



Margareta Neuhold, BSc

Der Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Gleislageverhalten

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Umwelt und Verkehr

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn., Stefan Marschnig

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Technische Universität Graz

Graz, August 2015

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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Die geometrische Lage von Eisenbahngleisen verschlechtert sich durch diverse Beanspruchungen mit der Zeit. Mit Instandhaltungsarbeiten kann diesen Verformungen entgegen gewirkt und die Lage verbessert werden.

Das Gleislageverhalten bzw. das Qualitätsverhalten von Gleisen gilt als einer der wichtigsten Parameter des Eisenbahnwesens. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse von Messfahrten über mehrere Jahre bietet sich die Möglichkeit, die Gleislagequalität über die Zeit zu verfolgen. Um das Verhalten der Gleislagequalität beschreiben zu können, ist es wichtig, alle Parameter und Rahmenbedingungen zu untersuchen und funktionell darzustellen.

Dem Parameter Lärmschutzwand wurde bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde der Parameter Lärmschutzwand in die Auswertungen zur Beschreibung des Qualitätsverhaltens von Gleisen aufgenommen und hinsichtlich seiner Aussagekraft analysiert.

Dieser Masterarbeit befasst sich damit, das Verschlechterungsverhalten von Gleisen im Zusammenhang mit Lärmschutzwänden zu untersuchen und festzustellen, ob diese einen Einflussparameter auf das Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen darstellen.

Abstract

There are various factors that gradually affect the deterioration process of the geometric position of rail tracks. Maintenance work can counteract these displacements and improve the rail position.

Track geometrical behaviour or quality of tracks is considered to be one of the most important parameters in the railway sector. The results obtained from various measurement runs over the course of several years make it possible to monitor track quality during this period. In order to describe this process, it is of major importance to examine and describe all parameters involved.

One of these parameters has only received little attention so far - the noise barrier. In this master thesis, the parameter noise barrier was included in the evaluation of track quality and analyzed in terms of its significance.

This master thesis examines the connection between the deterioration process of tracks and noise barriers, and attempts to determine if this parameter has an impact on track position or the quality performance of tracks.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Zielsetzung, Aufbau der Arbeit	6
1.1	Einleitung	6
1.2	Zielsetzung	7
1.3	Aufbau der Arbeit	8
2	Allgemeines	9
2.1	Entwässerung	9
2.2	Entwässerung von Lärmschutzwänden	10
3	Beschreibung und Aufbereitung der Daten	12
3.1	TUG-Datenbank	12
3.2	Inhalt der TUG-Datenbank	13
3.3	Lärmschutzwände in der TUG-Datenbank	15
3.4	Beschreibung von ausgewählten Streckenabschnitten	15
3.4.1	TUG Strecke 1	16
3.4.2	TUG Strecke 2	16
3.4.3	Verteilung Holz / Betonschwellen auf das Streckennetz mit LSW.	18
4	Datenanalyse und Detailbetrachtung der Gleislagequalität	19
4.1	Analysetools der TUG-Datenbank	19
4.1.1	Entscheidung zwischen MDZ-a und SIGMA-h	20
4.2	Filterung zur Bestimmung der Eingangsdaten	21
4.2.1	Darstellung eines Querschnittes vor/nach Einbau LSW	22
4.2.2	Barplot mit den gefilterten Daten	23
4.2.3	Graphische Analyse	26
4.3	Zusammenhang LSW – Schwellenart	26
4.3.1	Graphische Analyse mit LSW für Holzschwellen	26
4.3.2	Graphische Analyse mit LSW für Betonschwellen	27
4.4	Relation vor Einbau LSW zu nach Einbau LSW	29
4.4.1	Relation der Qualität VOR zu NACH Einbau LSW	29
4.4.2	Relation der Verschlechterungsrate VOR zu NACH Einbau LSW	30
4.4.3	Relation der Qualität VOR zu NACH (ohne TUG-Strecke 15)	31
4.4.4	Relation der Verschlechterungsrate VOR zu NACH (ohne TUG-Strecke 15)	32
4.5	Beschreibung und Graphische Analyse einzelner TUG Strecken	33
4.5.1	Fiktives Gleislageverhalten	42
4.6	Zusammenhang Bahnstrecken mit und ohne LSW	45
4.6.1	Schwellenart - Belastungsklassen mit und ohne LSW	48
4.6.1.1	Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW älter als 1995:	48
4.6.1.2	Einbaujahr Schwelle älter als 1995 und Einbaujahr LSW 2005-2008:	54
4.6.1.3	Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW älter als 1988	60
4.6.1.4	Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW 1981 – 1982	62
4.7	Detailbetrachtung einer Neulage nach Einbau LSW	64
5	Schlussfolgerung	67
	Abbildungsverzeichnis	69
	Tabellenverzeichnis	71
	Literaturverzeichnis	72

1 Einleitung, Zielsetzung, Aufbau der Arbeit

1.1 Einleitung

Durch diverse Beanspruchungen verschlechtert sich die Lage des Eisenbahngleises im Laufe der Zeit. Um Instandhaltungs- und Re-Investitionsmaßnahmen besser planen zu können, ist die Kenntnis über die Gleislagequalität von großer Bedeutung.

Die Gleisqualität wird im Hauptnetz der österreichischen Bundesbahnen mit dem Oberbaumesswagen EM250 bis zu viermal jährlich gemessen. Eine Instandhaltung bzw. Instandsetzung hat dann zu erfolgen, wenn die Gleisqualität einen vorab definierten Grenzwert, die sogenannte Eingriffsschwelle, erreicht hat. Durch das Korrigieren der Gleislage kann die Qualität zwar verbessert werden, erreicht aber nicht mehr die ursprüngliche Qualität nach Gleisneulage.¹

Durch die Zusammenfassung der von der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) zur Verfügung gestellten Mess- und Anlegedaten, und durch die Berechnung von Verschlechterungsfunktionen der Gleisqualität jedes Querschnittes im betrachteten Netz, ist es gelungen, eine Gleislagendatenbank als Forschungsgrundlage bereitzustellen.²

In diese Datenbank fließen viele Parameter ein, wie z.B. die Geschwindigkeit, die Verkehrsbelastung, der Untergrund und viele mehr.

Um die unterschiedlichen Verhaltensformen der Gleislagequalität beschreiben zu können, ist es notwendig, dass sämtliche Randbedingungen, die das Verschlechterungsverhalten beeinflussen, bekannt und darstellbar sind.

Dem Parameter Lärmschutzwand wurde bisher kaum Aufmerksamkeit geschenkt. Da die Lärmschutzwand als wichtiges Element des erweiterten Fahrweges gilt, ist eine genauere Betrachtung des Einflusses auf die Gleislagequalität sowie eine Analyse hinsichtlich der Aussagekraft erforderlich.

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden die vorhandenen Daten von Lärmschutzwänden des ÖBB Bestandsnetzes sowie alle Neu- und Ausbauten in die bereits vorhandene Datenbank der TU Graz überführt. Somit lässt sich die Gleislagequalität anhand unterschiedlicher Filterkriterien der Eingangsdaten untersuchen und miteinander vergleichen.

Das Kernthema dieser Masterarbeit ist, das Verschlechterungsverhalten von Gleisen im Zusammenhang mit Lärmschutzwänden zu untersuchen und ob die Lärmschutzwände einen Einflussparameter auf die Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen darstellen.

¹ Hummitzsch 2009

² Hummitzsch 2009

1.2 Zielsetzung

„Lärm sollte gar nicht erst entstehen. Deshalb muss die Lärmbekämpfung vorrangig an der Quelle, also am Fahrzeug und am Fahrweg, ansetzen.

Die wichtigste Geräuschquelle der Schienenfahrzeuge ist das Rollgeräusch.

Hinzu kommen die Geräusche der Antriebs- und Hilfsaggregate (Motor, Getriebe, Lüfter, Pumpen usw.) und bei Hochgeschwindigkeitszügen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 200 Kilometern pro Stunde aerodynamische Geräusche.

In günstigen Fällen bewirken Lärmschutzwände oder -walle Pegelminderungen zwischen 10 und 15 dB(A).“³

Dass die Lärmschutzwand einen wichtigen Aspekt der Lärmbekämpfung darstellt, lässt sich anhand wissenschaftlicher Lärmmessungen bestätigen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Lärmschutzwände in die bereits vorhandene Datenbank der TU Graz einzulesen und signifikante und verlässliche Aussagen bezüglich des Einflusses auf das Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen zu treffen.

Es soll anhand statistischer Auswertungen dargelegt werden, welchen Einfluss die Randbedingung „Lärmschutzwand“ auf die Gleislagequalität und deren Verschlechterung besitzt.

Folgende Forschungsfragen bzw. Thesen wurden am Beginn dieser Arbeit formuliert:

- I Lärmschutzwand als Einflussparameter: Hat die Lärmschutzwand Einfluss auf das Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen?
- I Einbau einer Lärmschutzwand: Wie wirkt sich der Einfluss auf Qualität und Verschlechterung der Gleislage aus?
- I Einfluss einer Lärmschutzwand als Trend über die Zeit: Wie verhält sich ein Gleis nach einer gewissen Zeit mit und ohne Lärmschutzwand?

³ Lärmschutz im Schienenverkehr 2014

1.3 Aufbau der Arbeit

Der allgemeine Teil dieser Masterarbeit, sowie die Vor- und Aufbereitung der Daten wurden bereits in dem Masterprojekt „Lärmschutzwände als Element des erweiterten Fahrwegs“ festgehalten.⁴

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in drei Arbeitspakete:

- I Neben dem allgemeinen Teil, der die Entwässerung von Lärmschutzwänden näher beschreibt, werden im ersten Abschnitt auch Lärmschutzwände einzelner Streckenabschnitte und die Verteilung der Lärmschutzwände im ÖBB Streckennetz betrachtet.
- I Das zweite Arbeitspaket (Kapitel 3) umfasst die Aufbereitung der von den ÖBB zur Verfügung gestellten Daten. Es wurden die vorhandenen Daten von Lärmschutzwänden des ÖBB Bestandsnetzes sowie alle Neu- und Ausbauten in die bereits vorhandene Datenbank der TU Graz überführt.
- I Im dritten Arbeitspaket (Kapitel 4) werden die relevanten Parameter und Randbedingungen festgelegt und gefiltert. Als erster Schritt werden die Daten vor Einbau einer Lärmschutzwand zu den Daten nach Einbau einer Lärmschutzwand gegenübergestellt und der Einfluss von Lärmschutzwänden mit unterschiedlichen Randbedingungen auf das Verschlechterungsverhalten beschrieben. Des Weiteren wurde zwischen Bahnstrecken mit und Bahnstrecken ohne Lärmschutzwand differenziert, wobei die Gleislagequalität jeweils nach mindestens 15 Jahren betrachtet und gegenübergestellt wurde.
Zu den betrachteten Parametern gehören neben den unterschiedlichen Schwellenarten auch die Belastungsklassen.

Am Schluss dieser Masterarbeit werden die Schlussfolgerungen der Arbeit zusammengefasst.

⁴ Neuhold 2013

2 Allgemeines

2.1 Entwässerung

Viele Schäden am Bahnkörper haben ihre Ursachen im negativen Einfluss des Wassers. Die Erscheinungsformen des Wassers werden wie folgt unterschieden:

- Oberflächenwasser
- Sickerwasser
- Schichtwasser
- Grund- bzw. Stauwasser
- Kapillarwasser

Sowohl Niederschlagswässer aus dem Bahnkörper als auch seitlich zuströmende Wässer sind zu fassen und ordnungsgemäß abzuleiten. Dies erfolgt in der Regel über das Gleisplanum und durch die Bahngräben, gegebenenfalls auch durch Fanggräben bei hohen Einschnitts- bzw. Anschnittsböschungen.⁵

Bei der Dimensionierung der Entwässerungsanlagen sind folgende Anlagenteile zu betrachten:

- Bahngräben
- Grabenmauern
- Drainagen
- Ableitungskanäle
- Ableitungsgräben
- Querungen von Entwässerungsleitungen / Durchlässe
- Querende Gerinne / Brücken
- Fanggräben
- Pumpstationen⁶

⁵ Dienstbehelf DB 740 Teil 4

⁶ Dienstbehelf DB 740 Teil 4

2.2 Entwässerung von Lärmschutzwänden

Zur Sicherstellung der Wasserableitung des Gleisplanums ist unterhalb des Sockelbrettes im Regelfall ein Spalt von ca. 3 – 5 cm Stärke vorzusehen.⁷

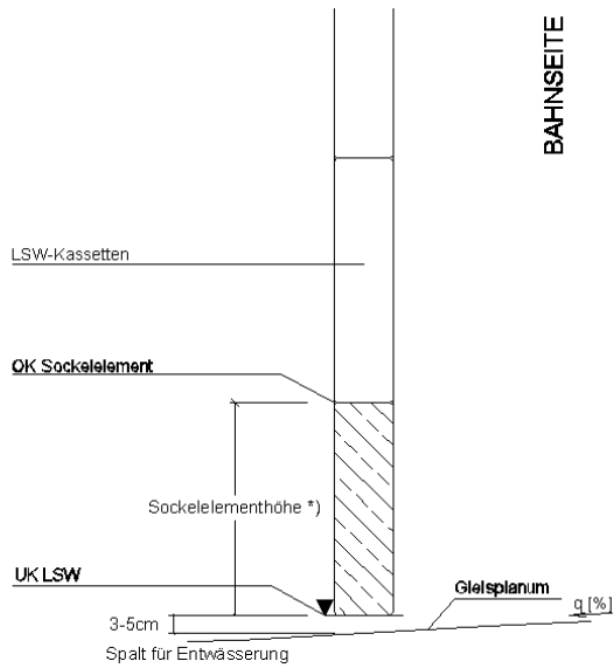


Abbildung 1 Entwässerung unter Lärmschutzwand⁸



Abbildung 2 Mangelhafte Entwässerung⁹

⁷ Dienstbehelf DB 740 Teil 6.1

⁸ Dienstbehelf DB 740 Teil 6.1

⁹ Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Wie in der Abbildung 2 zu erkennen ist, tritt dieser Regelfall nicht immer ein. Hier liegt eindeutig ein Planungsfehler vor. Das Wasser kann nicht weiter abrinnen und es kann zum Rückstau kommen, wobei Beschädigungen am Gleisplanum auftreten können. Bei Lärmschutzwänden ist es immer wichtig, sie regelmäßig zu warten, der Spalt für die Entwässerung muss immer frei gehalten werden.

Weiter Entwässerungsformen:

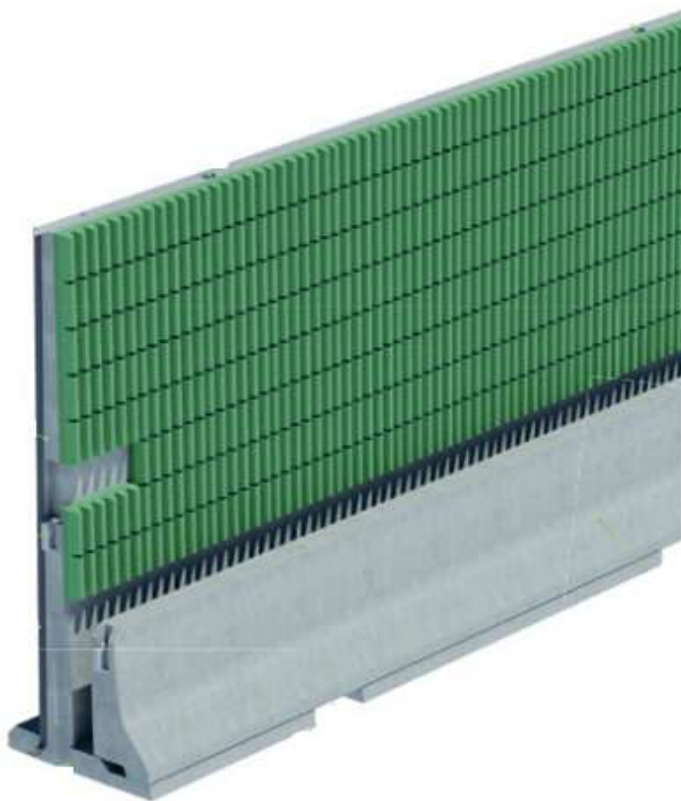


Abbildung 3 Längs- und Querentwässerung ¹⁰

„Diese Öffnungen dienen der Querentwässerung und ermöglichen somit eine Anordnung der Regenwassereinläufe auch hinter dem Fahrzeug-Rückhaltesystem.“ ¹¹

¹⁰ http://www.creabeton-materiaux.ch/fileadmin/media/creabeton-materiaux/downloads/tiefbau/DeltaBloc_Laermschutz_d.pdf

¹¹ <http://www.deltabloc.com/de/General-Information/Profile.html>

3 Beschreibung und Aufbereitung der Daten

„Der Messwagen (EM250) der ÖBB befährt in regelmäßigen Abständen (ca. zwei- bis viermal jährlich) das Österreichische Streckennetz. Aus diesen Messfahrten resultieren unter anderem Informationen über die aktuelle Gleislagequalität in Form der vertikalen Standardabweichung (SIGMA-h), der Gleislagefehler und einer auf Beschleunigungs-differenzen eines theoretischen Fahrzeugschwerpunktes beruhenden Komfortziffer (MDZ-a).“¹²

3.1 TUG-Datenbank

„Für eine optimale Nutzung der Vielzahl an zur Verfügung gestellten Daten werden diese in eine Datenbank überführt. Eine Zusammenfassung der ÖBB-Strecken in größtmögliche Abschnitte mit aufsteigender und vollständiger Kilometrierung ist der Grundgedanke der neuen Struktur der TUG-Datenbank. Im Zuge der Überführung der ÖBB-Daten werden sämtliche zur Verfügung gestellten Informationen in diese Struktur eingeordnet.“¹³

Die folgende Abbildung 4 zeigt das österreichische Streckennetz, das mit Stand Juni 2014 in der TUG-Datenbank enthalten ist.

TUG-Datenbank

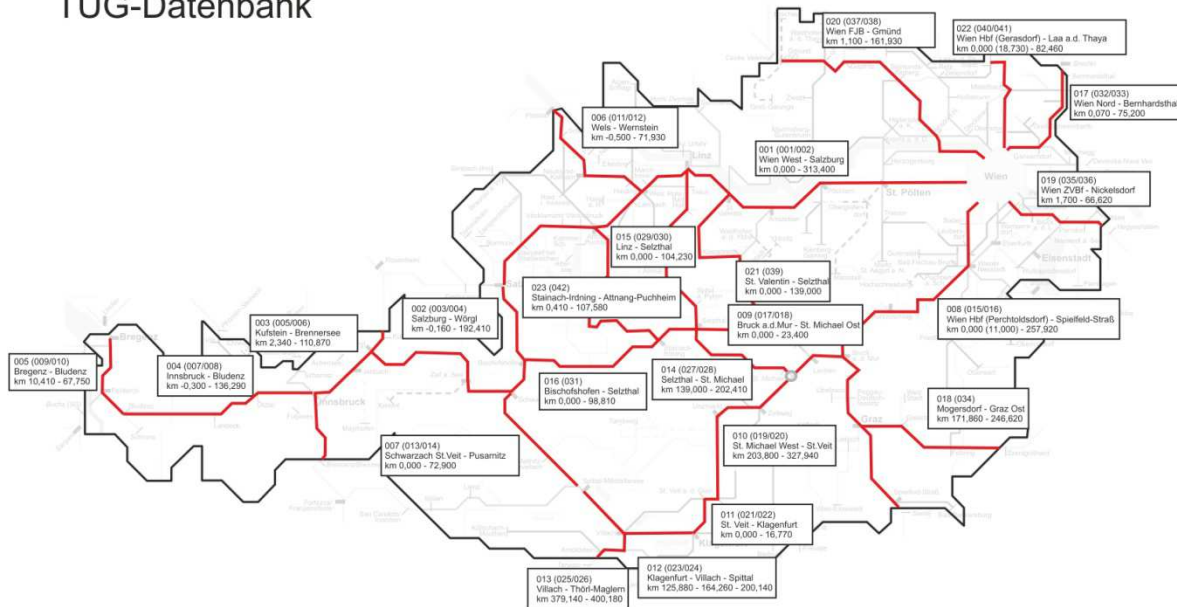


Abbildung 4 Netz der TUG-Datenbank¹⁴

¹² Hummitzsch 2009

¹³ Hummitzsch 2009

¹⁴ Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

3.2 Inhalt der TUG-Datenbank

Die Datenbank enthält auf Basis der von der ÖBB zu Verfügung gestellten Daten Informationen über folgende Datengruppen:

- I Allgemeine Informationen
 - Streckennummer
 - Streckenkilometer
 - TUG – Streckennummer
 - Gleisnummer
 - Streckenname
- I Einbauten
 - Bahnhöfe, Eisenbahnkreuzungen, Brücken, Tunnel, Weichen
- I Maschinensätze inklusive deren Zeitpunkt
 - Unterbausanierung (AHM)
 - Schotterbettreinigung (RM)
 - Gleisneulage (SUZ)
 - Stopfen und Stabilisieren von Gleisen (MDZ)
 - Weichenstopfen (PLM)
 - Schleifen (Speno)
- I Messdaten
 - Kennwerte der Gleislagequalität (MDZ – Ziffer, SIGMA-h)
 - Sonstige Zustandsdaten des Oberbaus (Verwindungen, Spurweite)
- I Krümmung, Radius, Überhöhung
- I Oberbau (Schienen, Schwellen)
- I Abschnittsspezifische Parameter
 - Maximale Betriebsgeschwindigkeit
 - Längsneigung
 - Belastungsklasse
- I Qualitätsparameter
 - Q_n (Raumanfangsqualität nach dem n-ten Maschinensatz)
 - b_n (Verschlechterungsrate nach dem n-ten Maschinensatz)
 - T_{n_1} (Anfangszeitpunkt des n-ten Raumes)
 - T_{n_2} (Endzeitpunkt des n-ten Raumes) ¹⁵

„Um eine funktionierende Basis für die Forschung im Bereich des Gleislageverhaltens von Gleisen zu erhalten, müssen zusätzlich Kennwerte der Qualitätsverschlechterung errechnet und in die TUG-Datenbank eingespielt werden.“¹⁶

Es ist möglich, die Gleislage hinsichtlich ihres Qualitätsverhaltens zu prognostizieren, was mit Hilfe des folgenden mathematischen Ansatzes erreicht werden kann:

$$Q_t = Q_n * e^{b*t}$$

Q_t *Qualität zum Zeitpunkt t in MDZ-a oder SIGMA-h. Je höher dieser betragsmäßige Wert, desto schlechter ist die Lagequalität.*

Q_n *Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes*

b *Verschlechterungsrate (je größer der Wert, desto schneller verschlechtert sich die Gleislage)*

t *Zeit seit der letzten Instandsetzung*

„Die Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen bezieht sich dabei immer auf einen Querschnitt, der in Zeiträume unterteilt wird. Die TUG – Datenbank verfügt dabei über Querschnitte im Abstand von fünf Meter auf einem erfassten Streckennetz von derzeit ungefähr 4000 Gleiskilometern.“¹⁷

¹⁶ Hummitzsch 2009

¹⁷ Landgraf 2011

3.3 Lärmschutzwände in der TUG-Datenbank

Im Zuge dieser Masterarbeit wurden die vorhandenen Daten von Lärmschutzwänden des ÖBB Bestandsnetzes sowie alle Neu- und Ausbauten in die bereits vorhandene Datenbank überführt.

I Lärmschutzwand

- Einbaujahr
- Höhe
- Art/Material
- Lage (r./l.d.B.)
- Streckenabschnitt (km_von, km_bis)

3.4 Beschreibung von ausgewählten Streckenabschnitten

Anhand der Abbildung 5 ist ersichtlich, auf welchen Bahnstrecken (TUG Strecken) die meisten Lärmschutzwände errichtet wurden.

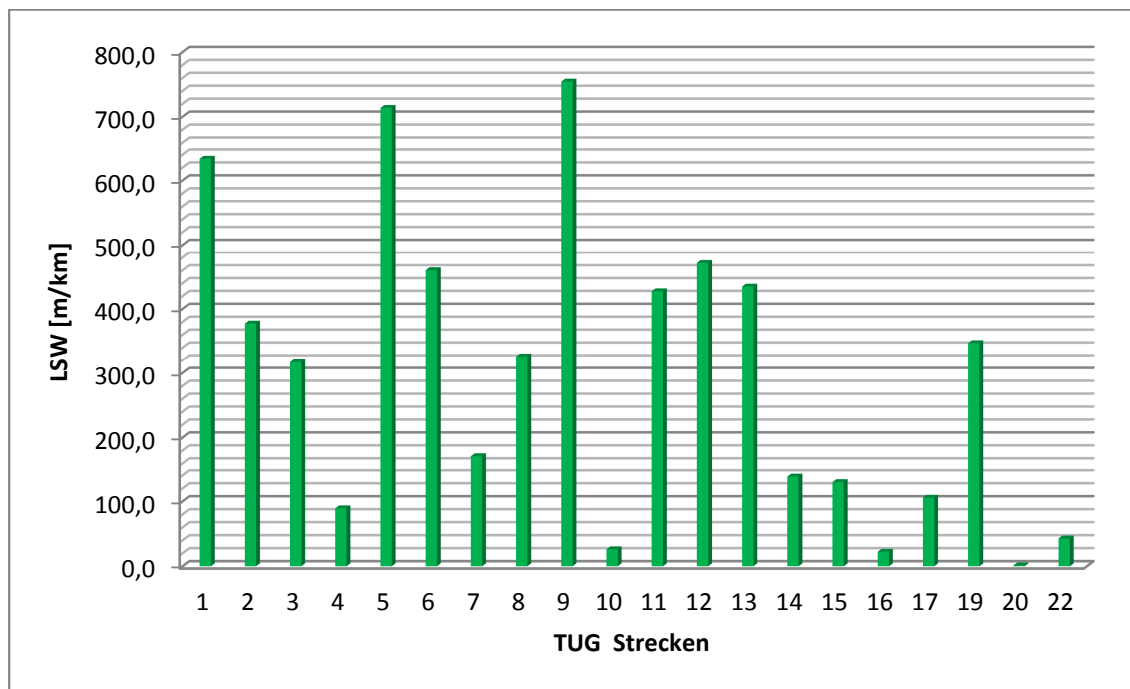


Abbildung 5 Verteilung LSW auf das gesamte Streckennetz [m/km]

Für die TUG Strecken 18 und 21 sind keine Daten zu Lärmschutzwänden vorhanden. Bei TUG Strecke 20 ist nur eine geringe Datenmenge verfügbar.

3.4.1 TUG Strecke 1

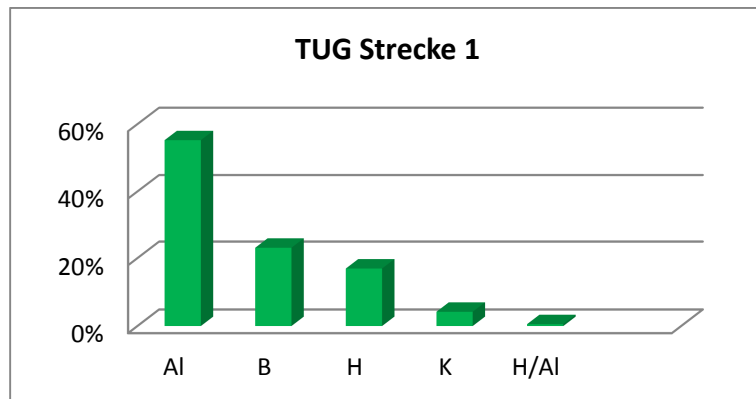


Abbildung 6 LSW Material entlang der TUG Strecke 1

„Für den Schienenverkehr existiert seit 1999 im betroffenen Bundesland das Lärmschutzprogramm, welches die schalltechnische Sanierung der Eisenbahn-Bestandsstrecken durch Land, Bund und betroffene Gemeinden zum Ziel hat.

Gegenwärtig werden in mehr als 50 Gemeinden entsprechende Lärmschutzmaßnahmen an Bestandsstrecken geplant bzw. realisiert.

Lärmschutzwände mit einer Gesamtlänge von rund 75 km wurden bereits errichtet.“¹⁸

Im Neu- und Ausbau werden weit mehr als die Hälfte (70%) aller Lärmschutzwände in Aluminium ausgeführt, nur 14% sind aus Beton und 12% aus Holz.¹⁹

Lärmschutzwände aus Aluminium zeichnen sich durch günstige Investitionskosten und eine relativ hohe Nutzungsdauer aus.

3.4.2 TUG Strecke 2

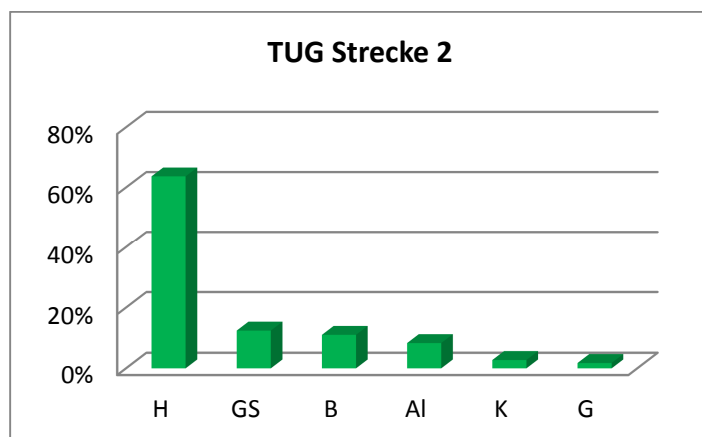


Abbildung 7 LSW Material entlang der TUG Strecke 2

¹⁸ <https://www.noel.gv.at/Verkehr-Technik/Planungen-Beratung/Laermschutz-Bahn.html>

¹⁹ Neuhold 2013

„An der Eisenbahnstrecke Salzburg - Wörgl sollen insgesamt 1,6 Millionen Euro in Maßnahmen wie Lärmschutzwände oder der Einbau von Schallschutzfenstern und -türen investiert werden.“²⁰

Lärmschutzwände aus Glasschaum (GS) werden meist dort verwendet, wo das Landschaftsbild nicht zu sehr beeinträchtigt werden soll. Somit kann Zugreisenden ein unverbauter bzw. teilweiser offener Ausblick ermöglicht werden.

Ein Nachteil der Lärmschutzwände aus Glasschaum sind die hohen Investitionskosten, die sich auch bei einer längeren Nutzungsdauer nicht amortisieren.

Auch Lärmschutzwände aus Holz bieten einen guten Einblick ins Landschaftsbild, bieten auch besondere Gestaltungsmöglichkeiten und leisten einen wichtigen Beitrag zur Entlastung der Umwelt und zur Ressourcenschonung.

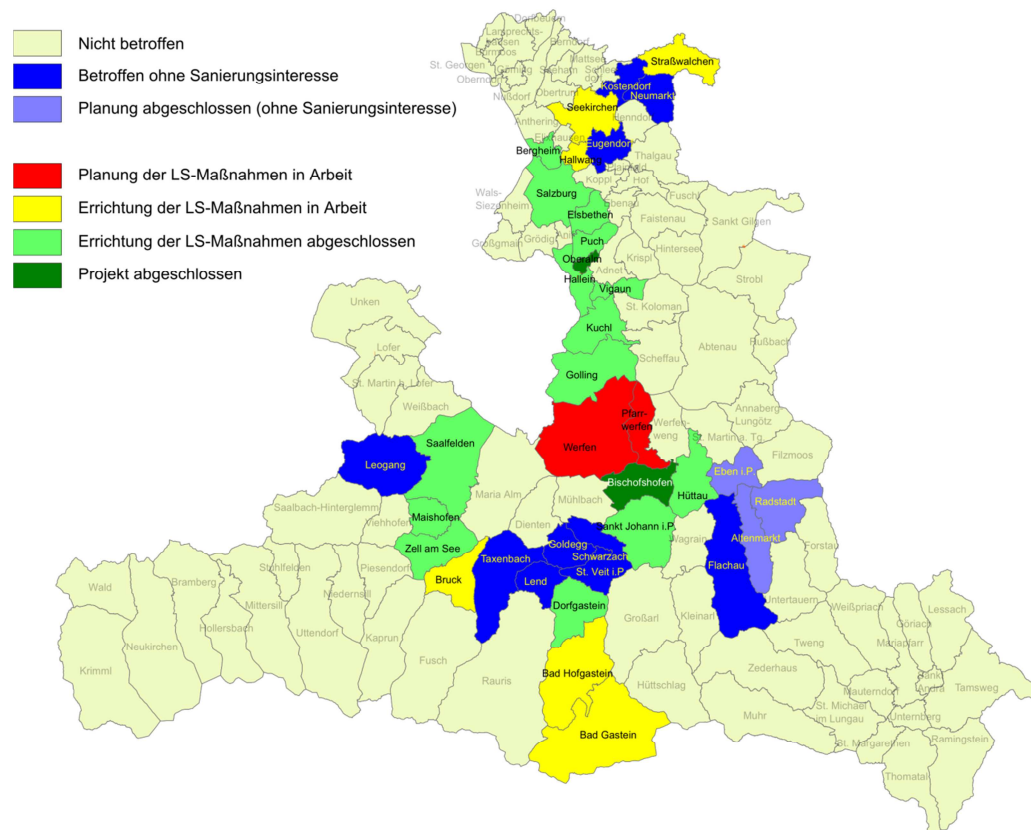


Abbildung 8 Bestandstreckensanierung Stand 2014²¹

„An der Schienenlärm-Sanierung im Bundesland Salzburg sind neben dem Land das Verkehrsministerium, die ÖBB und die Gemeinden beteiligt. Sanierungsbedürftig sind Gebiete, die über 55 dB Beurteilungspegel nachts betroffen sind.“²²

²⁰ http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20030925_OTS0222/gorbach-16-mio-euro-fuer-laermschutzmassnahmen-fuer-kirchbichl-und-woergl

²¹ <http://www.salzburg.gv.at/bestandstreckensanierung.png>

²² <http://www.salzburg.gv.at/lv-verkehr-schienenverkehrslaerm>

3.4.3 Verteilung Holz / Betonschwellen auf das Streckennetz mit LSW.

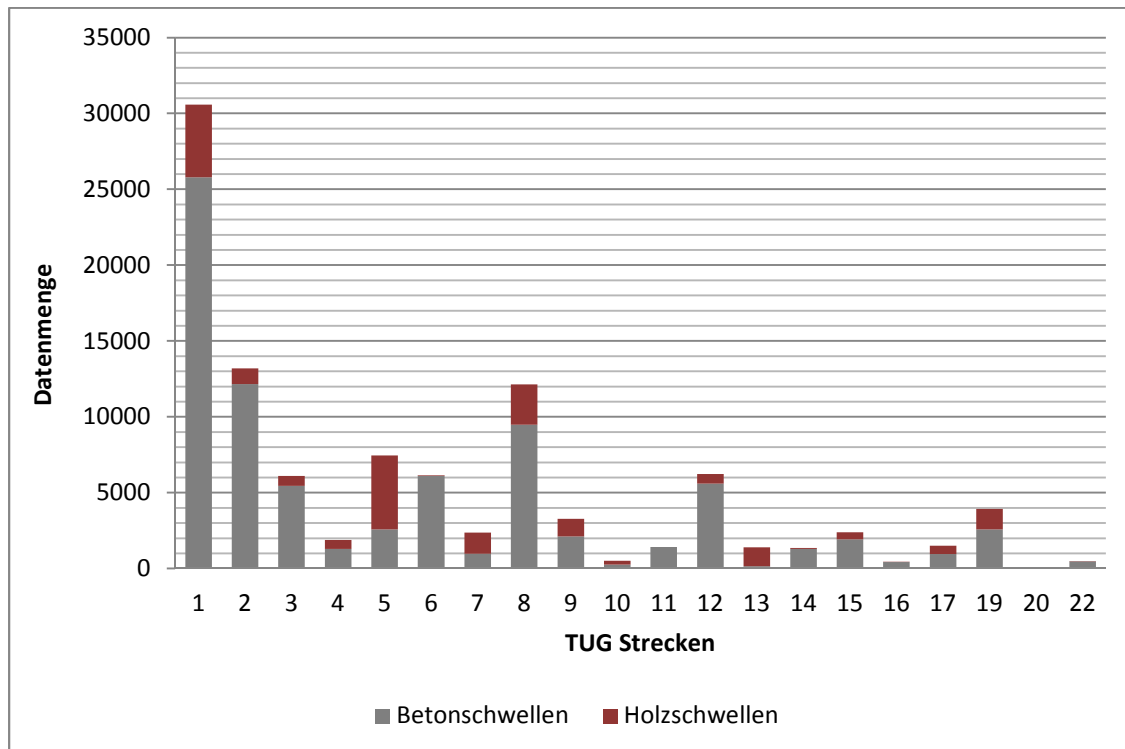


Abbildung 9 Verteilung von Holz/Betonschwellen

Es ist zu erkennen, dass hauptsächlich Betonschwellen eingebaut wurden. Auf den TUG Strecken 5, 7 und 13 sind noch vermehrt Holzschwellen vorzufinden. Bei TUG Strecke 20 ist die Schwellenart in der TUG Datenbank unbekannt.

4 Datenanalyse und Detailbetrachtung der Gleislagequalität

4.1 Analysetools der TUG-Datenbank

Um die Datenmenge besser nutzen zu können, ist es notwendig, die Daten in verschiedene Segmente zu unterteilen.

- I Homogener Bereich
- I Gültige Länge
- I Querschnittsfolge
- I Querschnitt

„Ein „Homogener Bereich“ ist definiert als der längste zusammenhängende Bereich mit derzeit betrachteten, gleich bleibenden Parametern.

Innerhalb dieses Bereiches dürfen keine Störstellen (Einbauten wie Bahnhof, Weiche, Brücke, Eisenbahnkreuzung, Tunnel) vorhanden sein.

„Gültige Längen“ sind im Gegensatz zu „Homogenen Bereichen“ genau einer Parameterkombination zugehörig. Jeder Qualitätswert einer „Gültigen Länge“ ist von jeglicher Störstelle unbeeinflusst. Als Störstelle wird auch eine Veränderung eines betrachteten Parameters bezeichnet. Da die Qualitätswerte einen Einflussbereich von exakt 100m haben, muss garantiert werden, dass sich im Abstand von 50m vor dem Betrachtungspunkt und 50m nach dem Betrachtungspunkt keine Störstelle befindet.

„Querschnittsfolgen“ werden gezielt aus „Gültigen Längen“ einer Parameterkombination ausgewählt. Sie müssen einen Mindestabstand von 100m aufweisen.

Als „Querschnitte“ werden schließlich die einzelnen Gleisquerschnitte verstanden. Querschnitte haben im gesamten Netz einen Abstand von 5m voneinander.“²³

²³ Hummitzsch 2009

4.1.1 Entscheidung zwischen MDZ-a und SIGMA-h

Der Messwagen EM250 der ÖBB befährt in regelmäßigen Abständen (ca. zwei- bis viermal täglich) das Österreichische Streckennetz. Aus diesen Messfahrten ergeben sich unter anderem Informationen über die aktuelle Gleislagequalität in Form der vertikalen Standardabweichung (SIGMA-h) der Gleislagefehler und einer auf Beschleunigungsdifferenzen eines theoretischen Fahrzeugschwerpunktes beruhenden Komfortziffer (MDZ-a).

Die MDZ-a Ziffer beruht auf gemittelten Beschleunigungsdifferenzen am Wagenschwerpunkt über eine Einflusslänge. Da die MDZ-a Ziffer die Dynamik eines Eisenbahnwagens berücksichtigt, fließt die jeweilige Streckenhöchstgeschwindigkeit in das Berechnungsverfahren mit ein. Die Beschleunigung kann direkt aus den Gleismessdaten „mittlere Höhenlage“, „mittlere Seitenlage“ sowie „gegenseitige Höhenlage“ ermittelt werden. Die MDZ-a Ziffer enthält neben den vertikalen auch horizontale Gleislagefehler sowie Verwindungsfehler. Es wird der von der Geschwindigkeit beeinflusste Faktor eliminiert.

Die Standardabweichung der Längshöhe (SIGMA-h) beruht auf den mittleren Fahrampplituden der Höhenlage. Weder Wellenlänge, der periodischer Gleisfehler, noch die Streckenhöchstgeschwindigkeit fließen in das Berechnungsschema ein. Mit der Standardabweichung werden nur die Höhen- und Seitenlagen ermittelt. ²⁴

Da der Vergleich beider Kennwerte der Gleislagequalität für diese Arbeit nicht erforderlich ist, werden nur die Verschlechterungsfunktionen mit der Qualitätsziffer MDZ-a, aufgrund des Einflusses der Streckenhöchstgeschwindigkeit und der horizontalen Gleislagefehler, errechnet.

²⁴ Hummitzsch 2009

4.2 Filterung zur Bestimmung der Eingangsdaten

Als erster Schritt werden aus der TUG Datenbank alle relevanten und auswertbaren Daten ausgelesen. Die wichtigsten allgemeinen Filterkriterien sind:

- I Definition der zu untersuchenden Strecke
 - TUG Strecken Nummer
 - Streckenabschnitt (km_von, km_bis)
 - oder gesamtes Netz
- I Randbedingungen, die den gesamten Querschnitt betreffen
 - Schwellenart und -alter
- I Randbedingungen, die nur den jeweiligen Verschlechterungsast betreffen
 - Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes Q_n
 - Verschlechterungsrate b
- I Zusätzliche Bedingungen
 - „Gültige Längen“

Des Weiteren sind auch die vorhandenen Daten zur Lärmschutzwand ausgelesen worden:

- I Daten zur LSW
 - Einbaujahr
 - Lage (r./l.d.B.)
 - Streckenabschnitt (km_von, km_bis)

Keinen Einfluss auf die Filterkriterien haben das Material der Lärmschutzwände, da bei allen Lärmschutzwänden das Sockelelement aus Beton besteht, sowie die Höhe der Lärmschutzwand.

4.2.1 Darstellung eines Querschnittes vor/nach Einbau LSW

Folgende Parameter wurden abgefragt:

- I Qualität/Verschlechterungsrate vor Einbau LSW
- I Qualität/Verschlechterungsrate nach Einbau LSW

Mit der Ausgangsqualität Q_n und der Verschlechterungsrate b wurden jeweils Mittelwerte eines Querschnittes gebildet, vor und nach Einbau einer Lärmschutzwand.

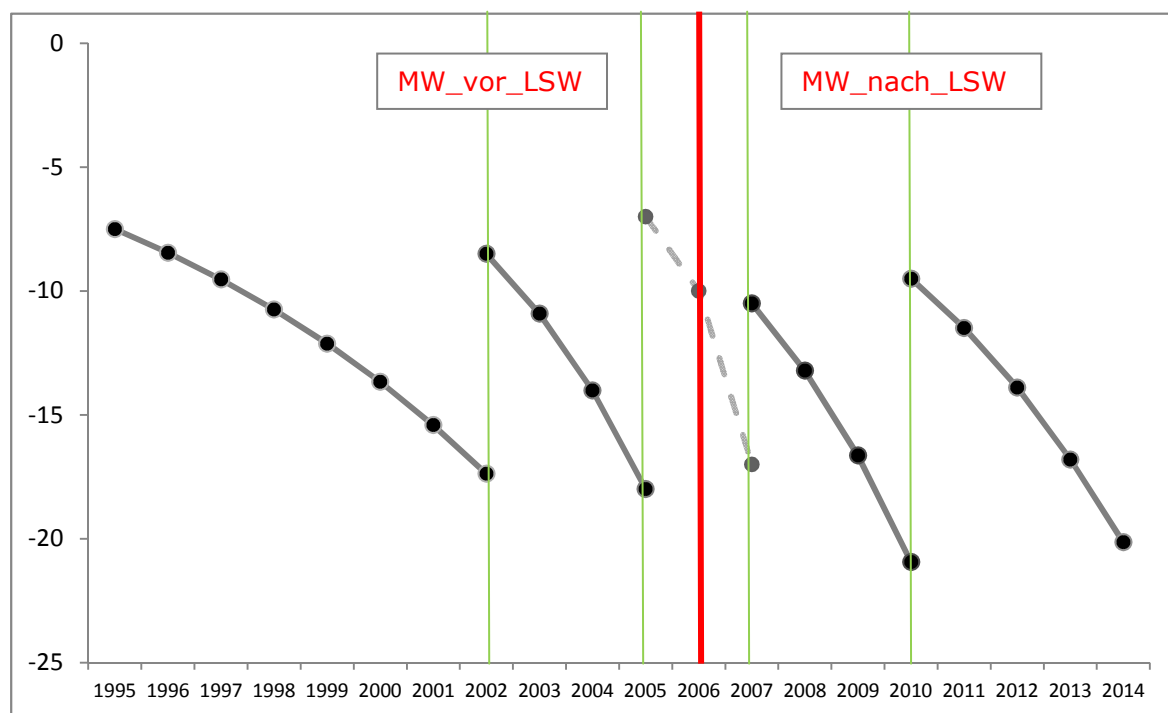


Abbildung 10 Querschnitt vor/nach Einbau LSW

Da nur die Daten vor und nach Einbau einer Lärmschutzwand von Bedeutung sind, werden die Äste, bei denen eine Lärmschutzwand eingebaut wurde (dargestellt als rote Linie), nicht abgefragt. Alle Neulagen eines Gleises oder einer Schwelle nach Lärmschutzwand-Einbau wurden herausgefiltert.

Daraus ergeben sich folgende Bezeichnungen:

- MW_Qn_vor_LSW
- MW_bn_vor_LSW
- MW_Qn_nach_LSW
- MW_bn_nach_LSW

4.2.2 Barplot mit den gefilterten Daten

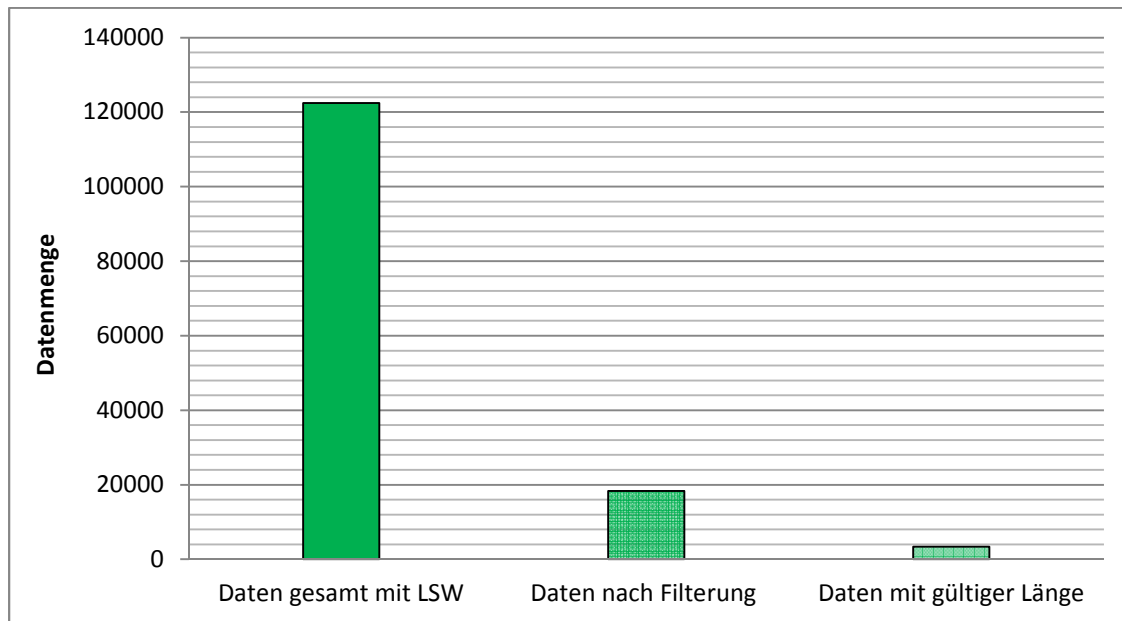


Abbildung 11 Verteilung nach Filterung der Eingangsdaten

Infolge der Abfrage nach den Filterkriterien bleiben nur rund ein Sechstel der Eingangsdaten übrig, also nur ca. 20.000 Querschnitte.

Aufgrund der Abfrage in der Datenbank nach der Qualität und der Verschlechterungsrate eines Querschnittes vor und nach Einbau Lärmschutzwand, verringert sich die Datenmenge. Wenn man von den bereits gefilterten Daten nur die Daten verwendet, die sich im Bereich einer „gültigen Länge“ befinden, reduziert sich die Datenmenge nochmals auf ca. 3.400 Querschnitte.

Daher folgte die Entscheidung, in dieser Arbeit auch mit den Daten bzw. Querschnitten zu arbeiten, die sich nicht im Bereich von „gültigen Längen“ befinden.

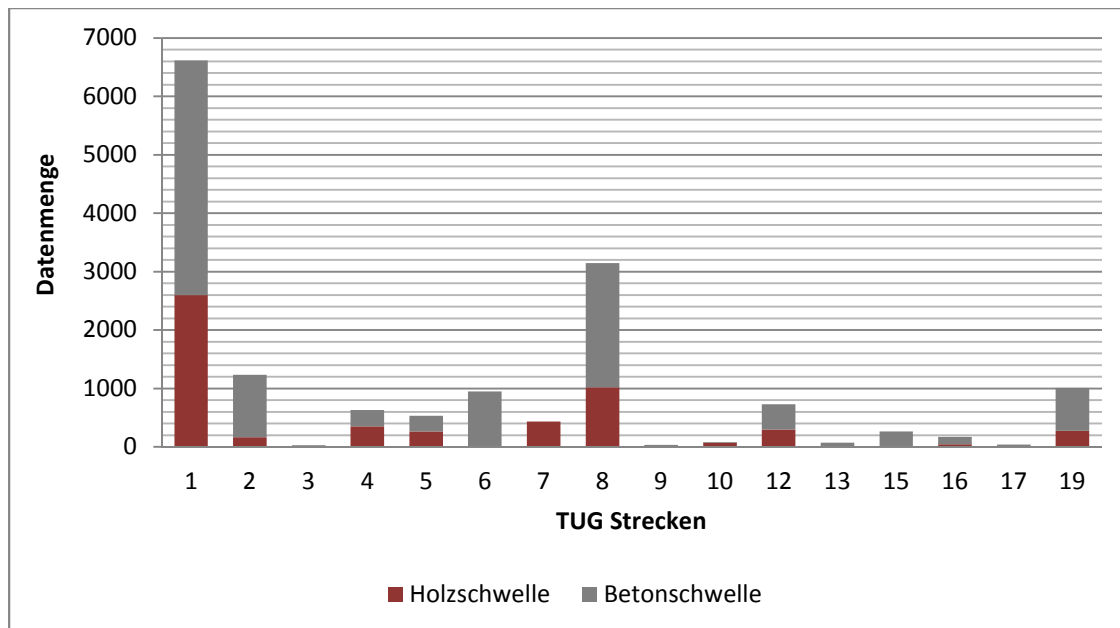


Abbildung 12 Verteilung Holz/Betonschwellen nach Filterung der Eingangsdaten

Im Vergleich zur Abbildung 9 ändert sich der Anteil an Betonschwellen kaum, jedoch auf der TUG Strecke 4 und 10 sind nach der Filterung vermehrt Holzschwellen vorzufinden.

Aufgrund der Filterung der Eingangsdaten (teilweise sind keine Qualitäts- und Verschlechterungsraten über einen Querschnitt vorhanden) entfallen zusätzlich zu den TUG Strecken 18 und 21 die TUG Strecken 11, 14, 20 und 22.

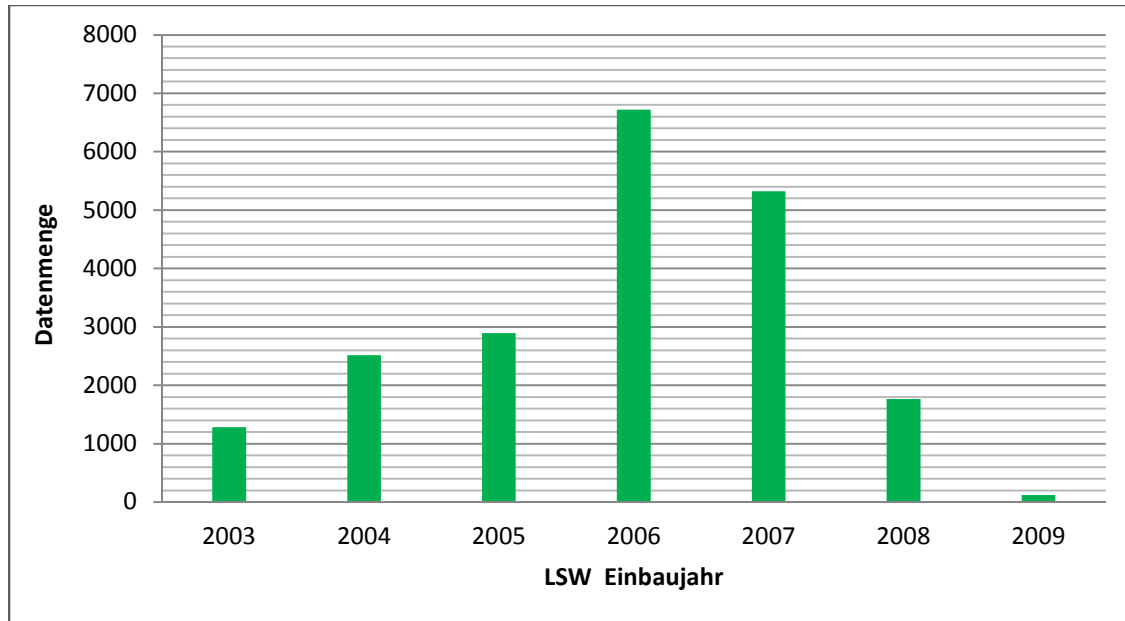


Abbildung 13 Verteilung LSW Einbaujahr nach Filterung der Eingangsdaten

Nach der Filterung der Eingangsdaten grenzt sich das Einbaujahr der Lärmschutzwände von 2003 – 2009 ein. Demzufolge werden nur relativ neue Lärmschutzwände betrachtet. Im Kapitel 4.6 werden auch ältere Lärmschutzwände analysiert.

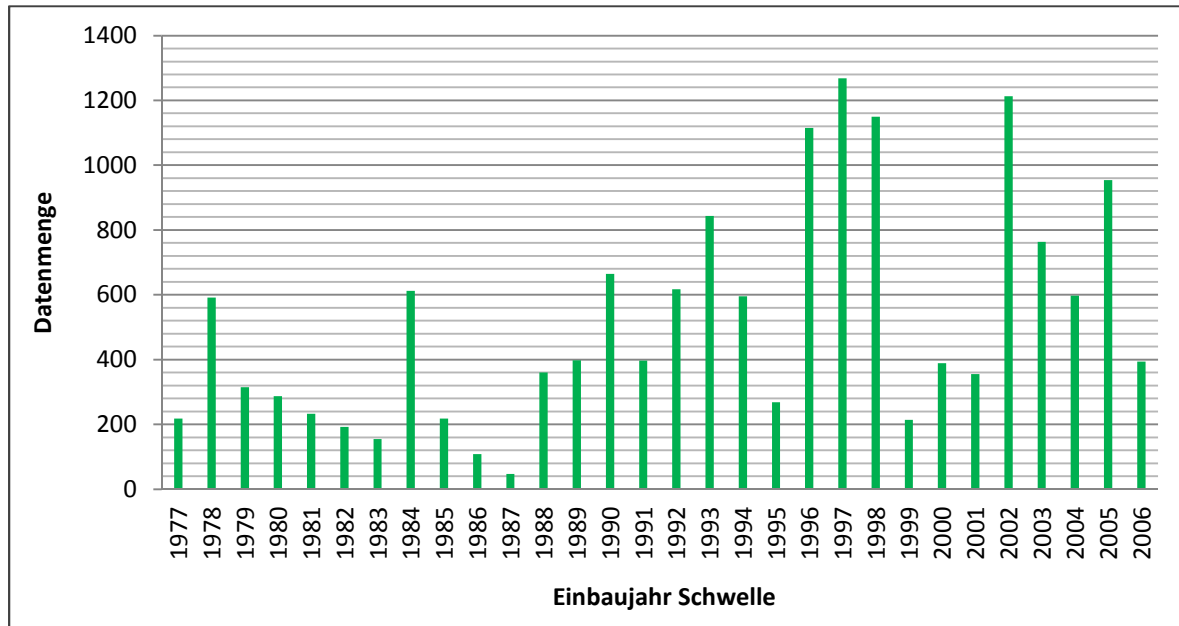


Abbildung 14 Verteilung Einbaujahr Schwelle nach Filterung der Eingangsdaten

4.2.3 Graphische Analyse

Im nächsten Schritt werden die gefilterten Daten grafisch analysiert. Folgende Methoden kommen hier zur Anwendung:

- I Boxplot
- I Histogramme
- I Darstellung der Mittelwerte

„Die grafischen Betrachtungen dienen dazu, festzuhalten, ob die untersuchte Randbedingung überhaupt das Verschlechterungsverhalten beeinflusst. Zusätzlich wird festgestellt, inwieweit die Parameterkombination für die gewünschte Auswertung herangezogen werden kann und welche weitere Vorgangsweise zu wählen ist.“²⁵

4.3 Zusammenhang LSW – Schwellenart

In einem ersten Schritt wurden die verwendeten gefilterten Daten in Querschnitte mit Holzschwellen und solche mit Betonschwellen aufgeteilt.

Es wurden jeweils die Boxplots der Qualität und der Verschlechterungsrate vor Einbau einer Lärmschutzwand zu nach Einbau einer Lärmschutzwand der jeweiligen Schwellenart gegenübergestellt.

4.3.1 Graphische Analyse mit LSW für Holzschwellen

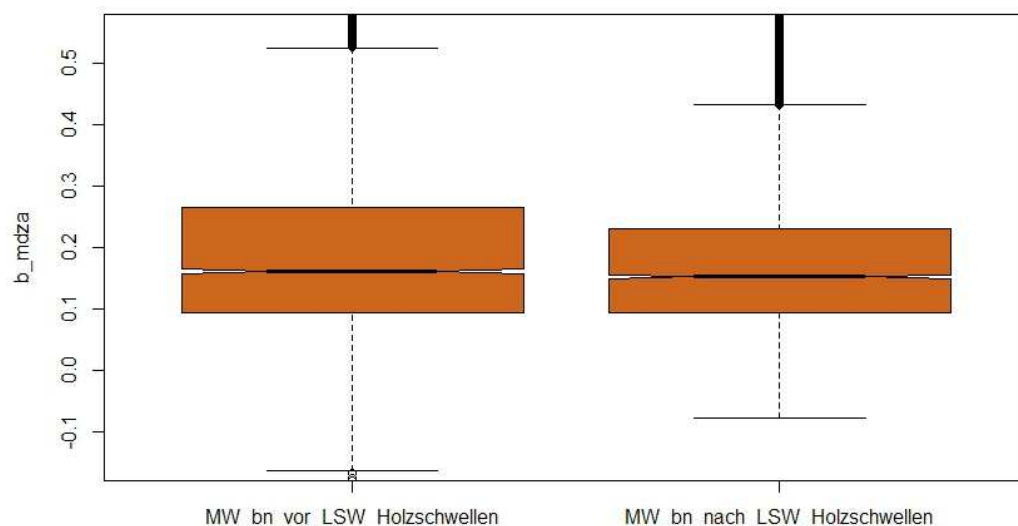


Abbildung 15 Boxplot b-Rate vor/nach LSW Einbau mit Holzschwellen

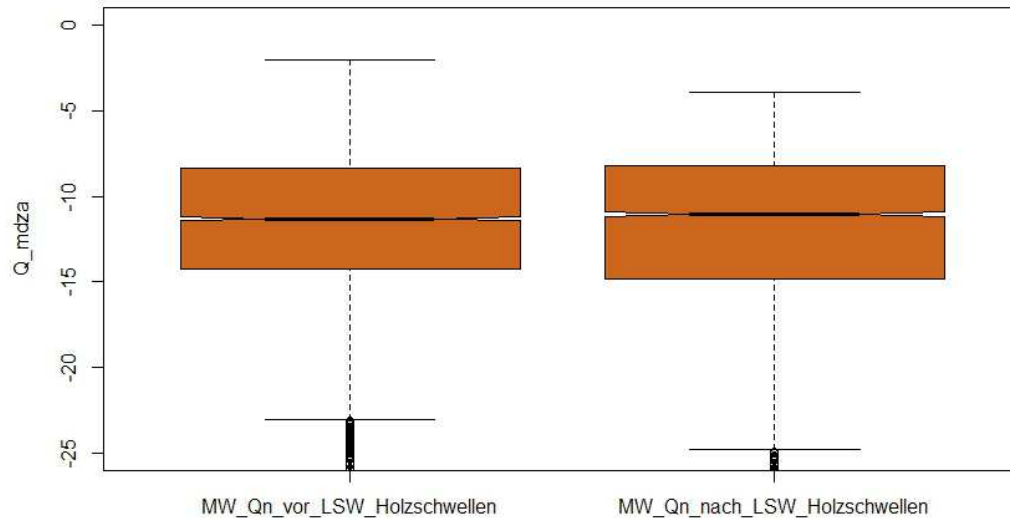


Abbildung 16 Boxplot Anfangsqualität vor/nach LSW Einbau mit Holzschwellen

Im Vergleich vor zu nach Einbau Lärmschutzwand mit Holzschwellen lässt sich kaum eine Veränderung erkennen, weder in der Qualität, noch bei der Verschlechterungsrate.

4.3.2 Graphische Analyse mit LSW für Betonschwellen

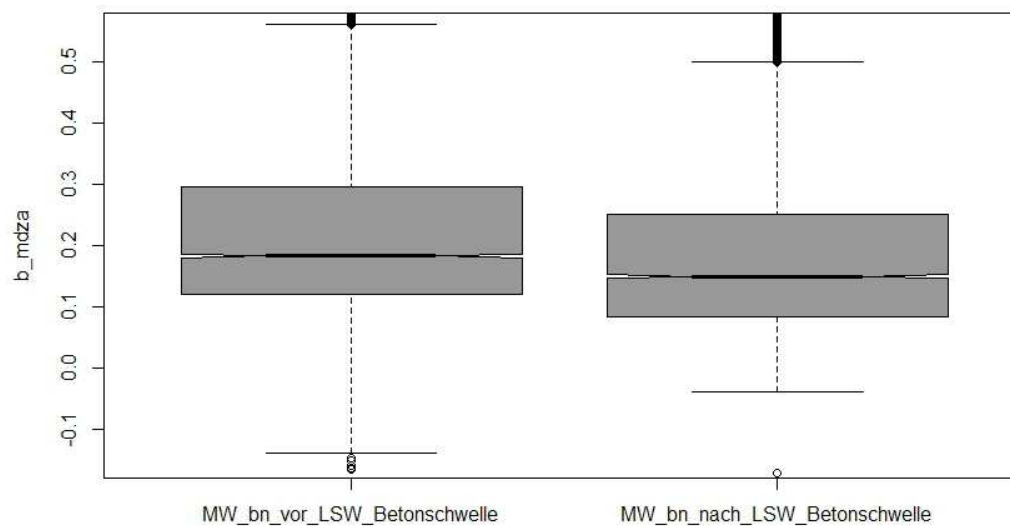


Abbildung 17 Boxplot b-Rate vor/nach LSW Einbau mit Betonschwellen

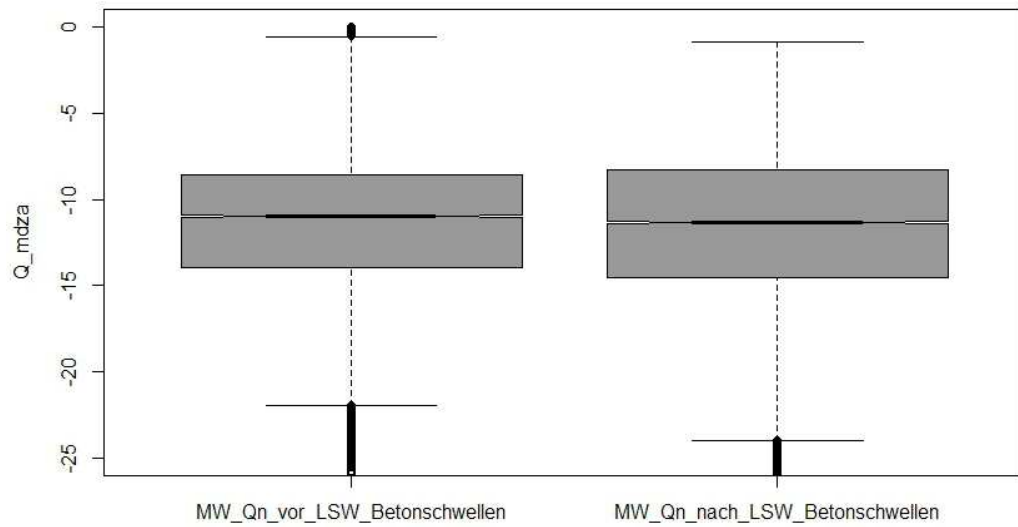


Abbildung 18 Boxplot Anfangsqualität vor/nach LSW Einbau mit Betonschwellen

Der Vergleich der Anfangsqualitäten zeigt kaum eine Veränderung vor zu nach Einbau Lärmschutzwand.

Bei der Verschlechterungsrate ist eine Verbesserung des Medianwertes von 0,18 auf 0,15 zu erkennen.

4.4 Relation vor Einbau LSW zu nach Einbau LSW

Um einen besseren Überblick zu bekommen, wurden die Datenmengen vor zu nach Einbau Lärmschutzwand in Relation zueinander gesetzt.

Alle Werte, die über dem Wert 1 (grüne Linie) liegen, zeigen eine Verbesserung.

4.4.1 Relation der Qualität VOR zu NACH Einbau LSW

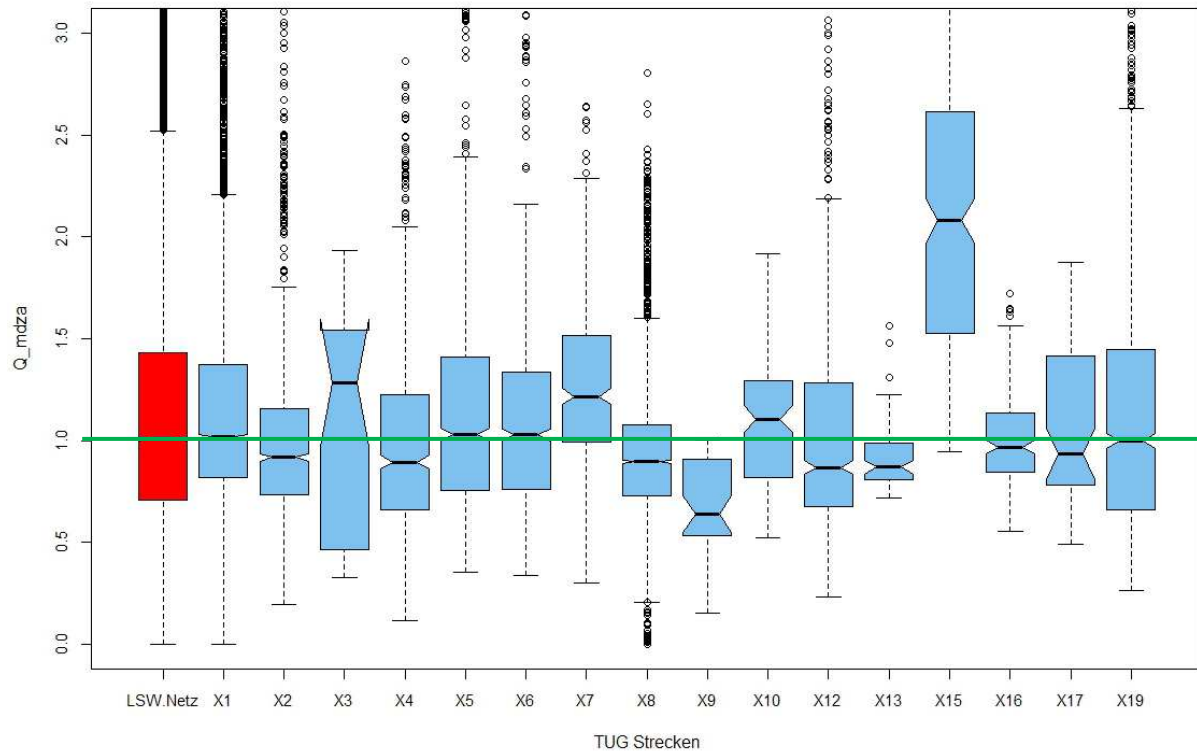


Abbildung 19 Relation der Qualität vor/nach Einbau LSW

Bis auf ein paar Ausreißer ist erkennbar, dass sich der Median der meisten TUG Strecken bei bzw. über der grünen Linie befindet. Daraus ist zu schließen, dass sich die Qualität nach Einbau der Lärmschutzwand, bis auf ein paar Ausnahmen, kaum verändert.

Die TUG Strecke 15 sticht hier deutlich hervor.

4.4.2 Relation der Verschlechterungsrate VOR zu NACH Einbau LSW

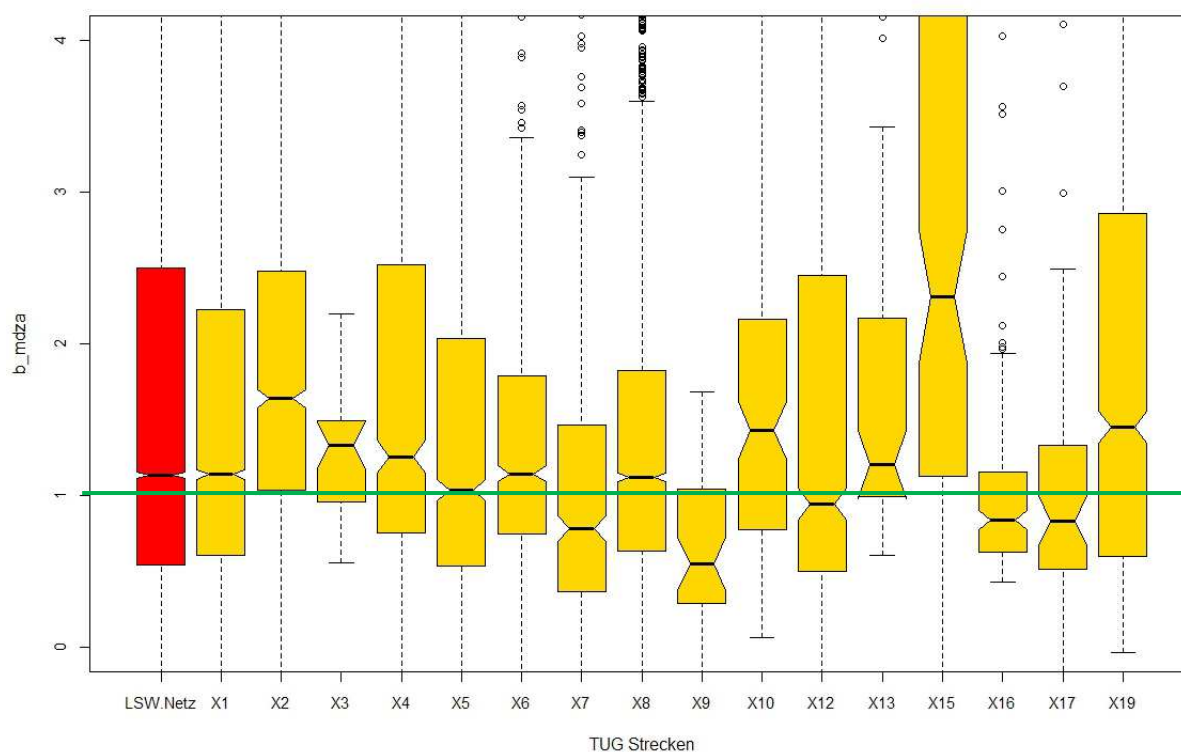


Abbildung 20 Relation der Verschlechterungsrate vor/nach Einbau LSW

Auch bei der Verschlechterungsrate liegen die meisten Mediane der einzelnen TUG Strecken bei bzw. über der grünen Linie, was eine Verbesserung darstellt.

Die TUG Strecke 15 sticht auch hier deutlich hervor. Der Grund dafür ist, dass das Einbaujahr Schwelle und das Einbaujahr Lärmschutzwand gleich sind (2007). Hier gibt es keine Daten vor und nach Einbau, die zum Vergleich heran gezogen werden könnten.

Da die TUG Strecke 15 nicht repräsentativ für die weitere Datenauswertung ist, fällt sie für weitere Auswertungen weg.

4.4.3 Relation der Qualität VOR zu NACH (ohne TUG-Strecke 15)

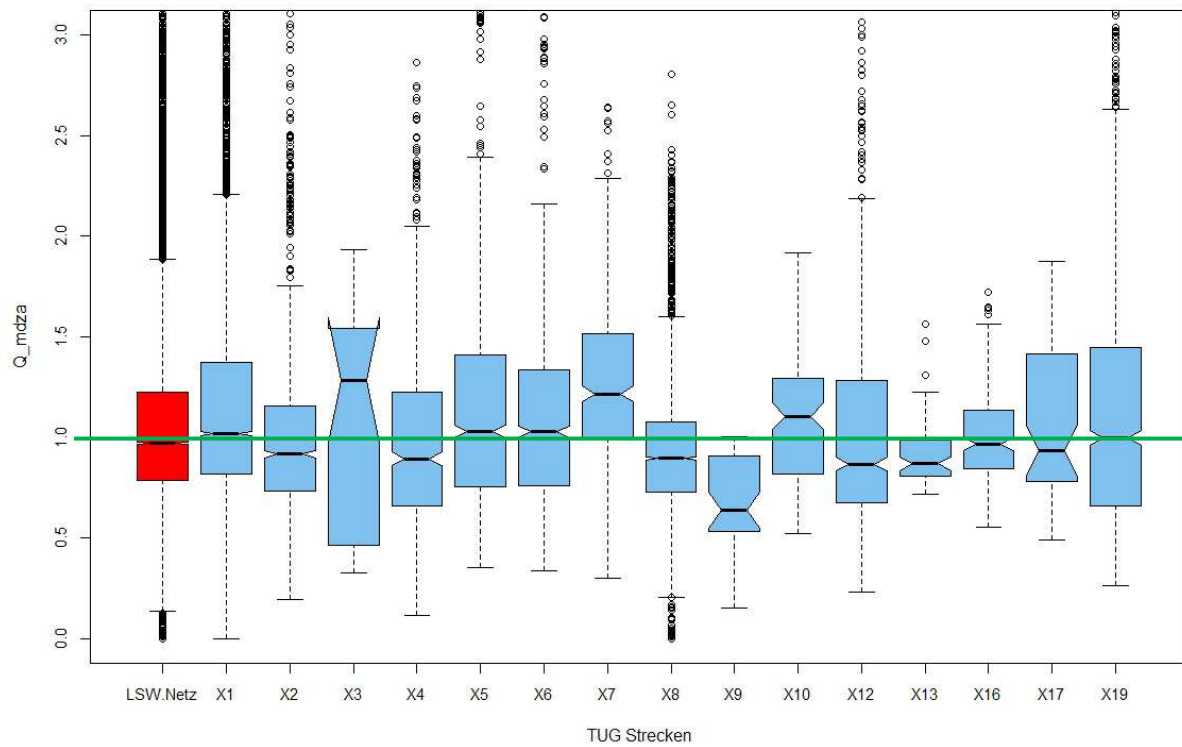


Abbildung 21 Relation der Qualität vor/nach Einbau LSW ohne TUG Strecke 15

Die Streuung sowie der Median der Lärmschutzwand Netz-Daten (roter Boxplot) verringert sich aufgrund des Wegfallens der TUG Strecke 15.

4.4.4 Relation der Verschlechterungsrate VOR zu NACH (ohne TUG-Strecke 15)

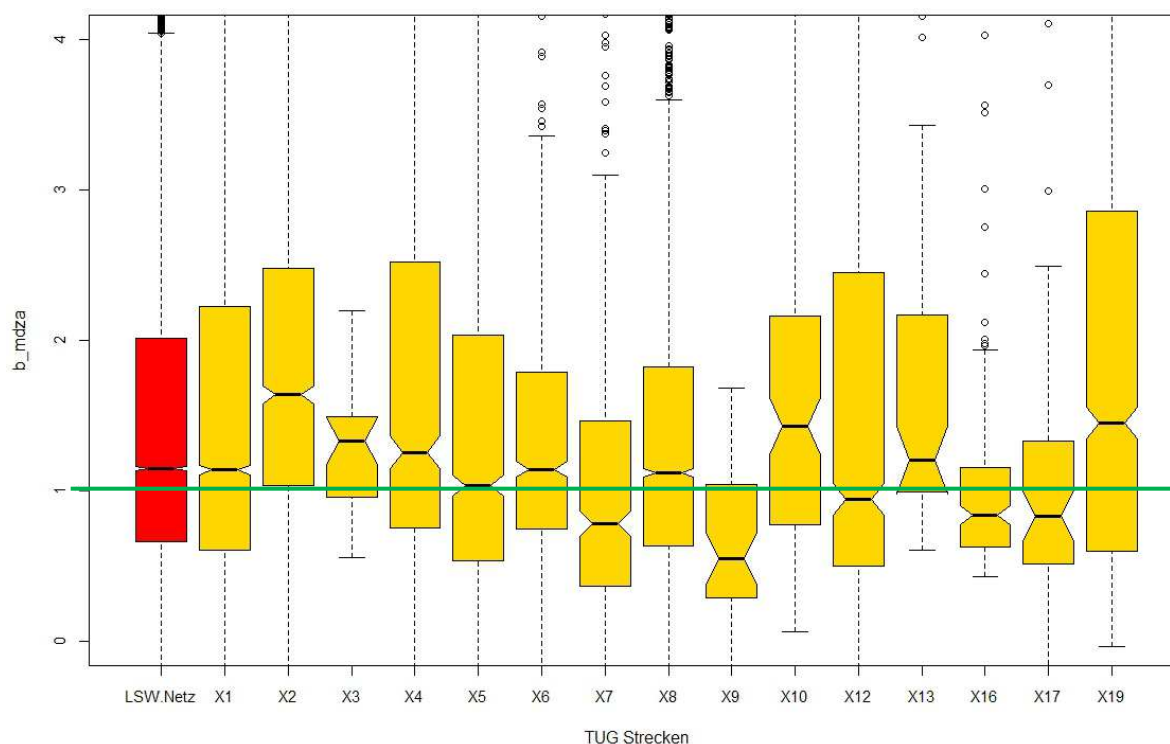


Abbildung 22 Relation der b-Rate vor/nach Einbau LSW ohne TUG Strecke 15

Auch bei der Verschlechterungsrate verringert sich die Streuung der LSW-Netz Daten aufgrund des Wegfallens der TUG Strecke 15.

Da die Verschlechterungsrate zur Bestimmung von Einflüssen der Randbedingungen auf das Verschlechterungsverhalten von Gleisen herangezogen wird, wurden anhand dieser Darstellung aus diesen Datenmengen vier TUG Strecken ausgewählt und im folgenden Kapitel genauer betrachtet.

Grundsätzlich kann auf den ersten Blick nicht erkannt werden, ob sich das Gleislageverhalten aufgrund eines Einbaus einer Lärmschutzwand verschlechtert oder verbessert.

Aufgrund der Filterungskriterien und der damit verbunden Datenmengenreduzierung wurden nur relativ neue Lärmschutzwand betrachtet (Einbaujahre zwischen 2003 und 2009).

Aus Erfahrungswerten ist es jedoch ersichtlich, dass eine Beurteilung des Gleislageverhaltens erst ab einem Beobachtungszeitraum von ca. 15 Jahren sinnvoll ist, da sich erst nach dieser Zeit repräsentative Werte ableiten lassen und die Strecke nicht mehr als Neulage gilt.

4.5 Beschreibung und Graphische Analyse einzelner TUG Strecken

Aufgrund ihres eher auffälligen Verhaltens wurden die TUG Strecken 7, 9, 12 und 16 genauer betrachtet.

Um zu untersuchen, ob Lärmschutzwände an diesen vier ausgewählten Streckenabschnitten einen Einfluss auf das Verschlechterungsverhalten des Gleises haben, wurde die Verschlechterungsrate sowie die Qualität vor und nach Einbau der Lärmschutzwand der ausgewählten TUG Strecken genauer betrachtet.

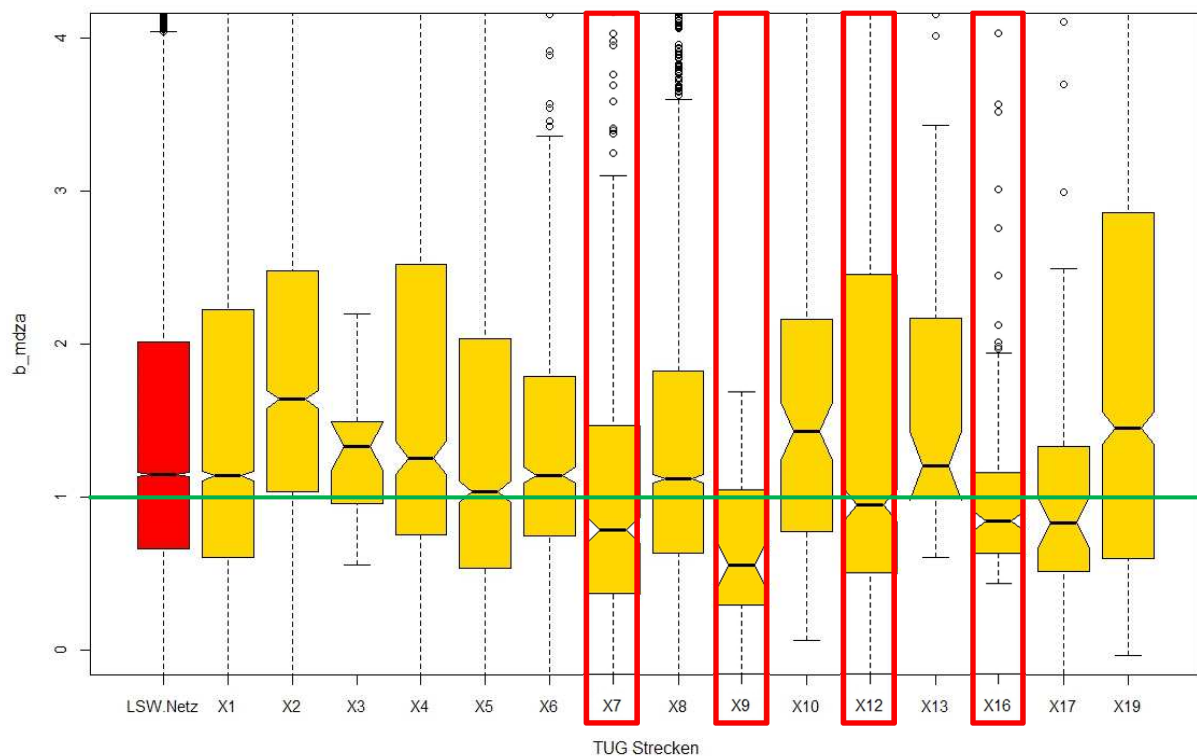


Abbildung 23 Auswahl der TUG Strecken

Strecke 7:

Die TUG Strecke 7 ist Teil der Tauernbahn.

„Der Name Tauernbahn bezeichnet die Bahnstrecke zwischen Schwarzach-St. Veit im Bundesland Salzburg und Spittal-Millstättersee in Kärnten. Sie ist Bestandteil einer der wichtigsten Nord-Süd-Magistralen Europas und dient zusätzlich auch der touristischen Erschließung des Gasteinertals.“²⁶

²⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Tauernbahn>

*„Die Tauernbahn ist 79 km lang und eine klassische Gebirgsbahn. Sie überwindet die Hohen Tauern mit einer maximalen Streckenneigung von 2,5 %. Der Gebirgskamm wird im 8371 Meter langen Tauerntunnel durchquert.“*²⁷

*„Zu dem ist sie, nach dem zweigleisigen Ausbau der Südrampe, die steilste und schnellste Gebirgsbahn der Welt.“*²⁸

Der betrachtete Abschnitt misst eine Länge von 2,180 km.

Technische Rahmenbedingungen:

- I Durchschnittliches Einbaujahr Schwelle: 1990
- I 2-gleisige Strecke
- I nur Holzschwellen
- I einseitige LSW, Einbau LSW ca. 18 Jahre nach Einbau Schwelle

Strecke 9:

Die TUG Strecke 9 gehört als Teil der Fernverbindung Wien – Klagenfurt – Villach (– Venedig) zu den wichtigsten Eisenbahnmagistralen Österreichs.²⁹

*„Die am 1. September 1868 von der Südbahngesellschaft eröffnete Bahnstrecke Bruck an der Mur–Leoben ist eine Hauptbahn in der Steiermark. Sie gehört zum Kernnetz der ÖBB Infrastruktur AG.“*³⁰

Der betrachtete Abschnitt misst eine Länge von 0,225 km.

Technische Rahmenbedingungen:

- I Durchschnittliches Einbaujahr Schwelle: 1994
- I 2-gleisige Strecke
- I nur Betonschwellen
- I einseitige LSW, Einbau LSW ca. 8 Jahre nach Einbau Schwelle

Strecke 12:

„Die heutige Drautalbahn setzt sich aus der Kärntnerbahn (Marburg–Villach), der ursprünglichen Drautalbahn (Villach–Lienz) sowie dem östlichen Teil der ursprünglichen

²⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Tauernbahn>

²⁸ <http://www.tauernbahn.at/de/index.php?section=strecke>

²⁹ https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Bruck_an_der_Mur%E2%80%93Leoben

³⁰ https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Bruck_an_der_Mur%E2%80%93Leoben

*Pustertalbahn (die von Lienz bis Franzensfeste reichte) zusammen. Der Streckenteil östlich von Klagenfurt bis Bleiburg soll als Koralmbahn ausgebaut werden.“*³¹

Der betrachtete Abschnitt misst eine Länge von 3,650 km.

Technische Rahmenbedingen:

- I Durchschnittliches Einbaujahr Schwelle: 1986
- I 2-gleisige Strecke
- I Betonschwellen und Holzschwellen

Strecke 16:

*„Die Ennstalbahn ist eine elektrifizierte normalspurige Hauptbahn in der Steiermark und dem Land Salzburg, welche ursprünglich durch die k.k. privilegierte Kaiserin-Elisabeth-Bahn erbaut und betrieben wurde. Die Bahn stellt eine wichtige Verbindung der Steiermark in Richtung Salzburg, Westösterreich und nach Deutschland dar. Die Strecke ist mit Ausnahme eines sehr kurzen Abschnittes eingleisig. Von einem vor Jahrzehnten begonnenem Ausbau in Hinblick auf Zweigleisigkeit sind nur wenige Relikte erkennbar.“*³²

Der betrachtete Abschnitt misst eine Länge von 0,845 km.

Technische Rahmenbedingen:

- I Durchschnittliches Einbaujahr Schwelle: 1998
- I 1-gleisige Strecke
- I Betonschwellen und Holzschwellen

³¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Drautalbahn>

³² <https://de.wikipedia.org/wiki/Ennstalbahn>

TUG Strecken		Verschlechterungsrate VOR Einbau LSW	Verschlechterungsrate NACH Einbau LSW
7	oberes Quartil	0,0498	0,0763
	Medianwert	0,0749	0,1214
	unteres Quartil	0,1291	0,1600
9	oberes Quartil	0,0227	0,0729
	Medianwert	0,0449	0,0824
	unteres Quartil	0,0761	0,1068
12	oberes Quartil	0,0794	0,0706
	Medianwert	0,1209	0,1324
	unteres Quartil	0,1949	0,1905
16	oberes Quartil	0,103	0,1077
	Medianwert	0,1224	0,1428
	unteres Quartil	0,1536	0,1732

Tabelle 1 Median- und Quartilwerte für die Verschlechterungsrate

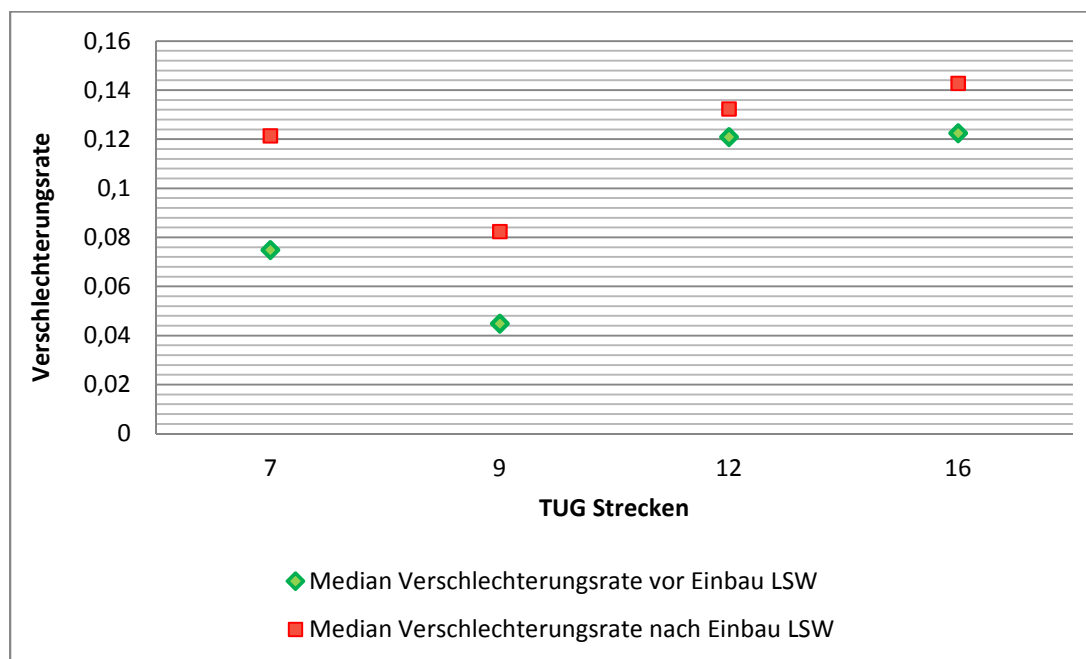


Abbildung 24 Darstellung der Medianwerte für die Verschlechterungsrate

In diesen vier TUG Strecken zeigt die Verschlechterung eine eindeutige Erhöhung. Grund dieser Erhöhung muss jedoch nicht zwingend der Einbau der Lärmschutzwand sein.

Die TUG Strecke 7 besteht hier nur aus Holzschwellen. Die Lärmschutzwand wurde achtzehn Jahre später eingebaut. Das heißt, dass in ein relativ altes Gleis eingegriffen wurde. Hier kann beim Einbau der Lärmschutzwand der Unterbau des Gleises beschädigt worden sein.

Die TUG Strecke 9 besteht hingegen nur aus Betonschwellen. Die Lärmschutzwand wurde sieben Jahre später eingebaut. Dennoch weist die Verschlechterung eine Erhöhung auf.

TUG Strecken		Qualität VOR Einbau LSW	Qualität NACH Einbau LSW
7	oberes Quartil	-16,3461	-12,7922
	Medianwert	-13,3427	-11,253
	unteres Quartil	-10,9958	-9,8853
9	oberes Quartil	-9,5631	-14,7216
	Medianwert	-8,5749	-11,3959
	unteres Quartil	-7,1645	-10,4169
12	oberes Quartil	-13,2092	-14,4632
	Medianwert	-10,8763	-11,9638
	unteres Quartil	-8,8892	-9,2312
16	oberes Quartil	-10,59	-11,0985
	Medianwert	-8,3845	-8,4414
	unteres Quartil	-7,1444	-8,1209

Tabelle 2 Median- und Quartilwerte für die Qualität

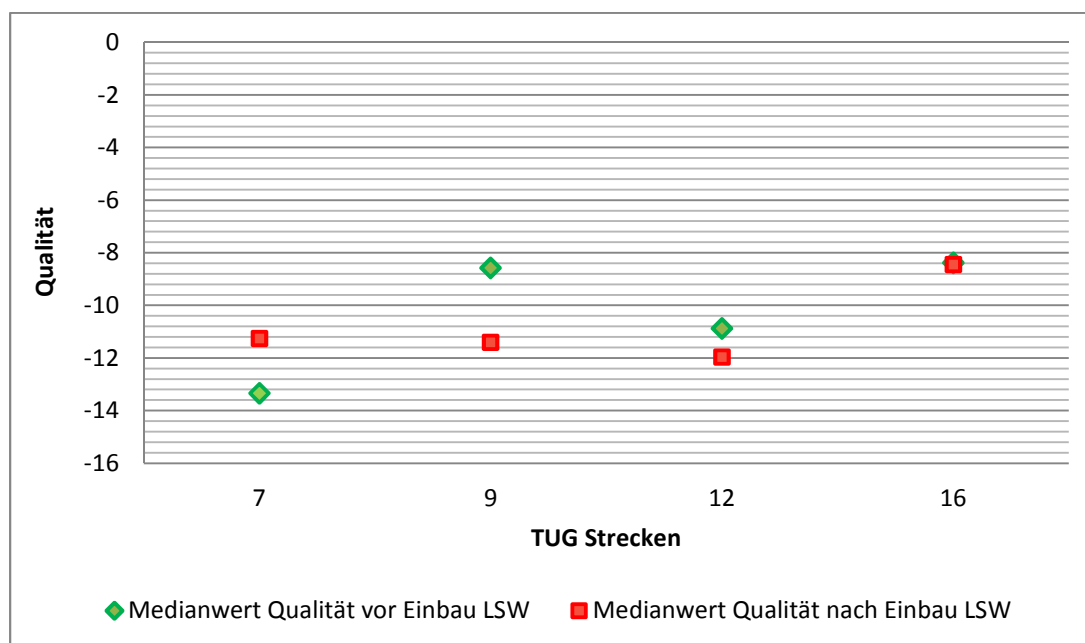


Abbildung 25 Darstellung der Medianwerte für die Qualität

Bis auf die TUG Strecke 7 weisen die anderen TUG Strecken eine Verschlechterung der Qualität auf.

Interessanterweise, im Gegensatz zur Verschlechterungsrate, verbessert sich die Qualität bei der TUG Strecke 7 nach Einbau der Lärmschutzwand. Daraus kann man schließen, dass sich das Gleislageverhalten, jedoch nicht die Gleislage verschlechtert hat.

In diese Betrachtungen fließt jedoch eine Vielzahl von Parametern nicht mit ein, wie zum Beispiel die Trassierungs-, Belastungs- und Oberbauinformationen. Diese können die Qualität sowie die Verschlechterungsrate zusätzlich beeinflussen.

Strecke 12 - Holzschwellen:

- I Einbaujahr Schwelle: 1983
- I Betrachtete Länge: 1,480 km
- I einseitige LSW, Einbau LSW ca. 20 Jahre nach Einbau Schwelle

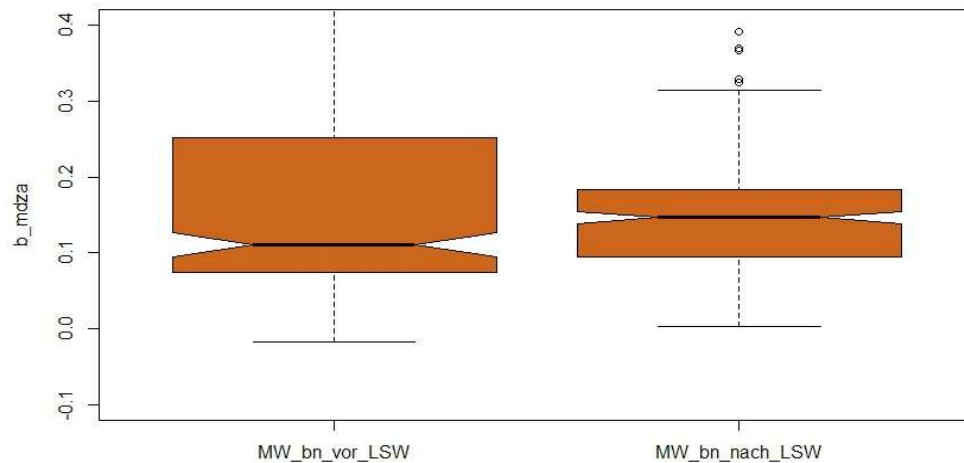


Abbildung 26 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 12 – Holzschwelle

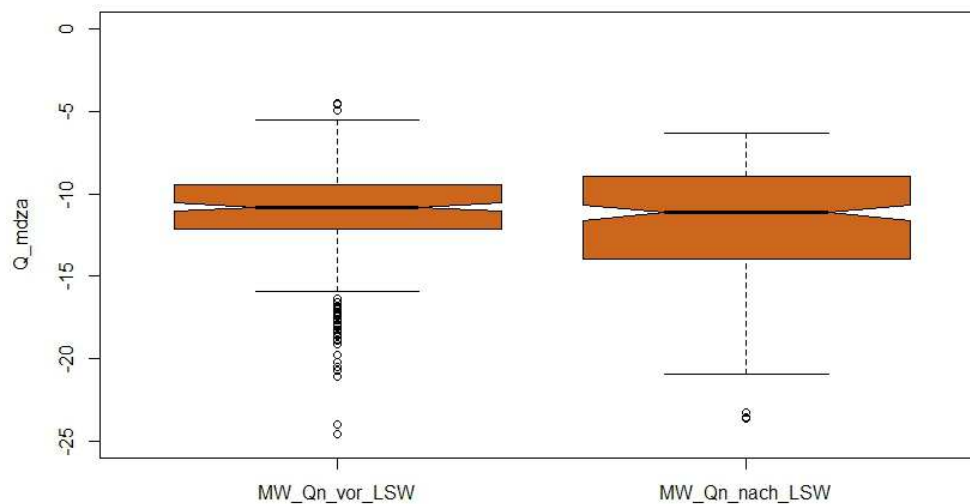


Abbildung 27 Boxplot Qualität für TUG Strecke 12 - Holzschwelle

Hier wurde eine Lärmschutzwand 20 Jahre nach dem Einbaujahr der Schwelle errichtet. Es ist eine Erhöhung der Verschlechterung und der Qualität nach Einbau Lärmschutzwand erkennbar. Jedoch hat sich die Streuung der Verschlechterungsrate verringert. Hier könnte der späte Einbau der Lärmschutzwand einen Einfluss auf die Gleislage und auf das Gleislageverhalten genommen haben.

Strecke 12 - Betonschwellen:

- I Einbaujahr Schwelle: 1987
- I Betrachtete Länge: 2,170 km
- I einseitige LSW, Einbau LSW ca. 20 Jahre nach Einbau Schwelle

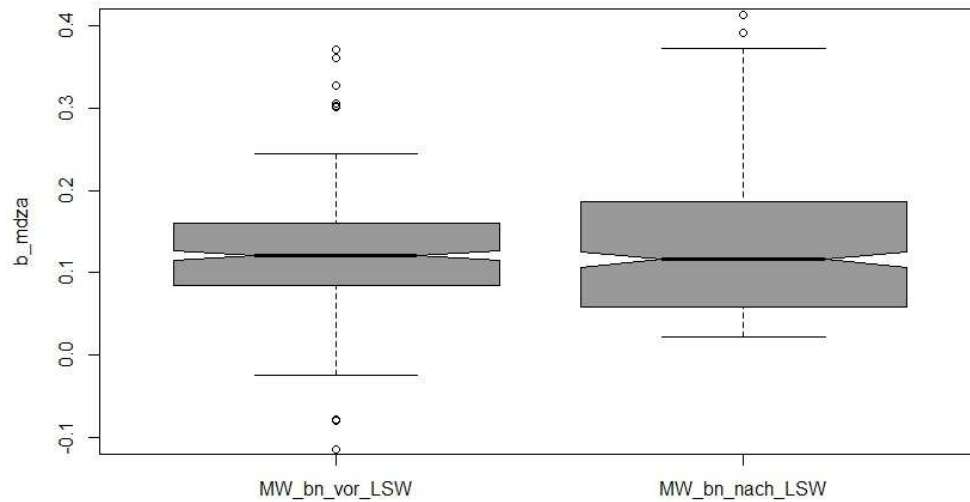


Abbildung 28 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 12 – Betonschwelle

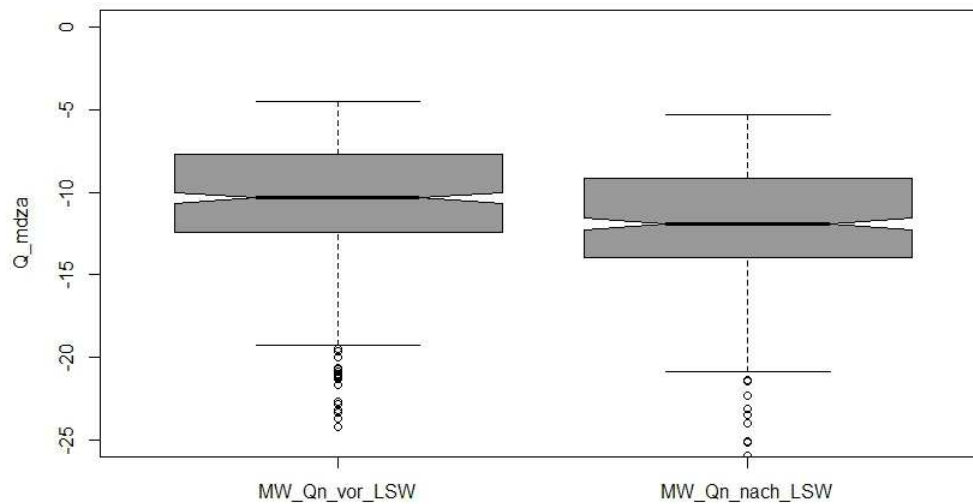


Abbildung 29 Boxplot Qualität für TUG Strecke 12 - Betonschwelle

Der Einbau der Lärmschutzwand erfolgte ca. 20 Jahre nach Einbau der Schwelle. Hier zeigt die Verschlechterung, bis auf die Streuung, kaum eine Veränderung, jedoch weist die Qualität eine Verschlechterung auf. Auch hier könnte der späte Einbau der Lärmschutzwand einen Einfluss auf die Gleislage genommen und somit die Verschlechterung der Qualität verursacht haben.

Strecke 16 - Holzschwellen:

- I Einbaujahr Schwelle: 1995
- I Betrachtete Länge: 0,225 km
- I beidseitige LSW, Einbau LSW ca. 10 Jahre nach Einbau Schwelle

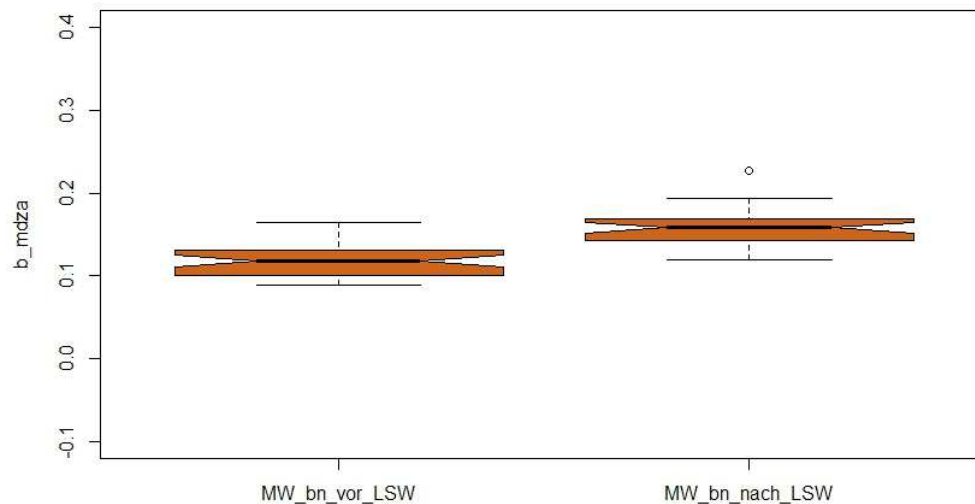


Abbildung 30 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 16 – Holzschwelle

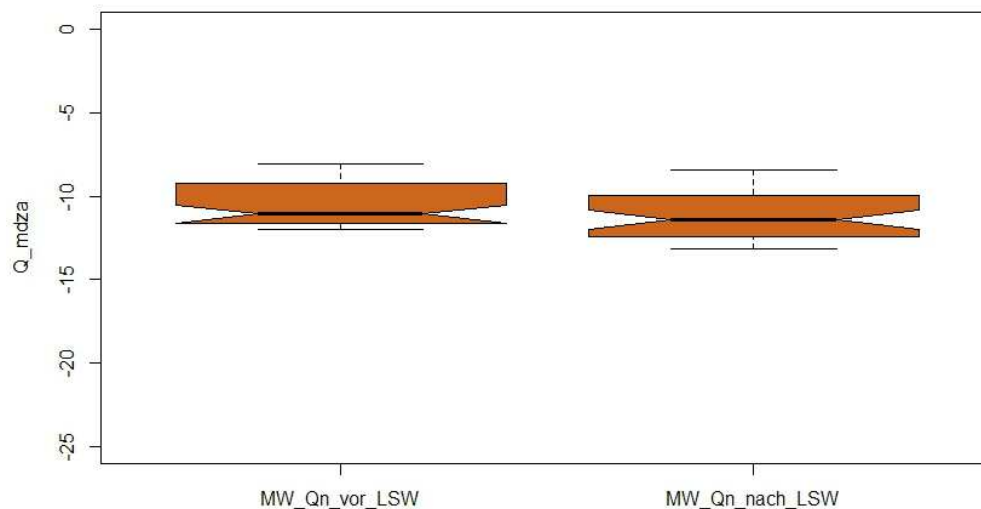


Abbildung 31 Boxplot Qualität für TUG Strecke 16 - Holzschwelle

Hier wurde die Lärmschutzwand ca. zehn Jahre nach Einbau der Schwelle errichtet. Der betrachtete Streckenabschnitt ist sehr kurz (0,225 km). Es handelt sich um eine eingeleisige Strecke mit beidseitiger Lärmschutzwand. Sowohl die Verschlechterungsrate, als auch die Qualität verschlechtern sich. Diese Verschlechterung kann hier nicht eindeutig auf die Lärmschutzwand bezogen werden, jedoch ist es möglich, dass der Einbau der Lärmschutzwand eine Auswirkung hat.

Strecke 16 - Betonschwellen:

- I Einbaujahr Schwelle: 1999
- I Betrachtete Länge: 0,620 km
- I beidseitige LSW, Einbau LSW ca. 5 Jahre nach Einbau Schwelle

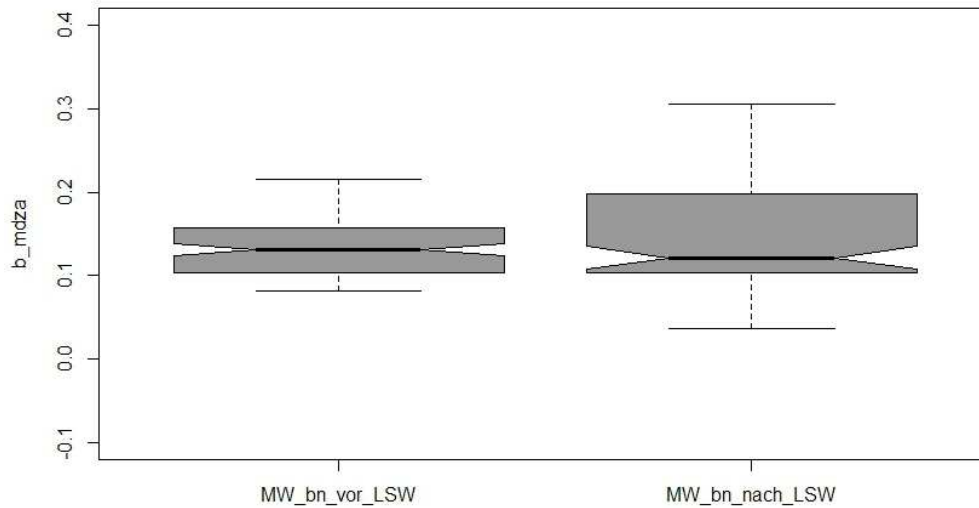


Abbildung 32 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 16 – Betonschwelle

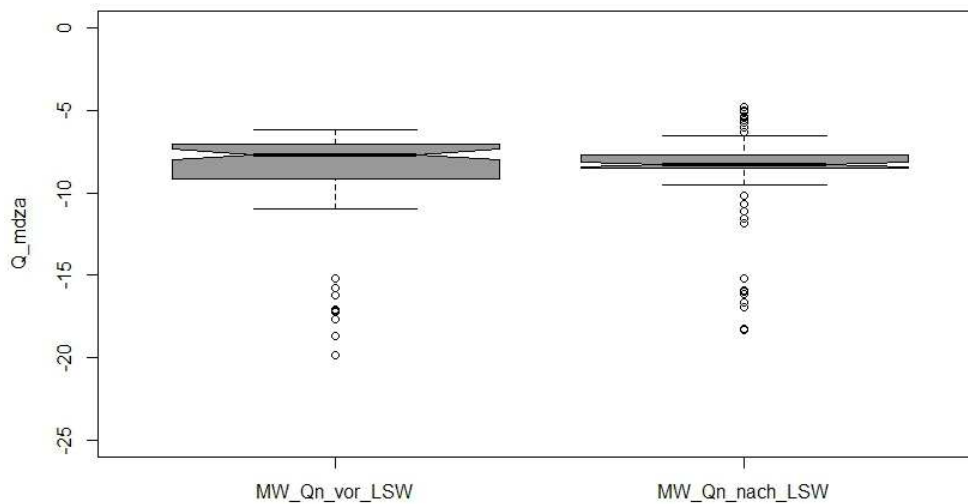


Abbildung 33 Boxplot Qualität für TUG Strecke 16 - Betonschwelle

Hier wurde die Lärmschutzwand kurz nach Einbau der Schwelle errichtet. Der Median der Verschlechterung weist eine Verbesserung auf, die Streuung jedoch erhöht sich. Die Qualität weist kaum eine Veränderung nach Einbau der Lärmschutzwand auf. Hier hat die Lärmschutzwand keinen Einfluss auf die Gleislage bzw. auf das Gleislageverhalten.

4.5.1 Fiktives Gleislageverhalten

Folgende Abbildungen zeigen ein fiktives Gleislageverhalten der TUG Strecke 7 und 9. Erfahrungswerte zeigen, dass die Eingriffsschwelle, bei der ein Gleis einer Instandsetzungsmaßnahme unterzogen werden sollte, bei einer Qualität von ca. -15 liegt. Es wurde angenommen, dass nach einer Instandsetzungsmaßnahme (z.B. Stopfen) die Qualität wieder bei der Anfangsqualität liegt. Im Normalfall würde die Qualität nach einer Instandsetzung etwas unter der Anfangsqualität liegen. Die nachfolgenden Darstellungen sollen jedoch nur ein fiktives Gleislageverhalten darstellen.

Strecke 7:

Anfangsqualität vor Einbau Lärmschutzwand $Q_0 = -13,3427$

Verschlechterungsrate vor Einbau Lärmschutzwand $b = 0,0749$

Anhand der Tabelle sieht man, dass alle zwei Jahre Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen wären.

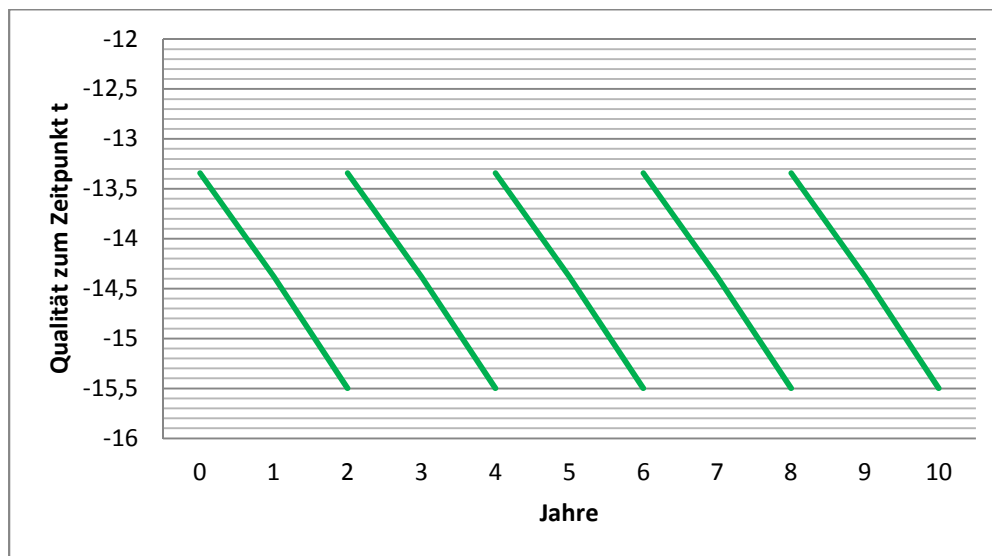


Abbildung 34 Gleislageverhalten VOR Einbau LSW – Strecke 7

Anfangsqualität nach Einbau Lärmschutzwand $Q_0 = -11,253$

Verschlechterungsrate nach Einbau Lärmschutzwand $b = 0,1214$

Nach Einbau der Lärmschutzwand weist das Gleis eine bessere Anfangsqualität, jedoch eine höhere Verschlechterungsrate auf. Hier müsste das Gleis alle drei Jahre einer Instandhaltungsmaßnahme unterzogen werden.

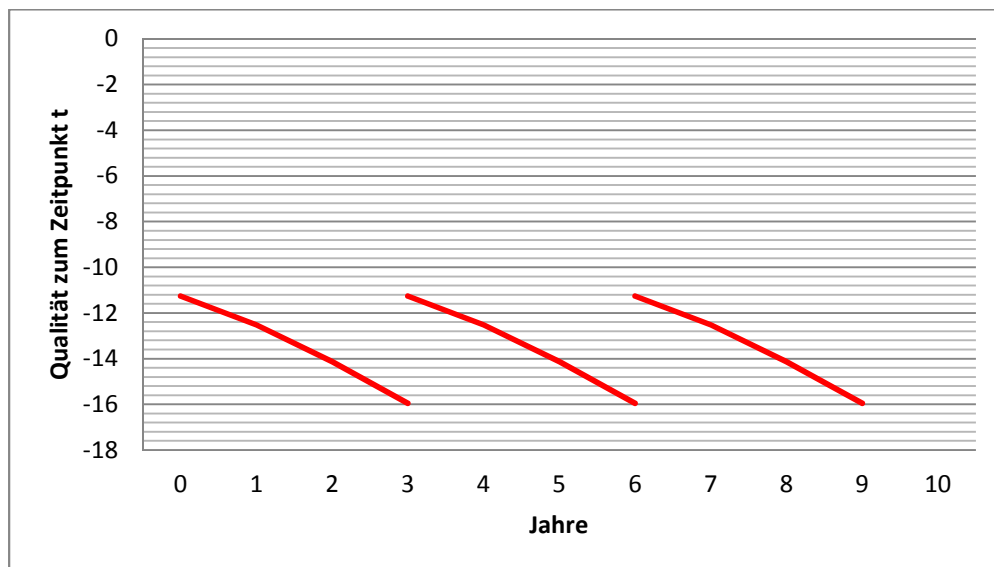


Abbildung 35 Gleislageverhalten NACH Einbau LSW – Strecke 7

Strecke 9:

Anfangsqualität vor Einbau Lärmschutzwand $Q_0 = -8,5749$

Verschlechterungsrate vor Einbau Lärmschutzwand $b = 0,0449$

Anhand der Abbildung 37 sieht man, dass das Gleis erst nach mehr als 10 Jahren einer Instandhaltung unterzogen werden müsste.

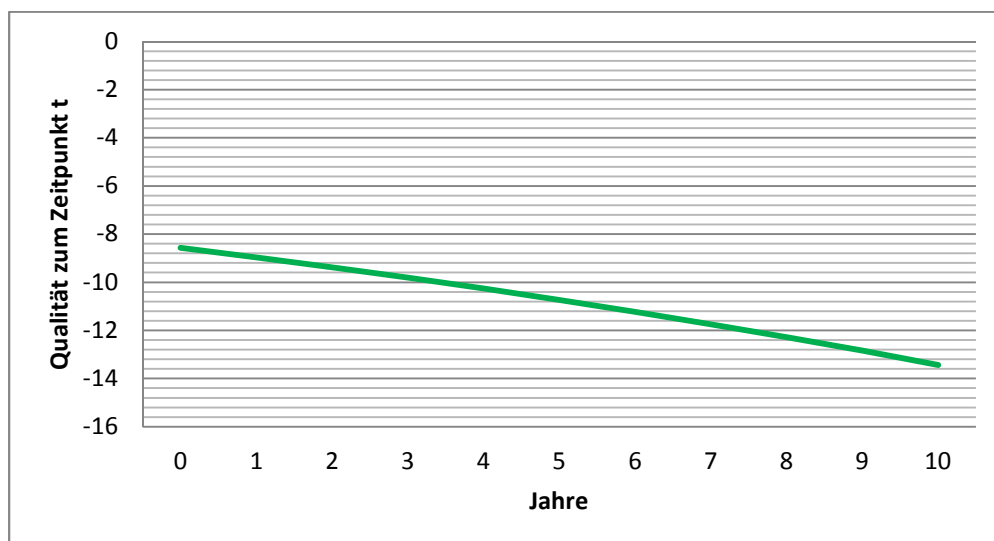


Abbildung 36 Gleislageverhalten VOR Einbau LSW – Strecke 9

Anfangsqualität nach Einbau Lärmschutzwand $Q_0 = -11,3959$

Verschlechterungsrate nach Einbau Lärmschutzwand $b = 0,0824$

Nach Einbau der Lärmschutzwand lässt sich eine schlechtere Anfangsqualität und eine höhere Verschlechterungsrate feststellen. Hier müsste das Gleis alle vier Jahre instand gehalten werden.

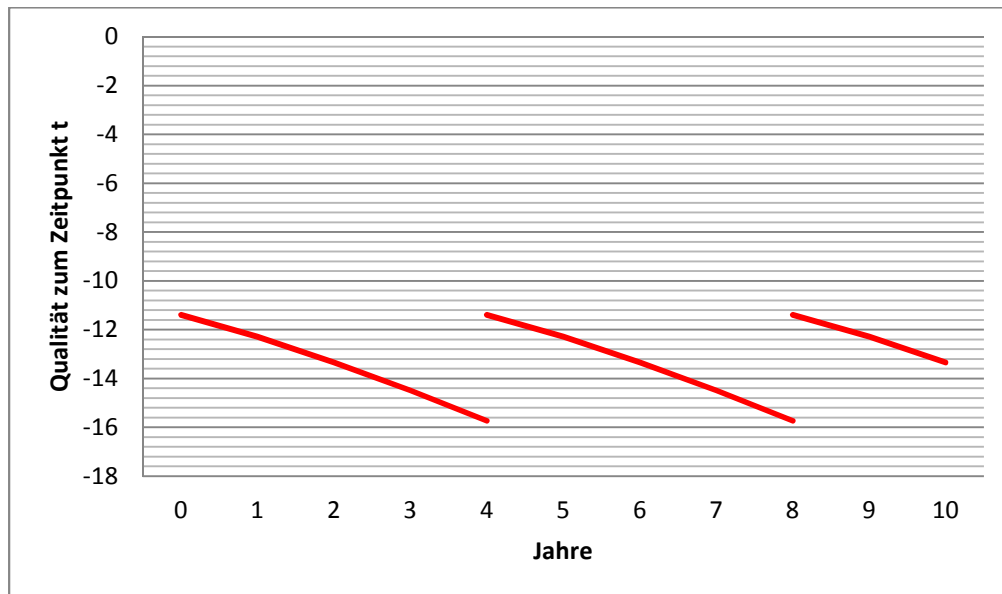


Abbildung 37 Gleislageverhalten NACH Einbau LSW – Strecke 9

4.6 Zusammenhang Bahnstrecken mit und ohne LSW

Als Basis für die folgenden Auswertungen wird nach den unten angeführten Eingangsdaten erneut gefiltert.

Es wurde zwischen Bahnstrecken mit und Bahnstrecken ohne Lärmschutzwand unterschieden.

Um einen Zusammenhang zwischen der Nutzungsdauer bzw. dem Alter eines Gleises und dem Verschlechterungsverhalten über die Zeit herstellen zu können, wurden die Qualität und die Verschlechterungsrate des Gleises ab dem Jahr 2005 ausgegeben. Gleise ab einem Einbaujahr von 2005 bis theoretisch jetzt (letzte Datenerfassung 2013) gelten als relativ neue Gleise.

Somit kann man das Gleislageverhalten über die Zeit darstellen, da eine repräsentative Verschlechterung erst nach 15 Jahren ersichtlich ist.

Die Abhängigkeit zwischen Radius und Verschlechterungsverhalten des Eisenbahngleises ist durch die Auswertungen in der Dissertation von DI Hummitzsch eindeutig und zweifelsfrei empirisch bewiesen.³³

Um den Einfluss des Radius auf das Gleislageverhalten auszuschließen, wurden nur Bereiche betrachtet, die einen Radius größer als 600 m aufweisen, da das Gleislageverhalten bei einem Radius größer als 600 m unverändert zur Geraden ist.³⁴

Filterkriterien für Bahnstrecken ohne LSW:

- I Definition der zu untersuchenden Strecke
 - TUG - Strecken Nummer
 - Streckenabschnitt (km_von, km_bis)
- I Randbedingungen, die den gesamten Querschnitt betreffen
 - Schwellenart
 - Einbaujahr Schwelle
- I Belastungsklassen [GesBt/Tag]
- I Radius
- I Randbedingungen, die nur den jeweiligen Verschlechterungsast betreffen
 - Mittelwert der Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes Q_n ab dem Jahr 2005
 - Mittelwert der Verschlechterungsrate b_n ab dem Jahr 2005
- I Zusätzliche Bedingungen
 - „Gültige Längen“

³³ Hummitzsch 2009

³⁴ Hummitzsch 2009

Filterkriterien für Bahnstrecken mit LSW:

- I Definition der zu untersuchenden Strecke
 - TUG - Strecken Nummer
 - Streckenabschnitt (km_von, km_bis)
- I Randbedingungen, die den gesamten Querschnitt betreffen
 - Schwellenart
 - Einbaujahr Schwelle
- I Belastungsklassen [GesBt/Tag]
- I Radius
- I Randbedingungen, die nur den jeweiligen Verschlechterungsast betreffen
 - Mittelwert der Ausgangsqualität eines Verschlechterungsastes Q_n ab dem Jahr 2005
 - Mittelwert der Verschlechterungsrate b_n ab dem Jahr 2005
- I Zusätzliche Bedingungen
 - „Gültige Längen“
- I Daten zur LSW
 - Einbaujahr
 - Lage (r./l.d.B.)
 - Streckenabschnitt (km_von, km_bis)

[GesBt/Tag] = Gesamtbruttotonnen je Tag und Gleis

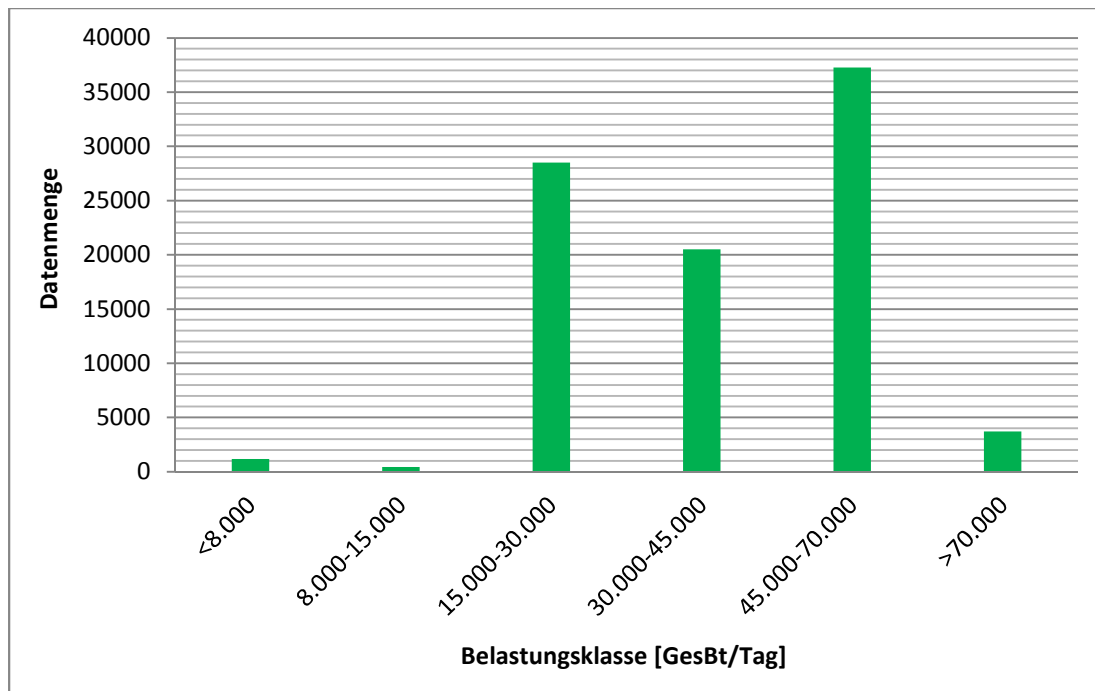


Abbildung 38 Verteilung LSW/Belastungsklasse nach Filterung

Es zeigt sich, dass die Belastungsklassen <8.000, 8.000–15.000 und >70.000 einen zu kleinen Stichprobenumfang besitzen, um vergleichbare statistische Ergebnisse zu liefern. Daher werden diese Belastungsklassen nicht zur weiteren Analyse herangezogen.

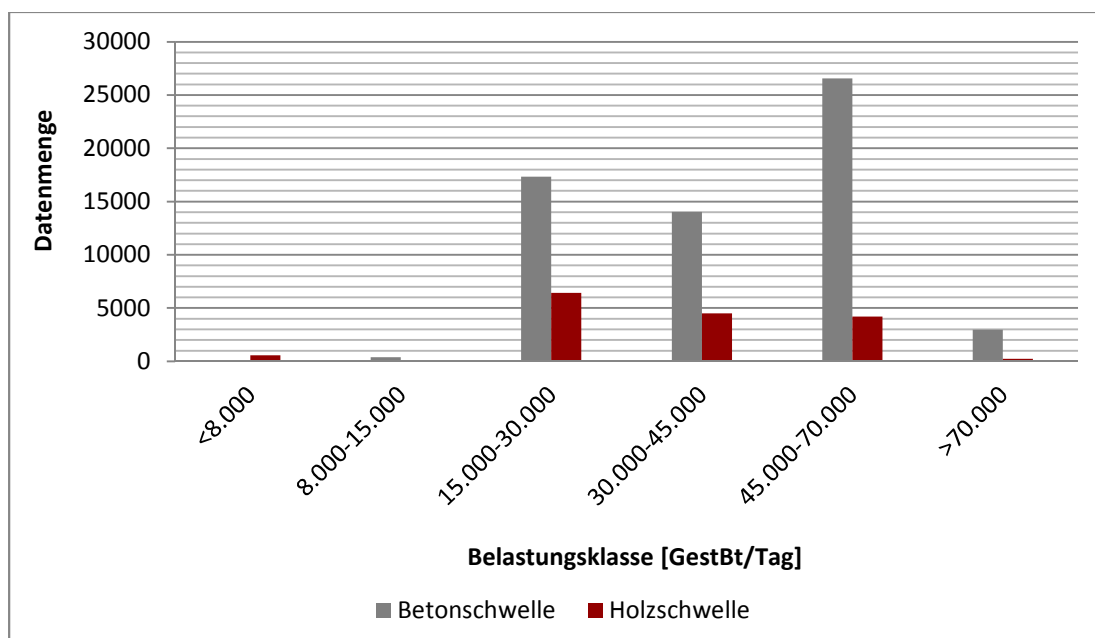


Abbildung 39 Verteilung Schwellenart/Belastungsklassen nach Filterung

4.6.1 Schwellenart - Belastungsklassen mit und ohne LSW

4.6.1.1 Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW älter als 1995:

Hier wurde ein relativ altes Gleis (Einbaujahr Schwelle älter als 1995) ohne Lärmschutzwand mit einem gleichalten Gleis mit Lärmschutzwand (Einbaujahr Lärmschutzwand und Einbaujahr Schwelle älter als 1995) jeweils mit der Qualität und dem Verschlechterungsverhalten ab dem Jahr 2005 (10 Jahre nach Einbaujahr Schwelle bzw. Lärmschutzwand) verglichen. Es erfolgte eine Unterteilung in Belastungsklassen und Schwellenart.

I Holzschwelle

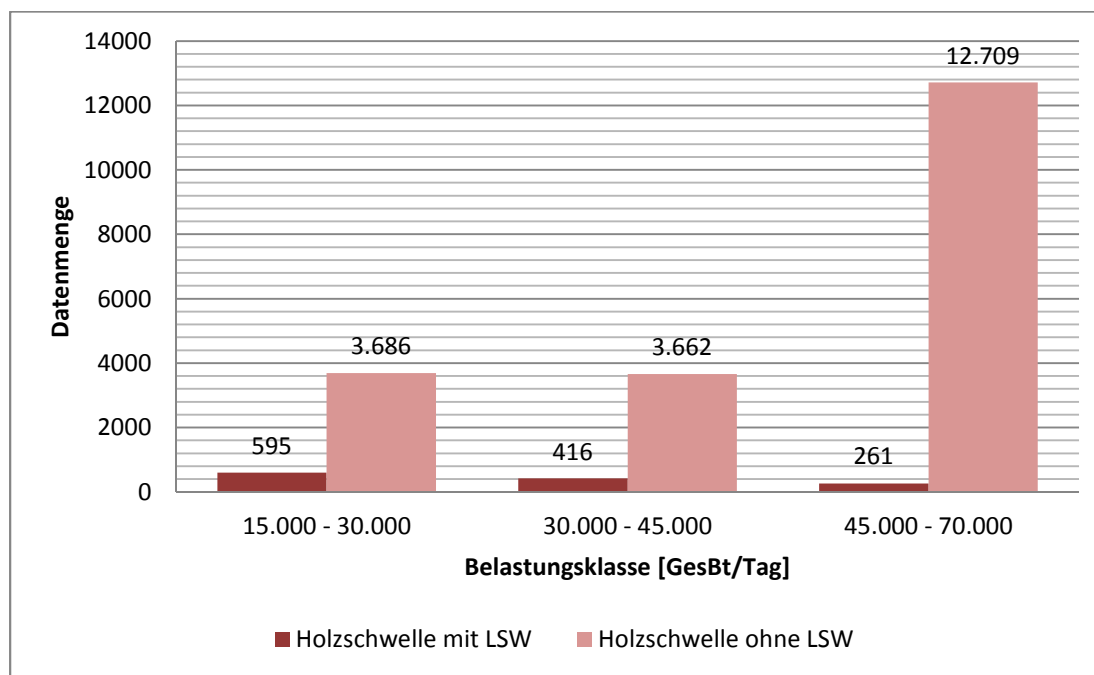


Abbildung 40 Datenmenge Holzschwelle/Belastungsklassen

Die Datenmenge ist bei der Verschlechterungsrate und bei der Qualität gleich.

I Verschlechterungsrate – Holzschwelle

Belastungsklassen [GesBt/Tag]		Verschlechterungsrate Holzschwelle mit LSW	Verschlechterungsrate Holzschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	0,0708	0,0501
	Medianwert	0,1117	0,0922
	unteres Quartil	0,1552	0,1447
30.000 - 45.000	oberes Quartil	0,0308	0,0453
	Medianwert	0,0575	0,0927
	unteres Quartil	0,1097	0,1637
45.000 - 70.000	oberes Quartil	0,0808	0,0988
	Medianwert	0,1656	0,1601
	unteres Quartil	0,2366	0,2558

Tabelle 3 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Holzschwellen

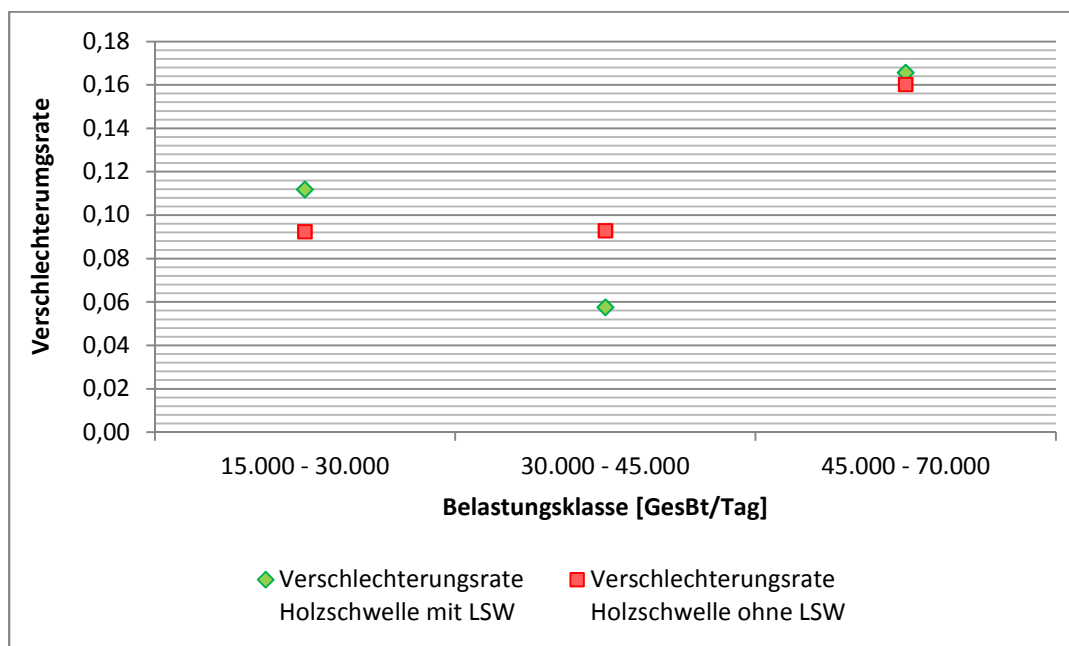


Abbildung 41 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Holzschwellen

I Qualität – Holzschwelle

Belastungsklassen [GesBt/Tag]		Qualität Holzschwelle mit LSW	Qualität Holzschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	-14,1573	-14,7577
	Medianwert	-11,9623	-12,5717
	unteres Quartil	-10,5042	-10,7238
30.000 - 45.000	oberes Quartil	-12,5325	-12,8134
	Medianwert	-10,2234	-10,2056
	unteres Quartil	-8,7917	-8,4683
45.000 - 70.000	oberes Quartil	-19,3614	-15,7390
	Medianwert	-14,5346	-12,7970
	unteres Quartil	-10,0110	-10,3389

Tabelle 4 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Holzschwellen

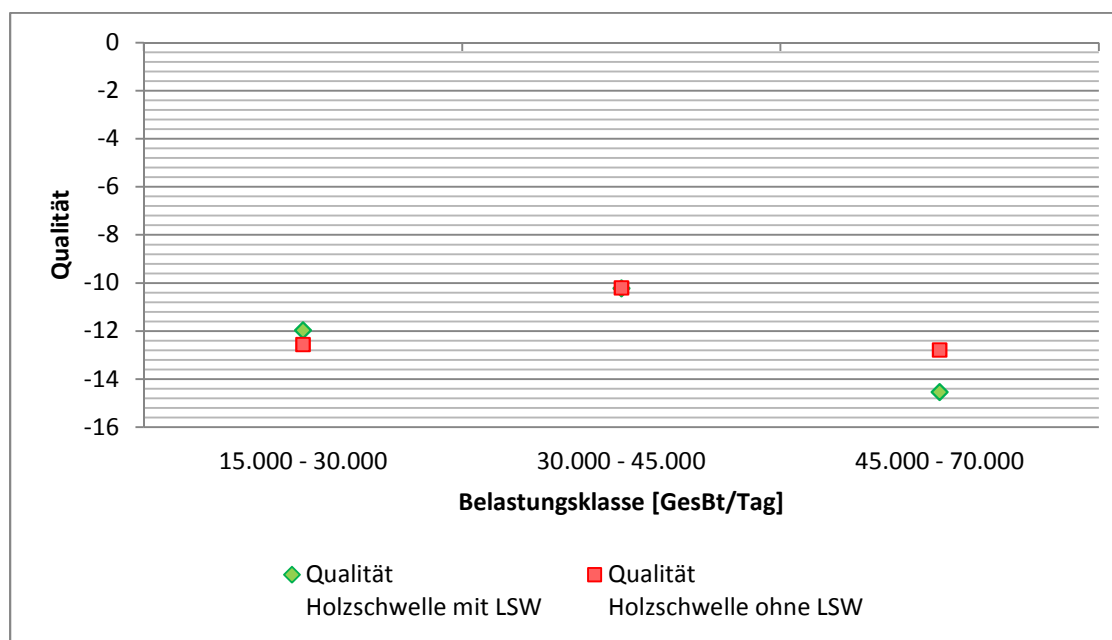


Abbildung 42 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Holzschwellen

Sowohl die Verschlechterungsrate, als auch die Qualität zeigen keine großen Unterschiede im Vergleich der Bahnstrecken mit und der Strecken ohne Lärmschutzwand auf. Auch kann man nicht allgemein behaupten, dass ein Gleis mit Lärmschutzwand ein schlechteres Gleislageverhalten aufweist als ein Gleis ohne Lärmschutzwand.

I Betonschwelle

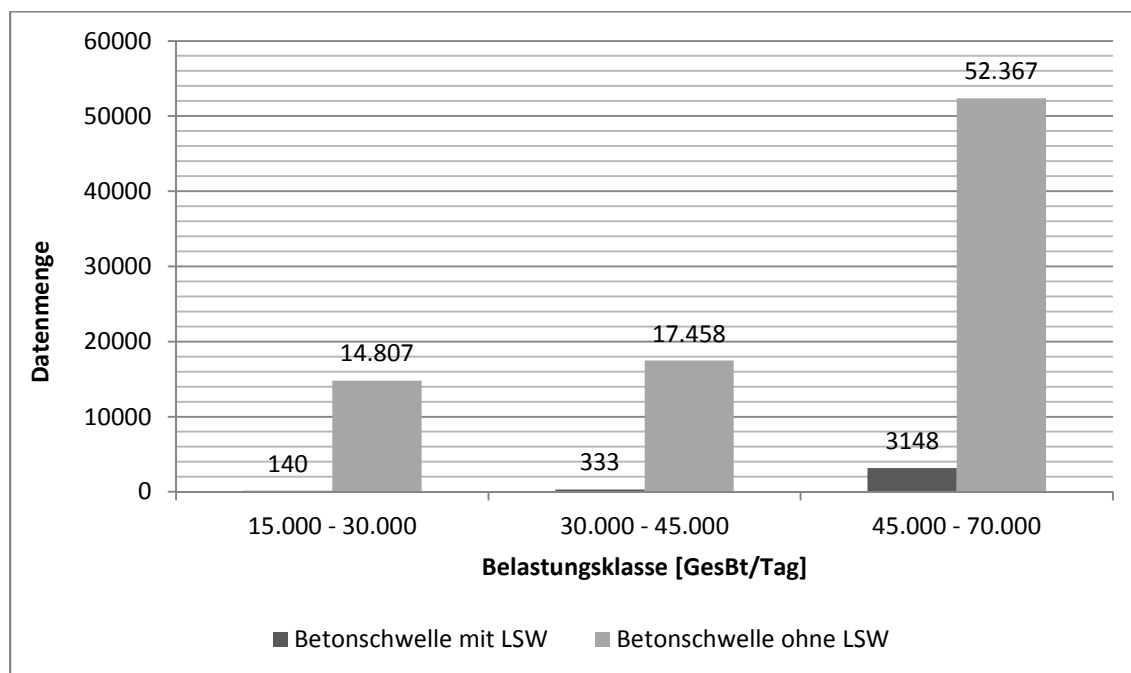


Abbildung 43 Datenmenge Betonschwelle/Belastungsklassen

Die Datenmenge ist bei der Verschlechterungsrate und bei der Qualität gleich.

I Verschlechterungsrate – Betonschwelle

Belastungsklassen [GestBt/Tag]		Verschlechterungsrate Betonschwelle mit LSW	Verschlechterungsrate Betonschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	0,0605	0,0726
	Medianwert	0,0887	0,1219
	unteres Quartil	0,1512	0,1877
30.000 - 45.000	oberes Quartil	0,0611	0,0625
	Medianwert	0,1250	0,1393
	unteres Quartil	0,1808	0,1793
45.000 - 70.000	oberes Quartil	0,1095	0,1096
	Medianwert	0,1598	0,1680
	unteres Quartil	0,2278	0,2407

Tabelle 5 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Betonschwellen

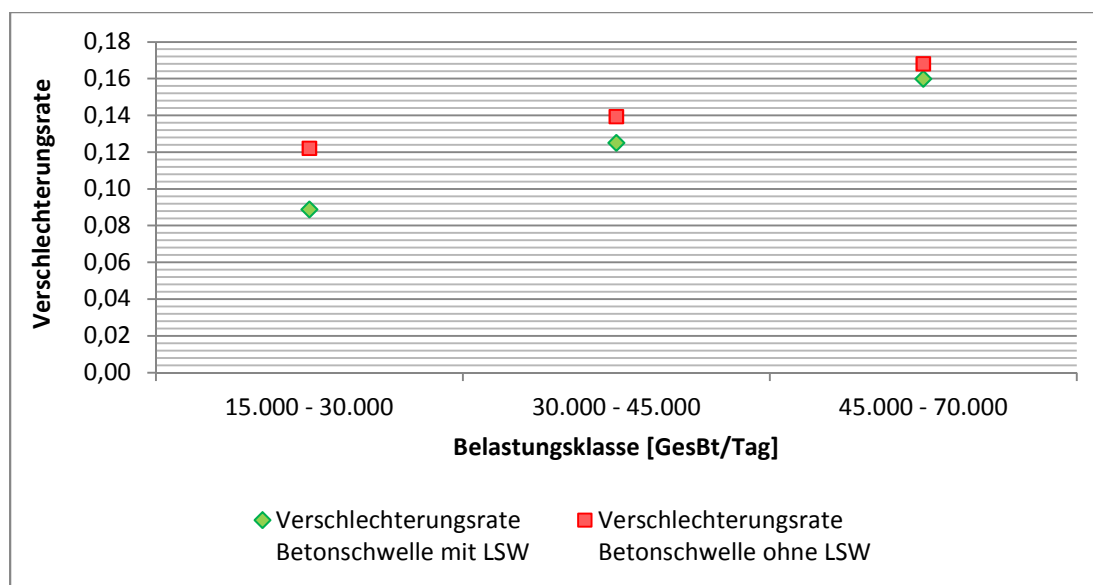


Abbildung 44 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Betonschwellen

I Qualität – Betonschwelle

Belastungsklassen [GestBt/Tag]		Qualität Betonschwelle mit LSW	Qualität Betonschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	-15,2123	-16,0127
	Medianwert	-10,4804	-13,4487
	unteres Quartil	-9,7345	-11,1368
30.000 - 45.000	oberes Quartil	-16,0996	-16,2568
	Medianwert	-12,7378	-12,0988
	unteres Quartil	-8,7564	-10,3871
45.000 - 70.000	oberes Quartil	-17,3116	-15,8373
	Medianwert	-13,8760	-12,9747
	unteres Quartil	-11,1886	-10,6611

Tabelle 6 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Betonschwellen

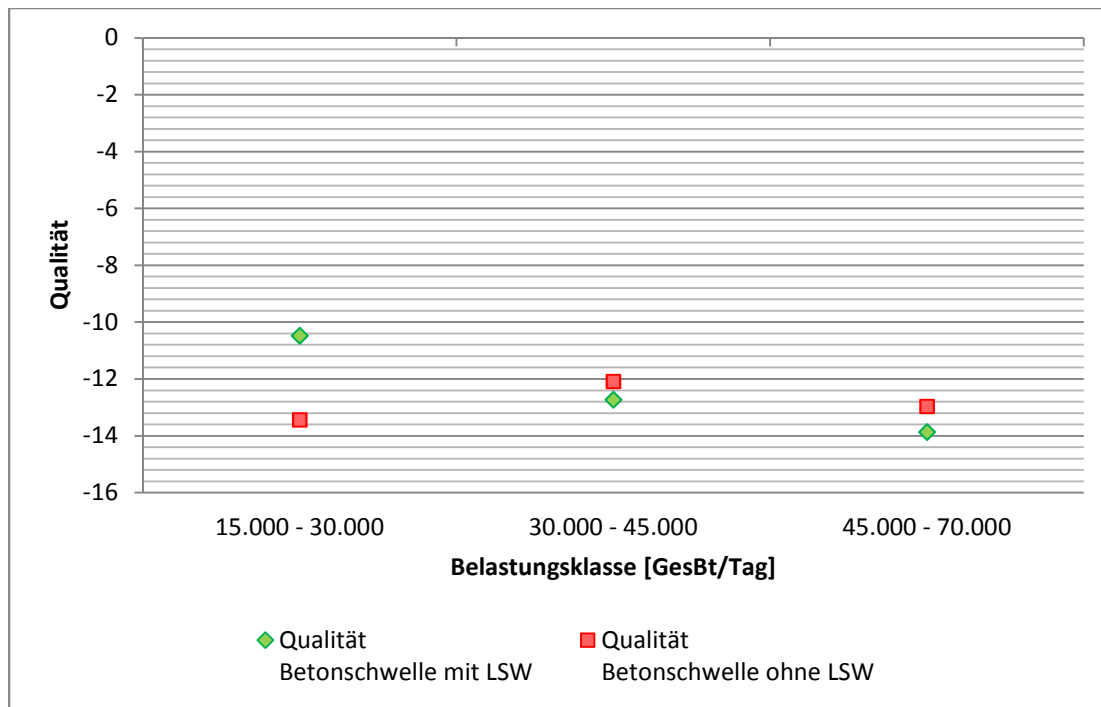


Abbildung 45 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Betonschwellen

Auch bei Betonschwellen weisen die Verschlechterungsraten ebenso wie die Qualitäten keine großen Unterschiede im Vergleich der Bahnstrecken mit und der Strecken ohne Lärmschutzwand auf. Auch lässt sich kein großer Unterschied der Qualitäten und Verschlechterungsraten zwischen Holz- und Betonschwellen erkennen.

Die Belastungsklasse 15.000-30.000 (GesBt/Tag) gilt nicht wirklich als repräsentativ, da eine sehr geringe Datenmenge für Bahnstrecken mit Lärmschutzwand vorhanden ist.

4.6.1.2 Einbaujahr Schwelle älter als 1995 und Einbaujahr LSW 2005-2008:

Hier wurde ein relativ altes Gleis (Einbaujahr Schwelle älter als 1995) ohne Lärmschutzwand mit einem Gleis mit Lärmschutzwand (Einbaujahr Schwelle älter als 1995, jedoch das Einbaujahr Lärmschutzwand liegt zwischen 2005-2008) jeweils mit der Qualität und dem Verschlechterungsverhalten ab dem Jahr 2005 (10 Jahre nach Einbaujahr Schwelle) verglichen.

Auch hier erfolgte eine Unterteilung in Belastungsklassen und Schwellenart.

I Holzschwelle

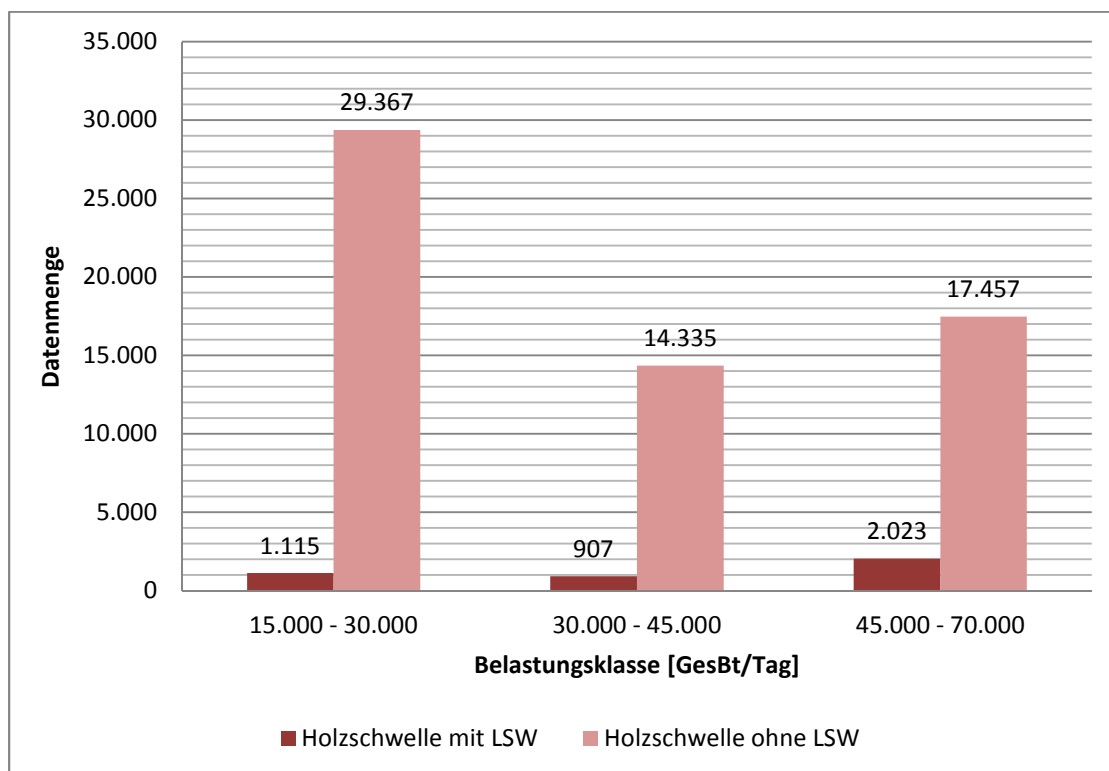


Abbildung 46 Datenmenge Holzschwelle/Belastungsklassen

Die Datenmenge ist bei der Verschlechterungsrate und bezüglich der Qualität gleich.

I Verschlechterungsrate – Holzschwelle

Belastungsklassen [GesBt/Tag]		Verschlechterungsrate Holzschwelle mit LSW	Verschlechterungsrate Holzschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	0,0841	0,0758
	Medianwert	0,1258	0,1228
	unteres Quartil	0,1676	0,1923
30.000 - 45.000	oberes Quartil	0,0627	0,0524
	Medianwert	0,0910	0,0872
	unteres Quartil	0,1372	0,1340
45.000 - 70.000	oberes Quartil	0,0849	0,0971
	Medianwert	0,1278	0,1598
	unteres Quartil	0,1983	0,2577

Tabelle 7 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Holzschwellen

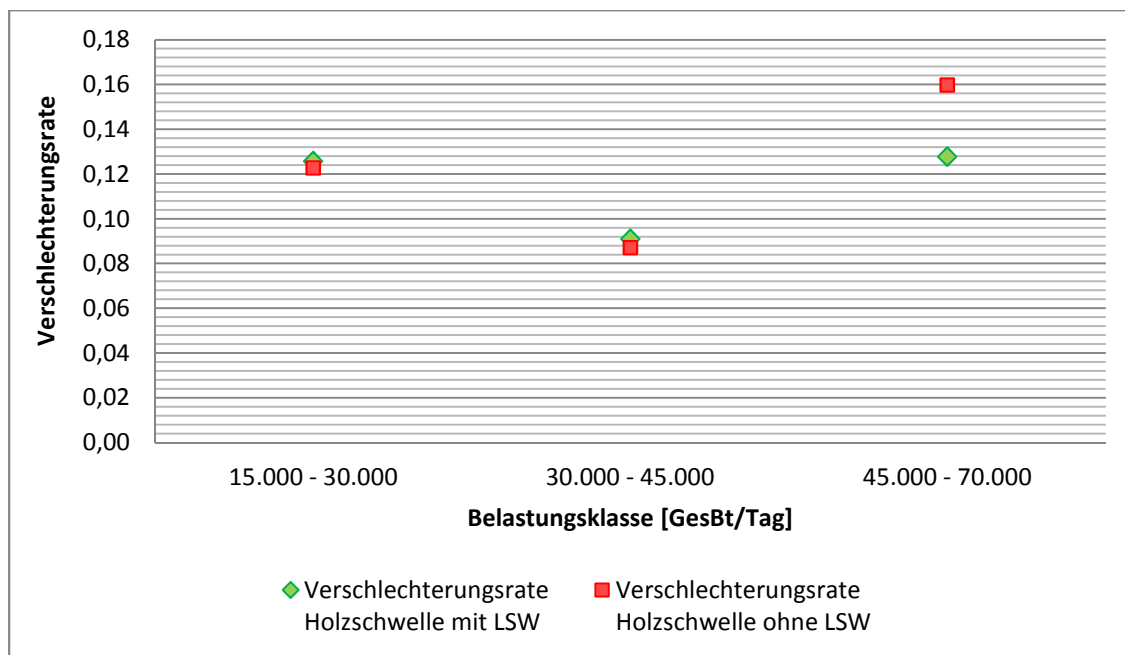


Abbildung 47 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Holzschwellen

I Qualität – Holzschwelle

Belastungsklassen [GestBt/Tag]		Qualität Holzschwelle mit LSW	Qualität Holzschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	-17,3050	-14,618
	Medianwert	-14,3391	-11,6903
	unteres Quartil	-11,4769	-9,5095
30.000 - 45.000	oberes Quartil	-14,0754	-13,2596
	Medianwert	-12,0583	-11,0575
	unteres Quartil	-9,9998	-9,0178
45.000 - 70.000	oberes Quartil	-16,8677	-15,7904
	Medianwert	-13,6052	-12,9319
	unteres Quartil	-10,9090	-10,6015

Tabelle 8 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Holzschwellen

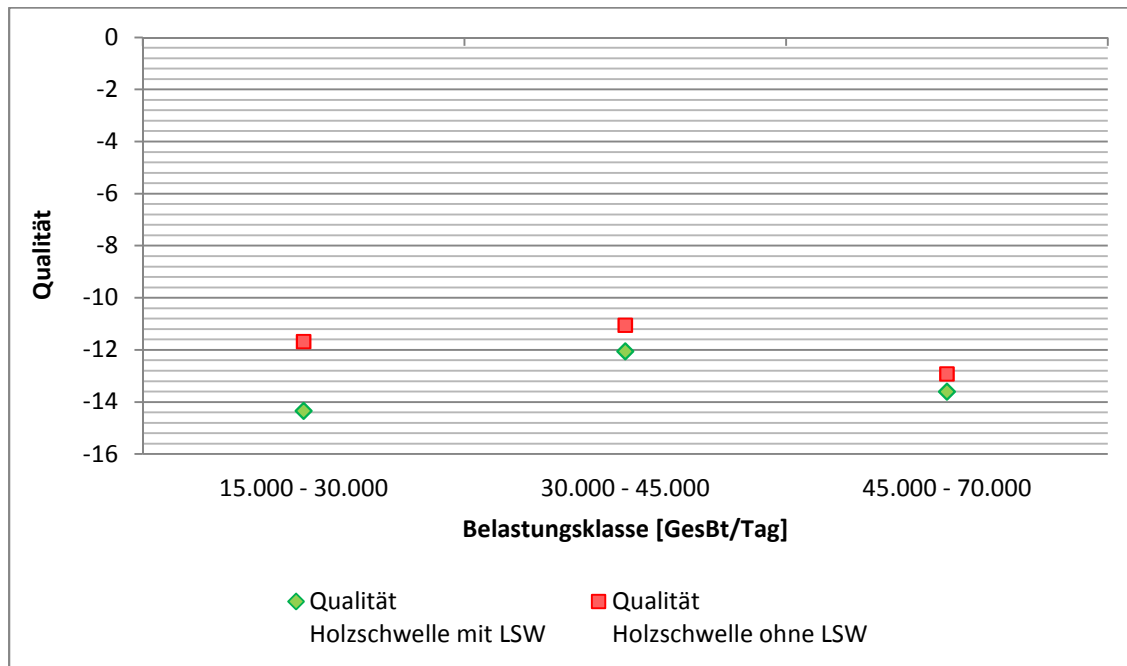


Abbildung 48 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Holzschwellen

Hier lässt sich schwach erkennen, dass sich sowohl die Qualität als auch die Verschlechterungsrate bei Strecken ohne Lärmschutzwand besser verhalten als bei Strecken mit Lärmschutzwand.

In diesen Darstellungen wurden Fälle betrachtet, deren Lärmschutzwand ca. 10 Jahre nach Einbau Schwelle errichtet wurde. Das heißt, dass in ein relativ altes Gleis eingegriffen wurde. Hierzu könnte es zur Beschädigung des Planums bzw. des Unterbaus gekommen sein, was das schlechtere Gleislageverhalten erklären würde.

I Betonschwelle

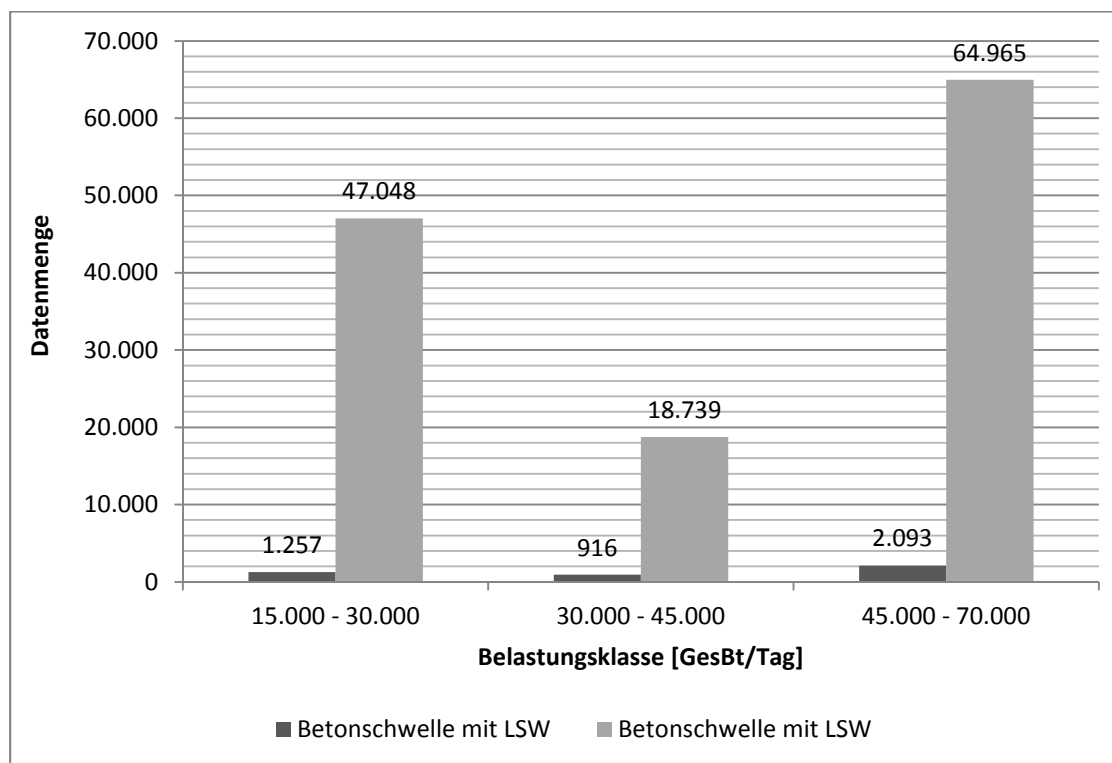


Abbildung 49 Datenmenge Betonschwelle/Belastungsklassen

Die Datenmenge ist bei der Verschlechterungsrate und bei der Qualität gleich.

I Verschlechterungsrate – Betonschwelle

Belastungsklassen [GesBt/Tag]		Verschlechterungsrate Betonschwelle mit LSW	Verschlechterungsrate Betonschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	0,0564	0,0731
	Medianwert	0,1022	0,1159
	unteres Quartil	0,1642	0,1740
30.000 - 45.000	oberes Quartil	0,0878	0,0831
	Medianwert	0,1348	0,1279
	unteres Quartil	0,1681	0,1802
45.000 - 70.000	oberes Quartil	0,0798	0,0993
	Medianwert	0,1359	0,1557
	unteres Quartil	0,2142	0,2280

Tabelle 9 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Betonschwellen

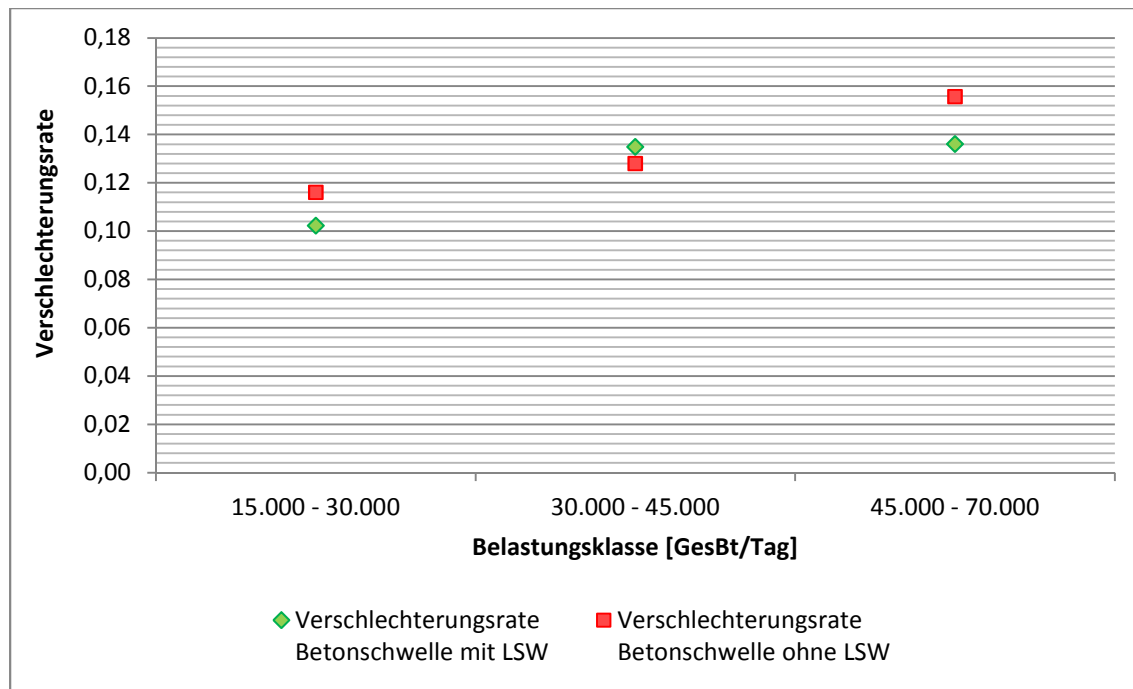


Abbildung 50 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Betonschwellen

I Qualität – Betonschwelle

Belastungsklassen [GesBt/Tag]		Qualität Betonschwelle mit LSW	Qualität Betonschwelle ohne LSW
15.000 - 30.000	oberes Quartil	-17,1261	-14,6047
	Medianwert	-14,0333	-11,8129
	unteres Quartil	-11,3741	-9,4414
30.000 - 45.000	oberes Quartil	-16,8775	-13,6541
	Medianwert	-14,0614	-10,8580
	unteres Quartil	-11,2109	-8,8093
45.000 - 70.000	oberes Quartil	-14,8042	-15,7792
	Medianwert	-11,6871	-13,0390
	unteres Quartil	-8,2547	-10,7673

Tabelle 10 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Betonschwellen

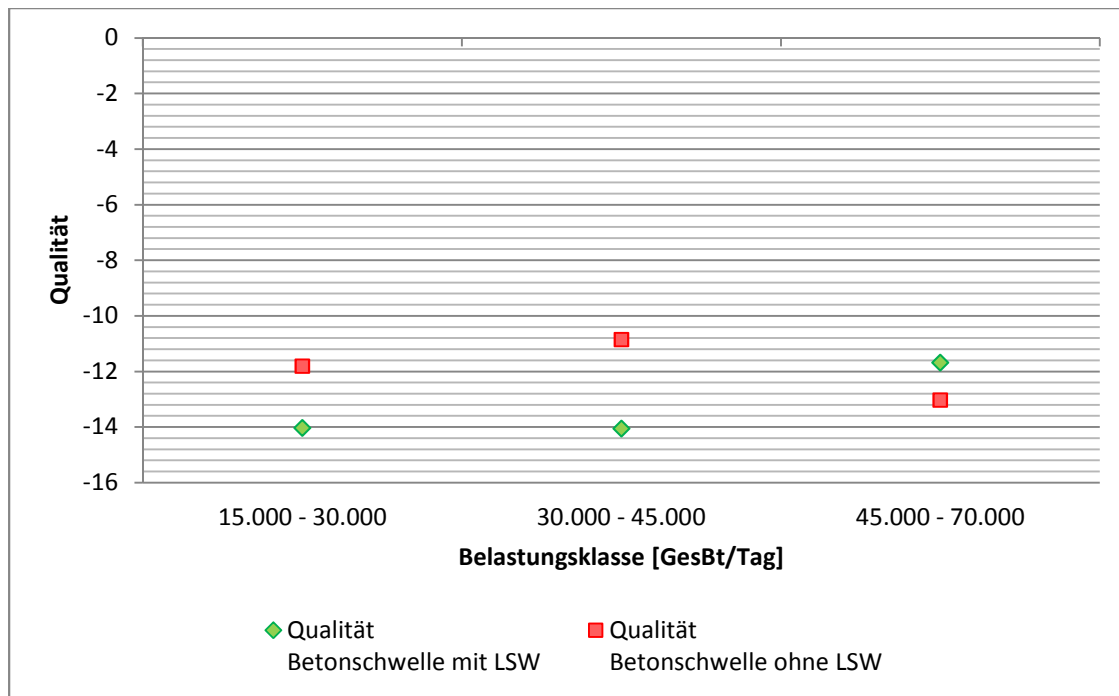


Abbildung 51 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Betonschwellen

Hier lässt sich nicht allgemein behaupten, dass die Qualität bzw. die Verschlechterungsrate mit oder ohne Lärmschutzwand schlechter oder besser ist. Es lässt sich jedoch erkennen, dass sich das Gleislageverhalten ohne einer Lärmschutzwand besser verhält als mit Lärmschutzwand. Allgemein gesprochen dürfte hier der nachträgliche Einbau einer Lärmschutzwand in ein eher älteres System die Gleislage negativ beeinflusst haben.

4.6.1.3 Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW älter als 1988

Um einen Zusammenhang zwischen der Nutzungsdauer bzw. dem Alter eines Gleises und dem Verschlechterungsverhalten über die Zeit herstellen zu können, wurden die Qualität und die Verschlechterungsrate des Gleises ab dem Jahr 2005 ausgegeben. Gleise ab einem Einbaujahr von 2005 bis theoretisch jetzt (letzte Datenerfassung 2013) gelten als relativ neue Gleise.

Somit kann man das Gleislageverhalten über die Zeit darstellen, da eine repräsentative Verschlechterung erst nach 15 Jahren ersichtlich ist.

Rahmenbedingungen:

- I TUG Strecke 8
- I Nur Holzschwellen
- I Belastungsklasse 45.000 – 70.000 [GesBt/Tag]

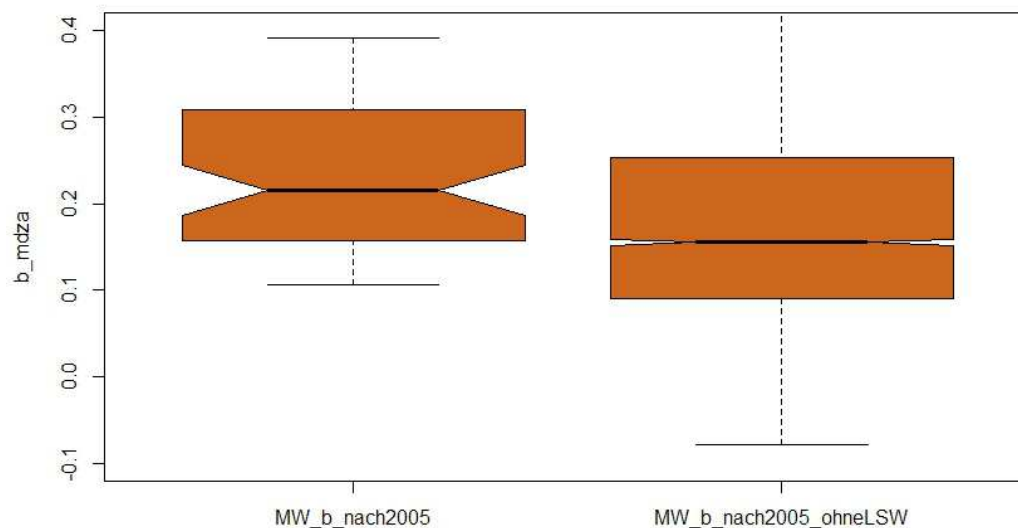


Abbildung 52 Boxplot b-Rate Holzschwelle – älter als 1988

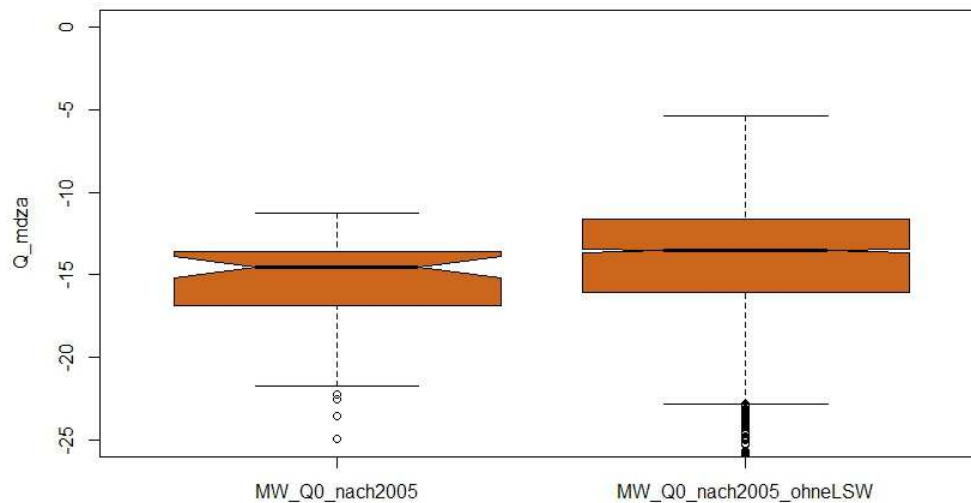


Abbildung 53 Boxplot Qualität Holzschwelle – älter als 1988

Hier wurde ein Spezialfall betrachtet. Sowohl das Einbaujahr Schwelle als auch das Einbaujahr Lärmschutzwand sind älter als 1988. Auch hier werden Qualität und Verschlechterungsrate ab dem Jahr 2005 betrachtet, um so das Gleislageverhalten nach mindestens 17 Jahren darzustellen.

Der betrachtete Streckenabschnitt besteht nur aus Holzschwellen. Sowohl die Qualität also auch die Verschlechterungsrate weisen bessere Werte auf der Strecke ohne Lärmschutzwände auf. Dies zeigt an diesem Beispiel, dass alte Lärmschutzwände, bei denen die Entwässerung möglicherweise nicht mehr einwandfrei funktioniert, das Gleislageverhalten nachteilig beeinflussen können.

4.6.1.4 Einbaujahr Schwelle und Einbaujahr LSW 1981 – 1982

Rahmenbedingungen:

- I TUG Strecke 19
- I nur Holzschwellen
- I Belastungsklasse < 8.000 [GesBt/Tag]

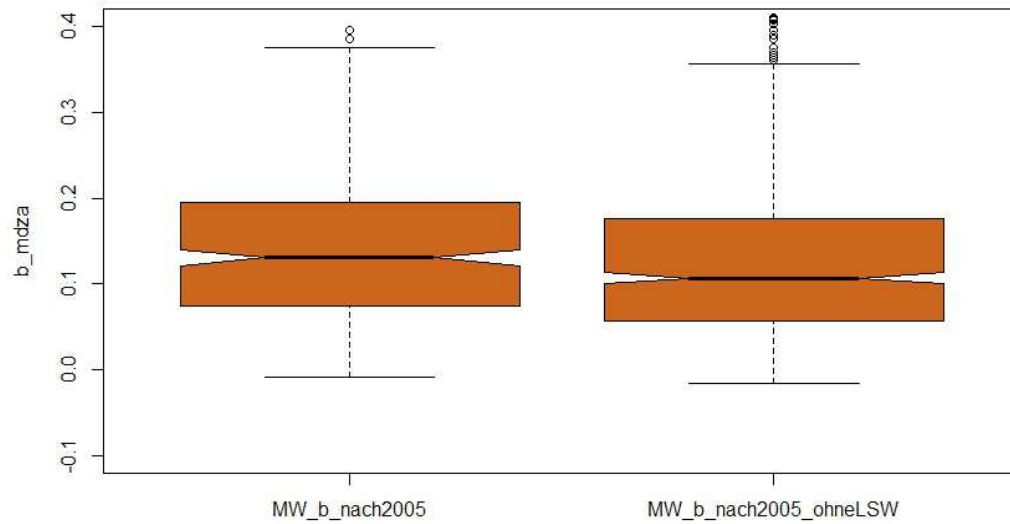


Abbildung 54 Boxplot b-Rate Holzschwelle - 1981-1982

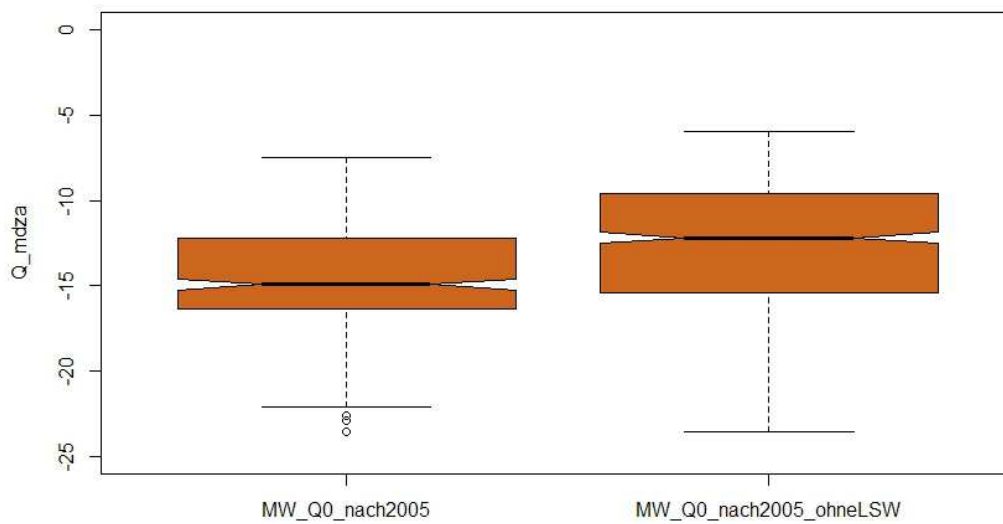


Abbildung 55 Boxplot Qualität Holzschwelle - 1981-1982

Ein weiterer Sonderfall zeigt die in den gefilterten Daten älteste vorkommende Lärmschutzwand. Auch hier wurden Qualität und Verschlechterungsrate ab dem Jahr 2005 betrachtet, um das Gleislageverhalten nach 23 bzw. 24 Jahren darzustellen.

Wie im Fall zuvor, zeigt auch hier die Strecke ohne Lärmschutzwand eine bessere Qualität und eine niedrigere Verschlechterungsrate als die Strecke mit Lärmschutzwand.

Man sieht demnach deutlich, dass sowohl bei einer hohen als auch bei einer schwächeren Belastungsklasse eine ältere Lärmschutzwand einen Einfluss auf das Gleislageverhalten aufweisen kann.

4.7 Detailbetrachtung einer Neulage nach Einbau LSW

Hier wird ein weiterer spezieller Fall betrachtet. Da in allen vorherigen Auswertungen eine Neulage (Schwellentausch, Gleisneulage uvm.) nach dem Einbau der Lärmschutzwand herausgefiltert wurde, um das tatsächlichen Gleislageverhalten einer Strecke mit Lärmschutzwand betrachten zu können, wurden im folgenden Kapitel genau diese Neulagen betrachtet.

Einerseits wurden 837.315 km Strecke - Neulage, aufgeteilt auf alle Strecken im ÖBB Netz, ohne Lärmschutzwand aus der Datenbank heraus gefiltert. Als Neulage gelten in diesem Fall alle Strecken, deren Einbaujahr Schwelle nach 2003 liegt.

Auf der anderen Seite wurden 95.550 km Strecke aus der Datenbank gefiltert, die folgende Kriterien erfüllen: Einbaujahr Schwelle > Einbaujahr Lärmschutzwand. Das bedeutet, dass nach Einbau der Lärmschutzwand das Gleis bzw. die Schwelle erneuert wurde.

Auslöser für diese Betrachtung war unten genannte Abbildung. Diese zeigt, dass eine Neulage bzw. eine nachträgliche Erneuerung des Bahnkörpers nach dem Einbau einer Lärmschutzwand, die Funktionstüchtigkeit der Entwässerung einer Lärmschutzwand beeinträchtigen kann und somit in weiterer Folge auch das Gleislageverhalten beeinflussen würde.



Abbildung 56 Neulage Schwelle nach Einbau LSW ³⁵

In weiterer Folge wurde zwischen Holz – und Betonschwellen unterschieden.

I Betonschwelle

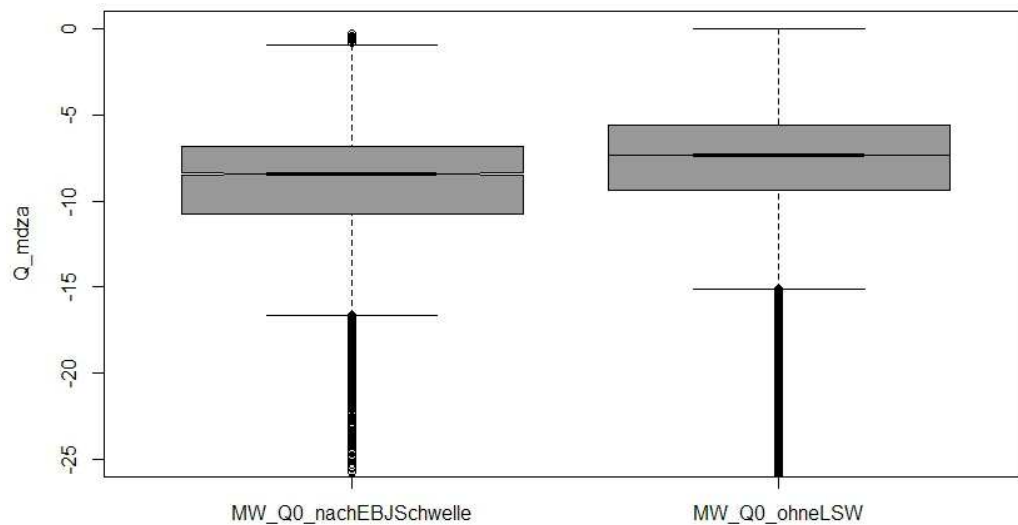


Abbildung 57 Boxplot Qualität Neulage mit/ohne LSW - Betonschwelle

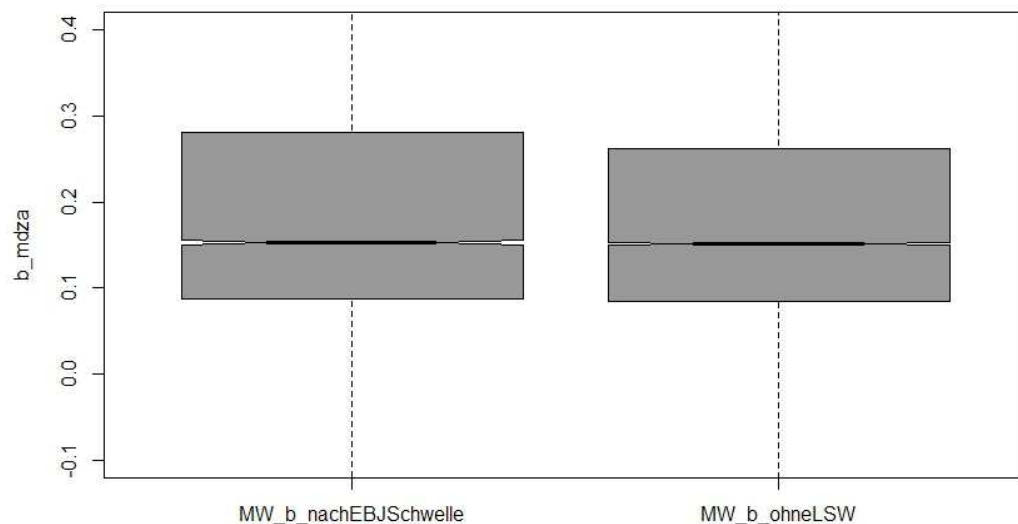


Abbildung 58 Boxplot b-Rate Neulage mit/ohne LSW - Betonschwelle

Anhand der Abbildungen lässt sich erkennen, dass die Qualität für Strecken ohne Lärmschutzwand besser ist als jene, wo es nach Einbau Lärmschutzwand noch zu einer Neulage gekommen ist. Das lässt darauf schließen, dass sich die Gleislage möglicherweise aufgrund einer Neulage bei bereits bestehender Lärmschutzwand verschlechtert hat.

Bei der Verschlechterungsrate lässt sich jedoch kaum ein Unterschied der Medianwerte erkennen.

I Holzschwelle

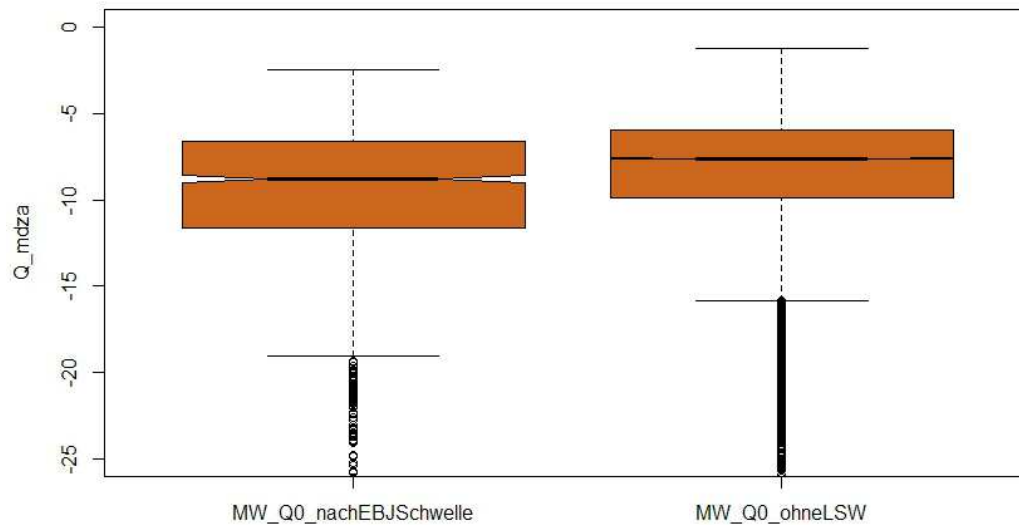


Abbildung 59 Boxplot Qualität Neulage mit/ohne LSW - Holzschwelle

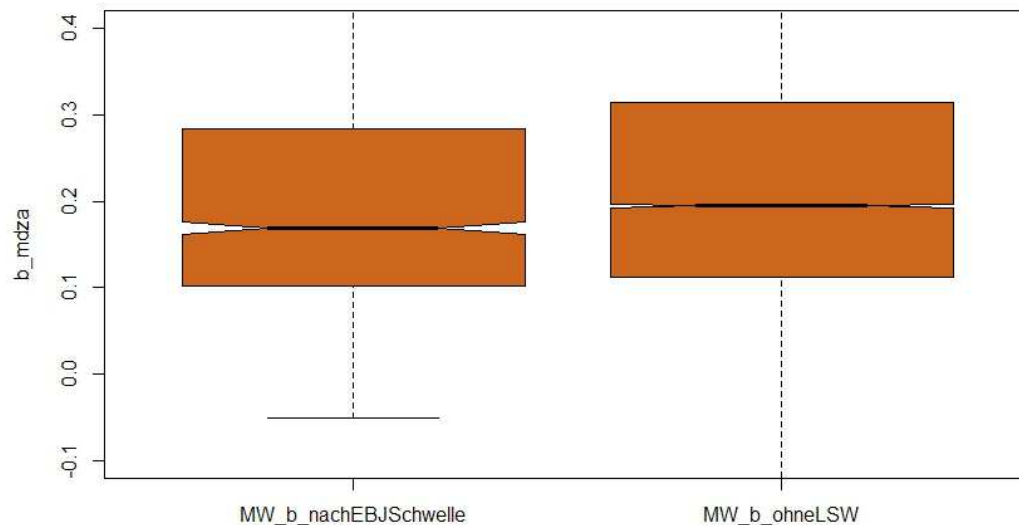


Abbildung 60 Boxplot b-Rate Neulage mit/ohne LSW - Holzschwelle

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Qualität von Holzschwellen. Auch hier lässt sich erkennen, dass die Qualität für Strecken ohne Lärmschutzwand besser ist als jene, wo es nach Einbau Lärmschutzwand noch zu einer Neulage gekommen ist.

Darüber hinaus ist hier allerdings ersichtlich, dass die Verschlechterungsrate eine Verbesserung auf Strecken aufweist, auf denen es zu einer Neulage nach Einbau Lärmschutzwand gekommen ist. Hier könnte die nachträgliche Erneuerung des Bahnkörpers eine Verbesserung des Gleislageverhaltens verursacht haben.

5 Schlussfolgerung

Bislang wurde der Lärmschutzwand als Parameter für das Gleislageverhalten wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Somit liegen auch keine heranzuziehenden Erfahrungswerte betreffend das Verhalten eines Gleises mit Lärmschutzwand vor.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die Lärmschutzwand in die TUG-Datenbank eingelesen und anhand unterschiedlicher Randbedingungen und Filterkriterien analysiert.

Schwierigkeiten, den Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Gleislageverhalten zu analysieren, waren vor allem durch die Randbedingungen und Parameter (Trassierungs- und Oberbauinformationen wie Verwindungen, Krümmung und Überhöhung sowie maximale Betriebsgeschwindigkeiten und Längsneigungen), die nicht in der Analyse und Auswertungen betrachtet wurden, gegeben, von denen allerdings angenommen werden kann, dass sie einen großen Einflussfaktor darstellen. Somit konnte für diese Arbeit nicht immer sichtbar gemacht werden, ob nur die Lärmschutzwand Einfluss auf das Gleislageverhalten hat.

Oftmals waren die Datenmengen, nach Filterung der Eingangsdaten, so gering, dass ein repräsentativer Vergleich nicht möglich war. Auch war es aufgrund der teilweise zu geringen Datenmengen nicht möglich, auf Strecken mit Lärmschutzwänden mit „gültigen Längen“ zu arbeiten. Somit kann angenommen werden, dass teilweise auch andere „Störstellen“ in die Auswertungen mit einfließen.

Auch spielen bei Lärmschutzwänden Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen bisher eine eher untergeordnete Rolle, da der seitliche Schotter an der Lärmschutzwand nicht gereinigt bzw. gewechselt wird.

Die am Anfang dieser Masterarbeit formulierten Forschungsfragen bzw. Thesen können wie folgt beantwortet werden:

- I Lärmschutzwand als Einflussparameter: Hat die Lärmschutzwand Einfluss auf das Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen?

Es kann festgehalten werden, dass es nicht statistisch signifikant nachweisbar ist, dass sich Lärmschutzwände als Element des erweiterten Fahrweges, negativ auf die Gleislage auswirken. Sie stellen keinen nachweisbaren Einflussparameter auf das Gleislageverhalten bzw. auf das Qualitätsverhalten von Gleisen dar.

- I Einbau einer Lärmschutzwand: Wie wirkt sich der Einfluss auf Qualität und Verschlechterung der Gleislage aus?

Es konnte sichtbar gemacht werden, dass eine relativ alte Lärmschutzwand, die schon über eine längere Zeit am Bahnkörper steht, sich schlechter auf das Gleislageverhalten auswirkt als beispielsweise eine neuere Lärmschutzwand. Erkennbar wurde auch, dass der nachträgliche Einbau einer Lärmschutzwand in ein älteres System, die Gleislage negativ beeinflusst.

- I Einfluss einer Lärmschutzwand als Trend über die Zeit: Wie verhält sich ein Gleis nach einer gewissen Zeit mit und ohne Lärmschutzwand?

Die Verschlechterungsraten ebenso wie die Qualitäten weisen keine großen Unterschiede im Vergleich zu Bahnstrecken mit und Bahnstrecken ohne Lärmschutzwand auf. Auch lässt sich kein großer Unterschied in den Qualitäten und den Verschlechterungsraten zwischen Holz- und Betonschwellen erkennen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Entwässerung unter Lärmschutzwand	10
Abbildung 2 Mangelhafte Entwässerung	10
Abbildung 3 Längs- und Querentwässerung	11
Abbildung 4 Netz der TUG-Datenbank	12
Abbildung 5 Verteilung LSW auf das gesamte Streckennetz [m/km]	15
Abbildung 6 LSW Material entlang der TUG Strecke 1	16
Abbildung 7 LSW Material entlang der TUG Strecke 2	16
Abbildung 8 Bestandstreckensanierung Stand 2014	17
Abbildung 9 Verteilung von Holz/Betonschwellen	18
Abbildung 10 Querschnitt vor/nach Einbau LSW	22
Abbildung 11 Verteilung nach Filterung der Eingangsdaten	23
Abbildung 12 Verteilung Holz/Betonschwellen nach Filterung der Eingangsdaten	24
Abbildung 13 Verteilung LSW Einbaujahr nach Filterung der Eingangsdaten	25
Abbildung 14 Verteilung Einbaujahr Schwelle nach Filterung der Eingangsdaten	25
Abbildung 16 Boxplot b-Rate vor/nach LSW Einbau mit Holzschwellen.....	26
Abbildung 17 Boxplot Anfangsqualität vor/nach LSW Einbau mit Holzschwellen	27
Abbildung 18 Boxplot b-Rate vor/nach LSW Einbau mit Betonschwellen.....	27
Abbildung 19 Boxplot Anfangsqualität vor/nach LSW Einbau mit Betonschwellen	28
Abbildung 20 Relation der Qualität vor/nach Einbau LSW	29
Abbildung 21 Relation der Verschlechterungsrate vor/nach Einbau LSW	30
Abbildung 22 Relation der Qualität vor/nach Einbau LSW ohne TUG Strecke 15	31
Abbildung 23 Relation der b-Rate vor/nach Einbau LSW ohne TUG Strecke 15.....	32
Abbildung 24 Auswahl der TUG Strecken	33
Abbildung 25 Darstellung der Medianwerte für die Verschlechterungsrate	36
Abbildung 26 Darstellung der Medianwerte für die Qualität	37
Abbildung 27 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 12 – Holzschwelle	38
Abbildung 28 Boxplot Qualität für TUG Strecke 12 - Holzschwelle	38
Abbildung 29 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 12 – Betonschwelle	39
Abbildung 30 Boxplot Qualität für TUG Strecke 12 - Betonschwelle	39
Abbildung 31 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 16 – Holzschwelle	40
Abbildung 32 Boxplot Qualität für TUG Strecke 16 - Holzschwelle	40
Abbildung 33 Boxplot b-Rate für TUG Strecke 16 – Betonschwelle	41
Abbildung 34 Boxplot Qualität für TUG Strecke 16 - Betonschwelle	41
Abbildung 35 Gleislageverhalten VOR Einbau LSW – Strecke 7	42
Abbildung 36 Gleislageverhalten NACH Einbau LSW – Strecke 7	43
Abbildung 37 Gleislageverhalten VOR Einbau LSW – Strecke 9	43

Abbildung 38 Gleislageverhalten NACH Einbau LSW – Strecke 9	44
Abbildung 39 Verteilung LSW/Belastungsklasse nach Filterung	47
Abbildung 40 Verteilung Schwellenart/Belastungsklassen nach Filterung.....	47
Abbildung 41 Datenmenge Holzschwelle/Belastungsklassen	48
Abbildung 42 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Holzschwellen	49
Abbildung 43 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Holzschwellen	50
Abbildung 44 Datenmenge Betonschwelle/Belastungsklassen	51
Abbildung 45 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Betonschwellen	52
Abbildung 46 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Betonschwellen.....	53
Abbildung 47 Datenmenge Holzschwelle/Belastungsklassen	54
Abbildung 48 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Holzschwellen	55
Abbildung 49 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Holzschwellen	56
Abbildung 50 Datenmenge Betonschwelle/Belastungsklassen	57
Abbildung 51 Darstellung der Medianwerte für b-Rate von Betonschwellen	58
Abbildung 52 Darstellung der Medianwerte für Qualität von Betonschwellen.....	59
Abbildung 53 Boxplot b-Rate Holzschwelle – älter als 1988	60
Abbildung 54 Boxplot Qualität Holzschwelle – älter als 1988	61
Abbildung 55 Boxplot b-Rate Holzschwelle - 1981-1982	62
Abbildung 56 Boxplot Qualität Holzschwelle - 1981-1982.....	62
Abbildung 57 Neulage Schwelle nach Einbau LSW	64
Abbildung 58 Boxplot Qualität Neulage mit/ohne LSW - Betonschwelle	65
Abbildung 59 Boxplot b-Rate Neulage mit/ohne LSW - Betonschwelle	65
Abbildung 60 Boxplot Qualität Neulage mit/ohne LSW - Holzschwelle	66
Abbildung 61 Boxplot b-Rate Neulage mit/ohne LSW - Holzschwelle.....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Median- und Quartilwerte für die Verschlechterungsrate	36
Tabelle 2 Median- und Quartilwerte für die Qualität.....	37
Tabelle 3 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Holzschwellen.....	49
Tabelle 4 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Holzschwellen	50
Tabelle 5 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Betonschwellen.....	51
Tabelle 6 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Betonschwellen	52
Tabelle 7 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Holzschwellen.....	55
Tabelle 8 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Holzschwellen	56
Tabelle 9 Median- und Quartilwerte für die b-Rate von Betonschwellen.....	57
Tabelle 10 Median- und Quartilwerte für die Qualität von Betonschwellen	58

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. *Lärmschutz im Schienenverkehr*, Berlin 2014.

Hummitzsch, R.: *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen*. Dissertation, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz 2009.

Landgraf, M.: *Der Einfluss von Unterbau, Untergrund und Wasserwegigkeit auf die Gleislagequalität*. Masterarbeit, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz 2011.

Neuhold, M.: *Lärmschutzwände als Element des erweiterten Fahrwegs*. Masterprojekt, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz 2013.

ÖBB Dienstbehelf, DB 740, Teil 4: *Dienstbehelf zur Gestaltung und Dimensionierung von Entwässerungsanlagen*. ÖBB Infrastruktur, Wien 2011.

ÖBB Dienstbehelf, DB 740, Teil 6.1: *Konstruktive Festlegung für Lärmschutzwände an Neubaustrecken*. ÖBB Infrastruktur, Wien 2011.

http://www.creabeton-materiaux.ch/fileadmin/media/creabeton-materiaux/downloads/tiefbau/DeltaBloc_Laermschutz_d.pdf, abgefragt am 30.06.2014.

<http://www.deltabloc.com/de/General-Information/Profile.html>, abgefragt am 30.06.2014

<https://www.noel.gv.at/Verkehr-Technik/Planungen-Beratung/Laermschutz-Bahn.html>, abgefragt am 20.08.2014.

http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20030925_OTS0222/gorbach-16-mio-euro-fuer-laermschutzmassnahmen-fuer-kirchbichl-und-woergl, abgefragt am 20.08.2014.

<http://www.salzburg.gv.at/bestandstreckensanierung.png>, abgefragt am 20.08.2014.

<http://www.salzburg.gv.at/ls-verkehr-schienenverkehrs-laerm>, abgefragt am 20.08.2014.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Tauernbahn>, abgefragt am 21.08.2014.

<http://www.tauernbahn.at/de/index.php?section=strecke>, abgefragt am 21.08.2014.

https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Bruck_an_der_Mur%E2%80%93Leoben, abgefragt am 21.08.2014.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Drautalbahn>, abgefragt am 21.08.2014.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Ennstalbahn>, abgefragt am 21.08.2014.

