time	44
6.2.2	Squeezing Velocity	44
6.3	Analysis of Infrastructure Data	46
6.3.1	Asset Data.....	46
6.3.2	Ground Penetrating Radar	47
6.3.3	Fractal Data.....	48

Table of Contents

6.3.4	Ground Penetrating Radar vs. Fractal Analysis	49
6.3.5	Ballast Condition Figure.....	50
6.4	Analysis of Tamping Data	53
7	Ballast Condition Assessment via Tamping Data	54
7.1	Evaluation of Tamping and Sleeper Types	54
7.2	Evaluation of Ballast Condition (Concrete Sleepers).....	56
7.3	Evaluation of Ballast Condition (Wooden Sleepers).....	57
7.4	Comparison of Squeezing Time and Ballast Condition	59
7.5	Summary and Discussion of the Results.....	60
7.6	Parameter Suitability for Ballast Assessment	63
8	Conclusion and Prospects	66