



Qualitätsverhalten von Gleisen

Quality Behaviour of Track

Betriebsverfahren im Schienenverkehr – eine strukturelle und funktionale Analyse

Operating Procedures in Railway Traffic – a Structural and Functional Analysis

Fragen zum CHUO Shinkansen-Projekt in Japan

Questions concerning the CHUO Shinkansen-Project in Japan



Erfahrungen über das Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg im Hochgeschwindigkeitsverkehr bei der Deutschen Bahn AG

Experience of Deutsche Bahn AG in vehicle track interaction in high speed traffic

Systemtechnik für die Sicherheitsbeleuchtung in Eisenbahntunneln der Deutschen Bahn AG

System equipment for emergency lighting in railway tunnels of Deutsche Bahn AG



Der TGV POS in Deutschland – eine Bestandsaufnahme

The TGV POS in Germany – a status

Entwicklung eines neuen Eisenbahnlärm-Berechnungsinstruments in der Schweiz – Projektmanagement sonRAIL

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Adolf Müller-Hellmann
Hauptgeschäftsführer Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln
Dr. Karl-Friedrich Rausch, Vorstand Personenverkehr DB AG, Berlin
o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Rießberger
TU Graz
Dipl.-Ing. Hans M. Schabert, Vorsitzender des Bereichsvorstands Siemens AG Transportation Systems, Erlangen/Berlin

Redaktion

Chefredakteur:

Dipl.-Ing. Eckhard Scheunemann
Warthestraße 7, 32427 Minden
Tel. (05 71) 5 41 13
E-Mail: eckhard.scheunemann@zevrail.de

Fachredakteure

Dipl.-Ing. Manfred Benzenberg
Waldschmidtstraße 19, 82327 Tutzing
Tel. (0 81 58) 82 11, Fax (0 81 58) 99 38 02
E-Mail: manfred.benzenberg@zevrail.de

Dipl.-Ing. Werner Dück
Handjerystraße 19, 12489 Berlin
Tel./Fax (0 30) 6 77 32 00
E-Mail: werner.dueck@zevrail.de

Prof. Dr. rer. nat. Günther Schulz
Fachhochschule Südwestfalen
Haldener Straße 182, 58095 Hagen
Tel. (0 23 31) 9 87 25 65, Fax (0 23 31) 9 87 40 31
Tel. privat (05 71) 3 49 00
E-Mail: guenther.schulz@zevrail.de

Dipl.-Ing. Jan Schwinges
Siemens AG, TS LM EN
Krauss-Maffei-Straße 2, 80997 München
Tel. (0 89) 88 99-47 91, Fax (0 89) 88 99-32 59
E-Mail: jan.schwinges@zevrail.de

Organ

der Deutschen Maschinentechnischen Gesellschaft (DMG)

Fachwissenschaftlicher Beirat

Dipl.-Ing. Bringfried Belter, DB Netz AG, Leiter GE Zugbildungs- und -behandlungsanlagen (I. NBZ), Frankfurt am Main

Paul Blumenthal, Leiter Personenverkehr SBB AG, Bern

Michael Daum, Vorsitzender Geschäftsführung Stadler Pankow GmbH, Berlin

o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Torsten Dellmann, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Eckart Fricke, Railion Deutschland AG, Vorstand Produktion Einzelwagenverkehr (L. RE), Mainz

Dipl.-Ing. Wolfgang Gemeinhardt, Usingen

Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht, TU Berlin

Dipl.-Ing. Axel-Björn Hüper, DB ProjektBau GmbH, Vorsitzender der Geschäftsführung (I.B.), Berlin

Dipl.-Ing. Klaus Junker, DB AG, Bevollmächtigter des Vorstands für Eisenbahnbetrieb (VB), Berlin

Dr.-Ing. Ralf Kaminsky, Siemens AG, Industry Sector/Mobility, Braunschweig

Dr.-Ing. Volker Kefer, DB Netz AG, Vorsitzender des Vorstands (I.N), Frankfurt am Main
Joachim Kettner, Deutsche Bahn AG, Leiter Umweltschutz, Berlin

Dipl.-Ing. Eberhard Kill, Rathsberg

Dipl.-Ing. Dieter Klingler, Max Bögl Bauunternehmungen, Neumarkt

Dr.-Ing. Dieter Klumpp, Leiter ALSTOM-Konzernrepräsentanz, Berlin

Dr. Rolf-Dieter Krächter, Geschäftsführer Pintsch-Bamag, Antriebs- und Verkehrstechnik GmbH, Dinslaken

Dipl.-Ing. Hinrich Krey, Geschäftsführer Voith Turbo Lokomotivtechnik GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Hans-Peter Lang, DB AG, Leiter DB-Systemtechnik (TZ), Minden

Ir. Richard S. de Leeuw, NS Reizigers BV, Utrecht

Hans Leibbrand, Alcatel SEL AG, Stuttgart

o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Leykauf, TU München

Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Lichtberger, Plasser & Theurer, Linz

Prof. Dr.-Ing. Günter Löffler, TU Dresden

Dipl.-Ing. Dietmar Lübke, Kirchheim

Prof. Dr.-Ing. Peter Mnich, TU Berlin

Dipl.-Ing. Andreas Müller, DB AG, Technik/Beschaffung, Leiter Produktbereich Elektrotechnik, Telekommunikation und Sicherungstechnik (TT), Frankfurt am Main

Dr. Roman Müller, Bombardier Transportation, Berlin

Dipl.-Ing. Thomas Necker, Vorstand Betrieb Berliner Verkehrsbetriebe, Berlin

o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachtl, TU Braunschweig

Dr. Peter Pointner, voestalpine Schienen GmbH, Leoben

Dr. Klaus Roleff, DB AG, Technik/Beschaffung, Leiter Strategie/Systemverbund (TD), Frankfurt am Main

Dr.-Ing. Wolfgang Schlosser, Mitglied der Geschäftsführung Knorr-Bremse GmbH, München

Dr. rer. nat. Rainer Schmidberger, München

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rolf Schraut, Mönchengladbach

Dipl.-Ing. Axel Schuppe, Geschäftsführer Verband der Bahnindustrie in Deutschland e.V. (VDB), Berlin

Prof. Dr.-Ing. Thomas Siefer, Universität Hannover

o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Siegmann, TU Berlin

Dr.-Ing. Andreas Thomasch, Eisenbahnbundesamt, Bonn

Ulrich Thon, S-Bahn Berlin GmbH, Geschäftsführer Produktion

Dipl.-Ing. Wolfgang Tölsner, Chief Operating Officer (COO) Bombardier Transportation GmbH, Berlin

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Peter Veit, TU Graz

Thomas Weber, Geschäftsführer Vossloh Kiepe GmbH, Düsseldorf

Dipl.-Ing. ETH. Theo Weiss, Bern

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Wendler, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Herwig Wiltberger, Leiter Traktion ÖBB, Wien

Dipl.-Ing. Hermann Wolters, Mainz

Dipl.-Volksw. Ivo Wolz, Geschäftsführer DMG, Wiesbaden

Verlag

Georg Siemens Verlag GmbH & Co. KG
Boothstraße 11, 12207 Berlin

Tel. (0 30) 76 99 04-0
Fax (0 30) 76 99 04-18
E-Mail: service@zevrail.de
www.zevrail.de

Postbank Berlin, Konto-Nr. 2 294-109
BLZ 100 100 10

Geschäftsführung:

Ass. jur. André Plambeck

Layout/Produktion:

Bernd Blumenstein, Tel. (0 30) 76 99 04-16
E-Mail: produktion@zevrail.de

Anzeigen/Vertrieb:

Sascha Plambeck, Tel. (0 30) 76 99 04-13
E-Mail: anzeigen@zevrail.de

Leser- und Abonentenservice:

Tel. (0 30) 76 99 04-13, Fax (0 30) 76 99 04-18
E-Mail: service@zevrail.de

Preis dieses Heftes: 34,- €

Erscheinungsweise:
Die Jahresausgabe von ZEVrail Glasers Annalen besteht aus den monatlichen Ausgaben und einem umfangreichen Sonderheft. Alle 18 Monate erscheint exklusiv das Sonderheft „Offizieller Tagungsband Tagung Moderne Schienenfahrzeuge Graz – Austria“.

Bezugspreise:
Jahresabonnement Inland (inkl. MwSt.): 230,- €
Jahresabonnement EU mit Ust-IdNr./Ausland: 245,- €
Jahresabonnement EU ohne Ust-IdNr. (inkl. MwSt.): 254,- €
Einzelheft: 17,- €

Bezugsbedingungen:
Die Laufzeit des Abonnements beträgt mindestens ein Jahr. Das Abonnement kann durch schriftliche Kündigung beendet werden. Die Frist beträgt sechs Wochen zum Ende des Kalenderjahres. Bei Nichterscheinen der Zeitschrift ohne Verschulden des Verlages oder infolge höherer Gewalt kann der Verlag nicht haftbar gemacht werden.

Copyright:
Die Zeitschrift und die in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Verlages strafbar.

Druck: Meiling Druck, 39340 Haldensleben

ZEVrail Glasers Annalen erscheint 2008 im 132. Jahrgang.

ISSN 1618-8330



o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Torsten Dellmann

Editorial 209

Dipl.-Ing. Jochen Holzfeind, Dipl.-Ing. Robert Hummitzsch, Graz

Qualitätsverhalten von Gleisen 212

Quality Behaviour of Track

Dr.-Ing. Alexander Geistler, Mannheim, Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachtl, Braunschweig

Betriebsverfahren im Schienenverkehr – eine strukturelle und funktionale Analyse 225

Operating Procedures in Railway Traffic – a Structural and Functional Analysis

Dipl.-Ing. Sven Andersen, Düsseldorf

Fragen zum CHUO Shinkansen-Projekt in Japan 232

Questions concerning the CHUO Shinkansen-Project in Japan

Dr.-Ing. Manfred Zacher, München

Erfahrungen über das Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg im Hochgeschwindigkeitsverkehr bei der Deutschen Bahn AG 241

Experience of Deutsche Bahn AG in vehicle track interaction in high speed traffic

Dipl.-Ing. Arnd Konze, Dipl.-Ing. Jörg Benninghoff, Dinslaken

Systemtechnik für die Sicherheitsbeleuchtung in Eisenbahntunneln der Deutschen Bahn AG 250

System equipment for emergency lighting in railway tunnels of Deutsche Bahn AG

Dipl.-Ing. Frank Feuchter, München

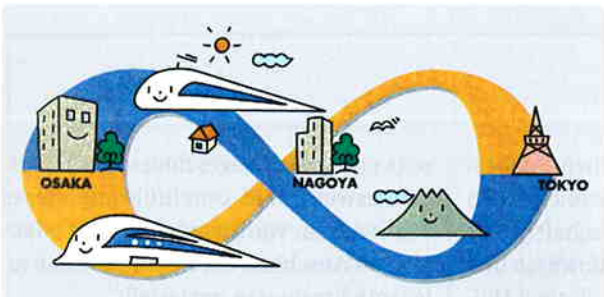
Der TGV POS in Deutschland – eine Bestandsaufnahme 256

The TGV POS in Germany – a status

Drangu Sehu, Bern, Thomas Thron, Berlin

Entwicklung eines neuen Eisenbahnlärm-Berechnungsinstruments in der Schweiz – Projektmanagement sonRAIL 261

Nachrichten und Termine 265



o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Torsten Dellmann

Editorial 209

Dipl.-Ing. Jochen Holzfeind, Dipl.-Ing. Robert Hummitzsch, Graz

Qualitätsverhalten von Gleisen 212

Quality Behaviour of Track

Dr.-Ing. Alexander Geistler, Mannheim, Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht, Braunschweig

Betriebsverfahren im Schienenverkehr – eine strukturelle und funktionale Analyse 225

Operating Procedures in Railway Traffic – a Structural and Functional Analysis

Dipl.-Ing. Sven Andersen, Düsseldorf

Fragen zum CHUO Shinkansen-Projekt in Japan 232

Questions concerning the CHUO Shinkansen-Project in Japan

Dr.-Ing. Manfred Zacher, München

Erfahrungen über das Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg im Hochgeschwindigkeitsverkehr bei der Deutschen Bahn AG 241

Experience of Deutsche Bahn AG in vehicle track interaction in high speed traffic

Dipl.-Ing. Arnd Konze, Dipl.-Ing. Jörg Benninghoff, Dinstlaken

Systemtechnik für die Sicherheitsbeleuchtung in Eisenbahntunneln der Deutschen Bahn AG 250

System equipment for emergency lighting in railway tunnels of Deutsche Bahn AG

Dipl.-Ing. Frank Feuchter, München

Der TGV POS in Deutschland – eine Bestandsaufnahme 256

The TGV POS in Germany – a status

Drangu Sehu, Bern, Thomas Thron, Berlin

Entwicklung eines neuen Eisenbahnlärm-Berechnungsinstruments in der Schweiz – Projektmanagement sonRAIL 261

Nachrichten und Termine 265

Qualitätsverhalten von Gleisen

Quality Behaviour of Track

Dipl.-Ing. Jochen Holzfeld, Dipl.-Ing. Robert Hummeltzsch, Graz

Zusammenfassung

Basis niedriger Lebenszykluskosten sind hohe Ausgangsqualität und entsprechende Instandhaltung, die eine spezifische Wahl der Eingriffsschwelle voraussetzt. Dazu muss das Verschlechterungsverhalten des Gleises bekannt sein. In Kooperation mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) und der Österreichischen Forschungsförderungs-gesellschaft (FFG) wird am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz eine Forschungsarbeit zum „Qualitätsverhalten von Gleisen“ durchgeführt. Die Vorarbeiten wurden mit der Erstellung einer Datenbank, bestehend aus sämtlichen netzweit vorhandenen Randbedingungen der Gleise abgeschlossen. Aus den vorhandenen Messwagendaten wurden im Rahmen des Projekts Verschlechterungsfunktionen für das Netz von 3772 km bestimmt (ca. 2,6 Mio. Funktionen). Durch Verknüpfung des spezifischen Verschlechterungsverhaltens mit den vorliegenden Randbedingungen konnte z. B. die Wirksamkeit des Stabilisierungstopfens nachgewiesen werden. Die Analysen zeigen weiterhin die Notwendigkeit, die Gleislaagequalität mittels Statusziffer und zugehöriger Verschlechterungsrate zu beschreiben.

Abstract

High initial quality and adequate maintenance lead to low lifecycle-costs. Track quality behaviour is the basic knowledge to identify optimised maintenance strategies. In cooperation with the Austrian Federal Railways (ÖBB) and the Austrian Research Fund (FFG) a research program named „Quality Behaviour of Track“ is executed at the Institute for Railway Engineering and Transport Economy at Graz University of Technology. The mathematical and statistical basis is already finished creating deterioration functions (2.6 mio. functions) of 3772 track-km and a multifunctional database. Combining specific deterioration functions with boundary conditions of track the efficiency of stabilising tamping could already be proved. The analyses further show that quality of track must be described by a status figure and its specific deterioration value.

1 Einleitung und Zielsetzung

Bei der Entwicklung von Fahrwegstrategien auf der Basis von Lebenszykluskosten zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit von einer hohen Gleisqualität abhängig ist [1]. Nur durch das richtige Zusammenspiel von Investition und Instandhaltung gelingt es, eine hohe Ausgangsqualität des Gleises tatsächlich in eine lange Lebensdauer umzusetzen. Die Festlegung eines Qualitätsgrenzwerts, welcher eine Instandhaltung erfordert, erlangt im Rahmen der Fahrwegoptimierung eine hohe Bedeutung. Um die damit beschriebene Eingriffsschwelle als „Optimierungsschraube“ anwenden zu können, muss allerdings das Verhalten des Gleises und vor allem seine Verschlechterung durch den Betrieb genau studiert werden. In Koopera-

tion mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) und der Österreichischen Forschungsförderungs-gesellschaft (FFG) wird am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der Technischen Universität Graz (TUG) an einer Forschungsarbeit zur Thematik „Qualitätsverhalten von Gleisen“ gearbeitet. Das erste Ziel der Forschung ist die mathematische Abbildung des generellen Verschlechterungsverhaltens sowie die Bestimmung spezifischer Verschlechterungsfunktionen von Querschnitten des Schienennetzes der ÖBB, welche die Qualitätskennwerte mit einer ausreichend hohen Genauigkeit beschreiben. Im Anschluss daran werden Zusammenhänge zwischen dem Verschlechterungsverhalten erforscht. Der erste Teil der Forschungsarbeit wurde be-

2 Vorgehensweise

Das Forschungsprojekt ist in folgende zwei Hauptteile gegliedert.

Teil 1: Mathematische Abbildung

- Eingangsdaten (Rohdaten, welche von Projektpartner ÖBB zur Verfügung gestellt wurden),
- TUG-Datenbank (Datenbasis für alle weiteren Untersuchungen),
- Verschlechterungsverhalten (theoretisches Modell und mathematische Um-

- setzung in Verschlechterungsfunktionen),
- Einbindung des Verschlechterungsverhaltens in das Modell der TUG für die Lebensdauer eines Gleises,
- Analyseweg - Analysetools (Vorgehensweise und Tools zum Analysieren der Daten) und
- erste Ergebnisse.

Teil 2: Zusammenhänge zwischen Parametern und Verschlechterungsverhalten

- Identifikation etwaiger zusätzlicher Parameter,
- funktionale Darstellung der Parameterinflüsse auf das Qualitätsverhalten,
- Verifizierung der Parameterzusammenhänge (lokal sowie netzweit-statistisch) und
- Implementierung der Erkenntnisse in ein Prognosemodell.

3 Eingangsdaten

Der Messwagen (EM250) der ÖBB befährt in regelmäßigen Abständen das österreichische Streckennetz [2]. Aus diesen Messfahrten resultieren unter anderem Informationen über die aktuelle Gleisla-

gequalität in Form der vertikalen Standardabweichung (SIGMA-h) und einer auf Beschleunigungsdifferenzen beruhenden Komfortziffer (MDZ-a).

Erst die Betrachtung dieser Informationen über einen Zeitraum ermöglicht es, das Qualitätsverhalten von Gleisen nachzuvollziehen. Da es aufgrund von Investitions- und Instandhaltungsmaßnahmen im Regelfall zu sprunghaften Verbesserungen der Gleislagequalität kommt, müssen auch Informationen über Zeitpunkt und Art der Maßnahmen betrachtet werden. Unter der Annahme, dass sich ein von Einbauten beeinflusstes Gleis nicht genau so verhält wie ein unbeeinflusstes, ist auch die Berücksichtigung von Bahnhöfen, Eisenbahnkreuzungen, Weichen, Brücken und Tunneln von Bedeutung.

Für die Suche nach „Zusammenhängen“ ist es außerdem notwendig, die das Gleis beschreibenden Randbedingungen zu kennen. Die derzeit betrachteten Randbedingungen betreffen die Streckenbelastung, Krümmung/Radius, Überhöhung, Geschwindigkeit, Längsneigung und den Oberbau (Art und Alter von Schienen und Schwellen). Diese für das Forschungsprojekt benötigten Basisdaten der letzten sie-

ben Jahre wurden von den ÖBB zur Verfügung gestellt.

4 TUG-Datenbank

Für eine optimale Nutzung der Vielzahl zur Verfügung gestellter Daten wurden diese in eine Datenbank überführt. Der Grundgedanke für die Struktur der TUG-Datenbank ist eine Zusammenfassung der ÖBB-Strecken in größtmögliche Abschnitte mit aufsteigender und vollständiger Kilometrierung (Bild 1). Bei der Zusammenfassung werden sämtliche Daten dieser Struktur unterworfen.

4.1 Struktur der TUG-Datenbank

Die höchste Ordnungsebene wird durch 20 Abschnitte gebildet. Jeder Abschnitt ist nach den durchgehenden Hauptgleisen unterteilt. In der darauf folgenden Ebene befinden sich nun sämtliche Daten der ÖBB, die der Kilometrierung nach stationiert sind. Mit dieser Struktur ist ein Erweitern der Datenbank in Hinblick auf das Hinzufügen von weiteren Abschnitten und/oder zusätzlichen, gleisbeschrei-

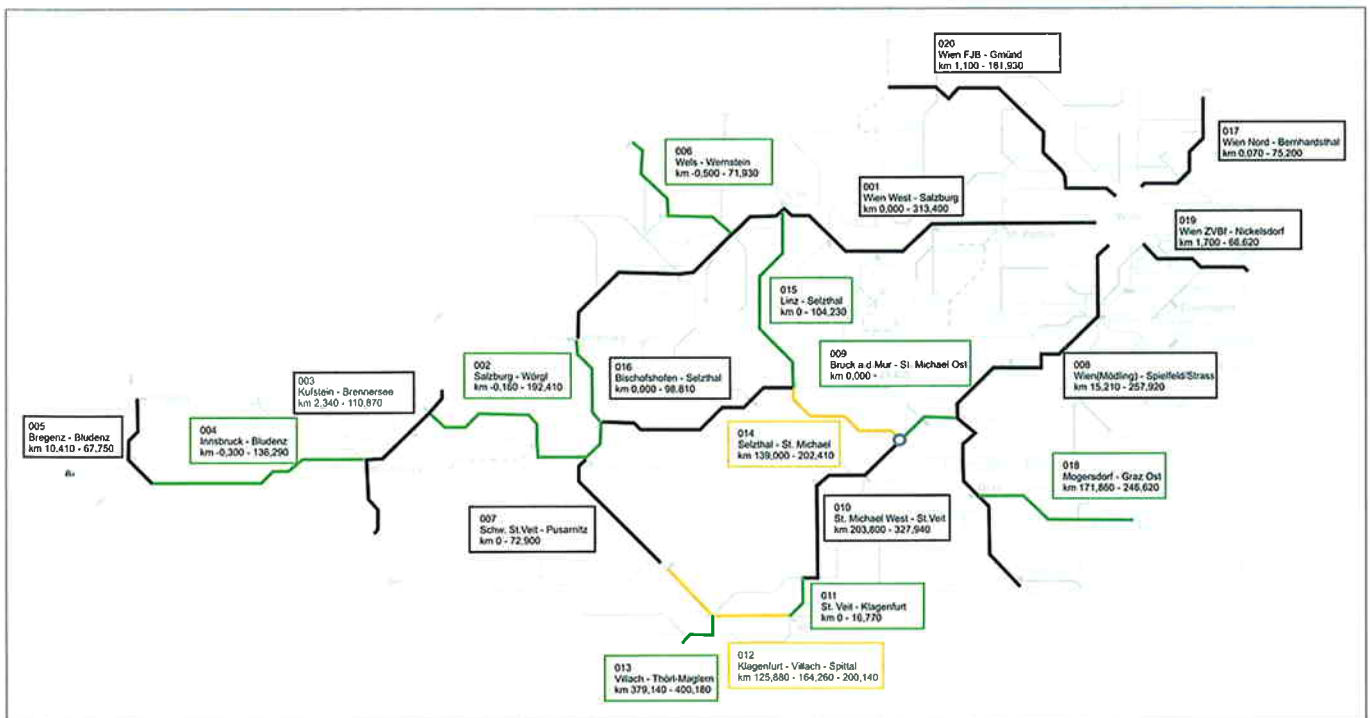


Bild 1: Übersicht der 20 Abschnitte der TUG-Datenbank

beden Informationen jederzeit problemlos möglich (Bild 2).

Auf Grundlage der TUG-Datenbank ist ein durch eine Angabe der Stationierung (Abschnitt, Gleis und Kilometer) jeder Punkt des Netzes eindeutig bestimmbar und es können sehr einfach und schnell Aussagen über jeden Streckenkilometer getroffen werden.

4.2 Inhalt der TUG-Datenbank

Mit den zur Verfügung gestellten ÖBB-Daten enthält die TUG-Datenbank Informationen über folgende Datenruppen:

- Einbauten (Bahnhöfe, Eisenbahnkreuzungen, Brücken, Tunnel, Weichen),
- Maschineneinsätze, Gleisneulage (SUZ),
- Unterbausanierung (AHM), Schotterbetriejnung (RM),
- Stopfen und Stabilisieren von Gleisen (MDZ),
- Weichenstopfen (PLM) und Schleifen,
- Messdaten, Kennwerte der Gleislagequalität (MDZ-a und SIGMA-h) und sonstige Zustandsdaten des Oberbaus wie Verwindung, Spurweite, usw.
- Krümmung, Radius, Überhöhung;

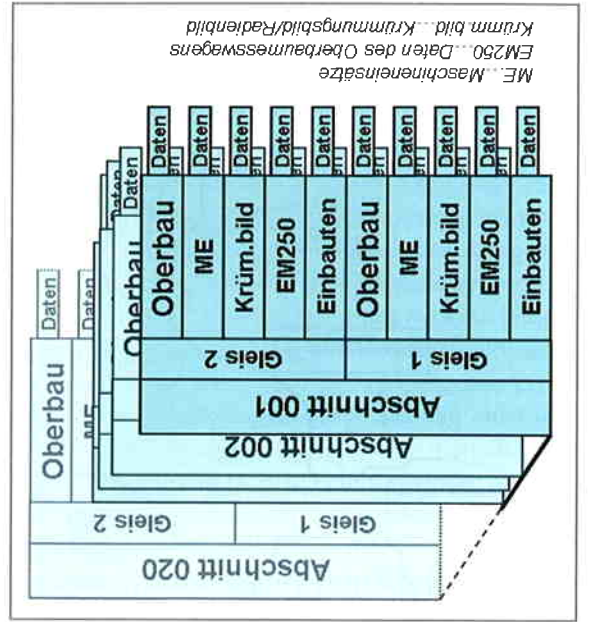


Bild 2: Struktur der TUG-Datenbank

- Oberbau (Schienen, Schwellen),
- Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten (VzG) sowie
- Längsaniegun.

Dem Forschungsprojekt liegen damit Daten für eine Gleislänge von 3 772 km zugrunde. Dieses Netz umfasst einerseits die wichtigsten Strecken der ÖBB und berücksichtigt andererseits relevante Variablen, die sich zwischen diesen Maßnahmen von Messfahrt zu Messfahrt. Diese Maßnahmen sind in den vorhandenen Daten als Maschineneinsätze zu erkennen und unterteilen die beobachteten Jahre in einzelne Zeiträume. Durch diese Trennung wird der Zeitraum eines Verschlechtszustandes eingegrenzt. Der Qualitätsverfall des Gleises durch den Betrieb definiert den Verschlechtszustand. Jeder Verschlechtszustand besitzt eine individuelle Verschlechts- rutschcharakteristik und eine Ausgangsqualität.

5 Gleislagequalität im Beobachtungszeitraum

Die vorliegenden Gleislageinformatoren in Form von Messdaten der letzten sieben Jahre zeigen deutliche Veränderungen über den Betrachtungszeitraum. Während die Qualität durch Instandhaltungsbzw. Investitionsmaßnahmen üblicherweise sprunghaft ansteigt, verringert sie sich zwischen diesen Maßnahmen von Messfahrt zu Messfahrt. Diese Daten als Maschineneinsätze zu erkennen und unterteilen die beobachteten Jahre in einzelne Zeiträume. Durch diese Trennung wird der Zeitraum eines Verschlechtszustandes eingegrenzt. Der Qualitätsverfall des Gleises durch den Betrieb definiert den Verschlechtszustand. Jeder Verschlechtszustand besitzt eine individuelle Verschlechts- rutschcharakteristik und eine Ausgangsqualität.

- (1) $\frac{dQ}{dt} = b \cdot Q$,
 - (2) $\frac{dQ}{dt} = b \cdot dt$,
 - (3) $\ln Q = b \cdot t + k$ und
 - (4) $Q = k \cdot e^{bt}$.
- k entspricht hierbei der Qualität zum Zeitpunkt $t = 0$ und wird in weiterer Folge als Ausgangsqualität Q_0 eines Verschlechtszustandes bezeichnet;
- Jeder Verschlechtszustand besitzt eine individuelle Verschlechts- rutschcharakteristik und eine Ausgangsqualität.

6 Verschlechts- rutschverhalten

- (6) $Q(t) = Q_0 \cdot e^{bt}$.
- Dabei sind $Q(t)$ Qualität zum Zeitpunkt t in MDZ-a oder SIGMA-h, Q_0 Ausgangsqualität eines Verschlechtszustandes, b Verschlechtsrate und t Zeit seit letzter Instandhaltung.

6.2 Basis der Berechnung

Das Verschlechtsverhalten der Gleislagequalität wird an zwei unterschiedli-

tionen als Verschlechtsrutschfunktion zwischen zwei Instandhaltungsarbeiten angesetzt. Die Anfangssetzungen nach einer durchgeführten Arbeit werden hier nicht berücksichtigt.

Die Abnahme der Gleislagequalität erfolgt proportional zur aktuellen Qualität. Das heißt, dass sich ein gutes Gleis nur langsam verschlechtert, ein schlechtes Gleis jedoch schneller [5].

- (3) Diese bekannte Tatsache wird nach [3] mathematisch durch die folgende Differentialgleichung ausgedrückt:

ZEVrail