

Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen

Analyse des Gleisverhaltens am Einzelquerschnitt

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der technischen Wissenschaften
an der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Graz

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Jochen Holzfeind

Begutachter:

o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Klaus Rießberger**
Technische Universität Graz
Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Bernhard Lichtberger**
Plasser & Theurer, Linz
Forschungs- & Versuchsabteilung

Kurzfassung

Eisenbahngleise auf Schotterbett verformen sich unter Betrieb bleibend und werden von Zeit zu Zeit in ihrer geometrischen Lage durch Instandhaltungsarbeiten verbessert. Eine Optimierung der Fahrweginstandhaltung über den erreichten Stand hinaus erfordert die Verfolgung der Entwicklung der Gleisgeometrie und die Auswirkung von bereits gesetzten Maßnahmen. Dies ist nur möglich, wenn das Qualitätsverhalten für die jeweils vorliegenden, spezifischen Randbedingungen abschätzbar wird.

Im Zeitalter kostengünstiger Speichermedien und ausgereifter Messfahrzeuge bietet sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse von Messfahrten über mehrere Jahre die Möglichkeit der Verfolgung des Qualitätsverhaltens des Gleises über die Zeit. Eine sinnvolle Auswertung der darauf basierenden und im Zuge der vorliegenden Arbeit errechneten Verschlechterungsfunktionen wird erst durch die Einführung „Homogener Bereiche“, deren Merkmal gleiche Einflussparameter sind, möglich.

Auf Basis dieser Betrachtungsweise wird in der vorliegenden Dissertation eine kritische Analyse der Aussagekraft von Qualitätsziffern zur Beschreibung des Qualitätsverhaltens von Gleisen durchgeführt. Der Vorschlag einer einzelnen, aussagekräftigen Qualitätsziffer wird erläutert.

Das Kernthema der Dissertation jedoch ist die Klärung des in dieser Arbeit nachgewiesenen unterschiedlichen Verschlechterungsverhaltens von Gleisen innerhalb „Homogener Bereiche“. Es wird gezeigt, dass längst nicht alle Einflussparameter auf das Verschlechterungsverhalten des Gleises in die bisherigen Betrachtungsweisen eingeflossen sind. Im Zuge der vorliegenden Dissertation werden für die Gleiskomponenten Schotter, Untergrund und Entwässerung Parameterkennwerte definiert und deren maßgeblicher Einfluss auf bzw. Zusammenhang mit dem Verschlechterungsverhalten des Gleises aufgezeigt. Außerdem werden Erkenntnisse über zu frühes Eingreifen gewonnen („Effekt zu frühen Stopfens“) und damit eine Voraussetzung zur Bestimmung optimaler Instandhaltungszeitpunkte geschaffen. Der Effekt des Erinnerungsvermögens von Gleisen auch über eine stattgefundenen Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes hinaus wurde ebenso geklärt wie auch die Ursachen verschiedener im Zuge von Gleisneulagen erzielter Qualitäten identifiziert wurden.

Abgeschlossen wird die Dissertation mit Schlussfolgerungen und Empfehlungen sowie einem Ausblick auf noch zu untersuchende Themenbereiche für eine stetige Weiterentwicklung der Technologien für den Bau und die Erhaltung von Eisenbahngleisen auf Schotterbett.

Abstract

For the Predictability of Track Quality Behaviour –
Analysis of Track Behaviour in Individual Cross-Sections

Railway tracks on a ballast bed deform under operating consistently and will be improved in its geometric position by maintenance work from time to time. Extensively optimising infrastructure maintenance also requires us to consider long-term effects on measures implemented. This is only feasible, however, when an estimate of track-quality behaviour can be made for each of the specific conditions. Fortunately, in an age of cost-effective data-storage devices and well-developed measurement equipment, we can use the available history of measurement trips to examine track-quality behaviour over time.

On this basis, degradation curves have been calculated, though a reasonable analysis of these curves is only possible if "homogeneous areas" are introduced, characterised by common influence parameters. On the basis of this observation, in the present thesis, growing out of general principles and preliminary work a critical analysis of the informational validity of quality ratings in describing track-quality behaviour will be performed. Finally, a single significant quality rating will be proposed as a solution.

However, the central topic of this work is the differential track-degradation process as documented within these "homogeneous areas" – the research findings have shown that in considerable measure not all influences on track-degradation have been accounted for in previous approaches.

During this doctoral thesis it has been possible to define parameters for the components ballast, subsoil and drainage and to demonstrate their significant impact on or association with track-deterioration. Additionally, information on too early intervention, as seen in the effect of "too early tamping", has helped to provide a prerequisite for determining optimal intervention times for maintenance. Not only has the effect of "track memory", lasting beyond subsoil rehabilitation, been clarified, but also causes of achievable qualities in the course of re-investment have been identified.

The doctoral thesis closes with final conclusions and recommendations and a preview of areas in which research needs to be carried out to provide a steady development of technologies for the construction and maintenance of railway tracks on a ballast bed.

Inhaltsverzeichnis

0. EINLEITUNG	1
0.1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER BEHANDELTEN THEMATIK	1
0.1.1. DER KREISLAUF DER GLEISLAGEQUALITÄT	1
0.1.2. DER WIRTSCHAFTLICHE FAKTOR BEI INSTANDHALTUNG UND RE-INVESTITION	2
0.1.3. VERTIEFTE BETRACHTUNG DES QUALITÄTSVERHALTENS VON GLEISEN DURCH FORSCHUNG	2
0.2. QUALITÄTSKONTROLLE VON SCHOTTERGLEISEN	2
0.2.1. REAKTIVE INSTANDHALTUNG VS. PRÄVENTIVE INSTANDHALTUNG	3
0.3. ZIELSETZUNG DIESER ARBEIT	3
0.3.1. POTENTIAL VORHANDENER MESSDATEN UND ZIEL DIESER ARBEIT	3
0.4. AUFBAU DER ARBEIT	3
0.4.1. GLIEDERUNG DER ARBEIT IN FÜNF ARBEITSPAKETE	3
1. BASISDATEN UND WERKZEUGE ALS GRUNDLAGE ZUR FORSCHUNG[4]	5
1.1. EINGANGSDATEN	5
1.2. TUG-DATENBANK	6
1.2.1. STRUKTUR DER TUG-DATENBANK	6
1.2.2. INHALT DER TUG-DATENBANK	7
1.3. ERWEITERUNG DER TUG-DATENBANK	8
1.3.1. BETRACHTETE QUALITÄTSKENNZIFFERN	8
1.3.2. VERSCHLECHTERUNGSVERHALTEN DER GLEISLAGEQUALITÄT	9
1.3.3. VERSCHLECHTERUNGSFUNKTION	10
1.3.4. MATHEMATISCHE THEORIE - REGRESSION	10
1.3.5. ANWENDUNG DER THEORIE AUF DIE E-FUNKTION	11
1.3.6. NETZWEITE UMSETZUNG	13
1.3.7. NACHWEIS DER DURCHSCHNITTLICHEN ANPASSUNG	14
1.3.8. ERWEITERUNG DER TUG-DATENBANK	14
1.3.9. DIREKTE AUSWERTUNGSMÖGLICHKEITEN	16
1.4. ANALYSEWEG – ANALYSETOOLS DER TUG-DATENBANK	16
1.4.1. SEGMENTIERUNG DER DATEN	16
1.4.2. ANALYSE-TOOLS UND ANWENDUNGSBEREICHE	18
1.4.3. ANALYSEWEG – AUFTEILUNG IN ZWEI ARBEITEN	19
2. BESCHREIBUNG DER QUALITÄT DES GLEISES - GLEISLAGEQUALITÄT	20
2.1. ALLGEMEINES ZUR DARSTELLUNG DER GLEISLAGEQUALITÄT	20
2.1.1. QUALITÄTSZIFFERN ZUR BESCHREIBUNG DER GLEISLAGEQUALITÄT	20
2.1.2. AUSSAGEKRAFT EINER QUALITÄTSZIFFER	20
2.2. ERKENNTNISSE AUS DER BETRACHTUNG VON QUALITÄTSZIFFERN	23
2.2.1. ZUSAMMENFASSUNG - QUALITÄTSZIFFER	23
3. DETAILBETRACHTUNG NETZWEIT NOCH NICHT ERFASSTER PARAMETER	24
3.1. ALLGEMEINES ZUR VORGEHENSWEISE	24
3.1.1. ABGRENZUNG NETZWEIT BEREITS ERFASSTER PARAMETER	24

3.1.2.	STABILITÄT DES VERSCHLECHTERUNGSVERHALTENS INNERHALB EINER „GÜLTIGEN LÄNGE“	25
-	Erwartetes Verhalten nach Gleichstellung aller Parameter	25
-	Das reale Verhalten nach Gleichstellung aller derzeit bekannten Parameter	26
-	Zusammenfassung der ersten Erkenntnisse	27
3.1.3.	AUSWAHL VERGLEICHBARER VERSCHLECHTERUNGSKURVEN EINER „GÜLTIGEN LÄNGE“	27
-	Allgemeine Beschreibung des Tools „Grafische Auswertung“	27
-	Verwendung der „Grafischen Auswertung“ – Auswahl und Analyse von Querschnittsfolgen (QS-Folgen)	28
-	Zusammenführen der Werte der Einzelquerschnitte in einen repräsentativen Wert der QS-Folge mit dem Tool „Numerische Auswertung“	30
-	Darstellung des Verlaufs der Gleislagequalität bzw. Verschlechterungsrate b der betrachteten QS-Folgen über die Zeit im „Qualität-Zeit-Diagramm“	31
3.1.4.	VEREINFACHUNG FÜR DIE VERGLEICHBARKEIT VON QS-FOLGEN	32
-	Einflussfaktoren auf die Ausgangsqualität Q_0 der errechneten Verschlechterungskurve	32
-	Reduktion auf gleiche Ausgangsqualität Q_0 für eine bessere Vergleichbarkeit betrachteter QS-Folgen	33
-	Theorie des Verhaltens der Verschlechterungsrate b durch Gleichsetzen der Ausgangsqualität Q_0	34
-	Analyse der Verschlechterungsrate b mit dem „Qualität-Zeit-Diagramm“	34
3.1.5.	ERHEBUNG ZUSÄTZLICHER DATEN ZUR ERWEITERUNG DER ANALYSEUNTERLAGEN	35
-	Impulsgeber und Ideenlieferanten für zusätzlich zu untersuchende Einflussparameter	36
3.2. DER PARAMETER GLEISSCHOTTER		38
3.2.1.	ABGRENZUNG DER UNTERSUCHUNG DES PARAMETERS GLEISSCHOTTER	38
-	Abgrenzung zu den bisherigen Untersuchungen des Gleisschotters	38
-	Lastabtragung bzw. Kraftfluss vom Rad zum Untergrund	40
-	Abgrenzung dieser Betrachtung des Schotters und getroffene Annahmen	40
3.2.2.	QUALITÄTSKENNWERTE DES PARAMETERS GLEISSCHOTTER	40
-	Normen- und Regelwerk ÖNORM EN13450 und BH700 der ÖBB	41
-	Verfügbare Qualitätskennwerte für Gleisschotter	41
3.2.3.	ANNAHMEN UND VEREINFACHUNGEN	44
-	Basis der Annahmen und Vereinfachungen	44
3.2.4.	PARAMETERKENNWERT SIEBLINIE	50
-	Bewertungsschema der Sieblinienklassen laut ÖBB	50
-	Suche nach repräsentativen Querschnitten und deren Analyse	52
-	Detailbetrachtung der ausgewählten, repräsentativen Querschnitte	54
-	Überprüfung der aufgestellten These für Granit1	60
-	Verifikation der These durch Betrachtung der Sieblinienklassen der Gesteinsart Granit2:	61
-	Verifikation der These durch Betrachtung der Sieblinienklassen der Gesteinsart Serpentin:	62
3.2.5.	PARAMETERKENNWERT GESTEINSART	63
-	Suche nach repräsentativen Querschnitten und deren Analyse	63
-	Detailbetrachtung der ausgewählten, repräsentativen Querschnitte	66
-	Untersuchung der Gesteinsarten Granit1, Granit3 und Porphyrit	69
-	Überprüfung der aufgestellten Reihung für Granit1, Granit3 und Porphyrit	71
-	Untersuchung der Gesteinsart Granit2	72
-	Untersuchung der Gesteinsart Serpentin	75
3.3. DER PARAMETER UNTERBAU		80
3.3.1.	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG UND ABGRENZUNG	80
3.4. DER PARAMETER UNTERGRUND		82
3.4.1.	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG	82

3.4.2.	EINFLUSSPARAMETER DAMM/EINSCHNITT	83
3.4.3.	EINFLUSSPARAMETER BEI UNTERGRUNDSANIERUNG	84
-	These: Lärmschutzwand als Einflussparameter	88
-	Verifizierung des gefundenen Zusammenhangs	92
-	Seitliche Dammlage als Einflussparameter	95
-	Theoretische Überprüfung der aufgestellten These des „Badewannen-Effekts“	97
3.4.4.	NEUER PARAMETERKENNWERT - VERFORMUNGSMODUL	98
-	Ermittlung des Statischen Verformungsmoduls (E_{v2})	98
-	Ermittlung des dynamischen Verformungsmoduls (E_{vd})	99
-	Zusammenhang zwischen dynamischen Verformungsmodul E_{vd} und errechneter Verschlechterungsrate b	101
-	Nachweis des neuen Parameterkennwertes dynamischer Verformungsmodul $E_{vd,erd}$	102
-	Bodenmechanische Untersuchungen der entnommenen Bodenproben hinsichtlich deren Zusammensetzung und Wasserdurchlässigkeit	104
-	Zusammenhang netzweiter Informationen über Verformungsmodul E_v mit der Verschlechterungsrate b	109
3.4.5.	NACHWEIS DER GRENZKURVE	110
-	Parameterscharfe Darstellung des Zusammenhangs	111
-	Parameterkennwert Oberbau (Schiene und Schwelle) bei Untergrund mit geringem $E_{vd,erd}$	112
-	Effektivität der Drainagewirkung	114
3.5. ERGÄNZUNG ZU PARAMETERKENNWERT GESTEINSART (KAPITEL 3.2.5)		118
3.5.1.	VERLAUF DER VERSCHLECHTERUNGSRATE B	118
3.5.2.	NUMERISCHE DARSTELLUNG DER GEWÄHLTEN QUERSCHNITTSFOLGEN	118
3.5.3.	DARSTELLUNG IM QUALITÄT – ZEIT – DIAGRAMM	120
-	Bestätigung des Parameters Entfernung Packlage	121
3.6. ERGEBNISSE DER PARAMETERBETRACHTUNG		122
-	Schotter	122
-	Drainage	123
-	Untergrund	123
4. EINFLÜSSE MASCHINENEINSATZ		124
4.1. NEULAGE MIT AHM UND SUZ-EINSATZ		124
4.1.1.	EFFEKT UNTERSCHIEDLICHER VERBESSERUNG	124
-	Untersuchung des Effektes der unterschiedlichen Verbesserung	124
-	Streuung des Verbesserungserfolges Δb nach AHMSUZ-Einsatz	124
-	Zusammenhang aus der Betrachtung der Ausgangsqualität Q_0 und Verschlechterungsrate b	125
-	Suche nach einem Parameterkennwert der in Zusammenhang mit dem unterschiedlichen Verhalten steht	126
-	Überprüfung des Effekts der unterschiedlichen Verbesserung mit Hilfe der ermittelten Grenzkurve für $E_{vd,erd}$	127
-	Parameterkennwert für die unterschiedliche Verbesserung	127
4.1.2.	EFFEKT ERINNERUNGSVERMÖGEN	128
-	Unterschiedliche Verbesserung und Erinnerungsvermögen	129
-	Zusammenhang Verbesserung mit Parameterkennwert $E_{vd,erd}$	130
4.2. EFFEKT VON QUALITÄTSKORREKTUR MIT MDZ-EINSATZ		130
4.2.1.	EFFEKT ZU FRÜHEN STOPFENS	131
4.3. ERGEBNISSE AUS DER BETRACHTUNG DES EINFLUSSES VON MASCHINENEINSÄTZEN		136
-	Effekte bei gleisgebundener Neulage mit Untergrundsanierung	136

- Effekt bei Qualitätskorrektur durch MDZ-Einsatz	136
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	137
- Qualitätsziffer	137
- Parameterkennwerte Sieblinienklasse und Gesteinsart	137
- Effekt der Entfernung einer Packlage	139
- Parameter Entwässerung	139
- Parameter Untergrund	141
- Effektivität der Drainagewirkung	141
- Parameterkennwert dynamischer Verformungsmodul $E_{vd,erd}$	141
- Effekt des Erinnerungsvermögens	143
- Effekt des zu frühen Stopfens	144
6. AUSBLICK	145
7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	I
8. LITERATURVERZEICHNIS	VI