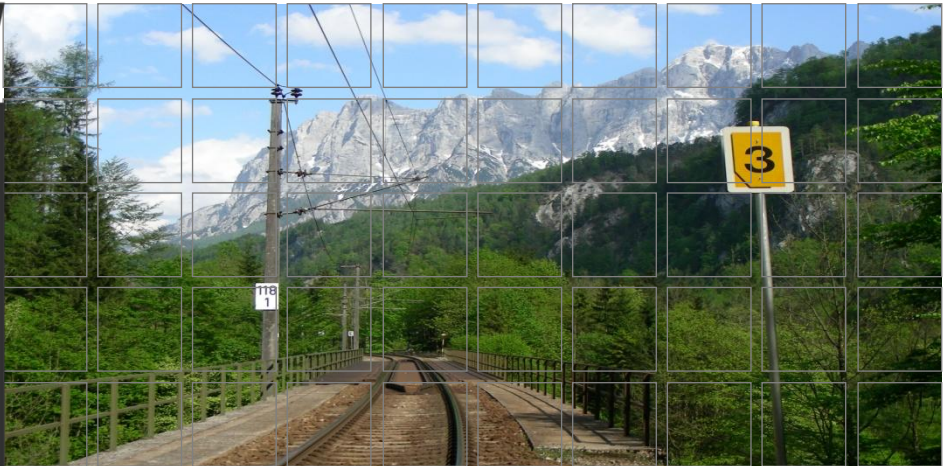


EBW



Die Gleislagequalität in Dauerlangsamfahrstellen

Masterarbeit
WS 2010/11

Armin Berghold
Matrikelnummer: 0530048

Betreuer:
Peter Veit
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
+43 873 6217
peter.veit@tugraz.at



Danksagung

Ich möchte diese Arbeit all denen widmen, die mich in meinem bisherigen Leben stets begleitet und unterstützt haben. Speziellen Dank richte ich an meine Eltern Monika und Klaus sowie meiner Schwester Sarah und meiner Partnerin Kristina, die mich stets ermutigt und unterstützt haben meinen Weg zu gehen.

Danken möchte ich auch meinen Arbeitskollegen Georg, Fabian, Markus und Stefan für die ständige Bereitschaft bei Fragen und Problemen jeglicher Art mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden zu haben. Ich bin sehr dankbar für die gesammelten Erfahrungen, welche mit meiner Anstellung am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft einhergegangen sind und möchte mich für das Vertrauen bedanken, dass mir im Bezug auf meine Arbeit entgegengebracht wurde. Bedanken möchte ich mich dabei im speziellen bei meinen Betreuern Institutsvorstand Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit und Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 08.03.2011

Kurzfassung

Durch die Auswertungen dieser Masterarbeit konnte eine Bewertung von Langsamfahrstellen durch die genaue Betrachtung der Gleislagequalitäten ausgearbeitet werden. Die Ergebnisse zeigen den Zustand der jeweiligen Langsamfahrstellen zufolge der Komfortziffer MDZ-a in den jeweiligen Streckenabschnittsqualitäten, wodurch der Zusammenhang zwischen schlechtem Komfort und der Verhängung von Langsamfahrstellen nachgewiesen wird.

Durch diese Bewertungsmöglichkeit mittels der Gleislagequalitätsdarstellung aus der TUG Datenbank ist somit eine Bewertung der Notwendigkeit einer LA-Stelle aus Sicht des Komforts möglich. Sicherheitstechnisch notwendige Geschwindigkeitsreduktionen können zufolge der Gleislagequalität explizit nicht immer aufgezeigt werden, wodurch die Notwendigkeit von Inspektionen von Gleisen vor Ort unumgänglich ist. Diese werden laut dem Dienstbehelf Instandhaltungsplan der ÖBB in einem gewissen Zeitabstand ohnedies vorgeschrieben.

Aus der steigenden Anzahl an LA-Stellen und der Erhöhungen der Betriebsbehinderungen aus Geschwindigkeitsreduktionen entwickeln sich Verspätungen und dadurch Folgekosten. Geschwindigkeitsreduktionen in gewissen Bandbreiten müssen nicht zwingend alle Züge der jeweiligen Verkehrsart betreffen und hängen natürlich auch von der Priorität der Strecken und den dortigen Verkehrsmengen ab. Nach heutigem Stand werden Geschwindigkeitsreduktionen von LA-Stellen rein empirisch von den vor Ort verantwortlichen Bahnmeistern verhängt. Berechnungen im Zuge dieser Arbeit ermöglichen die Beurteilung der maximal notwendigen Geschwindigkeitsreduktion von einzelnen Langsamfahrstellen um einen gewünschten Mindestkomfort zu erreichen. Somit können auf Basis der Gleislagequalität nicht gerechtfertigt erscheinende Geschwindigkeitsreduktionen aufgezeigt und einer nochmaligen, genaueren Abklärung vor Ort auf ihre tatsächliche Notwendigkeit zugeführt werden.

Es wird auch auf die bestehende SCHIG-Kennzahl eingegangen, welche als Indikator für die zu erfüllende Leistungsvereinbarung zwischen ÖBB und dem Staat Österreich in Verwendung ist. Sie kann diesen Zweck erfüllen, ein Priorisieren von Langsamfahrstellen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Folgen ist jedoch nicht möglich. Dies kann nur über die Ermittlung der entstehenden betrieblichen Folgekosten realisiert werden.

Abstract

This master thesis investigates a possible correlation between track quality and permanent slow orders in the network of the Austrian Federal Railways. Orders to slow down the normal speed to a lower level are necessary either for reasons of safety or comfort. Research yielded the result that a link between the alignment quality (MDZ-a quality) and slow orders is possible. Therefore the focus was set only on slow orders imposed due to poor comfort. Urgent safety reasons like head checks or gauge problems cannot be evaluated having no relation to track quality. The source for this research is gained from the TUG database covering the level of track quality for the main network. It is possible to declare the need for any slow order by its MDZ-a track quality by comparing it to the average quality level at the whole track section.

Hitherto slow orders are being imposed on the basis of empirical knowledge of track engineers. With the results of this master thesis it is possible to calculate the comfort quality improvement resulting from slow orders. To optimize the quality level, the necessary speed limit can be calculated allowing further optimization.

Furthermore, this thesis compares a prioritization by means of the SCHIG factor and the costs of operational hindrances, showing that the latter is better suited to describe the costs resulting from slow orders.

Vorwort

Ziel dieser Masterarbeit ist es, einen möglichen Zusammenhang zwischen Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen (LA) darzustellen. Wenn ein Zusammenhang dieser beiden Themen existiert, könnte es möglich sein, die LA-Geschwindigkeit der Gleislagequalität entsprechend auszulegen. Auf die SCHIG-Kennzahl, die derzeitige erhobene Kennziffer zur Bewertung von Langsamfahrstellen, wird zum Abschluss dieser Arbeit noch eingegangen. Die Arbeitsschritte der Arbeit sind demnach:

- Identifikation einer Mindestqualität in Form der MDZ-a Ziffer, die für Gleise erwartet wird
- Zusammenschau von Gleislagequalität und LA-Stellen
- Darstellung von Änderungen der Komfortziffer MDZ-a aufgrund von Geschwindigkeitsreduktionen bei LA-Stellen
- SCHIG-Kennzahl

Diese Arbeit ist Teil des Bausteins „keineLA“ im Gesamtprojekt „LCM“. Langsamfahrstellen verursachen durch die Geschwindigkeitsreduktion in den jeweiligen Teilbereichen der LA enorme Betriebserschwerungskosten für die Österreichischen Bundesbahnen und dritte EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen). Die steigende Anzahl an Langsamfahrstellen und ein nicht ausreichendes Budget zur Beseitigung macht eine prioritäre Reihung auf Basis von Folgekosten mit dem Zweck Instand- bzw. Reinvestitionsmaßnahmen optimal setzen zu können erforderlich. Eine solche Priorisierung kann nur über die zu erhebenden Folgekosten führen. Die SCHIG-Kennzahl ist dafür nicht gedacht und auch nicht geeignet, sondern ist ein Indikator zur Überprüfung der Leistungsvereinbarungen zwischen ÖBB und dem Staat Österreich.

Die Auswertungen über einen Zusammenhang zwischen Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen, dient der Entwicklung von sogenannten „Sieben“, auf welche der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt. Mit Hilfe dieser „Siebe“, können Langsamfahrstellen zufolge ihrer Komfortqualität betreffend die Gleislagequalität (MDZ-a) auf ihre Verhängungsnotwendigkeit geprüft werden. Dies hat den Hintergrund, scheinbar nicht gerechtfertigte Langsamfahrstellen aufzuzeigen. Hierfür wird eine Mindestqualität gesucht, wonach eine LA-Stelle eingestuft werden kann.

Wenn eine Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der Gleislage erforderlich ist, kann die optimale LA-Geschwindigkeit zufolge einer maximal notwendigen Qualitätsverbesserung der Komfortziffer MDZ-a ermittelt werden. Die gefahrene, reduzierte Geschwindigkeit V_{LA} wird im Moment empirisch nach Erfahrungswerten vom jeweiligen Bahnmeister festgelegt. Somit ist mit dieser neuen Erkenntnis, der rechnerischen Darstellung der verbesserten Komfortqualität nach MDZ-a, die Folgen der Geschwindigkeitsreduktion bewertbar und in gewissem Maße eine Optimierung dieser V_{LA} möglich.

Durch diese Steuerungsmöglichkeiten können einerseits Langsamfahrstellen hinterfragt werden und andererseits die Höhe der Geschwindigkeitsreduktion zufolge der Komfortqualität optimal festgelegt werden. Diese Entwicklungen könnten die entstehenden Betriebserschwerungskosten in vielen Fällen minimieren.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Eidesstattliche Erklärung	3
Kurzfassung	4
Abstract	5
Vorwort	6
1 Einwirkungen auf das Gleis	9
1.1 Statische Kräfte auf das Gleis	9
1.2 Dynamische Krafteinwirkungen	10
2 Gleislage	11
2.1 Verschlechterungsfunktion	13
2.2 Boxplotdarstellung	14
2.3 Vergleich MDZ-a zu Sigma-h	16
3 Zusammenhang zwischen Gleislage, Instandhaltung, Reinvestition und LA-Stellen	17
4 TUG Datenbank	23
4.1 Eingangsdaten	23
4.2 Struktur der TUG Datenbank	23
4.3 Inhalte der TUG Datenbank	26
5 Verhängung von Langsamfahrstellen	28
5.1 Statistik	29
6 Ursachen für LA-Stellen	31
6.1 Oberbau	31
6.2 Unterbau	32
6.3 Brücken	33
6.4 Sonstige	33
7 Gleislagequalität im TUG-Netz	34
8 Mindestqualität	41
9 Auswirkungen der Geschwindigkeitsreduktion auf LA-Stellen	48
10 Die Kennzahl Langsamfahren der SCHIG	59
11 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse	66
Abbildungsverzeichnis	67
Literaturverzeichnis	69

1 Einwirkungen auf das Gleis

1.1 Statische Kräfte auf das Gleis

Auf den Fahrweg wirken bei jeder Überfahrt Kräfte, welche sich aus Vertikalkräften, Längskräften und Querkräften zusammensetzen. Die Radlasten verursachen die auftretenden Vertikalkräfte auf das Gleis. Unregelmäßigkeiten im Fahrkantenverlauf der Schienen regen die Fahrzeuge zu einem dynamischen Fahrzeuglauf an, wodurch eine Wechselwirkung zwischen zusätzlicher Belastung und Entlastung auftritt. (Lichtberger Bernhard 2010)

In der Bogenfahrt entsteht infolge der freien Seitenbeschleunigung eine Radkraftänderung. Schienenlängskräfte treten durch eine Temperaturänderung der Schiene und daraus folgend der Längenänderung dieser auf. Durch eine Temperaturänderung der Schiene von beispielsweise 35°C kann von einer Änderung der Längskraft von 700 kN ausgegangen werden. Es kann somit mit einer Rate von 20 kN/°C durch eine Temperaturänderung der Schiene ausgegangen werden. Bremsungen und Beschleunigungen der Fahrzeuge bringen ebenfalls Längskräfte in die Schiene. (Lichtberger Bernhard 2010)

Infolge der Haftreibung zwischen Rad und Schiene wird durch die angetriebenen Achsen diese Krafteinwirkung erzeugt. Vor der angetriebenen Achse werden Zuglängskräfte und hinter der Achse Drucklängskräfte erzeugt, wodurch die Größe der Kräfte von der Radkraft Q , der Zugkraft und dem Haftreibungsbeiwert abhängig ist. Bei der Bremsung werden durch die gebremsten Räder der Fahrzeuge ebenfalls Längskräfte in die Schienen übertragen, wobei üblicherweise alle Achsen in den Bremsvorgang einbezogen sind. Die Einflusslänge im Gleis aufgrund der Bremsung kann bis zu 30 m betragen. Schieneneigenspannungen und Schrumpfspannungen nach Schweißarbeiten führen ebenfalls zu Längskräften in der Schiene. (Lichtberger Bernhard 2010)

Durch die Spurführung der Fahrzeuge werden Führungskräfte erzeugt, wodurch die Schiene horizontal und im rechten Winkel zur Gleisachse belasten sogenannte Querkräfte. Eine Kraft kann aufgrund des schrägen Einwirkens auf den Schienenkopf in einen zentrischen Anteil Q , in ein Torsionsmoment M und in eine Führungskraft Y zerlegt werden. Diese Führungskraft ist von mehreren fahrzeugtechnischen Parametern, wie Achskraft, Achsstand, Konstruktion des Drehgestells, Spulen, Feder- und Dämpfungskonstanten sowie von den gleisgeometrischen Bedingungen und auch der Geschwindigkeit beeinflusst. (Lichtberger Bernhard 2010)

1.2 Dynamische Krafteinwirkungen

Diese Art der Krafteinwirkung kann durch eine Radlastverlagerung welche aufgrund nicht ausgeglichener Fliehbeschleunigungen und bei exzentrischer Lage des Fahrzeugschwerpunkts entstehen. Schienenoberflächenfehler wie Riffel (Wellenlänge bis 50 mm) in der Gerade und flachen Bögen auf beiden Schienen, Schlupfwellen (50-250 mm Wellenlänge) am niederen Strang in kleinen Bögen verursachen ebenfalls eine dynamische Anregung des Fahrzeuges wodurch eine dementsprechende Krafteinwirkung die Folge ist. Aufgrund von Spurweitenfehlern und Setzungen des Untergrundes sowie durch Einzelfehler welche durch schadhafte Einzelkomponenten, Schweißstöße oder andere Ursachen, wie beispielsweise eine schlechte Entwässerung, entstehen enorme dynamische Krafteinwirkungen auf das Gleis. (Lichtberger Bernhard 2010)

2 Gleislage

Die Gleislage umfasst den geometrischen Zustand des Gleises in seiner Gesamtheit, also der Höhenlage, der Seitenlage, der Spurweite und der gegenseitigen Höhenlage der Schienen und wird über sogenannte Gleislagequalitätsziffern bewertet. International hat sich die Standardabweichung der Höhenlage zur Bewertung der Gleislage etabliert (SIGMA-h). (Rießberger Klaus 1997)

Eine weitere Qualitätsziffer (MDZ-a) resultiert aus dem Gleis-Analyse-System ADA II, nach dem die räumlichen Beschleunigungsdifferenzen am Fahrzeugschwerpunkt in einem weitgehend vereinfachten Fahrzeugmodell verwendet werden. Fahrzeugreaktionen sind nicht nur Beschleunigungen im Wagenkasten und damit Komfort, sondern auch Verlagerungen von vertikalen Radaufstandskräften Q und insbesondere die Entwicklung der Führungskräfte horizontal-quer Y . Durch die Kenntnis dieser Größen ist eine Beurteilung der wichtigsten Kriterien für das Zusammenwirken von Radsatz und Gleis welches das Entgleisungskriterium (Y/Q – Kriterium) und das Gleisverschiebungskriterium (Summe Y) darstellen. Das Gleisanalysesystem ADA II verfolgt die räumlichen Beschleunigungsdifferenzen am Fahrzeugschwerpunkt. Hierfür wird ein vereinfachtes Fahrzeugmodell verwendet, wobei die Streckenhöchstgeschwindigkeit unabhängig von der gefahrenen Messgeschwindigkeit ein Beschleunigungsgehehen erzeugt. Dem Berechnungsverfahren liegt eine Schwerpunkthöhe von 1,5 m zu Grunde. Die in diesem Schwerpunkt auftretenden Beschleunigungen können direkt aus den Gleislagemessdaten mittlere Höhenlage, mittlere Seitenlage sowie gegenseitige Höhenlage der Schiene ermittelt werden. (Rießberger Klaus 1997, Holzfeind Jochen 2009)

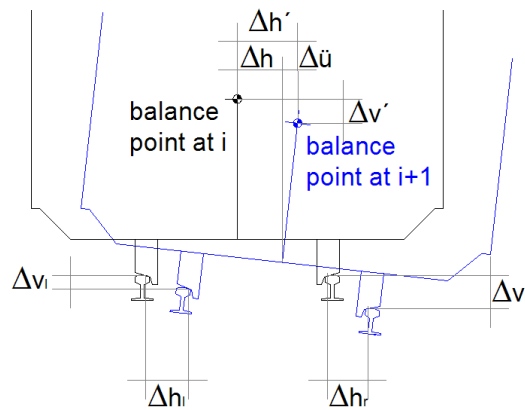


Abbildung 1: ADA II-Prinzipische Skizze zur Bewegung des Wagenschwerpunktes
(Holzfeind Jochen 2009)

$$\Delta v' = \frac{1}{2}(\Delta v_l + \Delta v_r) = \frac{1}{2}(VL + VR)$$

$$\Delta h' = \Delta h + \Delta \ddot{u} = \left[\frac{1}{2}(\Delta H_l + \Delta H_r) \right] + [-(\Delta V_l - \Delta V_r)] = \left[\frac{1}{2}(HL + HR) \right] + [-(VL - VR)]$$

Da das ADA II-Verfahren die Dynamik eines Eisenbahnwagens berücksichtigt, fließt die jeweilige Streckenhöchstgeschwindigkeit in das Berechnungsverfahren mit ein. Aus der Literatur ist dieser Einfluss aufgrund der Federsysteme mit $V^{0,65}$ unterlinear. Damit ergibt sich das Berechnungsschema zu

$$MDZ = c \cdot \frac{1}{L} \cdot V^{0,65} \cdot \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta x}} \sqrt{\left(\frac{VL + VR}{2} \right)^2 + \left(\frac{HL + HR}{2} - (VL - VR) \right)^2}$$

$$MDZ = c \cdot \frac{1}{L} \cdot V^{0,65} \cdot \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta x}} \sqrt{(\Delta v')^2 + (\Delta h + \Delta \ddot{u})^2}$$

c...Kalibrierungsfaktor

L...Einflusslänge

V...Fahrgeschwindigkeit

Δx...Distanz zwischen zwei Messpunkten

VL,VR...Änderungen der vertikalen Messwerte (linkes und rechtes Rad)

HL,HR...Änderung der horizontalen Messwerte (linkes und Rechtes Rad)

(Rießberger Klaus 1997, Holzfeind Jochen 2009, Hummitzsch Robert 2009)

2.1 Verschlechterungsfunktion

Die Abnahme der Gleislagequalität ist direkt proportional zur aktuellen Qualität. Das heißt, dass sich ein gutes Gleis nur langsam verschlechtert, ein schlechtes Gleis rasch. (Veit Peter 2004)

Diese wohlbekanntes Tatsache kann mathematisch nach folgender Differentialgleichung ausgedrückt werden:

$$\frac{dQ}{dt} = b \cdot Q$$

$$\frac{dQ}{Q} = b \cdot dt$$

$$\ln Q = b \cdot t + k$$

$$Q = k \cdot e^{bt}$$

$$Q_{(t=0)} = k \cdot e^{b \cdot 0} = k \cdot 1$$

k entspricht damit der Qualität zum Zeitpunkt t=0 und wird in weiterer Folge als Ausgangsqualität Q_0 eines Verschlechterungsastes bezeichnet.

Daraus ergibt sich für den Verfall der Gleisgeometrie über die Zeit die ausgangsqualitätsabhängige, exponentielle Verschlechterungsfunktion eines Verschlechterungsastes zu

$$Q_{(t)} = Q_n \cdot e^{b_n \cdot t}$$

Q(t)...Qualität zum Zeitpunkt t in MDZ-a (negativ) oder SIGMA-h (positiv). (Je höher der betragsmäßige Wert, desto schlechter ist die Lagequalität)

Q_n...Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes (im Idealfall 0, realistisch etwa -5 MDZ-a)

b_n...Verschlechterungsrate (je größer der Wert, desto stärker ist die Verschlechterung)

t...Zeit seit letzter Instandhaltung

Der Index n steht für den betrachteten, sogenannten Verschlechterungsast. Allein aus der mathematischen Abbildung lässt sich der enorme Einfluss der Ausführungsqualität ableiten. Ein Gleis mit einer hohen Ausgangsqualität zum Zeitpunkt der Neulage (Q_0) verfügt über eine hohe Qualitätsreserve, die über die Nutzungsdauer verteilt aufgebraucht zu einer Verlängerung dieser führt. Schlecht ausgeführte oder sich aufgrund falscher Komponentenwahl ergebende mindere Anfangsqualität, führt zu einem raschen Verfall des Gleises. Die Nutzungsdauer des Gleises kann später nicht mehr erreicht werden, wodurch enorme Kosten entstehen. (Holzfeind Jochen 2009, Hummitzsch Robert 2009)

2.2 Boxplotdarstellung

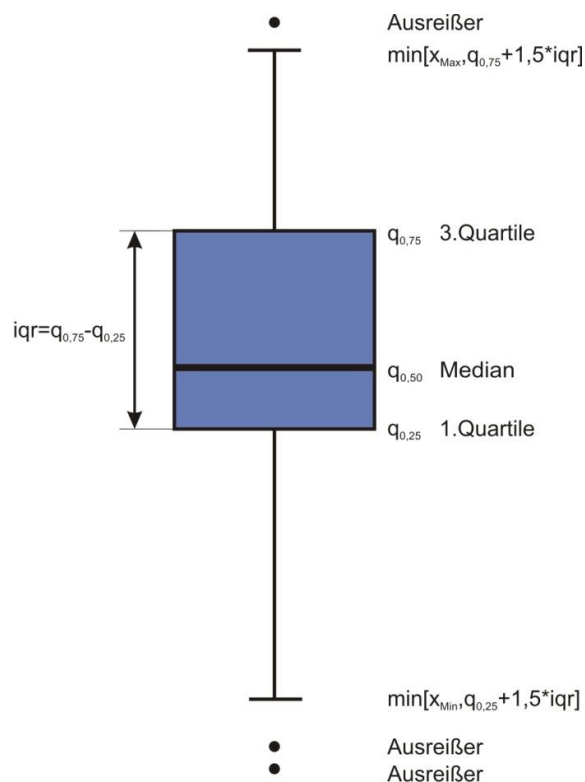


Abbildung 2: Boxplotdarstellung

Der Boxplot ist eine Summationsdarstellung der Verteilung der Daten durch 5 Kenngrößen, die alle auf Quantilen basieren. Die Box beinhaltet die zentralen 50% der Daten, die definitionsgemäß im interquartilen Bereichen $iqr = q_{0,75} - q_{0,25}$ liegen. Der Median = $q_{0,50}$ ist als horizontaler Strich dargestellt. Die Länge der Linien (Whisker) unter- und oberhalb der Box sind höchstens $1,5 * (q_{0,75} - q_{0,25})$. Liegen alle Datenpunkte innerhalb dieses Bereichs, dann erstrecken sich die Linien nur bis zum minimalen Wert x_{\min} bzw. maximalen Wert x_{\max} . Datenpunkte außerhalb dieses Bereichs werden als Ausreißer bezeichnet und durch Punkte über- bzw. unter den Maximal- und Minimalwerten dargestellt (Abbildung 2). (Stadlober Ernst 2010/11)

Die Vorteile des Boxplots liegen in dessen Darstellungsform. Man erhält einen schnellen Überblick über Charakteristika wie Median und Streubreite. Die Länge der Tails können abgelesen und Ausreißer lokalisiert werden. Liegt Symmetrie in den zentralen 50% der Daten vor, dann befindet sich der Median in der Mitte der Box. Der Boxplot ist ideal einsetzbar beim Vergleich von mehreren Stichproben oder als Zusatzinformation am Rand anderer Plotdarstellungen. Es ist keine subjektive Wahl von Parametern erforderlich wie dies bei Histogrammen der Fall ist. (Stadlober Ernst 2010/11)

2.3 Vergleich MDZ-a zu Sigma-h

Die Auswertung der Gleislagequalität für Langsamfahrstellen und die damit veränderten Qualitätswerte MDZ-a für einen betrachteten Streckenabschnitt sind, wie bereits erläutert wurde, geschwindigkeitsabhängig. Hingegen ist der Qualitätswert Standardabweichung der Längshöhenfehler Sigma-h geschwindigkeitsunabhängig. Demnach müssten Auswertungen von Querschnitten aus dem TUG Netz zum Vergleich der Kenngrößen die fehlende Geschwindigkeitskomponente zeigen.

Streckenqualitäten auf gleich hohem Niveau zu halten, ist in Hinsicht ihrer unterschiedlichen Periodisierungen, wirtschaftlich nicht sinnvoll. Auf Nebenbahnen wird durch die dort auftretenden geringen Belastungen und niedrigen Betriebsgeschwindigkeiten eine viel schlechtere Gleislagequalität als die der Hochgeschwindigkeitsstrecken akzeptiert. Auf niedrig priorisierten Strecken wird somit ein viel höherer Wert der Standardabweichung der Längshöhenfehler auftreten als dies beispielsweise auf der Westbahn der Fall ist. Durch den Einfluss der Geschwindigkeit bei der MDZ-a Qualitätsziffer ergibt sich eine geringere Streuung der Gleislagequalitäten in MDZ-a. Für die in Abbildung 3 dargestellten Boxplots, werden die Mediane der jeweiligen Qualitätsziffern Q_{n-1_ult} MDZ-a und Q_{n-1_ult} Sigma-h aus den ausgewerteten Verschlechterungsfunktionen eines Datenpools von 18404 Querschnitten netzweit jeweils auf 100% gesetzt und gegenübergestellt. Durch diese Darstellung in Boxplots (Abbildung 3), ist die größere Streuung der Standardabweichung der Längshöhenfehler gegenüber der MDZ-a Qualitätsziffer ersichtlich.

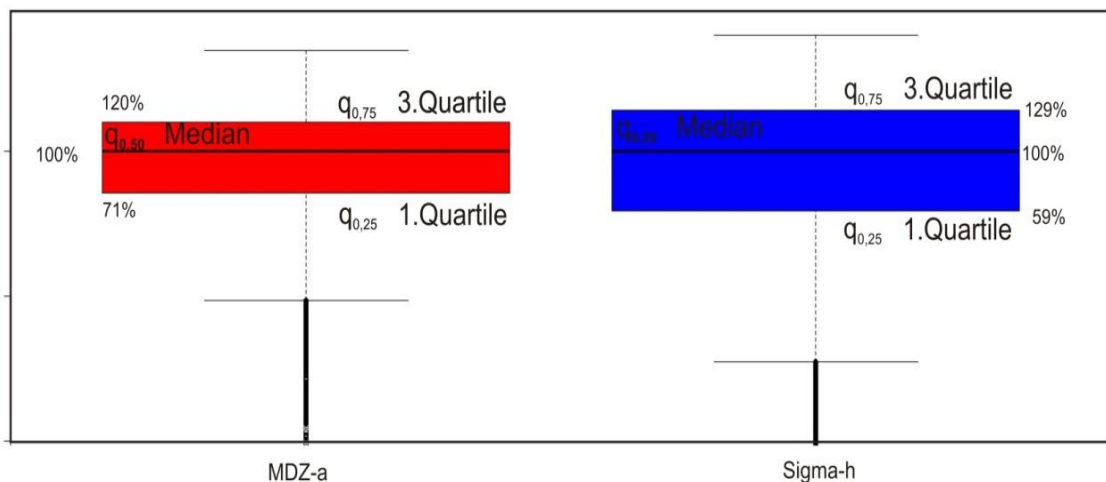


Abbildung 3: Gegenüberstellung Qualitätsziffer MDZ-a zu Sigma-h

3 Zusammenhang zwischen Gleislage, Instandhaltung, Reinvestition und LA-Stellen

Das Ziel eines Infrastrukturbetreibers sollte es sein, ein attraktives und nachhaltiges System Schiene anzubieten. Dazu müssen wirtschaftliche und sichere Anlagen mit einer bedarfsgerechten Qualität bereitgestellt werden. Als Eingangsgrößen bestimmen die Qualitätsvorgaben und der finanzielle Rahmen die Umsetzung zu gesamthaft optimierten Anlagen. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

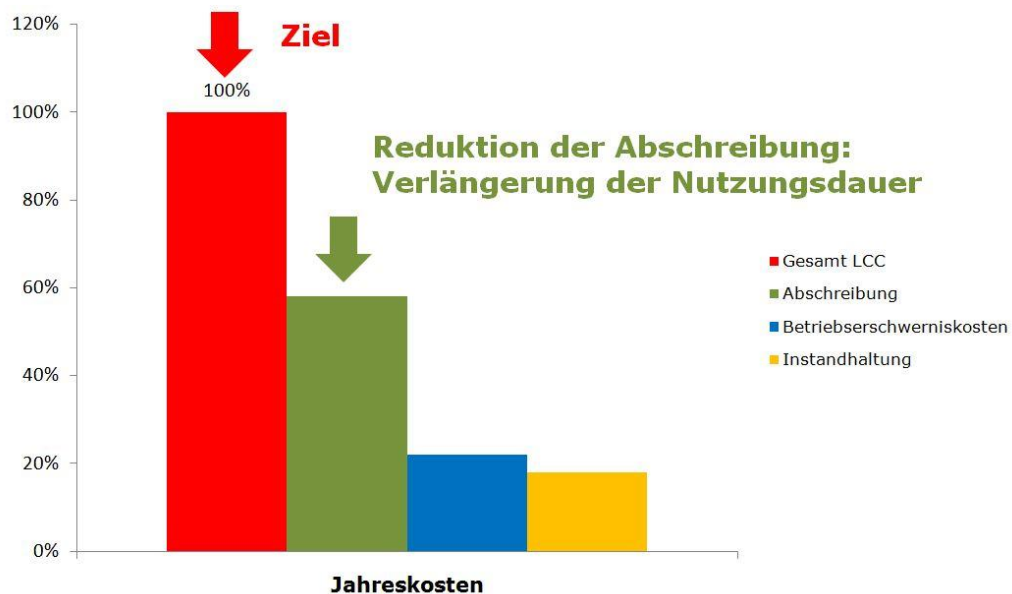


Abbildung 4: Zusammensetzung der normalisierten Jahreskosten (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, können die Gesamtkosten optimaler Weise durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer des Gleises gesenkt werden. Einsparungen auf Seiten der Instandhaltung können die Gesamtkosten zwar ebenfalls verringern, aber durch die fehlende Instandhaltung nur den Verfall des Gleises beschleunigen. Dies zieht eine vorzeitige Reinvestition vor dem Erreichen der wirtschaftlichen Nutzungsdauer nach sich, wodurch sich die Kosten der Abschreibung massiv steigern. Die technische Nutzungsdauer eines Gleises ist jedenfalls länger als die wirtschaftliche

Nutzungsdauer. Die Höhe des Deltas dieser beiden hängt auch sehr stark vom Lohnniveau ab. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Eine Reinvestition entspricht einer Totalerneuerung des Gleises. Unterschieden werden die gesetzten Maßnahmen nach ihrem Einsatztyp.

Schotterbettreinigungsmaschinen (RM) werden bei der notwendigen Erneuerung des Gleisschotters und vor Gleisneulagen eingesetzt. Der Austausch des Gleisschotters durch spezielle RM-Maschinen ist sehr teuer und wird meist nur eingesetzt wenn der Gleisschotter seiner geforderten Tragwirkung nicht mehr nachkommt oder durch enormen Kornabrieb die daraus entstandenen Feinteile die Wasserdurchlässigkeit des Schotters so stark einschränken, dass es zu starken Schädigungen kommt. Bei einem reinen RM-Einsatz werden die bestehenden Schwellen und Schienen nicht erneuert.

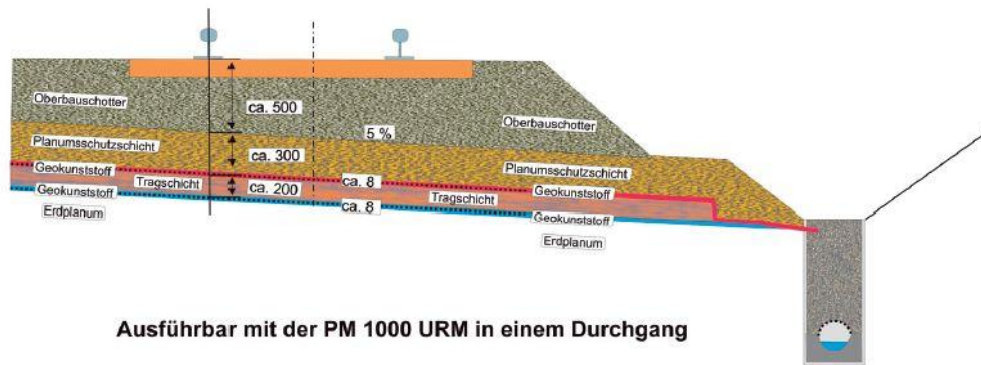
Der Schnellumbauzug (SUZ) ist die Maschine bei einer generellen Neulage der Schienen und der Schwellen. Hierbei werden die Altschienen und Altschwellen entfernt und nach Abtrag der obersten Altschotterschicht, die neuen Komponenten automatisiert verlegt und eingeschottert.

Einsätze einer Aushubmaschine (AHM) werden dann durchgeführt, wenn eine Sanierung der im Untergrund befindlichen Tragschichten notwendig ist. Durch die umfangreichen und sehr aufwendigen Arbeitsvorgänge, stellt eine Planumsverbesserung die teuerste aller Reinvestitionsmaßnahmen dar. Mittels Räumketten wird der Gleisquerschnitt schichtweise abgeräumt und so der nicht tragfähige oder schadhafte Untergrund durch eine neu eingebaute Tragschicht stabilisiert. Der neue Schichtaufbau nach einem AHM-Einsatz ist in Abbildung 5 dargestellt.

Als Neulagen werden in dieser Arbeit folglich diese drei Haupteinsatzkategorien (AHM, RM und SUZ) verstanden.

PM 1000 URM, Sanierungsquerschnitt, Schichtaufbau

1. Oberbauschotter, Recyclingmaterial + Neuschotter
2. Planumsschutzschicht
3. Geokunststoff
4. Zwischenschicht als Tragschicht aus Recyclingmaterial
eventuell Bodenverbesserungsmittel
5. Geokunststoff



Ausführbar mit der PM 1000 URM in einem Durchgang

Skizze ohne Maßstab

Abbildung 5: Querschnittsdarstellung nach Planumsverbesserung

(Riebold Klaus, Piereder Franz 2010)

Unter die Instandhaltungsmaßnahmen fallen die Inspektion des Gleises und die Instandsetzungen durch Stopfeinsätze, Schleifeinsätze und die Instandsetzung von diversen Anlagenteilen. Das Fernhalten des Wassers vom Gleiskörper durch funktionierende Wasserableitungsgräben und Drainagen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Vermeidung von Einzelfehlern im Gleis. Für die Gleislagequalität sind im Speziellen die Instandsetzungen durch Stopf- und Schleifeinsätze entscheidend. Die Gleisstopfungen haben die Aufgabe, aufgetretene Lagefehler in Längs- und Querrichtung möglichst in die Ausgangslage zurückzubringen. Ein Gleis verfällt mit zunehmendem Alter immer schneller, woraus ein immer dichter werdendes Stopfintervall notwendig wird. Schleifeinsätze werden zur Reprofilierung des Schienenprofils, zur Vorsorgeschleifung gegen Head Checks und aufgrund Riffel- und Schlupfwellenbildung in Bögen durchgeführt.

Durch eine richtige Instandhaltung kann das Gleis seine wirtschaftliche Nutzungsdauer erreichen. Solange ein kritischer Gleislagequalitätswert nicht erreicht wird, kann die Nutzungsdauer verlängert und so die Gesamtkosten reduziert werden. Durch die wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gleises ist der optimale Reinvestitionszeitpunkt definiert. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

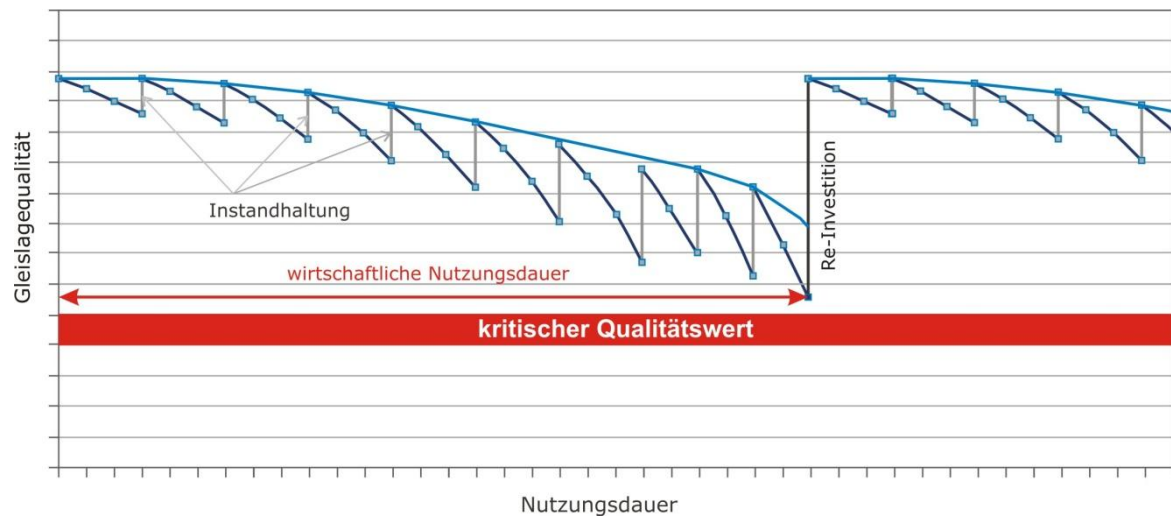


Abbildung 6: Optimaler Reinvestitionszeitpunkt (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Das Gleis reagiert auf eine Instandhaltungsreduktion stark zeitversetzt. Ist die Reaktion einmal merkbar, ist die Nutzungsdauer in der Regel bereits irreversibel reduziert. Aus Abbildung 7 sind die Folgen einer Streckung der Instandhaltungsmaßnahmen und die damit verlorene Nutzungsdauer ersichtlich. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

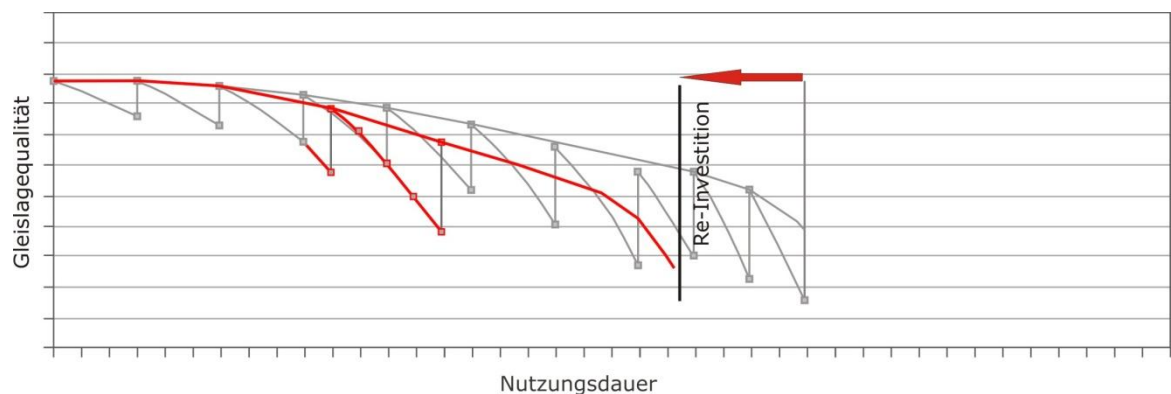


Abbildung 7: Instandhaltungsreduktion und die Auswirkungen dieser (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Solange der kritische Qualitätswert eines Gleises zufolge der Gleislagequalität nicht unterschritten ist, besteht kein Grund dieses zu reinvestieren. Es wird versucht, unter Einhaltung eines geforderten Komfortqualitätswertes, die technische Nutzungsdauer zu erreichen. Sobald der kritische Qualitätswert unterschritten wird, ist die Verhängung von Geschwindigkeitsreduktionen die notwendige Konsequenz. Dieser Bereich mit einer solchen verringerten Geschwindigkeit (V_{LA}), wird als Langsamfahrstelle (LA-Stelle) bezeichnet. Die LA-Stelle erfüllt nun den Zweck die schlechte Qualität durch die reduzierte Geschwindigkeit zu kompensieren und kann, wenn sich eine Reinvestition am Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer aus irgendwelchen Gründen zeitlich verschiebt, durchaus ihre Berechtigung haben. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

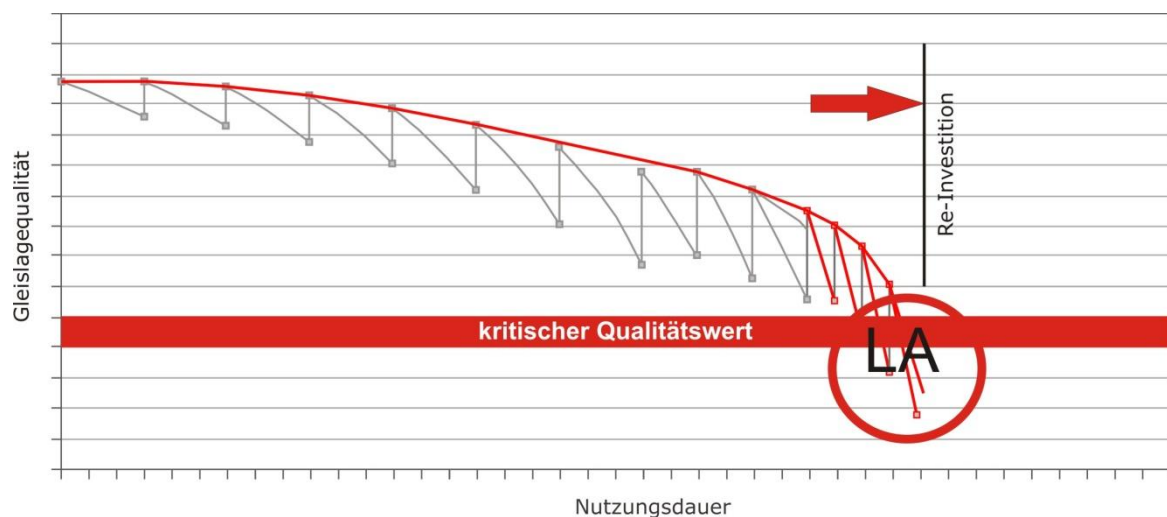


Abbildung 8: Überschreitung des kritischen Qualitätswertes (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Langsamfahrstellen verursachen, je nach dem Ausmaß der Geschwindigkeitsreduktion und der beeinflussten Verkehre, Betriebserschwerungskosten. Diese resultieren aus Kapazitätsengpässen und sich dadurch entwickelnden Verspätungen, welche sich in Anschlussproblemen, Umleitung von Zügen, Problemen mit der Zugbildung, Pönalen, Zugausfällen und Schienenersatzverkehren niederschlagen.

In den meisten Fällen, stellen die verhängten LA-Stellen eine Betriebsbehinderung dar und sind damit Kostentreiber für die resultierenden Betriebserschwerungskosten.

Die Bewertung von verhängten Langsamfahrstellen wird in Zukunft von Bedeutung sein, da bislang eine Reihung der LA-Stellen nach ihren verursachungsgerechten betrieblichen Folgekosten nicht durchgeführt wird. Somit kann im Moment nicht eingeschätzt werden, welche LA-Stellen aus Kostensicht prioritär zu behandeln und somit sofort durch gesetzte Maßnahmen aufzuheben sind. (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)

Eine Prüfung verhängter LA-Stellen auf ihre Notwendigkeit zufolge der Komfortqualität, wird derzeit nicht durchgeführt. Ebenso wenig ist die gesetzte LA-Geschwindigkeit des verantwortlichen Bahnmeisters auf ihre Notwendigkeit in der jeweiligen gesetzten Höhe nachprüfbar.

Diese Arbeit zeigt in den weiteren Auswertungen die Qualitätszustände von Langsamfahrstellen auf und macht dadurch eine Bewertung von LA-Stellen möglich.

Im Zuge der berechneten Qualitätsveränderung durch eine gesetzte Geschwindigkeitsreduktion, kann eine zu hoch oder, was eher selten der Fall ist, zu niedrig ange-setzte Langsamfahrstellengeschwindigkeit aufgezeigt werden.

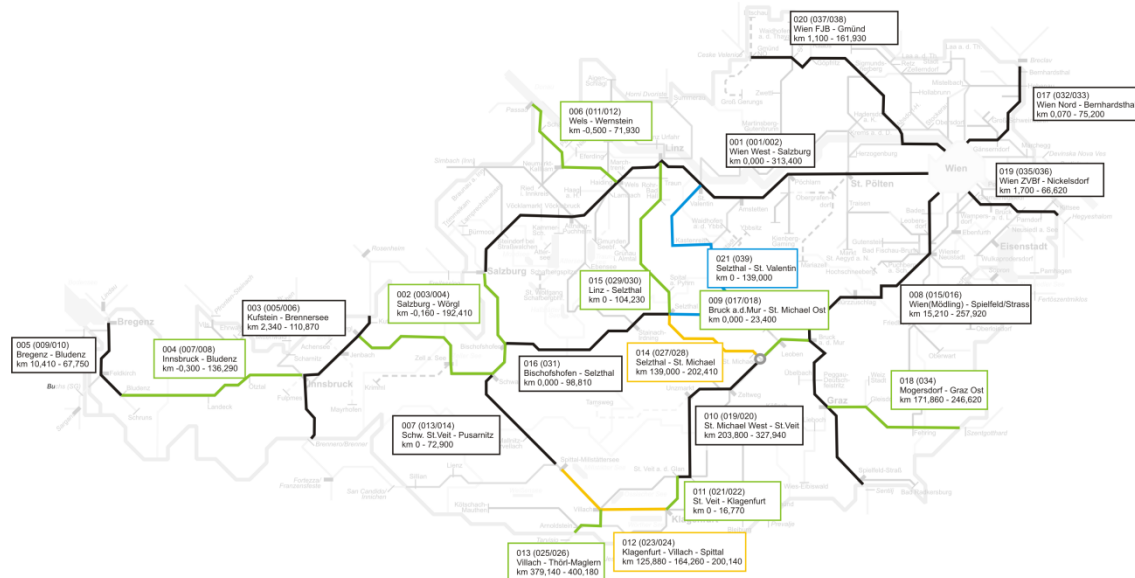
4 TUG Datenbank

4.1 Eingangsdaten

Durch die hochqualitative Gleismessung ist die Voraussetzung geschaffen worden, eine netzweite Kenntnis der Gleislage zu erhalten. Die berührungslose Messtechnik des Oberbautechnischen Messwagens EM 250 der ÖBB liefert mit Hilfe des integrierten Intertail Messsystems Applanix POS/TG hochpräzise Gleisgeometrievermessung wobei Messgeschwindigkeiten bis zu 250 km/h möglich sind. In regelmäßigen Abständen wird das Netz der Österreichischen Bundesbahnen befahren. Auf Basis dieser Messfahrten wird die Gleislagequalität berechnet, welche in Form der vertikalen Standardabweichung (SIGMA-h) der jeweiligen Gleislagefehler und einer auf Beschleunigungsdifferenzen eines theoretischen Fahrzeugschwerpunktes beruhende Komfortziffer (MDZ-a) ausgegeben wird. (Holzfeind Jochen 2009, Hanreich Werner 2004)

4.2 Struktur der TUG Datenbank

Für eine optimale Nutzung der Masse an Daten, welche von den ÖBB zur Verfügung gestellt wurden, ist eine Zusammenfassung des ÖBB Streckennetzes in größtmögliche Abschnitte mit aufsteigender und vollständiger Kilometrierung realisiert worden. Im Zuge der Überführung der ÖBB Daten wurden und werden sämtliche erhaltene Informationen in diese Struktur eingepflegt.



Stand: 01.03.2011

Abbildung 9: Übersicht der 22 Abschnitte der TUG Datenbank

Die Struktur der TUG Datenbank ist in drei Ordnungseinheiten gegliedert. Die höchste wird durch 22 Abschnitte gebildet. Jeder Abschnitt teilt sich in die durchgehenden Hauptgleise (Gleis 1 und Gleis 2). In der darauf folgenden Ebene finden sich sämtliche Daten der ÖBB der Stationierung nach zugeordnet. Die Erstellung der TUG Datenbank ermöglicht erstmals durch alleinige Angabe der Stationierung (Abschnitt, Gleis und km) jeden Punkt des Netzes eindeutig bestimmbar abzurufen, wodurch sehr einfach und sehr schnell alle Informationen über den jeweiligen Streckenkilometer ausgelesen werden. Die Abschnitte im TUG-Netz entsprechen der ÖBB Definition der Kategorie Kernnetz A und entsprechen somit den wichtigsten hauptbelasteten Strecken in Österreich. (Holzfeind Jochen 2009)

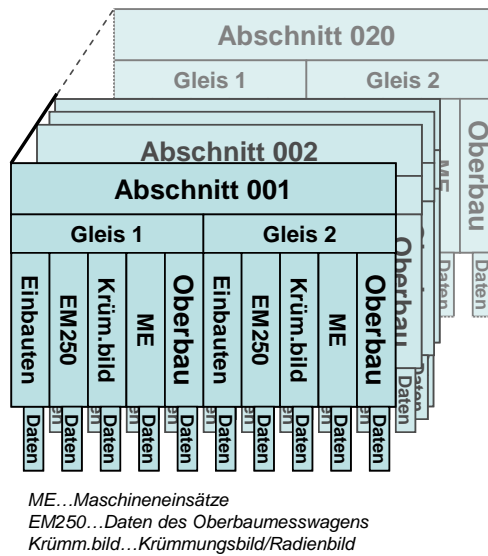


Abbildung 10: Struktur der TUG Datenbank (Holzfeind Jochen 2009)

Die Automatisierung der Regressionsrechnung kann mittels eigens programmierter Sequenzen in der Signalanalysesoftware Famos 5.0 realisiert werden. Zu den ermittelten Variablen Q_n und b_n werden zusätzlich die Größen der durchschnittlichen Abweichung der Funktion von den Messwerten (Δ schnitt) und die Anzahl der Messwerte für jede gerechnete Verschlechterungsfunktion gespeichert. Hiermit können Aussagen über die Zuverlässigkeit der Verschlechterungsfunktion einfach getroffen werden. Für eine Berechnung sind mindestens zwei Messpunkte erforderlich, welche sich zwischen einem Maschineneinsatzpaar befinden. Um einen schnellen Überblick über einen Abschnitt zu erhalten, werden Querschnittsinformationen in einem Abstand von 50 m erzeugt und der Stationierung entsprechend in der Datenbank abgelegt. Für die Qualitätsziffer MDZ-a und SIGMA-h, könne für alle 5 m Querschnitte die genauen Qualitätszustände in einer Datenbankausgabe dargestellt werden. Die genaue Berechnung der Verschlechterungsfunktionen wird mittels Regressionsrechnung mit der Methode der kleinsten Quadrate („Least-Square-Methode“) durchgeführt und ist in den Dissertationen (Holzfeind Jochen 2009, Hummitzsch Robert 2009) ersichtlich.

4.3 Inhalte der TUG Datenbank

Auf Basis der von der österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) zur Verfügung gestellten Daten enthält die TUG Datenbank eine Reihe an Datengruppen. Hierzu gehören sogenannte Einbauten wie Bahnhöfe, Eisenbahnkreuzungen, Brücken, Tunnel und Weichen. Des Weiteren erhält man genaue Aufzeichnungen der durchgeführten Maschineneinsätze im Netz der Österreichischen Bundesbahnen. Einsätze werden nach ihrer ausführenden Tätigkeit des jeweiligen Einsatzes unterschieden und untergliedern sich in Unterbausanierung (AHM), Schotterbetteinigung (RM), Gleisneulage (SUZ), Stopfen und Stabilisieren von Gleisen (MDZ), Weichenstopfung (PLM) und Schleifeinsätze (Speno). Die Messdaten des Oberbaumesswagens liefern die Grundlage für die Errechnung der Kennwerte der Gleislagequalität in Form der ADA-II (MDZ-a Ziffer) und der Standardabweichung der Längshöhe (SIGMA-h). In weiterer Folge enthält die Datenbank wichtige Bestandsinformationen über Trassierung (Krümmung, Überhöhung und Längsneigung) und den jeweiligen Oberbaukomponenten (Schiene und Schwelle). Die vorherrschenden Streckenbelastungen und die maximalen Betriebsgeschwindigkeiten (V_{zG} . Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten) sind ebenfalls in der TUG Datenbank enthalten. Durch die bereits erwähnte Berechnung der Verschlechterungsfunktionen für die jeweiligen Querschnitte der Datenbank, ermöglicht die grafische Darstellung einen einfachen und schnellen Überblick. In der Datenbank sind ca. 75.000 Seiten in dieser Form abgelegt. (Holzfeind Jochen 2009)

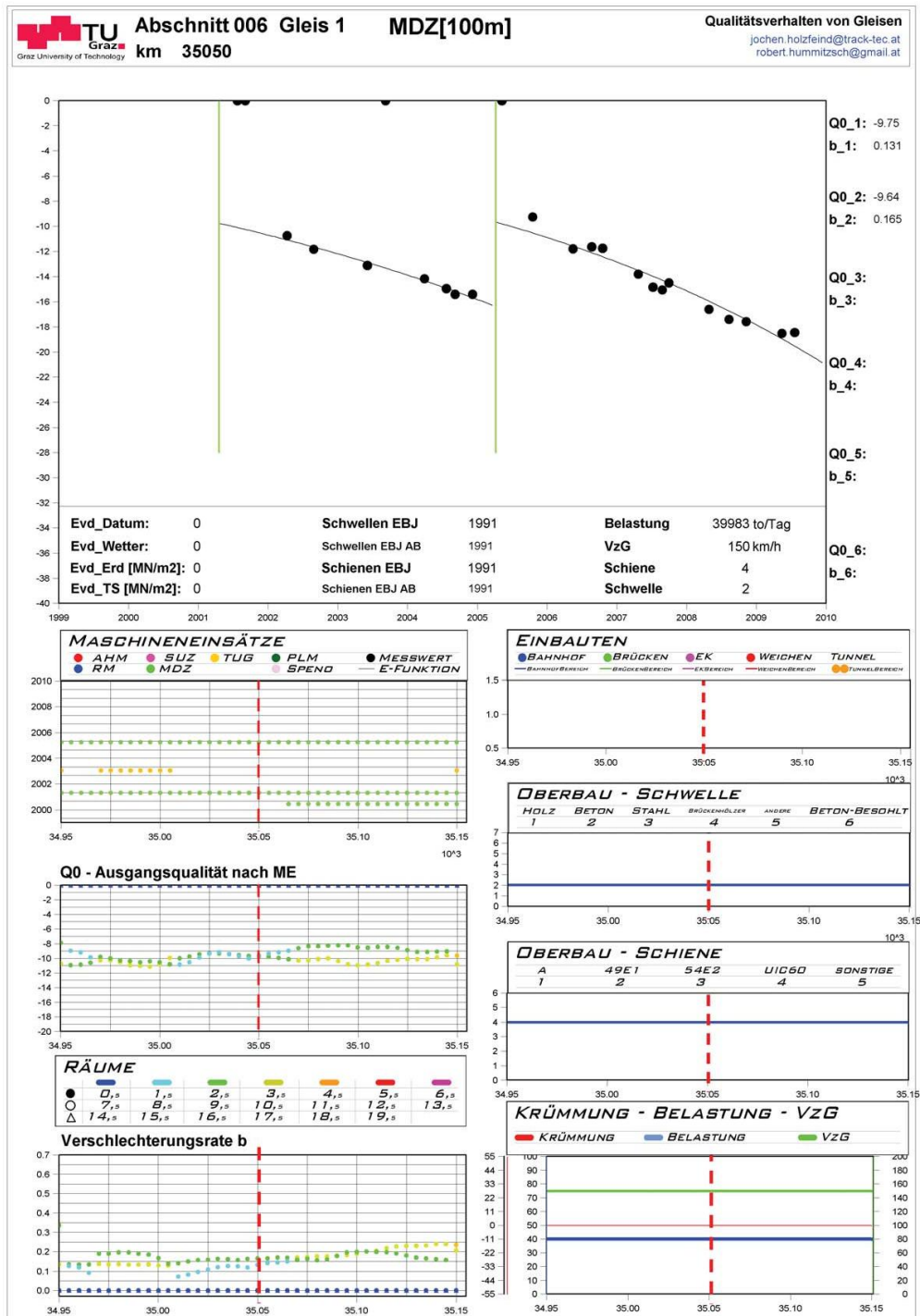


Abbildung 11: Grafische Darstellung eines Querschnittes aus der TUG Datenbank mit detaillierten Informationen

5 Verhängung von Langsamfahrstellen

Die Verhängung von Langsamfahrstellen hat, wie der Begriff bereits beinhaltet, eine Reduktion der maximal zulässigen Geschwindigkeit V_{\max} eines Streckenabschnitts auf eine sogenannte LA-Geschwindigkeit zur Folge. Dies dient dem Sicherheitsaspekt, als auch der Reduktion des Krafteintrages. Langsamfahrstellen werden auf dem jeweiligen Streckenabschnitt vom lokal zuständigen Bahnmeister verhängt. Dieser trägt auch die Verantwortung für den Betrieb des jeweiligen Abschnittes und veranlasst bzw. führt die Inspektionen des Gleises durch. Das langsame Fahren existiert als Notmaßnahme für alle Gewerke des Fahrwegs, die überwiegende Anzahl dieser LA-Stellen resultiert jedoch aus Qualitätsproblemen des Oberbaus bzw. des Unterbaus oder oft als Kombination beider. Konstruktionsschäden bei Bauwerken wie Brücken und Durchlässen können aus statischen Sicherheitsgründen ebenfalls zur Verhängung einer LA führen. Diese fallen aber nur zu einem kleinen Teil, genauso wie kurzfristige sogenannte temporäre LA-Stellen, als Verhängungsgrund an. Temporäre LA-Stellen zufolge Baustellen oder Instandhaltungsmaßnahmen sind meist planbarer und verursachen dadurch in den meisten Fällen geringere Betriebsbehinderungen. In Summe bedeuten aber alle Behinderungen des Betriebs, zufolge einer Geschwindigkeitsreduktion oder im schlimmsten Fall sogar einer Gleissperre, eine temporäre oder längerfristige Kapazitätseinschränkung. Solange die Verspätung der Züge entweder über Fahrzeitreserven kompensiert werden oder die Verringerung der Geschwindigkeit einen Teil des Mischverkehrs nicht betrifft, wie dies für den Güterverkehr der Fall sein kann, führen diese jedoch zu relativ geringen Folgekosten.

Der Instandhaltungsplan der ÖBB dient als Richtwert, ab welchen sicherheitsrelevanten Abweichungen der Messwerte eine Maßnahme zu setzen ist.

Wenn die sogenannte Soforteingriffsschwelle (SES) bei Messwagenfahrten oder Inspektionen überschritten wird, ist die Gefahr einer Entgleisung akut. Soforteingriffsschwellen sind Grenzwerte, deren Überschreitung nach Plausibilisierung des Messergebnisses eine Sofortmaßnahme erfordern, welche bis der Fehler beseitigt ist, zur Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder zur Sperre des Gleises führen kann.

„Bei Überschreiten der SES ist als Sofortmaßnahme die Höchstgeschwindigkeit der Züge bis auf jenes Geschwindigkeitsniveau zu verringern, bei dem die Fehler innerhalb der zulässigen Toleranzen liegen.“ (ÖBB Infrastruktur DB IS 2 Teil1 2010)

Eine genaue Regelung der Richtwerte der maximal zulässigen Geschwindigkeit zufolge der SES, wird in der Literatur „Dienstbehelf IS 2 Instandhaltungsplan“ durch Einfluss gewisser Randbedingungen wie Querhöhe, Längshöhe, Richtung, Spurweite und Verwindung geregelt. (ÖBB Infrastruktur DB IS 2 Teil1 2010)

5.1 Statistik

Das ÖBB Streckennetz wird in Netzkategorien untergliedert. Je nach Priorisierung der Strecken sind diese mittels der Bezeichnungen A-, B1- und B2- und C-Netz definiert.

Wie in Abbildung 12 ersichtlich ist, stieg die Anzahl der verhängten Langsamfahrstellen von 2006 bis zum 1.1.2010 rasant an. Hierzu ist anzumerken, dass die Problematik der bestehenden LA-Stellen je nach Streckenkategorie unterschiedlich ins Gewicht fällt. Im Streckenkernnetz A und B1 führen angeordnete Geschwindigkeitsreduktionen aufgrund der dort vorherrschenden hohen Zugzahlen und hohen Geschwindigkeiten sehr schnell zu Kapazitätsengpässen. Diese Problematik ist im Ergänzungsnetz der Kategorie B2 und C durch die geringere Verkehrsdichte und daraus resultierende Kapazitätspuffer nicht so schlagend wie im hochbelasteten Hauptnetz der ÖBB. Die geringen Transportmengen von Gütern und Personen führen auf Nebenstrecken ohnehin zu keinen hohen Betriebserschwerungskosten. Die genaue Betrachtung des A Netzes hat daher oberste Wichtigkeit. Wie man aus der dargestellten Statistik erkennen kann, ist die Anzahl an verhängten LA-Stellen mit 1. Jänner 2011 rückläufig und es ist anzustreben, dass sich der fallende Trend in den nächsten Jahren fortsetzt.

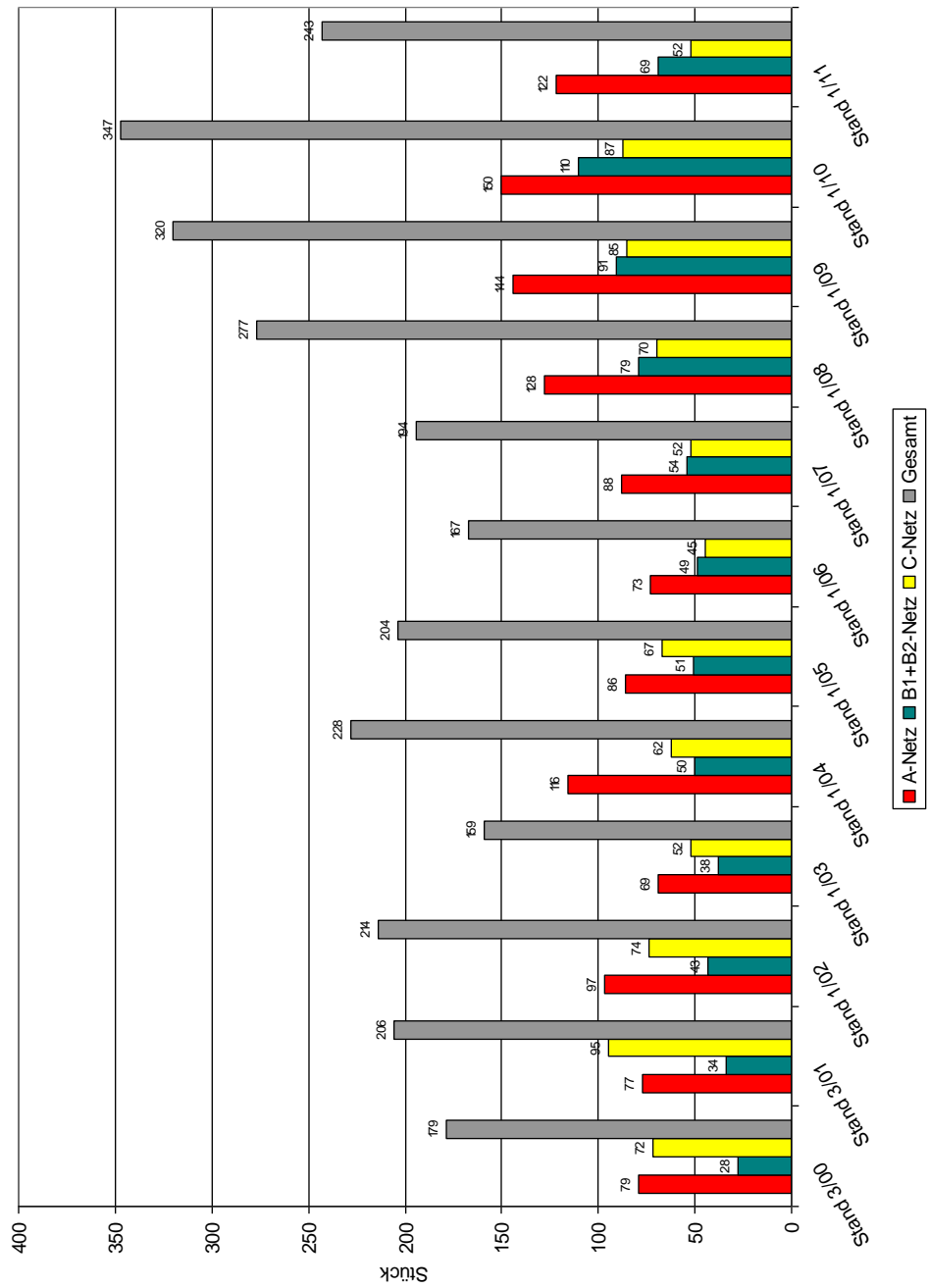


Abbildung 12: LA-Entwicklung Nach A-, B1- und B2- und C-Netz (in Stück) Stand: 1.01.2011 (Meierhoff Alexander 2011)

6 Ursachen für LA-Stellen

In Abbildung 13 sind die Ursachen von verhängten LA-Stellen im Hauptnetz A der ÖBB auf den durchgehenden Hauptgleisen 1 und 2 nach deren Verhängungsgründen der letzten Jahre mit jeweiligem Stand des ersten Jänners dargestellt.

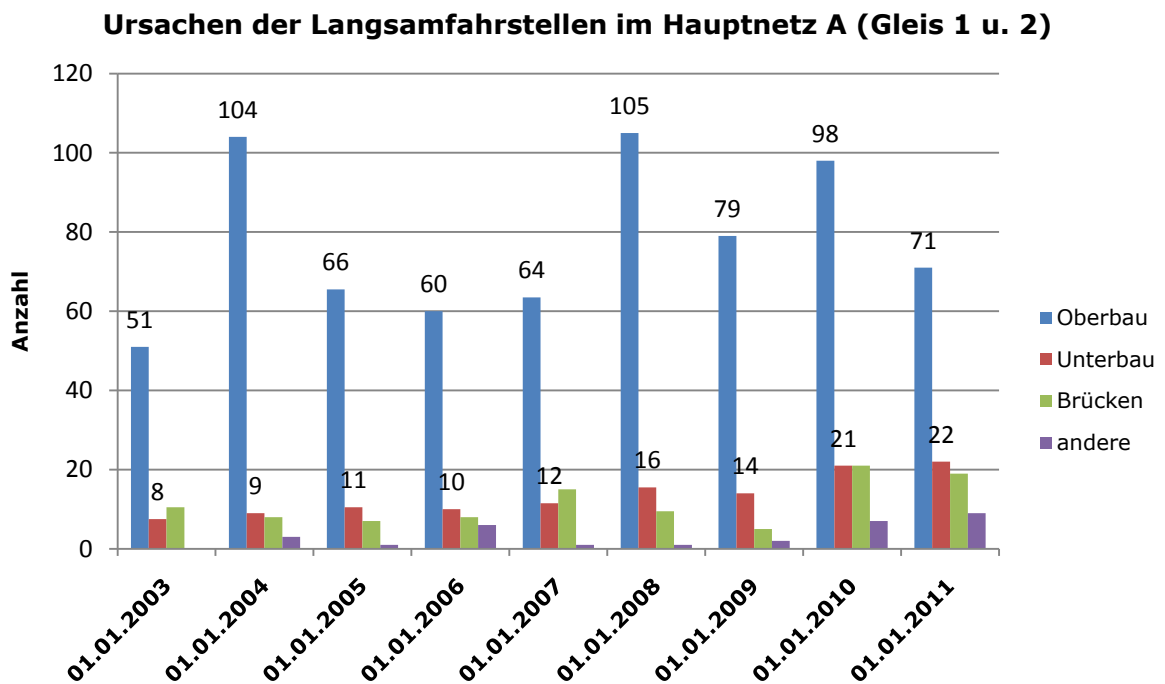


Abbildung 13: Ursachen der Langsamfahrstellen im Hauptnetz A (Gleis 1 u. 2)

6.1 Oberbau

Es ist ersichtlich, dass sich der Großteil der Langsamfahrstellen auf die Kategorie Oberbau zurückführt, in welcher alle Komponenten des Gleises (Schienen, Schienenbefestigungen, Zwischenlagen, Schwellen und Schotter) und Sonderkonstruktionen des Oberbaus, wie Weichen und Übergangskonstruktionen beinhaltet sind. Das Gleis wirkt als Gesamtsystem aller Komponenten. Dies lässt sich als solches in der Gleislagequalität darstellen, hinzu kommen die Einflüsse des Unterbaus und der Entwässerung. Schädigungen einer oder mehrerer Komponenten werden in den meisten Fällen in einer Verschlechterung des Qualitätszustandes des Gleises abgebil-

det. Es ist aber nicht möglich alle Verhängungsgründe von LA-Stellen aus der Gleislagequalität nachzuvollziehen, da manche sicherheitsrelevanten Verhängungen gar keine oder nur eine marginale Einwirkung auf diese haben. Ist eine unzulässige Erweiterung der Spurweite des Gleises oder der Kraftverbund zwischen Schwelle und Schienenbefestigung nicht mehr gegeben, wirkt sich dies in einem erhöhten Entgleisungsrisiko aus. Dieser Zustand muss sich nicht zwingend in einer Verschlechterung der Gleislagequalität niederschlagen. Genauso stellen sogenannte Head Checks (schuppenartige feine Risse an der Seite des Schienenkopfes) eine enorme Gefahr für Schienentrümmerbrüche dar. Hierfür werden eigene Messungen eingesetzt um diese Schädigung zu detektieren und haben, wie schon erwähnt, keinen direkten erkennbaren Einfluss auf den Komfort. Gründe für die Verhängung einer LA-Stelle sind somit meist mit der Schädigung, Verschleiß, Erreichen der Dauerfestigkeitsgrenze oder Verschmutzung (Schotter) von Oberbaukomponenten verbunden, die sich in den meisten Fällen, bis auf andere wie schon beispielhaft genannte Ausnahmen, meist auf die Gleislagequalität negativ auswirken und somit Sicherheitsgrenzwerte beziehungsweise notwendige Qualitäten nicht mehr eingehalten werden. Hierzu ist zu erwähnen, dass diese Aspekte in den meisten Fällen eher den Fahrkomfort und nicht die Entgleisungssicherheit betreffen.

6.2 Unterbau

Der Qualitätszustand des Unterbaus kann mit freiem Auge nicht direkt bewertet werden. Ein Indiz für eine Unterbauschädigung ist vor Ort am Gleis durch das Auftreten erdiger Spritzstellen ersichtlich, woraus sich ein Entwässerungsproblem erahnen lässt. Bei der Darstellung der Gleislagequalität sind Schäden im Unterbau oder schlechte Untergrundverhältnisse durch eine schlechte Gleislagequalität sehr gut ersichtlich. Dies tritt durch nicht tragfähigen Untergrund und Wasser in den tragenden Schichten auf, da es zu Steifigkeitsunterschieden im Unterbau kommt und somit sich auf das Gleis und dessen für den Betrieb notwendige und gewünschte geometrische Lage äußerst negativ auswirkt. Lokale detaillierte Aufschlüsse über die Qualitätszustände des Unterbaus können über die Entnahme von Probeschürfen und ein Bodengutachten ermittelt werden. Diese Erkundungen sind kostenintensiv und nur dann sinnvoll, wenn über die Notwendigkeit einer Unterbauverbesserung mittels einer AHM (Planumsverbesserung) entschieden werden muss.

6.3 Brücken

Diese Langsamfahrstellen werden durch Probleme bei Brückenkonstruktionen und damit verbundener begrenzter Tragfähigkeit verhängt. Schadhafte Konstruktionen bei Durchlässen führen ebenso zu notwendigen Geschwindigkeitsreduktionen. Diese sind aber zufolge gleislagebedingter Auswirkungen meist nicht relevant und daher für die Bewertung der Gleislagequalität in diesen Abschnitten und für die Auswertung dieser Arbeit nicht bewertbar. Aus diesem Grund werden solche Abschnitte nicht betrachtet.

6.4 Sonstige

Alle LA-Stellen, die nicht in die ersten Kategorien als Ursachen fallen, sind in dieser Ursachenbegründung beinhalten. Beispiele dafür sind Schäden an Oberleitungen beziehungsweise rechtlich verordnete Geschwindigkeitsreduktionen durch äußere Einflüsse (Eisenbahnkreuzungen), welche den Qualitätszustand nicht betreffen.

7 Gleislagequalität im TUG-Netz

Die sehr aufwändige Auswertung zur Findung der Istqualität, ging mit der Bearbeitung der jeweiligen TUG-Streckenabschnitte mittels verschiedenster Varianten einher und stellt somit eine der Kernauswertungen dieser Masterarbeit dar. Um die jeweiligen Abschnitte untereinander und mit bestehen LA-Stellen vergleichen zu können, musste ein Qualitätswert zu einem definierten Zeitpunkt ausgewertet werden. Dabei bereitete das Auswerteschema, mittels der aus Famos berechneten Verschlechterungsfunktionen aufgrund der meist durch TUG Einsätze oder teilweise falsch eingetragene Stopfeinsätze zusätzlich erzeugten Räume ohne Verschlechterungsast einige Schwierigkeiten. Die Raumbezeichnungen sind entscheidend um zeitlich exakte Verschlechterungsfunktionen aus der Datenbankausgabe auszuwerten. Die TUG-Datenbank beinhaltete zum Zeitpunkt der Auswertungen Gleislagequalitäten bis zum 1.1.2010. Dieser gewählte definierte Zeitpunkt ermöglichte eine genau definierte Auswertung dieser Verschlechterungsfunktionen. Der Qualitätswert $Q_{1.1.2010}$ ergibt sich durch das Einsetzen der jeweiligen Ausgangsqualitäten Q_n und den zugehörigen Verschlechterungsraten b_n und der zeitlichen Differenz Δt zur letzten Instandhaltungsmaßnahme in die Funktion der Gleislagequalität $Q=Q_n \times e^{b_n t}$. Dieser Qualitätswert in Form der MDZ-a Komfortziffer stellt hiermit den exakten Zustand des gesamten TUG Netzes mit einem definierten Zeitpunkt dar, woraus sich der direkte Vergleich mit der Gleislagequalität der bestehenden Langsamfahrstellen am 1.1.2010 gegenüberstellen lässt (Abbildung 14).

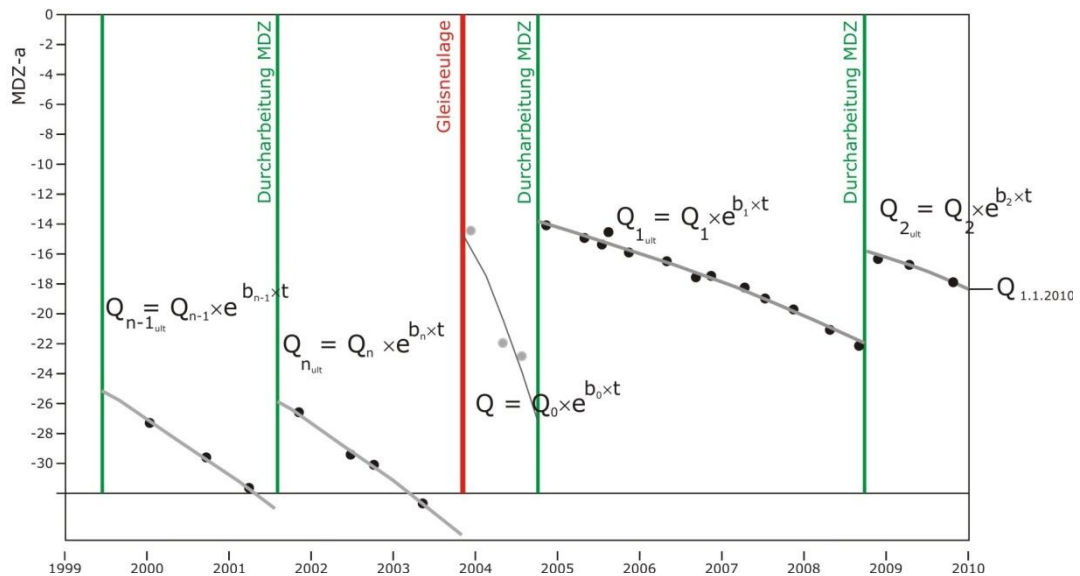


Abbildung 14: Istqualität $Q_{1.1.2010}$

Anmerkung: Durch Modifikationen in der Berechnungssequenz aus Famos, ist mittlerweile eine Bestimmung des Qualitätszustandes zu jedem gewünschten Zeitpunkt möglich. Für diese Arbeit wurde aus den erläuterten Gründen der Zeitpunkt 1.1.2010 gewählt.

Für die Auswertung wurde die Boxplotdarstellung gewählt, da mit dieser Darstellung die mittleren Qualitäten und die jeweiligen Streubreiten der untersuchten Streckenabschnitte aufgezeigt werden können. Ausreißer in den Daten beeinflussen den Mittelwert sehr stark, wodurch bei den gesamten Auswertungen immer der Median der Qualitätswerte ausgegeben wurde. Wie in den jeweiligen Boxplots ersichtlich, sind die Daten in den interquartilen Bereich der jeweiligen Box, durch die mittige Lage der Mediane annähernd normalverteilt beziehungsweise wie in Abschnitt 19 leicht rechtschief verteilt. Aus der netzweiten Auswertung der $Q_{1.1.2010}$ Werte, konnten für jeden Abschnitt Querschnitte mit Verschlechterungsfunktionen gefunden werden, über welche durch die Darstellung in Abbildung 15, ein guter Überblick der Qualität des Netzes und der jeweiligen Abschnitte gegeben werden kann. Wie in dieser Darstellung ersichtlich, befinden sich alle Boxplots, welche im jeweiligen interquartilen Bereich 50% der $Q_{1.1.2010}$ Werte der einzelnen Abschnitte beinhalten, in einer sehr engen Bandbreite zueinander. Einzig der Abschnitt 18 (Grazer Ostbahn) weicht etwas von dem Bild ab. Aufgrund der niedrigen Priorität (Netzkategorie B1) der Grazer Ostbahn kann nur angenommen werden, dass die nachweislich schlechte Qualität möglicher-

weise aufgrund mangelnden Budgets für Instandhaltung und Reinvestitionen, also auf Kosten der Qualität, hingenommen werden muss oder wegen der Planungen zu einer Neutrassierung die Instandhaltung minimiert wird. Auf Strecken mit sehr hohen Qualitätsansprüchen, wie dies zum Beispiel auf der Westbahn (Abschnitt 1) der Fall ist, sind solche Qualitätsniveaus undenkbar, wie man aus dieser Darstellung sehr gut erkennen kann. Unterschiedliche lokale Gegebenheiten auf den jeweiligen Strecken beeinflussen die Qualitätszustände ebenfalls.

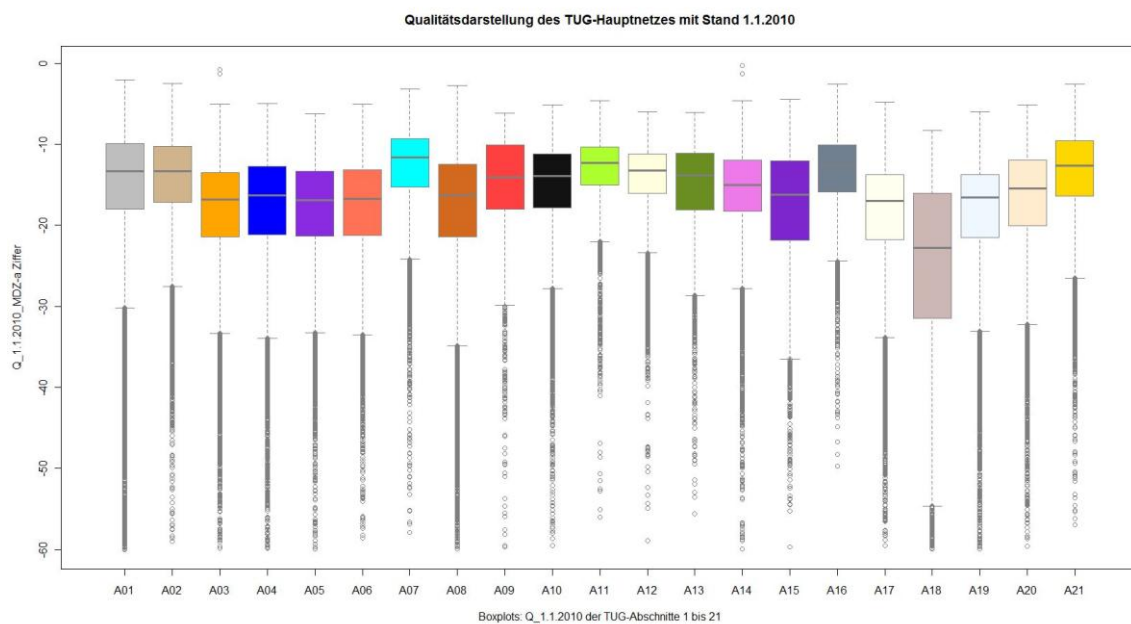


Abbildung 15: Gleislagequalität mit 1.1.2010 TUG-Netz

Um Langsamfahrstellen ihrer Gleislagequalität entsprechend zuordnen zu können, muss zuvor untersucht werden, welche LA-Stellen sich für eine Gleislagequalitätsdarstellung eignen. Die im TUG-Netz enthaltenen Verschlechterungsfunktionen entsprechen einem Teil des Hauptnetzes A und B1 der ÖBB. Für die genaue Betrachtung von Langsamfahrstellen bezüglich ihrer Gleislagequalität, ist der Fokus in dieser Arbeit auf die LA-Stellen mit 1.1.2010 gelegt worden. Die aus der ÖBB LA-Statistik benötigten Daten, wie die genauen Kilometrierungen und Geschwindigkeitsreduktion der LA-Stellen, wurden von den Österreichischen Bundesbahnen für diese Auswertung zur Verfügung gestellt. Alle Langsamfahrstellen die Gleise 1 und 2 der Netzkatgorien A und zwei B1 Strecken wurden nach ihren Ursachenbegründungen vorsortiert, wo-

durch nicht gleislagerrelevante LA-Stellen ausgeschieden wurden, wie dies für Oberleitungsschäden und Konstruktionsschäden bei Brücken und Durchlässen der Fall ist. Die Gesamtanzahl der bestehenden LA-Stellen mit 1.1.2010 reduzierte sich dadurch von 174 auf 108. Diese Langsamfahrstellen konnten im Detail auf ihre Komfortqualität geprüft werden. Zur Berechnung der Gleislagequalität jeder einzelnen LA, wurde jede kilometergenau untersucht und als MDZ-Qualitätswert der Median über alle in diesem Bereich erhaltenen $Q_{1.1.2010}$ MDZ-Werte ausgewertet. Der Median aller Qualitätswerte einer LA stellt die mittlere Qualität dieses Abschnittes unbeeinflusst dar, als dies mittels der Berechnung des Mittelwertes wäre. Je nach den LA-Längen und der Anzahl an vorhandenen Verschlechterungsfunktionen in den jeweiligen Auswertungsbereichen, variiert nachvollziehbarer Weise die Anzahl an MDZ-a Qualitätswerte je 5 m.

In Abbildung 16 sind alle bestehenden Langsamfahrstellen abgebildet. Wie aus dieser Abbildung sehr gut ersichtlich, überwiegen die Langsamfahrstellenqualitäten unter den Medianen der jeweiligen TUG-Abschnittsqualitäten. Daraus ist ein erster Zusammenhang zwischen Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen nachweisbar, da sich bis auf wenige Ausnahmen, der Großteil der bestehenden LA-Abschnitte schlechte Komfortziffern $Q_{1.1.2010}$ MDZ-a aufweisen.

Aus dieser Darstellung ergibt sich ein erster Richtwert zur Bewertung von LA Stellen. Mittlere Qualitätswerte von LA-Stellen im interquartilen Bereich der Boxplots könnten somit in Frage gestellt werden, da diese in das Niveau des allgemeinen Streckenzustandes fallen und sich somit zufolge des Komforts kein Bedarf einer Verbesserung durch Geschwindigkeitsreduktion ergibt. Alle LA-Stellen unter der ersten Quartile eines jeweiligen Abschnittsboxplots, könnte man somit als durchaus gerechtfertigt und notwendig ansehen. Welche Höhe die Geschwindigkeitseinschränkung haben sollte, um eine maximal notwendigen Komfort zu erreichen, wird in Kapitel 9 genauer erläutert.

Ausreißer im sehr schlechten Qualitätsbereich, sind einerseits aufgrund sehr kurzer Abschnitte mit einem oder mehreren beinhalteten Einzelfehlern und andererseits auch bei längeren LA-Abschnitten durch eine notwendige aber immer wieder zeitlich verzögerte Reinvestitionsmaßnahme in diesem Abschnitt zu erklären. Werte oberhalb der Mediane und ersten Quartilswerte der jeweiligen Abschnittsqualitäten, sind natürlich kritisch zu hinterfragen, ob und wieso eine Notwendigkeit einer Geschwindigkeitsreduktion gegeben ist. Der einzige nachvollziehbare Grund kann demnach nur ein erhöhtes Sicherheitsrisiko sein, wie dies beispielsweise beim Auftreten von Head

Checks, fehlendem Kraftschluss zwischen Schiene und Schwelle oder anderen nicht in der Gleislagequalität ersichtlichen Gründen der Fall sein kann (siehe Kapitel 5).

Da bei der Verhängung von LA-Stellen zufolge Oberbau immer mehr Weichen den Verhängungsgrund darstellen, sind diese gesondert von allen weiteren gleislagerlevanten LA-Stellen in Abbildung 16 dargestellt. Bei der expliziten Auswertung von Weichenlangsamfahrstellen kann die vorhandene Anzahl an Verschlechterungsästen aufgrund der geringen Länge und durch die doch sehr starke Streuung der MDZ-a Messpunkte bei der Messüberfahrt des EM250 zu einer sehr geringen Menge an errechenbaren Verschlechterungsfunktionen führen. Somit kann eine exakte Bestimmung der Qualitätsziffer solcher LA-Stellen durch die geringe Anzahl an Qualitätswerten zwar qualitativ dargestellt werden, muss aber in ihrer Aussagekraft kritisch betrachtet werden.

Für alle Langsamfahrstellen mit einer ausreichenden Anzahl an Verschlechterungsfunktionen in Relation zur Länge der LA können die Qualitätszustände in ihrer Aussagekraft abgesichert abgebildet werden.

Die einzigen Abschnitte ohne Langsamfahrstellen sind die Abschnitte 11 (St.Veit – Klagenfurt) und 13 (Villach – Thörl-Maglern), diese sind mit ca. 17 km und 21 km Länge aber auch die kürzesten TUG-Streckenabschnitte.

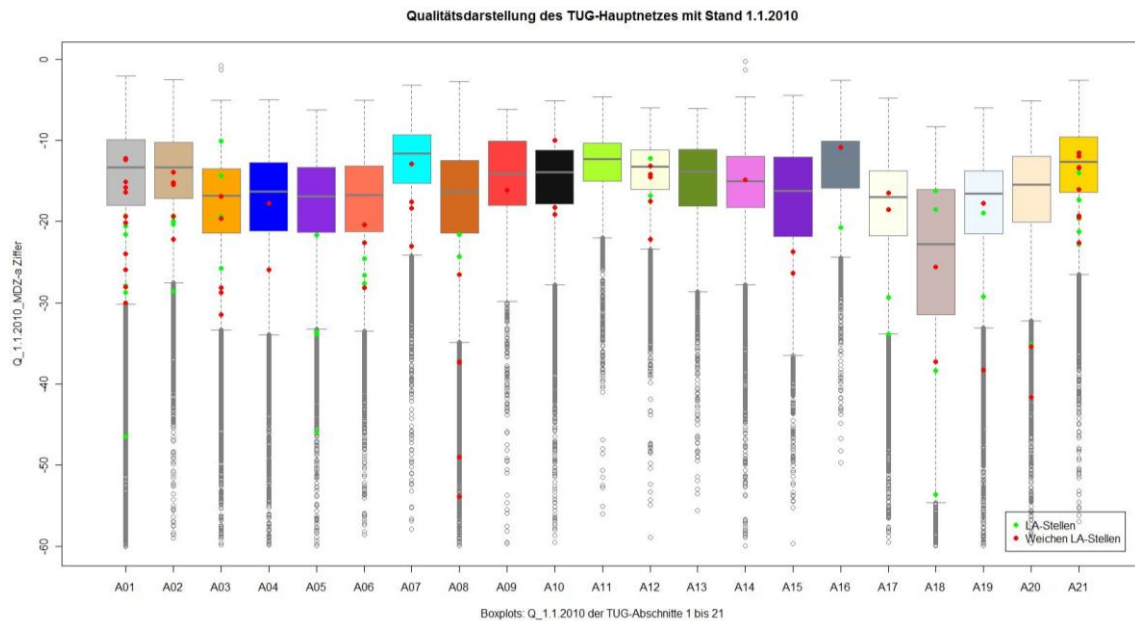


Abbildung 16: Gleislagequalität mit 1.1.2010 TUG-Netz und LA-Stellen

Eine Darstellung aller LA-Qualitätsmediane im Netz, ergibt eine rechtsschiefe Verteilung wie in Abbildung 17 ersichtlich ist. Dies spiegelt den Qualitätszustand von gut bis zu sehr schlechter Komfortqualität wieder. Aus technischer Sicht sind Qualitäten besser als -5 MDZ-a Punkte nur sehr schwer erreichbar, daher können in diesem Qualitätsbereich unter normalen Umständen gar keine LA-Stellen entstehen, was durch die Auswertungen auch bestätigt wird. Die Ausreißer in den sehr schlechten Qualitätsbereichen bis -70 $Q_{1.1.2010}$ MDZ-a Medianwert, weisen dezidiert auf eine sehr starke Komfortminderung hin.

Als Beispiel hierfür wird die Langsamfahrstelle mit dem Medianqualitätswert $Q_{1.1.2010} = -53,9$ MDZ-a auf dem Abschnitt 8 der Südbahn von Graz nach Wien aufgezeigt. Der Verhängungsgrund über eine Länge von einem Kilometer ist durch eine starke Untergrundschädigung begründet, dies kann zufolge der Komfortqualität nur bestätigt werden. Sehr kurze LA-Stellen mit Einzelfehlern führen natürlich ebenso zu solch schlechten Qualitätswerten. Der überwiegende Anteil der LA-Stellen fällt, zufolge der jeweiligen Medianwerte, in den Qualitätsbereich zwischen $Q_{1.1.2010}$ MDZ-a -10 bis -25. Im folgenden Histogramm ist die Verteilung der im TUG-Netz betrachteten LA-Stellen dargestellt.

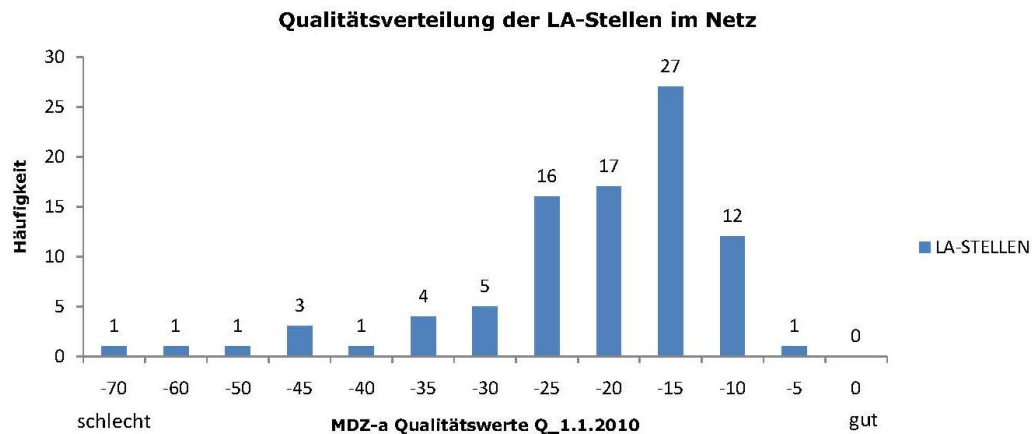


Abbildung 17: Qualitätsverteilung der LA-Stellen im Netz

Ein definitiver Komfortwert als pauschaler maximal notwendiger Mindestkomfort kann nach diesen ersten Erkenntnissen nicht pauschal für alle Abschnitte festgelegt werden. Die Zustandsqualitäten der jeweiligen betrachteten Streckenabschnitte befinden sich zwar in einer gewissen Bandbreite zueinander, differenzieren sich aber doch möglicherweise durch lokale Randbedingungen, Streckenpriorisierungen und unterschiedlich gesetzten Instandhaltungsmaßnahmen und in weiterer Folge durch das verfügbare Budget.

Durch diese erste Auswertung kann gezeigt werden, dass der Großteil der verhängten LA-Stellen durchaus mit einer schlechten Komfortqualität einhergeht und somit ein Zusammenhang zwischen Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen gegeben ist.

Da das Gleis mit zunehmendem Alter immer mehr verfällt und schließlich erneuert werden muss, ist die Kenntnis des Qualitätszustandes vor einer Reinvestition möglicherweise ein Indiz für die bislang maximal zugelassene Komfortqualität eines Gleises. Durch die Eruiierung dieses Qualitätsniveaus vor Neulagen, könnte man daraus in Gegenüberstellung zu den Abschnittszuständen der einzelnen Strecken einen möglichen Mindestqualitätswert festlegen. Im folgenden Kapitel wird auf diese Mindestqualität näher eingegangen.

8 Mindestqualität

Um LA-Stellen zufolge einer geforderten Qualität einstuft zu können ist ein möglicher Ansatz die Angabe einer Mindestqualität. Demnach könnte dieser eruierte Richtwert das geforderte Qualitätsniveau definieren, ab welchem eine Langsamfahrstelle aufgrund ihrer vorherrschenden Komfortqualität bewertet und somit hinterfragt oder bestätigt werden kann. Die Herangehensweise wurde so gewählt, dass alle Abschnitte der TUG Datenbank auf die vorherrschenden Qualitätszustände vor durchgeführten Neulagen durchsucht wurden. Unter diese sogenannten Neulagen fallen alle Maschineneinsätze wie AHM, SUZ, und Kombinationen wie RM_SUZ (Schotterreinigung mit Schnellumbauzug). Da diese Maßnahmen sehr kostenintensiv sind, wird idealisiert davon ausgegangen, dass diese Maschineneinsätze nur angeordnet wurden wenn eine dringende Notwendigkeit gegeben war das Gleis zu erneuern und demnach das Gleis einen schlechten Qualitätszustand beim Ausbau aufwies. Durch dieses Axiom ergibt sich die Suche nach der Mindestqualität eines Gleises über die sogenannte Ausbauqualität.

Die Berechnung der Ausbauqualität in Form der MDZ-a Qualitätsziffer erfolgt über die Funktion:

$$Q_{n-1_{ult}} = Q_{n-1} \cdot e^{b_{n-1} \cdot t}$$

Q_{n-1} ...Ausgangsqualität des vorletzten Verschlechterungsastes vor Neulage

b_{n-1} ...Verschlechterungsrate des vorletzten Verschlechterungsastes vor Neulage (je größer der Wert, desto stärker ist die Verschlechterung)

t ...Zeit seit letzter Instandhaltung

$Q_{n-1_{ult}}$...Qualitätswert vor letzter Instandhaltung einer Neulage

Der Qualitätswert $Q_{n-1_{ult}}$ wurde für Verschlechterungsäste vor der letzten Instandhaltungsmaßnahme vor einer Neulage ermittelt. Die Überlegungen, diesen Qualitätswert als Ausbauqualität heranzuziehen, ergaben sich einerseits aus dem Einfluss des immer mehr verdichteten aber dennoch regelmäßigen Instandhaltungsintervalls und aus der Anzahl der Verschlechterungsäste direkt vor Reinvestitionen. Der Zeitfaktor spielt insofern eine Rolle, als Stopfungen in einem gewissen regelmäßigen zeitlichen Abstand aufgrund der Verfügbarkeit der Stopfmaschinen durchgeführt werden können (Abbildung 18). Durch die unterschiedlichen Verfügbarkeiten von Reinvestitionsmaschinen (AHM, SUZ), kann eine Neulage beliebig in einem sehr knappen oder ent-

fernten Zeitraum nach der letzten Instandhaltungsmaßnahme vollzogen werden, wodurch der Qualitätswert Q_{n_ult} nicht mehr den tatsächlichen Zustand des Gleises darstellen würde, bei welchem die Gleisneulage notwendig wird (Abbildung 18). Bei Verzögerungen des Neulageneinsatzes kann dies ein intensives unterjähriges Stopfintervall erfordern um das Gleis auf einem gewissen erforderlichen Qualitätsniveau zu halten bis die Reinvestition letztendlich erfolgt. Bei sehr kurzen Zeitabständen liegt keine ausreichende Anzahl von Messfahrten vor, welche für die Berechnung der Regressionsfunktion notwendig sind. Ohne Verschlechterungsfunktion lässt sich der Qualitätszustand Q_{n_ult} jedoch nicht darstellen.

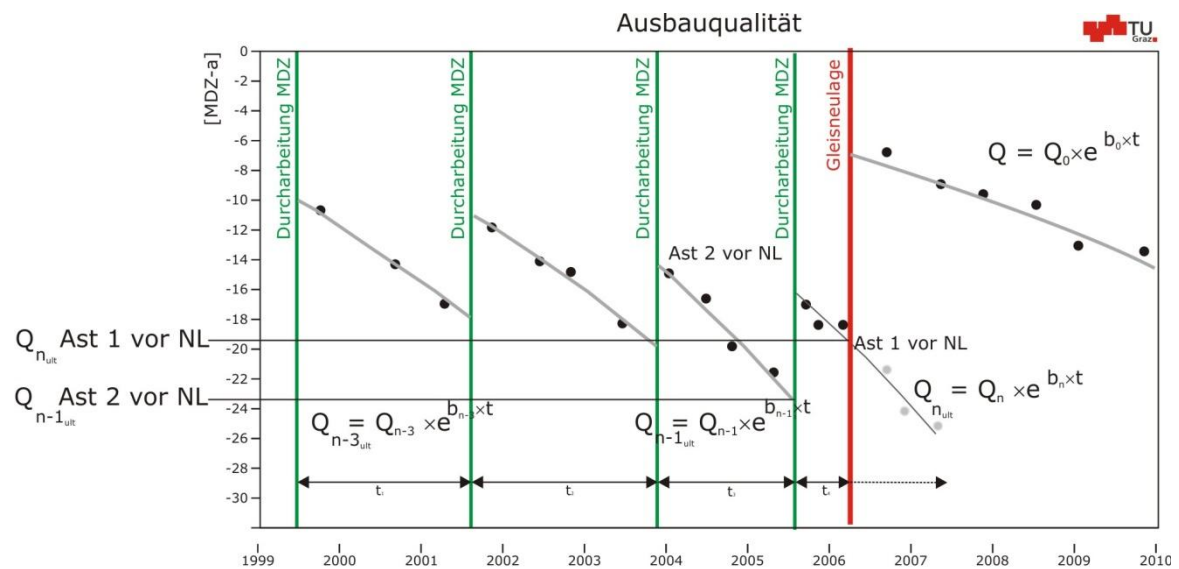


Abbildung 18: Ausbauqualität Beispiel Auswertung

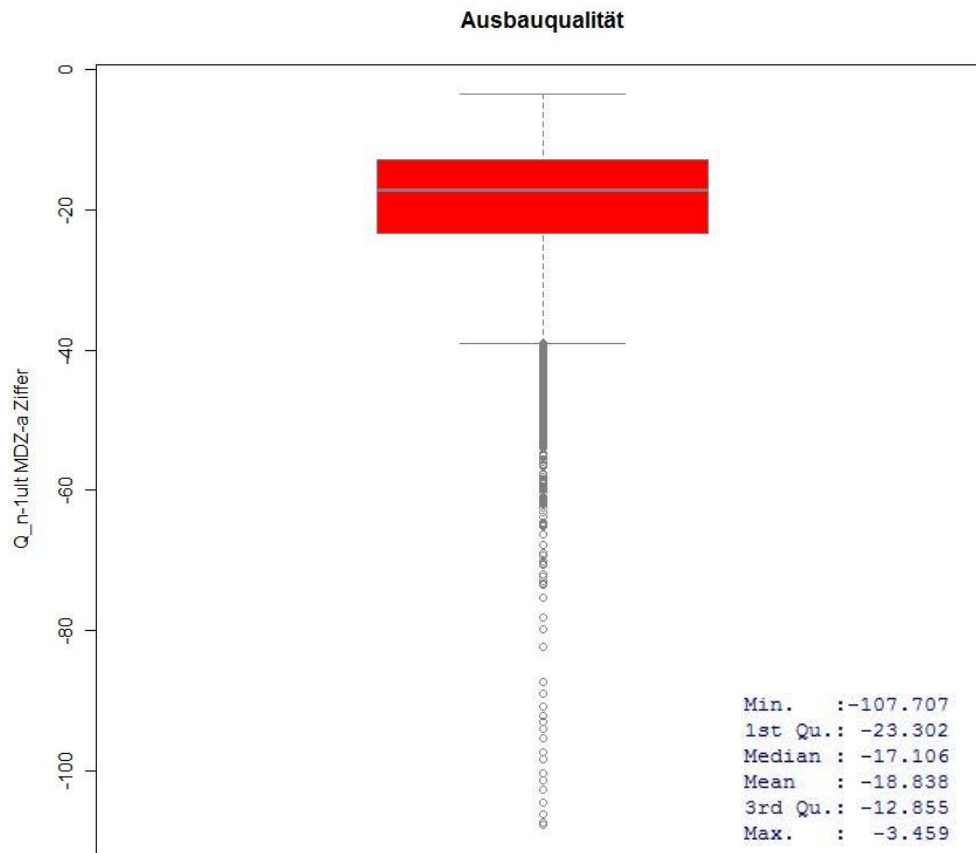
Der erwähnte Zeitfaktor des Einsatzzeitpunktes ist daher so einflussreich, da die Einsatzmaschinenpläne für durchzuführende Neulagen im aktuellen Jahr für das Folgejahr bereits feststehen. Aus Gründen der vergebenen Sperrpausenfenster auf den Streckenabschnitten, der Verfügbarkeit der Baumaschinen, der abzuwickelnden Baustellenlogistik mit den Schottertransportzügen und dafür benötigte Bahnhofslängen, ist eine vorjährige Planung unerlässlich. Aufgrund zu hoher Betriebserschwerisse durch die Bauarbeiten, kann es somit durchaus vorkommen, dass notwendige Reinvestitionen auf einem Streckenabschnitt auf mehrere Jahre verteilt durchgeführt werden müssen. Sinnvoller Weise wäre natürlich eine Durcharbeitung eines Neulagenstücks aus gleislagetechnischer Sicht anzustreben, da bei jedem Neubeginn von

Arbeiten am Baustellenanfang und -ende, mögliche schädliche Einzelfehler durch Unstetigkeiten im Gleis produziert werden und können somit durch die daraus resultierenden dynamischen Einwirkungen der Fahrzeuge bei den Überfahrten verstärkt das Gleis schädigen.

Aus der Kostensicht ist ebenfalls eine Streckung der Arbeitslängen anzustreben, da sich die Kosten für eine Reinvestition stark degressiv mit der Neulagenlänge verringern. (Veit Peter, Marschnig Stefan 2008)

Für die Auswertung war die Querschnittsanzahl an vorhandenen Verschlechterungsästen Q_{n_ult} direkt vor einer Neulage im TUG Netz mit 4.000 Querschnitten doch sehr gering, hingegen wurden 22.352 Querschnitte je 5 m (~ 112 km) mit einer Verschlechterungsfunktion Q_{n-1_ult} (Qualitätswert vor letzter Instandsetzung vor Neulage) gefunden. (Abbildung 18)

In Abbildung 19 sind alle erhaltenen Q_{n-1_ult} MDZ Qualitätswerte vor Neulagen für das gesamte TUG-Streckennetz ausgewertet und in Form eines Boxplots dargestellt. Dieses Ergebnis dient als möglicher Richtwert und zur Veranschaulichung der Qualitätsverteilung der reinvestierten Gleisabschnitte der letzten Jahre in einem Teil des Netzes der Österreichischen Bundesbahnen.



Boxplot: Q_n-1ult Qualitätswert MDZ-a bei letzter Instandsetzung vor Neulage

Abbildung 19: Boxplot Ausbauqualität im TUG-Netz

Um den Qualitätszustand einer Strecke mit der Ausbauqualität gegenüber zu stellen, wird in Abbildung 20 die Verteilung der ausgewerteten Querschnitte, mit den errechneten Qualitätswerten dargestellt. Diese Darstellung spiegelt die durchgeführten Gleisreinvestitionen mittels AHM, SUZ und RM_SUZ nach TUG-Streckenabschnitten wider.

Verteilung der Neulagen mit MDZ-a Qualitätswerten im TUG-Netz

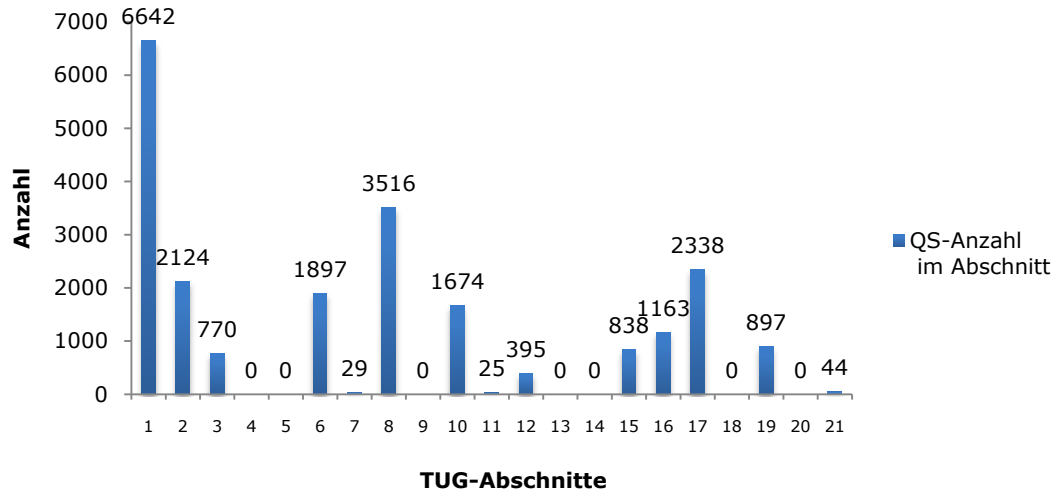


Abbildung 20: Verteilung der Neulagen mit Q_{n-1_ult} Qualitätswerten im TUG-Netz

Durch die Ergebnisse aus Abbildung 20 wird ersichtlich, dass sich eine weitere genauere Betrachtung der jeweiligen Abschnitte nur auf solche mit den größten Querschnittsanzahlen als sinnvoll erweist.

Im Zuge der Auswertungen wurden mehrere Abschnitte mit liefernden Ausbauqualitätswerten verglichen, wobei sich die Gegenüberstellungen Ausbauqualität zu Istzustandsqualität als annähernd gleich dargestellt hat. Bei sehr geringen Querschnittsanzahlen für die Ausbauqualität mancher Strecken, zeigte die Gegenüberstellung zur jeweiligen Zustandsqualität eine bessere Komfortqualität der Ausbauqualität als die Zustandsqualität des Abschnittes. Dies kann durch die Reinvestition von Bereichen erklärt werden, bei welchen die Gleislagequalität als solches keine schlechte ist, aber die Komponenten wie Schiene und Schwelle aufgrund des sehr hohen Alters zu erneuern waren. Im Allgemeinen ist die Aussagekraft einer sich besser darstellende Ausbauqualität gegenüber der Zustandsqualität kritisch zu hinterfragen. Aufgrund der geringen Anzahl an Ausbauqualitätsquerschnitten im Vergleich zu Abschnitt 1, wird nicht näher auf die Abschnitte mit sehr geringen Neulagenquerschnitten eingegangen, da durch die geringe Anzahl an Qualitätswerten keine abgesicherte Aussage betreffend der Komfortqualität gemacht werden kann. Der Fokus der weiteren Auswertungen wurde dahingehend auf den Abschnitt 1 mit der größten Anzahl an Querschnitten gelegt.

Für den Abschnitt 1 wurde die streckengetreue Ausbauqualität in einer eigenen Auswertung durchgeführt und mit der Zustandsqualität (1.1.2010) des Abschnittes gegenüber gestellt (siehe Abbildung 21). Alle auf diesem TUG-Abschnitt bestehende LA-Stellen sind ebenfalls mit der jeweiligen vorherrschenden Komfortqualität ersichtlich. Diese Qualitätsmediane wurden mittels der Berechnung aller MDZ-a Qualitäten über die Länge der jeweiligen Langsamfahrstelle bewerkstelligt, wobei der Median aller erhaltener Qualitätswerte $Q_{1.1.2010}$ einer LA in Abbildung 21 als grüner Punkt dargestellt wird.

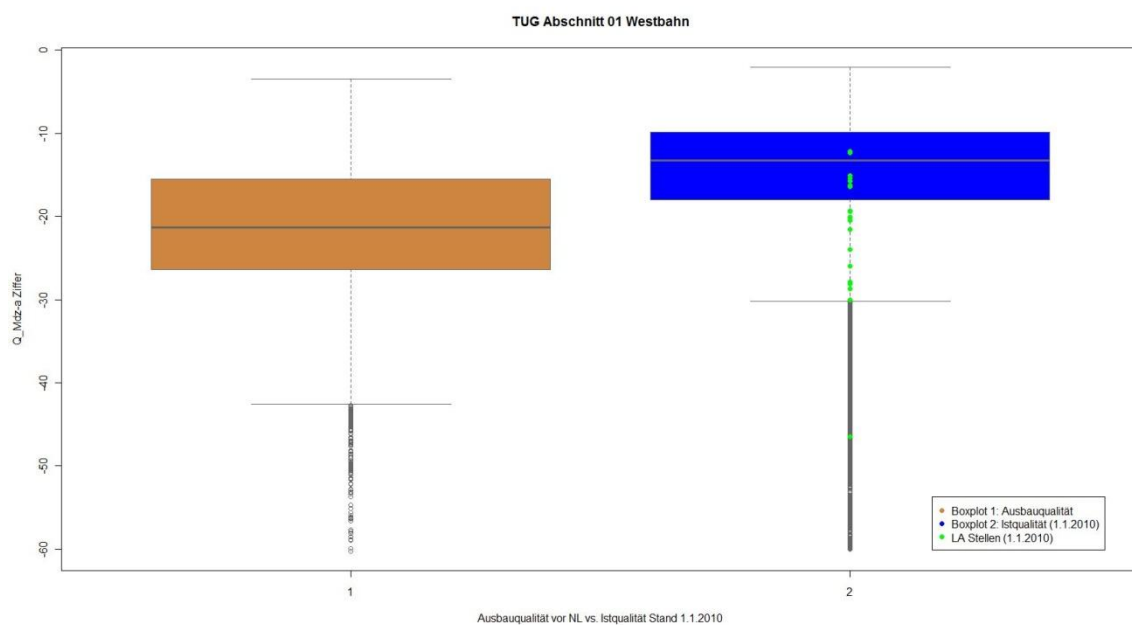


Abbildung 21: Qualitätsgegenüberstellung Ausbauqualität Q_{n-1_ult} zu Istzustand $Q_{1.1.2010}$ des TUG-Abschnittes 01 mit LA-Stellen

Durch diese Gegenüberstellung ist eine weitere kritische Bewertung über die verhängten Langsamfahrstellen möglich. Sobald LA-Stellen innerhalb des interquartilen Bereiches der Ausbauqualität liegen, kann man davon ausgehen, dass diese LA-Stellen durchaus ihre Notwendigkeit haben. Alle im Bereich ober dem interquartilen Bereich liegenden LA-Stellen der Ausbauqualität, sind in ihrer Verhängungsnotwendigkeit auf jeden Fall sehr stark zu hinterfragen und zu prüfen, warum diese notwendig sind. Der Eingriffswert, ab wann eine LA kritisch zufolge ihrer Qualitätswerte zu betrachten ist, kann natürlich variabel gewählt werden.

Der erste Quartilswert der Zustandsqualität des Abschnittes würde sich in diesem Zusammenhang der Gegenüberstellung mit der Ausbauqualität, für die gesuchte Mindestqualität als sinnvoll erweisen. Alle LA-Stellen unter diesem Wert würden in den interquantilen Bereich der Ausbauqualität oder schlechter zu liegen kommen, wobei dieser Qualitätszustand für die Verhängung einer LA spricht. Somit würden alle Langsamfahrstellen mit einem besseren Qualitätswert als den ersten Quartilswert des Streckenzustandes kritisch hinterfragt werden.

Diese Überprüfung der Notwendigkeit einer LA, also der Vergleich mit einer geforderten Mindestqualität des Komforts, stellt somit das sogenannte „erste Sieb“ dar.

9 Auswirkungen der Geschwindigkeitsreduktion auf LA-Stellen

Auf die Berechnung der MDZ-a Qualitätsziffer wurde bereits eingegangen. Aus dieser Gleichung

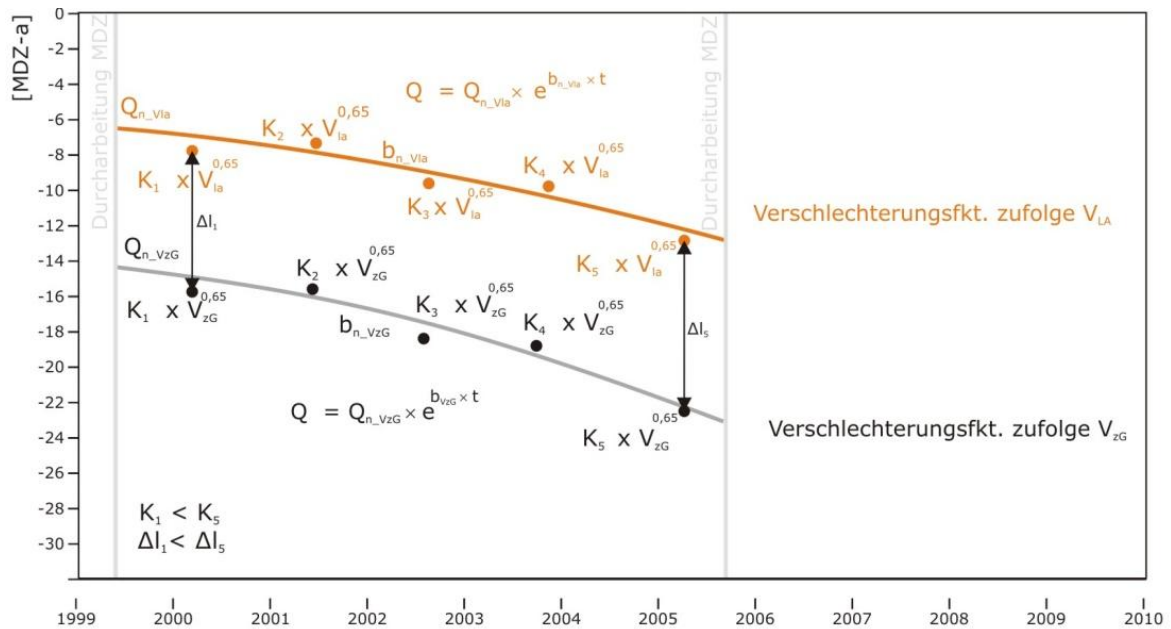
$$MDZ = c \cdot \frac{1}{L} \cdot V^{0,65} \cdot \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta x}} \sqrt{(\Delta v')^2 + (\Delta h + \Delta \ddot{u})^2}$$

wird K_n als Konstante eingeführt, welche sich wie folgt zusammensetzt:

$$K_n = c \cdot \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta x}} \sqrt{(\Delta v')^2 + (\Delta h + \Delta \ddot{u})^2}$$

Wie man aus Abbildung 22 erkennen kann, setzen sich die einzelnen MDZ-a Punkte aus der Messwagenfahrt des EM250 aus der Variable K_n und der jeweiligen Betriebsgeschwindigkeit beziehungsweise LA Geschwindigkeit zusammen. Bei der Berechnung der neuen MDZ-a Messpunkte zufolge der V_{LA} Geschwindigkeit, ist eine Nachstationierung der Rohdaten erforderlich. Durch diesen Berechnungsschritt werden Messfehler und Stationierungsfehler behoben. Als nächster Schritt werden die Messpunkte mit der neuen verringerten Geschwindigkeit V_{LA} berechnet. Die neue Berechnung der Regression wurde über die neuen MDZ-a Messpunkte zufolge der V_{LA} gerechnet und es ergibt sich somit der neue Ausgangswert der Verschlechterungsfunktion Q_{n_vla} . Aus dem Einfluss des geänderten Q-Wertes resultieren unterschiedliche Verläufe der jeweiligen Verschlechterungsfunktionen. Dies ergibt sich aus der Multiplikation der Geschwindigkeit mit den sich in jedem MDZ-a Messpunkt differenzierenden K_n Werten, die sich wie oben beschrieben, aus den Änderungen der geometrischen Höhen- und Richtungslage in jedem Messpunkt anders darstellen. Somit wird sich durch den verbesserten Q Wert der MDZ-a Qualitätsziffer die Neigung der Verschlechterungsfunktion flacher darstellen als bei Ausgangsfunktion zufolge V_{zG} . Durch Einsetzen in die neu berechnete Verschlechterungsfunktion $Q = Q_{n_vla} * e^{bn_vla*t}$ können in Abhängigkeit der Zeit t jegliche Komfortqualitäten in der vorhandenen Zeitperiode der Verschlechterungsfunktion ermittelt werden.

Aus Abbildung 22 ist die Änderung der Verschlechterungsfunktion aus der Geschwindigkeitsreduktion schematisch dargestellt.



- K_n Wert setzt sich aus teilen der MDZ Berechnungsformel zusammen
- V_{LA} Geschwindigkeit der LA - Stelle
- V_{zG} Betriebsgeschwindigkeit
- $\Delta I_{1 \text{ u. } 5}$ Verschiebung des Messpunktes in MDZ-a
- Q_n Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes
- b Verschlechterungsrate (je größer der Wert, desto stärker ist die Verschlechterung)
- t Zeit seit letzter Instandhaltung

Abbildung 22: Verschlechterungsfunktion zufolge V_{LA}

Bei diesem allgemeinen Ansatz zur Ermittlung der verbesserten Qualität zufolge der V_{LA} wurde davon ausgegangen, dass sich die Verschlechterungsrate b möglicherweise ändert und somit wurde diese als Unbekannte in der Berechnung angesetzt.

Die Überprüfung der ausgewerteten b -Raten ($b_{n_{VzG}}$ und $b_{n_{VLA}}$) einzelner LA-Stellen ergibt, wie in den Ergebnissen der Abbildung 23 und Abbildung 24 ersichtlich ist, eine Überschneidung der Konfidenzintervalle durch die Darstellung der Notches der beiden Boxplots. Somit unterscheiden sind die Verschlechterungsraten $b_{n_{VzG}}$ und $b_{n_{VLA}}$ statistisch nicht signifikant voneinander. Die abweichenden Streubereiche der b -Raten in Abbildung 23 und Abbildung 24 lassen sich aus den Berechnungen der neuerlichen Regression erklären.

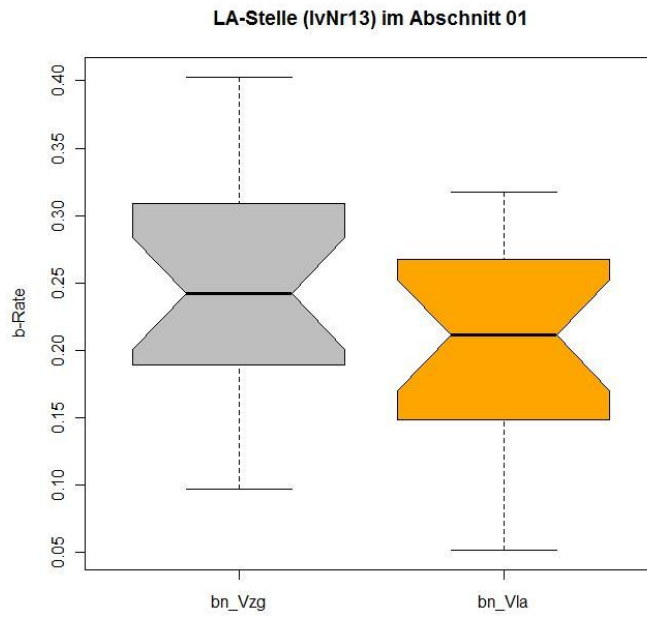


Abbildung 23: bn_V_{ZG} vs. bn_V_{LA} (Abschnitt 01)

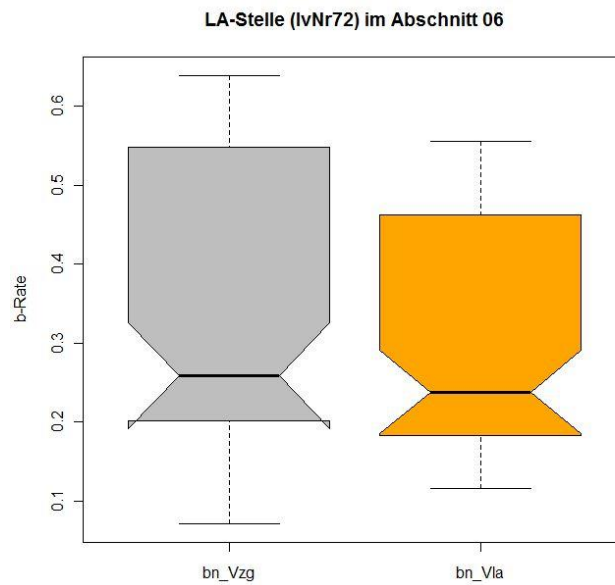


Abbildung 24: bn_V_{ZG} vs. bn_V_{LA} (Abschnitt 06)

Folglich ist bei der Ermittlung von verbesserten Qualitätswerten zufolge V_{LA} , keine neuerlichen Berechnung von Regressionskurven notwendig, da sich die b-Raten in der Verschlechterungsfunktionen $Q=Q_{n_{VzG}} \cdot V_{zG}^{bt}$ und $Q=Q_{n_{VLA}} \cdot e^{bt}$ annähernd gleich verhalten und somit als einzige Unbekannte der Wert $Q_{n_{VLA}}$ verbleibt. Im idealen theoretischen Fall ändern sich die b-Raten der Regressionskurven nicht.

Die jeweilige Konstante K_n ergibt sich durch die Division des jeweiligen Qualitätswertes $Q_{n_{VzG}}$ einer bekannten Verschlechterungsfunktion mit der Betriebsgeschwindigkeit $V_{zG}^{0,65}$. Die Multiplikation des errechneten K_n mit der LA-Geschwindigkeit $V_{LA}^{0,65}$ ergibt somit den neuen Qualitätswert $Q_{n_{VLA}}$. Nun kann durch Einsetzen in die Verschlechterungsfunktion $Q=Q_{n_{VLA}} \cdot e^{bt}$ jeder beliebige sich im betrachteten Zeitraum der Verschlechterungsfunktion befindliche Qualitätswert berechnet werden.

Die Verbesserung der Qualitätsziffer MDZ-a $Q_{1.1.2010}$ wird in den nachfolgenden Abbildungen in Form der Boxplotdarstellung der jeweiligen Abschnittsqualitäten mit 1.1.2010 dargestellt. Als grüne Punkte werden alle bewertbaren LA-Stellen mit den jeweiligen errechneten Median der MDZ-a $Q_{1.1.2010}$ Qualität zufolge der Betriebsgeschwindigkeit V_{zG} abgebildet. Die Geschwindigkeitsreduktion errechnet sich, wie in diesem Kapitel bereits erklärt wurde, aus der Verschlechterungsfunktion mittels der V_{LA} Geschwindigkeit neu und hebt die Qualität der Komfortziffer MDZ-a auf ein besseres Qualitätsniveau.

Hierfür wurden drei hochbelastete und hochpriorisierte Strecken für diese Auswertung herangezogen. Die höchstbelastete Strecke im Netz der ÖBB, die Westbahn Abschnitt 01 (Wien – Salzburg), der Abschnitt 02 (Salzburg – Wörgl) und der Abschnitt 06 (Wels - Werndorf). Für die zeitintensive Neuberechnung der Verschlechterungsfunktionen zufolge der Geschwindigkeitsänderung, wurden für die drei gewählten TUG-Abschnitte jeweils unterschiedliche gemittelte V_{LA} Geschwindigkeiten angesetzt welche sich aus den überwiegenden verhängten LA-Geschwindigkeiten ergaben. Es wurde für jeden Abschnitt nur solche Langsamfahrstellen mit jeweiligen LA-Geschwindigkeiten gewählt, welche 10 bis maximal 20 km/h Geschwindigkeitsunterschied zur gewählten V_{LA} aufwiesen. Daraus ergaben sich für die Westbahn Abschnitt 01 mit der gewählten $V_{LA}=50$ km/h 9 bewertbare LA-Stellen, für die Abschnitte 02 mit einer $V_{LA}=60$ km/h und 06 mit einer $V_{LA}=80$ km/h ergaben sich 4 beziehungsweise 5 LA-Stellen.

Hierzu stellt sich die Frage, welches Qualitätsniveau für einen schlechten Gleisabschnitt zufolge der reduzierten Geschwindigkeit als ausreichend oder sinnvoll erscheint. Wie aus dem Beispiel der Westbahn ersichtlich wird, wurde bei manchen LA-Stellen die MDZ-a Qualitätsziffer über den interquartilen Boxplotbereich der Netzqualität gehoben. Dabei müsste ein Qualitätswert der im Interquartilsbereich der Netzqualität liegt, eine mehr als ausreichenden Qualitätszustand für „schadhafte“ Gleisbereiche darstellen. Mit dieser Form der Qualitätsdarstellung der Komfortziffer, kann somit punktuell überprüft werden, ob die verhängten Maßnahmen zufolge der Komfortqualität gerechtfertigt und sinnvoll sind.

Auf diese Weise kann eruiert werden, welche Geschwindigkeitsreduktion für einen ausreichenden Gleiskomfort notwendig ist.

In Abbildung 25 und Abbildung 26 werden zwei Situationen, einer aus Sicht der Komfortqualität gut und einer zu gering gewählten LA-Geschwindigkeit, dargestellt.

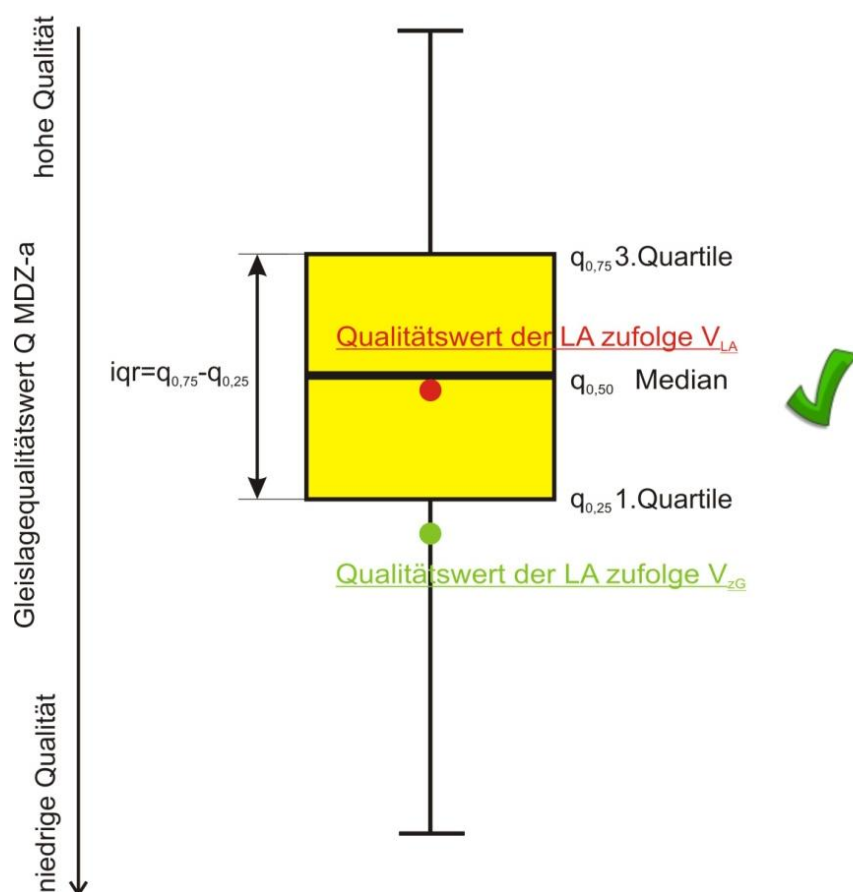


Abbildung 25: Aus Sicht der Komfortqualität gut gewählte LA-Geschwindigkeit V_{LA}

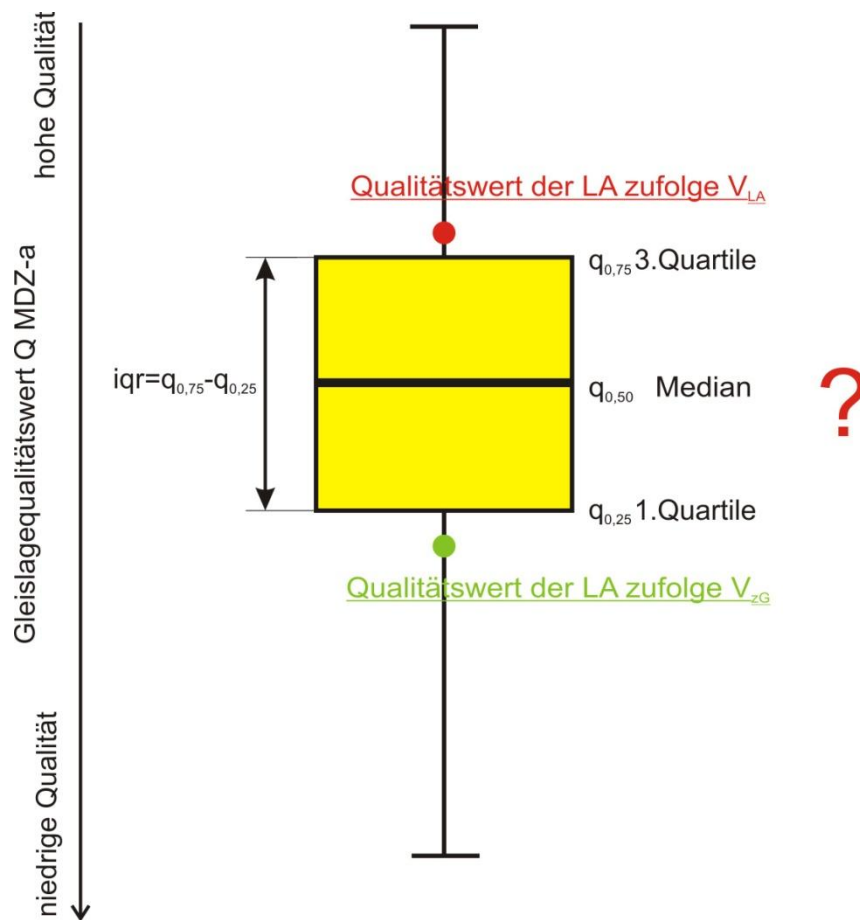


Abbildung 26: Aus Sicht der Komfortqualität zu geringe LA-Geschwindigkeit V_{LA}

Beispielhaft wird eine LA-Stelle des Abschnittes 02 bezüglich Komfortqualität und den lokal auftretenden Schadensbild analysiert. Hierfür wird die Qualität $Q_{1.1.2010} = -22,16$ MDZ-a der LA-Stelle im Abschnitt 02 mit $V_{zG} = 90$ km/h betrachtet. Diese LA ist aufgrund der Position unter der dritten Quartile aus Sicht der Komfortqualität als durchaus notwendig einzustufen. Die Begutachtung vor Ort stellt folgendes Schadensbild dar:

Dieser LA-Bereich ist durch schlechten und offensichtlich nicht tragfähigen Unterbau und der starken Verunreinigung des Gleisschotterbetts und der schlechten Gleislage bezüglich Längshöhe und Verwindung geprägt. Teilweise brechen die Schwellen durch die schlechte Auflage am Schotter und Spritzstellen sind vorhanden.

Die V_{LA} wird auf 70 km/h festgelegt. Durch die Geschwindigkeitsreduktion hebt sich die Komfortqualität dieser LA-Stelle auf den Wert -14,79, und liegt somit im unteren

Bereich der Abschnittsqualität 02 in einem sicherlich akzeptablen Qualitätsniveau (Abbildung 27).

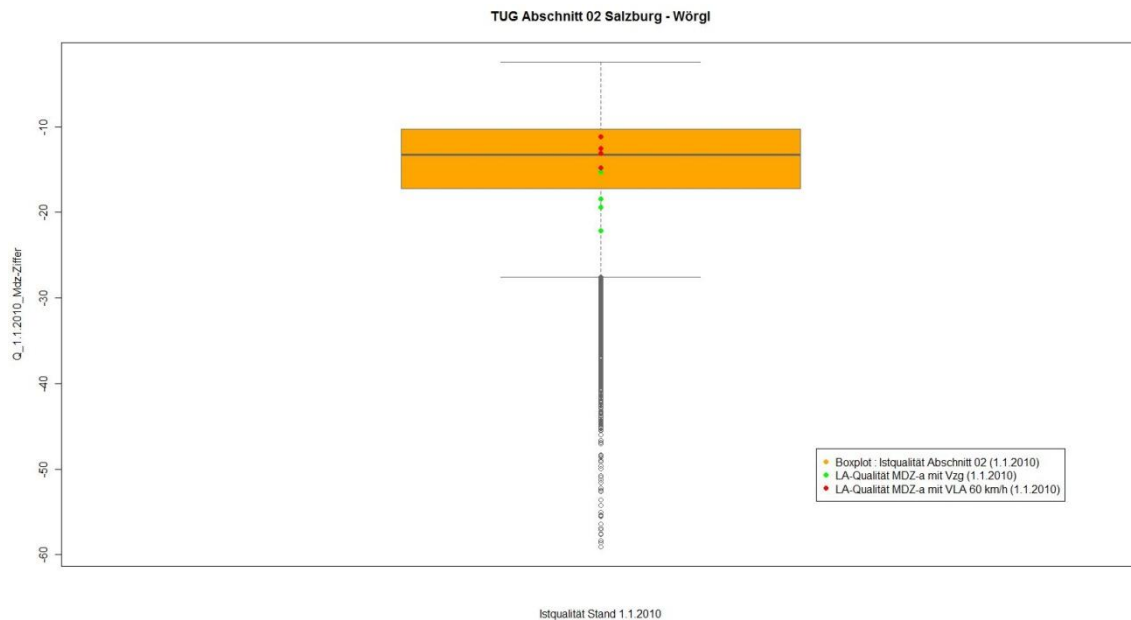


Abbildung 27: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der $V_{LA}=60$ km/h auf dem Abschnitt 02

Aus dem Begehungsbericht der ÖBB gehen über die Länge dieser Langsamfahrstelle in Abbildung 28 von ca. 500 m einige Schädigungen hervor. Über diesen Bereich sind aufgrund des Alters der Komponenten Schiene und Schwelle bereits Schäden aufgetreten. So sind einzelne Betonschwellen gebrochen und ein schlechter Halt der Schwellenschrauben sowie Abnützungen der Zwischenlagen, Überwälzungen des Schienenkopfes und Höhenfehler der Gleislage festgestellt worden. Die Komfortqualität der LA-Stelle mit der Medianqualität $Q_{1.1.2010}=-20,39$ zufolge $V_{ZG}=130$ km/h liegt im unteren Bereich des interquartilen Bereichs des Boxplots der Abschnittsqualität 06. Durch die verhängte Geschwindigkeitsreduktion auf $V_{LA}=60$ km/h würde die Komfortqualität auf den Wert $Q_{1.1.2010}=-14,69$ gehoben.

Wie aus Abbildung 28 ersichtlich ist, befindet sich diese LA nun im oberen Bereich des Boxplots. Allgemein ist eine Lage der LA zufolge der reduzierten Geschwindigkeit im interquartilen Bereich des Boxplots einer Abschnittsqualität als gut anzusehen. Eine Optimierung wäre möglich, indem die oben genannte Geschwindigkeit auf 70,

besser noch 80 km/h festgesetzt wird, um im Bereich des Medians der Abschnittsqualität zu landen, anstatt weit darüber.

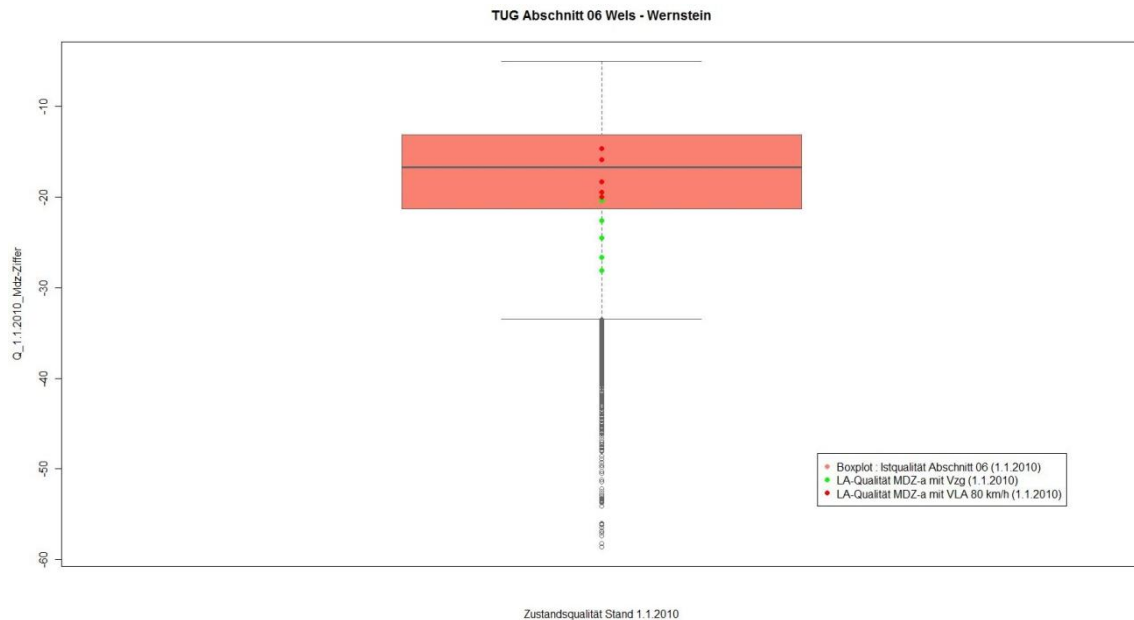


Abbildung 28: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der $V_{LA}=80$ km/h auf dem Abschnitt 06

Wie in Abbildung 29 der Westbahn ersichtlich ist, steigt das Qualitätsniveau aller LA-Stellen zufolge der niedrigeren Geschwindigkeit auf ein besseres Qualitätsniveau an, wobei die Verbesserung der Qualität, je nach der Größe des Geschwindigkeitsdeltas, bei sehr großen Deltawerten eine große MDZ-a Qualitätswertverbesserung durch die Geschwindigkeitsreduktion bewirkt.

Wie aus dieser Abbildung dargestellt, liegt über dem Median des Boxplots der Abschnittsqualität 01 eine als grüner Punkt dargestellte LA-Stelle zufolge der Komfortqualität $Q_{1.1.2010}=-12,36$ MDZ-a.

Bei dieser LA wurde als Verhängungsursache ein Dammstabilitätsproblem angegeben, was sich logischer Weise bei Konsolidierungen auf die Gleislage auswirken müssten. Zuzufolge der Komfortqualität ist über diese 100 m des Problembereiches keinerlei Notwendigkeit einer LA erkennbar.

Diese Untersuchung ergab keinerlei Problem zufolge der Gleislage, sondern die LA wurde aufgrund aus der Gleislage nicht erkennbarer sicherheitsrelevanter Gründe verhängt. Grund für die LA ist ein Anriss der Dammsohle, wodurch es aus Gründen der Tragfähigkeit die dynamischen Einwirkungen durch die Zugüberfahrten zu verringern gilt, um ein Abgleiten des gesamten Dammes zu verhindern. Aus Komfortqualitätssicht erhöht sich das Qualitätsniveau dieser LA zufolge der $V_{LA}=60$ km/h auf -7,71 MDZ-a. Dies ist aber in diesem Fall kein Thema.

Mit diesem Beispiel soll aufgezeigt werden, dass die Bewertung rein aus der Komfortqualität nicht zwingend für jede LA ein plausibles Ergebnis bringt sondern eben ein „zweites Sieb“ darstellt.

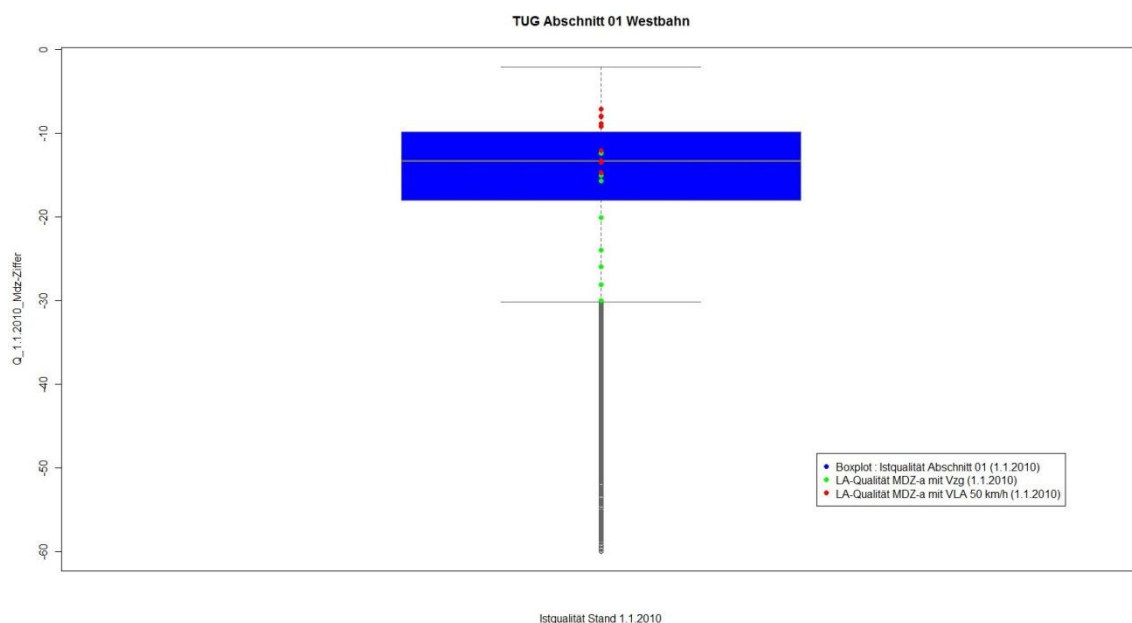


Abbildung 29: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der $V_{LA}=50$ km/h auf dem Abschnitt 01

Aus der steigenden Anzahl von LA-Stellen und der Erhöhungen der Betriebsbehinderungen aus Geschwindigkeitsreduktionen, entwickeln sich Folgekosten aus den resultierenden Verspätungen. Geschwindigkeitsreduktionen in gewissen Bandbreiten müssen nicht zwingend alle Züge der jeweiligen Verkehrsart betreffen und hängen natürlich auch von der Priorität der Strecken und den dortigen Verkehrs-

mengen ab. Berechnungen im Zuge dieser Arbeit ermöglichen die Beurteilung der maximal notwendigen Geschwindigkeitsreduktion in einzelnen Langsamfahrstellen, um einen gewünschten Mindestkomfort zufolge der MDZ-a Qualitätsziffer zu erreichen, wodurch der Fokus auf solche LA-Geschwindigkeiten fällt, welche aus nicht entgleisungssicherheitstechnischen Gründen verhängt wurden.

Eine Optimierung hinsichtlich eines notwendigen Qualitätsniveaus liegt sicherlich darin, Langsamfahrstellen zufolge ihrer Geschwindigkeitsreduktion nicht über den dritten Quartilswert der vorhandenen Streckenqualität zu heben. Eine Komfortqualität im Bereich des Medians und des ersten Quartils müsste für die zu erreichende Qualität vollkommen ausreichen. Wie aus den Auswertungen der jeweiligen Abschnitte ersichtlich ist, ist das Optimierungspotential gegeben. Umso niedriger die Geschwindigkeitsreduktion einer LA ist, desto geringer werden die sich daraus ergebenden Betriebserschwerungskosten.

In den Abschnitten 02 und 06 (Abbildung 27 und Abbildung 28) finden sich keine besseren Qualitätswerte der betrachteten Langsamfahrstellen über den Interquartilsbereichen der einzelnen Abschnittsqualitätszuständen.

Es wird auf jeden Fall durch diese Ergebnisse gezeigt, dass in Einzelfällen die Höhe von verhängten Geschwindigkeitsreduktionen bei LA-Stellen zu hinterfragen ist. Eine genaue Bewertung, die über einen optimalen Qualitätswert definiert wird, muss immer mit dem Abgleich der notwendigen Umstände vor Ort am Gleis mit einer technischen Bewertung einhergehen. Somit kann mit dieser Berechnung der V_{LA} Qualität eine mögliche Reduktion der Geschwindigkeitsdeltas bei notwendigen verhängten Langsamfahrstellen erreicht werden. Die Berechnung der LA-Geschwindigkeit auf ein gewünschtes definiertes Qualitätsniveau ist jederzeit umsetzbar.

Es kann diese Berechnung und daraus ergebende Bewertung der Qualitätswerte einer LA immer nur als Hilfsmittel gesehen werden, um die Entscheidung bei einer Verhängung zu unterstützen und zufolge der vorherrschenden Komfortziffer zu bestätigen oder zu hinterfragen. Die letztendliche Entscheidung über die Notwendigkeit trifft immer der Bahnmeister vor Ort, da dieser auch die volle Verantwortung trägt. Mit dieser Art der Begutachtung von Langsamfahrstellen kann allenfalls sichergestellt werden, dass aus der Sicht des Komforts nicht gerechtfertigte LA-Stellen aufgezeigt werden. Wenn eine Geschwindigkeitsreduktion auch aus der Sicht der Auswertung gerechtfertigt ist, kann der entstehende Schaden durch die Optimierung der V_{LA} zumindest minimiert werden.

Es sei nochmals dezidiert darauf hingewiesen, dass diese Art der Bewertung und Einstufung von Verhängungsgründen der Langsamfahrstellen rein komfortqualitative Einflüsse betrachtet und nur diese bewertet werden. Jede LA-Stelle, die nicht aus Qualitätsgründen als notwendig aufgezeigt wird, hat sobald ein technischer Defekt von Komponenten des Gleises detektiert wird, natürlich eine dringende Verhängungsnotwendigkeit. Dies wurde auch mit dem Beispiel der betrachteten LA-Stelle im Abschnitt 01 der Westbahn gezeigt.

10 Die Kennzahl Langsamfahren der SCHIG

„Gemäß § 42 Bundesbahngesetz (siehe (RIS 2009)) erfolgt die Finanzierung des Betriebs und der Instandhaltung der bestehenden Schieneninfrastruktur der ÖBB sowie des Verschubs aufgrund eines mehrjährigen, zwischen dem Bund und der ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG abgeschlossenen Zuschussvertrags, der für einen Zeitraum von sechs Jahren abgeschlossen und jährlich jeweils um ein Jahr ergänzt und auf einen neuen sechsjährigen Zeitraum angepasst wird. Die SCHIG mbH kontrolliert seit 2006 im Auftrag des BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) die Einhaltung der von der ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG¹ laut Zuschussvertrag übernommenen Verpflichtungen zur Bereitstellung der Schieneninfrastruktur. Aufgrund dieser durchgeführten Prüftätigkeit und den dabei gesammelten Erfahrungen hat die SCHIG mbH im Jahr 2008 den Zuschussvertrag grundlegend evaluiert und auf Basis der daraus resultierenden Ergebnisse dem BMVIT einen neu konzipierten Entwurf des Zuschussvertrags für das Jahr 2009 vorgeschlagen. Dazu wurden von der SCHIG mbH vergleichbare Finanzierungsinstrumente anderer Mitgliedsstaaten betrachtet und analysiert. Insbesondere wurden in enger Abstimmung mit dem Eisenbahnbundesamt (EBA) die in Deutschland gemachten Erfahrungen und Ergebnisse ausgewertet und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in den Entwurf des Zuschussvertrags 2009 eingearbeitet. Der nach diesen Erkenntnissen von der SCHIG mbH neu überarbeitete Vertragsentwurf orientiert sich neben den im § 42 BBG gemachten Vorgaben auch an den von der EU-Kommission unterbreiteten Vorschlägen betreffend „Mehrjahresverträge für die Qualität der Schieneninfrastruktur“. Diesen Vorschlägen entsprechend sollen folgende Zielsetzungen erreicht werden: Zieldefinition für den Infrastrukturbetreiber hinsichtlich der zu erbringenden Leistungen und Qualitäten, die laufend zu verbessern sind, die Bereitstellung ausreichender Mittel zur Zielerreichung, die Sicherstellung der Unabhängigkeit der Geschäftsführung des Infrastrukturbetreibers bei der Verfolgung der vereinbarten Ziele, sowie die Leistungs- und Qualitätskontrolle (Zielerreichungskontrolle), als auch die Sanktions- bzw. Bonifikationmöglichkeiten bei Zielabweichungen. Der von der SCHIG mbH dem BMVIT unterbreitete Entwurf des Zuschussvertrags 2009 erreicht diese Zielsetzungen mit folgenden konkreten Vertragsinhalten: Die Definition der zu betreibenden Infrastruktur durch eine im Vertrag festgelegte funktionale Beschreibung der zu betreibenden Schieneninfrastruktur (ein- oder mehrgleisig, Elektrifizierung, Achslast, V_{zG} , Zugsicherungs- und Kommunikationseinrichtungen usw.). Ein weiterer Ver-

¹ damalige ÖBB-Infrastruktur Betriebs AG, heute Teil der ÖBB-Infrastruktur AG

tragsinhalt ist die Definition der von der Betrieb AG zu erbringenden Leistungen im Verschub (Verschiebebahnhöfe, Verschubstandorte, Betriebszeiten, Anzahl der vorgehaltenen Personalstunden), die Definition der zu erbringenden Instandhaltungsqualität der Schieneninfrastruktur durch einen vertraglich festgelegten Wert der Kennzahl „Langsamfahrstelle“, sowie die Definition der zu erbringenden Sicherheitsleistung beim Betrieb der Schieneninfrastruktur durch einen vertraglich festgelegten Wert, der Kennzahl „Sicherheit“, als auch die Festlegung des Bundeszuschusses, der den von der ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG zu erbringenden Leistungen gegenübersteht, für einen sechsjährigen Zeitraum. Durch die im Vertrag erfolgte exakte Definition der von der ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG zu erbringenden Leistungen und Ziele und der im Gegenzug der ÖBB – Infrastruktur Betrieb AG zustehenden Bundeszuschüsse, ist eine eigenverantwortliche und unabhängige Geschäftsführung des Unternehmens sichergestellt. Darüber hinaus ermöglicht die genaue funktionale Definition der zu betreibenden Schieneninfrastruktur und der zu erbringenden Verschubleistungen gemeinsam mit den von der SCHIG mbH entwickelten Kennzahlen „Langsamfahrstelle“ und „Sicherheit“ eine exakte und aussagekräftige Kontrolle der Zielerreichung. Dies schafft wiederum die Voraussetzung, dass im Falle einer Abweichung allfällige Sanktionen zwischen den Vertragspartnern festgelegt werden können. Mittels dieser Kennzahlen soll die gewünschte Zielsetzung nicht nur exakt beschrieben (SMART-Kriterien: spezifisch, messbar, angemessen, relevant, terminiert), sondern darüber hinaus auch von einem außenstehenden Dritten objektiv und ohne großen wirtschaftlichen und technischen Aufwand nachvollzogen werden können. Unter diesem Aspekt wurde hinsichtlich der Instandhaltungsqualität die Kennzahl, „Langsamfahrstelle“ entwickelt. Sie beschreibt die Abweichung des Ist-Zustandes vom (ebenfalls im Zuschussvertrag vereinbarten) Soll-Zustand der Schieneninfrastruktur anhand der Länge und des Ausmaßes der bestehenden Langsamfahrstellen in der Einheit Kilometerquadrat pro Stunde. Die zur Berechnung erforderlichen Daten der Langsamfahrstellen können aus dem vom Infrastrukturbetreiber als Fahrplanunterlage regelmäßig zu veröffentlichenden Verzeichnis der Langsamfahrstellen (La-Heft) objektiv und ohne großen Ermittlungsaufwand entnommen werden. Diese Kennzahl kann für eine bestimmte Strecke, ein Teilnetz oder das gesamte zu betreibende Schienennetz gebildet werden. Die im zeitlichen Verlauf erfolgte Veränderung der Kennzahl zeigt objektiv, ob sich der Erhaltungszustand der jeweiligen Schieneninfrastruktur verbessert oder verschlechtert“ (Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH 2008)

„Im Zuge der zwischen dem Bund und der ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG geführten Verhandlungen wurde der Großteil der von der SCHIG mbH entwickelten Parameter wie z.B. die funktionale Beschreibung der zu betreibenden Schieneninfrastruktur, die Definition der zu erbringenden Leistungen im Verschub, Zielvorgaben durch definierte Werte der Kennzahlen „Langsamfahrstelle“ und „Sicherheit“, usw. übernommen. Einem von der SCHIG mbH vorgeschlagenen Reglement hinsichtlich Sanktionen, die bei Nichterreichung der vertraglich vereinbarten Ziele zur Anwendung kommen sollen, wurde im Zuge der Verhandlungen zwischen Bund und ÖBB-Infrastruktur Betrieb AG nicht Folge geleistet.“ (Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH 2008)

Für die ÖBB ist eine Reihung der LA-Stellen nach den höchsten verursachenden Kosten notwendig, um zu wissen, welche ehestmöglich durch Instandhaltungen oder Reinvestitionen aufzuheben sind. Durch die SCHIG-Kennzahl kann eine Reihung von LA-Stellen erfolgen. Sie ist aber wie in den nachfolgenden Beispielen gezeigt wird, nicht die optimale Lösung. Eine genaue Bewertung der verursachten Kosten einer LA, kann jedoch über die Berechnung der betrieblichen Folgekosten erfolgen. Bei der Fahrzeitrechnung fließen ebenso dynamische Einflüsse aus Abbremsung und Anfahrt vor und nach einer LA-Stelle ein, bei der Kostenbewertung auch die genaue Verkehrsart und die Verkehrsmenge. Die SCHIG-Kennzahl bewertet rein nur die Länge der verhängten Langsamfahrstelle und das Geschwindigkeitsdelta V_{ZG} zu V_{LA} , womit der wahre beeinflusste Bereich unreflektiert eingeht und die Verkehrsart und Menge gar keinen Einfluss haben. Mit dem folgenden Beispiel der Westbahn und der Schoberpassstrecke werden diese Zusammenhänge dargestellt. Hierfür wurden Szenarien von LA-Stellen angenommen und die jeweiligen Kennziffern der SCHIG und die Betriebserschwerungskosten (BEK) errechnet und gegenübergestellt.

Die Berechnungen der Betriebserschwerungskosten wurden mit Hilfe eines Berechnungstools des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft berechnet, auf welches nicht näher eingegangen wird. In Abbildung 30 werden die für die BEK Berechnung verwendeten Zugzahlen pro Gleis und Tag für die Teilabschnitte der Westbahn und der Schoberpassstrecke dargestellt.

BEK-Zugklasse	Westbahn_Los_Ml Schober_Rm_Tb	
Tag-Zug	36	9
Nacht-Zug	5	1
Lok/KI	20	10
Trieb- / Wendezüge	21	0
Qualitätsgüterzug	0	0
Ganzzug	32	14
RoLa	3	7
Netzwerkzug	29	16
Flächenbedienung	1	1

Abbildung 30: Zugzahlen der Strecken Westbahn und Schoberbahn pro Gleis und Tag

Die betrachteten LA-Stellen in Abbildung 31 weisen auf jeder Strecke die gleichen Charakteristika zufolge Länge und ΔV auf.

	VzG [km/h]	VLA [km/h]	ΔV [km/h]	Länge [km]	SCHIG [km ² /h]	BEK [€/Jahr]
Westbahn	140	100	40	0,5	20	905515
Schober	140	100	40	0,5	20	221827

Abbildung 31: Westbahn vs. Schober mit gleicher LA Charakteristik

Wie aus dieser Aufstellung ersichtlich ist, ergibt die SCHIG-Kennzahl idente Werte auf beiden Strecken. Werden aber die betroffenen Zugzahlen (siehe Abbildung 30), und ihre betrieblichen Folgekosten betrachtet, ergibt sich ein enormes Kostendelta für die beiden Strecken.

Durch die Abbildung 32 wird der Einfluss unterschiedlicher Längen von Langsamfahrstellen aufgezeigt.

	VzG [km/h]	VLA [km/h]	ΔV [km/h]	Länge [km]	SCHIG [km ² /h]	BEK [€/Jahr]
Schober	110	70	40	0,5	20	265999
Schober	110	70	40	1	40	455013

Abbildung 32: Schoberstrecke mit unterschiedlichen LA Längen

Die doppelt so lange Langsamfahrstelle ergibt in diesem Fall eine Verdopplung der SCHIG-Kennzahl, hingegen ändern sich die Betriebserschwerniskosten nicht mit dem Faktor zwei. Ersichtlich ist dennoch, dass sich diese bei großen LA-Längen in einem deutlichen Anstieg der BEK niederschlagen. Mehrere kurze Langsamfahrstellen auf einem Abschnitt verursachen durch den dynamischen Einfluss aus den notwendigen Abbremsungen und Beschleunigungen, ebenso hohe betriebliche Folgekosten.

Einfluss von sehr kurzen Langsamfahrstellen auf die SCHIG-Kennzahl und die Betriebserschwerniskosten (Abbildung 33).

	VzG [km/h]	VLA [km/h]	ΔV [km/h]	Länge [km]	SCHIG [km ² /h]	BEK [€/Jahr]
Westbahn	110	70	40	0,5	20	994396
Westbahn	110	70	40	0,05	2	954959
Schober	110	70	40	0,05	2	250258

Abbildung 33: Unterschiedliche LA-Längen auf der Westbahn und in Relation dazu die Schoberstrecke

Aus dieser Auswertung wird der enorme Unterschied der Bewertbarkeit von LA-Stellen zwischen der SCHIG und der BEK ersichtlich. Eine kurze Langsamfahrstelle wird mit der SCHIG-Kennzahl in ihren Auswirkungen als sehr gering eingestuft. Sehr kurze Langsamfahrstellen verursachen jedoch enorme Kosten durch Betriebserschwernisse. Diese sehr kurze LA mit 50 m würde beispielsweise einer LA bei einer Weiche entsprechen. Die betrieblichen Folgekosten steigen rasant an, da zwei Blöcke bei einer Überfahrt blockiert sind und somit gleich mehrere Züge betroffen sind. Die unterschiedlich betroffenen Verkehrsmengen auf den beiden betrachteten Streckenabschnitten (Westbahn, Schober) spiegeln sich in der Höhe der jeweiligen Betriebserschwerniskosten wieder.

Eine Reihung der betrachteten Langsamfahrstellen zufolge der SCHIG-Kennzahl würde sich wie folgt darstellen:

	SCHIG [km ² /h]	SCHIG-Ranking
Schober 110/70 - 1.000 m	40	1
Westbahn 110/70 - 500 m	20	2
Westbahn 140/100 - 500 m	20	2
Schober 110/70 - 500 m	20	2
Schober 140/100 - 500 m	20	2
Westbahn 110/70 Weiche	2	6
Schober 110/70 Weiche	2	6

Abbildung 34: Ranking SCHIG-Kennzahl

Die Auswertung der entstehenden Betriebserschwerungskosten einzelner Langsamfahrstellen wird in Abbildung 35 der Höhe nach gereiht dargestellt und mit der zugehörigen SCHIG-Kennzahl gegenüber gestellt. Die Einstufung zufolge der SCHIG-Kennzahl ergibt eine deutliche andere Reihung als die Bewertung mittels BEK. Das SCHIG-Ranking ist mit dem BEK-Ranking nicht vergleichbar. Dies ist im speziellen bei der zweitgereihten LA-Stelle (L=500 m, $\Delta V= 40$ km/h) des SCHIG-Rankings erkennbar, die in der BEK-Bewertung einmal den ersten, das andere Mal den letzten Platz einnimmt.

	SCHIG [km ² /h]	SCHIG-Ranking		keineLA-Ranking
Westbahn 110/70 - 500 m	20	2	✓	1
Westbahn 110/70 Weiche	2	6	✗	2
Westbahn 140/100 - 500 m	20	2	✓	3
Schober 110/70 - 1.000 m	40	1	✗	4
Schober 110/70 - 500 m	20	2	✗	5
Schober 110/70 Weiche	2	6	✓	6
Schober 140/100 - 500 m	20	2	✗	7

Abbildung 35: Gegenüberstellung SCHIG-Ranking vs. BEK-Ranking

Aus Budgetgründen ist es der ÖBB im Moment nicht möglich alle LA-Stellen zu beheben. Daraus lässt sich schließen, dass eine genaue Kenntnis derjenigen LA-Stellen unerlässlich ist, welche die größten Kostentreiber sind.

Mit diesen Beispielen soll gezeigt werden, dass eine Reihung von LA-Stellen zufolge der Höhe ihrer verursachenden betrieblichen Folgekosten die wohl einzig sinnvolle Lösung darstellt, diese teuren LA-Stellen zu ermitteln und somit schnellstmöglich aus dem Netz zu entfernen. Diese Maßnahme könnten enorme Kostensenkungen ermöglichen.

11 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten den Zusammenhang von Gleislagequalität und der Verhängung von Langsamfahrstellen aufzeigen. Durch die Ermittlung der Zustandsqualitäten der jeweiligen Streckenabschnitte und der Gegenüberstellung der Ausbauqualitäten, konnte ein sogenannter Mindestkomfortwert für Langsamfahrstellen gefunden werden. Durch diese Bewertung ist eine Prüfung von LA-Stellen zufolge ihrer Komfortqualität in Form der Gleislagequalität in MDZ-a möglich. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die optimale Geschwindigkeit einer zu verhängenden LA, durch Berechnungen des neuen Qualitätsniveaus und dem Vergleich mit der jeweiligen Zustandsqualität der Strecke ermittelt werden kann. Eine Reihung der Langsamfahrstellen nach der Höhe ihrer verursachenden betrieblichen Folgekosten ist unbedingt nötig um diese kritischen LA-Stellen frühestmöglich zu beheben.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ADA II-Prinzipiskizze zur Bewegung des Wagenschwerpunktes (Holzfeind Jochen 2009)	12
Abbildung 2: Boxplotdarstellung.....	14
Abbildung 3: Gegenüberstellung Qualitätsziffer MDZ-a zu Sigma-h	16
Abbildung 4: Zusammensetzung der normalisierten Jahreskosten (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010).....	17
Abbildung 5:Querschnittdarstellung nach Planumsverbesserung (Riebold Klaus, Piereder Franz 2010)	19
Abbildung 6: Optimaler Reinvestitionszeitpunkt (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010)	20
Abbildung 7: Instandhaltungsreduktion und die Auswirkungen dieser (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010).....	20
Abbildung 8: Überschreitung des kritischen Qualitätswertes (Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010).....	21
Abbildung 9: Übersicht der 22 Abschnitte der TUG Datenbank	24
Abbildung 10: Struktur der TUG Datenbank (Holzfeind Jochen 2009)	25
Abbildung 11: grafische Darstellung eines Querschnittes aus der TUG Datenbank mit detaillierten Informationen	27
Abbildung 12: LA-Entwicklung Nach A-, B1-und B2- und C-Netz (in Stück) Stand: 1.01.2011 (Meierhoff Alexander 2011).....	30
Abbildung 13: Ursachen der Langsamfahrstellen im Hauptnetz A (Gleis 1 u. 2)	31
Abbildung 14: Zustandsqualität Q1.1.2010.....	35
Abbildung 15: Gleislagequalität mit 1.1.2010 TUG-Netz	36
Abbildung 16: Gleislagequalität mit 1.1.2010 TUG-Netz und LA-Stellen	39
Abbildung 17: Qualitätsverteilung der LA-Stellen im Netz	40
Abbildung 18: Ausbauqualität Beispiel Auswertung.....	42

Abbildung 19: Boxplot Ausbauqualität im TUG-Netz	44
Abbildung 20: Verteilung der Neulagen mit Qn-1_ult Qualitätswerten im TUG-Netz.....	45
Abbildung 21: Qualitätsgegenüberstellung Ausbauqualität Qn-1_ult zu Istzustand Q1.1.2010 des TUG-Abschnittes 01 mit LA-Stellen	46
Abbildung 22: Verschlechterungsfunktion zufolge VLA.....	49
Abbildung 23: bn_Vzg vs. bn_VLA (Abschnitt 01)	50
Abbildung 24: bn_Vzg vs bn_VLA (Abschnitt 06)	50
Abbildung 25: Aus Sicht der Komfortqualität gut gewählte LA-Geschwindigkeit VLA	52
Abbildung 26: Aus Sicht der Komfortqualität zu geringe LA-Geschwindigkeit VLA.....	53
Abbildung 27: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der VLA=60 km/h auf dem Abschnitt 02.....	54
Abbildung 28: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der VLA=80 km/h auf dem Abschnitt 06.....	55
Abbildung 29: Qualitätsänderung der LA-Stellen aufgrund der VLA=50 km/h auf dem Abschnitt 01.....	56
Abbildung 30: Zugzahlen der Strecken Westbahn und Schoberbahn pro Gleis und Tag	62
Abbildung 31: Westbahn vs. Schober mit gleicher LA Charakteristik	62
Abbildung 32: Schoberstrecke mit unterschiedlichen LA Längen.....	62
Abbildung 33: Unterschiedliche LA-Längen auf der Westbahn und in Relation dazu die Schoberstrecke.....	63
Abbildung 34: Ranking SCHIG-Kennzahl.....	64
Abbildung 35: Gegenüberstellung SCHIG-Ranking vs. BEK-Ranking	64

Literaturverzeichnis

- Hanreich Werner 2004, "Moderne Fahrweginspektion mit dem Oberbautechnischen Messwagen EM 250", *ZEVrail Zeitschrift für das gesamte System Bahn*, Sonderheft ÖVG
- Holzfeind Jochen 2009, *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen - Analyse des Gleisverhaltens am Einzelquerschnitt*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU-Graz
- Hummitzsch Robert 2009, *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen - Statistische Analyse des Gleisverhaltens zur Erstellung eines Prognosemodells*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU-Graz
- Lichtberger Bernhard 2010, *Handbauch Gleis*, DVV Media Group GmbH I Eurailpress.
- Meierhoff Alexander 2011, *Statistik Langsamfahrstellen Stand 1.1.2011*, ÖBB Infrastruktur, interne Auswertung
- ÖBB Infrastruktur DB IS 2 Teil1 2010, *Instandhaltungsplan Oberbauanlagen*
- Riebold Klaus & Piereder Franz 2010, "Gleisgebundene Unterbausanierungstechnologien", *Eisenbahningenieurkalender*, Sonderdruck
- Rießberger Klaus 1997, "Gleisgeometrie und Wirtschaftlichkeit - oder - wie gut muss ein Gleis sein?", ÖVG Tagung Graz
- RIS 2009, Inkrafttretungsdatum 19.08.2009-last update, *Bundesbahngesetz §42* [Homepage of Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem], [Online]. Available: <http://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Dokumentnummer=NOR40110032> [2011, Februar 2011]
- Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH 2008, *Geschäftsbericht 2008*
- Stadlober Ernst 2010/11, *Angewandte Statistik*, Institut für Statistik TU-Graz
- Veit Peter 2004, "Forschung zur Prognose der Qualitätsentwicklung des Oberbaus", *ZEVrail Zeitschrift für das gesamte System Bahn*, Sonderheft ÖVG
- Veit Peter & Marschnig Stefan 2008, *Baustellenlogistik Sperrpausenoptimierung*, TU-Graz
- Veit Peter, Marschnig Stefan & Wogowitsch Michael 30.11.2010, *Life Cycle Management*, ÖBB Schulungsunterlagen Innsbruck

WISSEN ▪ TECHNIK ▪ LEIDENSCHAFT



Institut für Eisenbahnwesen
und Verkehrswirtschaft
Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12/II
8010 Graz
+43 316 873 6216
office.ebw@tugraz.at
www.ebw.tugraz.at