



Katharina Krogger, BSc

Analyse von zeitlich verschobenen  
ÖBB Re-Investitionsprojekten  
hinsichtlich alternativer  
Instandhaltungsmaßnahmen

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Umwelt und Verkehr

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft  
Technische Universität Graz

EBW



W

## Analyse von zeitlich verschobenen ÖBB Re-Investitionsprojekten hinsichtlich alternativer Instandhaltungsmaßnahmen

Masterarbeit

Abgabedatum 08.11.2016

Katharina Krogger  
BSc  
1030345  
[katharina.krogger@student.tugraz.at](mailto:katharina.krogger@student.tugraz.at)

Betreuer:  
Stefan Marschnig  
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.  
[stefan.marschnig@tugraz.at](mailto:stefan.marschnig@tugraz.at)



► [www.ebw.TUGraz.at](http://www.ebw.TUGraz.at)

B

E

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und 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.

Graz, 02. November 2016

---

(Unterschrift)

## Statuary Declaration

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

Graz, 2<sup>nd</sup> November 2016

---

(Signature)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die diese Masterarbeit ermöglicht und mich dabei tatkräftig unterstützt haben.

Hierbei gilt ein großer Dank meinem Betreuer *Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Marschnig*, der mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit begleitet hat und für Fragen immer zur Verfügung stand. Zudem möchte ich mich beim Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG für die Bereitstellung der Daten bedanken, insbesondere bei *Dipl.-Ing. Georg Neuper* für das Management zwischen ÖBB-Infrastruktur AG und TU Graz sowie für die Beschaffung der Daten.

Ebenfalls möchte ich mich bei *Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Enzi* für seine Begleitung und sein offenes Ohr bedanken. Die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes und die herzliche Aufnahme am Institut waren für mich sehr hilfreich. „Danke“ auch an alle Institutsangestellten, die immer eine freie Minute für meine Fragen gefunden haben.

Zudem möchte ich mich bei meinen FreundInnen für die unvergessliche Zeit in Graz bedanken. Gemeinsam konnten wir das Studium leichter meistern. Ihr habt meine Studienzeit zu etwas ganz Besonderem für mich gemacht.

Namentlich erwähnen möchte ich *Patrick Kirschenhofer*, dem es gelang, mich immer wieder aufs Neue zu motivieren und der mir immer tatkräftig zur Seite stand.

Vor allem gilt mein Dank meiner Familie, die mir dieses Studium ermöglicht und die mich in meinem Vorhaben immer unterstützt hat. „Danke“!

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	5
Abstract .....	6
1 Einleitung .....	7
2 Life Cycle Costs .....	9
2.1 Definition .....	9
2.2 Optimaler Re-Investitionszeitpunkt .....	12
2.2.1 Qualitätsziffer, MDZ-A-Wert .....	12
2.2.2 Qualitätsfunktion .....	14
2.2.3 Optimaler Re-Investitionszeitpunkt .....	17
2.2.4 Annuitätenmonitoring .....	18
2.3 Optimale Bauabschnittslänge .....	22
3 Schwelle und Schotter .....	28
3.1 Schwelle .....	28
3.1.1 Aufgaben Schwelle .....	28
3.1.2 Schwellenarten .....	29
3.1.2.1 Holzschwellen .....	29
3.1.2.2 Betonschwellen .....	30
3.2 Schotter .....	31
3.2.1 Aufgaben Schotter .....	32
3.2.2 Aufbau Schotter .....	32
3.3 Belastung .....	35
3.4 Instandhaltungsmaßnahmen .....	39
4 Life Cycle Management .....	45
4.1 Bewertung der Re-Investitionsprojekte .....	45
5 Analyse der Re-Investitionsprojekte .....	48
5.1 Aufgabenstellung .....	48
5.2 Projekt 1: km 140,190 – 147,396, Gleis 2 .....	48
5.3 Projekt 2: km 35,450 – 39,300, Gleis 2 .....	55
5.4 Projekt 3: km 17,325 – 21,616, Gleis 1 .....	60
5.5 Projekt 4: km 76,456 – 78,949, Gleis 1 & Gleis 2 .....	63
5.5.1 Gleis 1 .....	63
5.5.2 Gleis 2 .....	70
5.6 Projekt 5: km 130,600 – 136,517, Gleis 1 & Gleis 2 .....	76
5.6.1 Gleis 1 .....	76
5.6.2 Gleis 2 .....	84
5.7 Ergebnisse der Analyse der Re-Investitionsprojekte .....	92
6 Zusammenfassung .....	97
Anhang: Daten aus internen Projektberichten .....	99
Abbildungsverzeichnis .....	168
Tabellenverzeichnis .....	170
Literaturverzeichnis .....	172

## Kurzfassung

Unter Lebenszykluskosten werden generell die Kosten einer Anlage über die gesamte Lebensdauer verstanden. Hierbei werden speziell im Eisenbahnwesen die Kosten von der Planung über den Bau bis hin zur Deponierung bzw. zum Recycling miteinbezogen. Das Ziel ist es, diese Kosten über den gesamten Lebenszyklus minimal zu halten, um somit eine Optimierung im Sinne der Nachhaltigkeit durchzuführen. Dieses Ziel der technischen und wirtschaftlichen Optimierung kann durch die Verlängerung der Liegedauer erreicht werden. Dafür benötigt man eine netzweite Basisstrategie, bei der die netztypischen Oberbausituationen über definierte Parameter dargestellt werden. Um den optimalen Re-Investitionszeitpunkt bestimmen zu können, muss die zuvor ermittelte netzweite Basisstrategie auf eine Vor-Ort-Strategie transformiert werden. Nur dann kann der optimale Re-Investitionszeitpunkt über das Annuitätenmonitoring ermittelt werden. Der Zeitpunkt der optimalen Re-Investition fällt hier mit dem Jahr einer alternativ notwendigen Instandhaltungsmaßnahme zusammen, die zu einem Ansteigen der Annuität führen würde.

In der vorliegenden Arbeit soll die Anwendung der Lebenszykluskosten-Strategie in Bezug auf die prognostizierten Instandhaltungsmaßnahmen mit der tatsächlichen Umsetzung verglichen werden. Das Ziel dieser Analyse ist, den Vergleich der Prognose zur Umsetzung darzustellen, um somit das Verbesserungspotential der Strategie aufzuzeigen.

Im Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG wird die Betrachtung der Lebenszykluskosten für die Re-Investitionsprojekte bereits umgesetzt. Dafür werden die Projekte an die Technische Universität Graz weitergeleitet und dort mittels einer detaillierten Prüfung, welche die Messdaten mit den zu erwartenden Werten vergleicht, evaluiert. Der ermittelte, optimale Re-Investitionszeitpunkt wird danach an die ÖBB-Infrastruktur AG als Vorschlag weitergeleitet.

Gegenstand dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Betrachtung von fünf Re-Investitionsprojekten der ÖBB-Infrastruktur AG, deren Re-Investitionszeitpunkt zeitlich verschoben wurde. Dies bedeutet, dass der ermittelte optimale Re-Investitionszeitpunkt der TU Graz mit dem Umsetzungszeitpunkt nicht übereinstimmt. Bei der Analyse der Projekte wird im Speziellen auf den Vergleich zwischen prognostizierten und tatsächlich durchgeführten, alternativen Instandhaltungsmaßnahmen eingegangen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Prognose der Maßnahme *Stopfen* bereits gut mit der Umsetzung übereinstimmt, während dies bei der Maßnahme *Schleifen* nicht zutrifft. Im Allgemeinen kann die Sinnhaftigkeit der zeitlichen Verschiebung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes bestätigt werden, da aus der Analyse der tatsächlichen Situation im Allgemeinen eine niedrigere Instandhaltungsintensität ersichtlich ist, als in der Prognose erwartet.

## Abstract

Life cycle costs are defined as total costs of an asset accumulated over the whole life cycle. This includes all costs starting from planning, over constructing up to the costs for recycling. The aim is to reduce the life cycle costs and to optimize the rail infrastructure technically and economically. This goal can only be achieved by extending the service life of the track. Therefore, a strategy is needed where the condition of the track is defined through certain parameters. To determine the best time for reinvestment, it is required to transfer this strategy onto a specific rail track. The most common method to find out the best time for renewal is to monitor the average annual costs. The best time to reinvest is in the subsequent year, when an alternative maintenance would be needed.

This thesis elaborates the application of this strategy with respect to the forecasted maintenance and the really executed maintenance. The scope is to analyze the maintenance schedule and compare the forecast with the actual in order to highlight improvements to the strategy used.

This strategy is already applied in the company ÖBB-Infrastruktur AG. In this case, the Technical University of Graz receives the project data, where the parameters for track quality will be compared to the expected track quality. The best time for reinvestment will be determined and suggested to ÖBB-Infrastruktur AG.

In this thesis, five projects shall be analyzed where the suggested time for reinvestment does not correlate with the actual maintenance execution by ÖBB-Infrastruktur AG. The thesis focuses on the comparison between forecasted and actual done maintenance. In general, the result shows that there was more maintenance forecasted than actually executed. With respect to the maintenance activity *tamping*, the strategy shows a good correlation between the forecast and the actual maintenance timing. On the other hand, the correlation for the maintenance activity *grinding* was not good. These findings support in general the decision to move the reinvestment time done by ÖBB-Infrastruktur AG.

# 1 Einleitung

Seit Ende 1999 beschäftigt sich das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz mit der Entwicklung einer Investitions- und Instandhaltungsstrategie basierend auf Lebenszykluskosten. Mit Hilfe dieser Strategie wird der zu re-investierende Streckenabschnitt auf einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Mitteleinsatz in Bezug auf Instandhaltung und Erneuerung des Fahrweges analysiert. [1] Insgesamt wird vom Bund jedes Jahr ein Betrag von zwei Milliarden Euro für den Ausbau und die Modernisierung des Streckennetzes zur Verfügung gestellt. Von diesem Gesamtbetrag werden ca. 500 Millionen Euro für die Re-Investition des gesamten Eisenbahnnetzes von Österreich bereitgestellt. [2][3] Durch die Entwicklung dieser Lebenszykluskosten-Strategie wird versucht, den zur Verfügung stehenden Geldbetrag wirtschaftlich sinnvoll und im Sinne der Nachhaltigkeit einzusetzen. Dafür wurde 2006 zum ersten Mal in Vorschriften der Tausch bzw. die Verwendung von Komponenten auf Basis einer Lebenszykluskostenbetrachtung festgelegt.

Unter Lebenszykluskosten versteht man im Allgemeinen die gesamten Kosten eines Produktes oder einer Anlage, welche innerhalb seiner Lebensdauer anfallen. [4] Im Bereich der Infrastruktur werden darunter die Kosten einer Infrastrukturanlage von der Planung über den Bau bis hin zur Deponierung bzw. zum Recycling verstanden. [5][6] Die Lebenszykluskostenbetrachtung verfolgt die Strategie, die Nachhaltigkeit einer Infrastrukturanlage zu gewährleisten, indem der technisch-wirtschaftlich optimale Re-Investitionszeitpunkt gefunden wird. [7] Um dieses Ziel verfolgen zu können, benötigt man eine netzweite Basisstrategie, bei der sogenannte Standardelemente die netztypischen Oberbausituationen beschreiben. [8] Die Randbedingungen für die jeweiligen Standardelemente stellen ausgewählte Parameter dar. Transferiert man diese Elemente auf das tatsächliche Streckennetz, können durch diese Zuordnung, die durchschnittliche Instandhaltung und Nutzungsdauer festgelegt werden. Summiert man die einzelnen Instandhaltungsmaßnahmen auf, ergibt sich ein sogenannter Arbeitszyklus. Dieser stellt die Basis für die Lebenszykluskosten-Strategie dar. Die Herausforderung dabei ist das Gleichgewicht zwischen Instandhaltung und Erneuerung zu finden und somit die Kosten zu reduzieren. [9] Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, bedarf es an AnlagentechnikerInnen mit ausreichender Erfahrung vor Ort und der Analyse der Messwagendaten, um eine Prognose für künftige Entwicklungen zu tätigen. [1] In der ÖBB-Infrastruktur AG wird für die Zustandsanalyse das Programm NATAS (New Austrian Track Analysing System) verwendet, die Prognose wird mittels der Methode GleisPROPHET erstellt. [10]

Seit 2011 führt die TU Graz für das Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG eine Projektbewertung für zu re-investierende Streckenabschnitte durch. [1] Zu Beginn der Entwicklung der Projektbewertung wurden nur die kritischsten Re-Investitionsprojekte basierend auf



einer Lebenszykluskostenbetrachtung analysiert. Zurzeit werden ca. 80 Re-Investitionsprojekte pro Jahr an die TU Graz zur Bewertung übermittelt. Von diesen 80 Re-Investitionsprojekten durchlaufen ca. 20 einen detaillierten Bewertungsablauf. Beim detaillierten Prozess werden die ausgewählten Re-Investitionsabschnitte genauestens analysiert und der optimale Re-Investitionszeitpunkt bestimmt. Diese Bewertung wird dem Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG als Vorschlag für einen möglichen Re-Investitionszeitpunkt übermittelt. [1]

Dieser Projektbewertungsablauf, wie er auf der TU Graz durchgeführt wird, ist in dieser Ausführung einzigartig. Die TU Graz führt die Lebenszykluskostenbetrachtung von Re-Investitionsprojekten im Sinne der Nachhaltigkeit für das Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG durch. [1]

In der gegenständlichen Arbeit wird zu Beginn kurz auf die Definition von Lebenszykluskosten und die Ziele der Lebenszykluskosten-Strategie eingegangen. Weiters soll die nötige Prozessfindung für die Ermittlung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes und die Umsetzung in der ÖBB-Infrastruktur AG beschrieben werden. In den folgenden Kapiteln werden die Oberbaukomponenten Schwelle und Schotter in Hinblick auf die Belastung, die Anforderungen und die nötigen Instandhaltungsmaßnahmen genauer betrachtet. Abschließend werden fünf Re-Investitionsprojekte untersucht, welche bereits von der TU Graz bewertet wurden und bei denen der vorgeschlagene Re-Investitionszeitpunkt von der ÖBB-Infrastruktur AG zeitlich verschoben wurde. Die beiden Re-Investitionszeitpunkte, seitens der TU Graz und der ÖBB-Infrastruktur AG, fallen somit nicht zusammen. Ziel dieser Analyse ist ein Vergleich des prognostizierten Zustandes aus der Projektbewertung zur jetzigen Situation vor Ort. Hier soll im Speziellen auf die zur Zeit der Bewertung vorgeschlagenen und alternativ umgesetzten Instandhaltungsmaßnahmen eingegangen werden.

## 2 Life Cycle Costs

### 2.1 Definition

Unter Lebenszykluskosten werden im Allgemeinen die gesamten Kosten eines Produktes, Systems, Projektes oder einer Anlage verstanden, die diese während ihres Lebenszyklus verursachen. [4] Speziell bei Infrastrukturanlagen werden hier die Kosten von der Planung über den Bau bis hin zur Deponierung bzw. zum Recycling verstanden. [5][6] Diese Kosten bestehen aus den direkten Kosten für eine Infrastrukturanlage, zu denen die Investition bis zur nächsten Re-Investition, die Inspektion, die Wartung und die Instandhaltung zählen. [6] Laut Enzi wird die Re-Investition als Erneuerung sämtlicher Oberbaukomponenten definiert. Diese ist jedoch unabhängig von der Abschnittslänge. [11] Weiters werden zu den direkten Kosten noch die Betriebserschwerungskosten addiert. [6] Unter Betriebserschwerungskosten versteht man Folgekosten, die hauptsächlich durch die Nichtverfügbarkeit oder eingeschränkte Verfügbarkeit von Infrastrukturanlagen entstehen. [12]

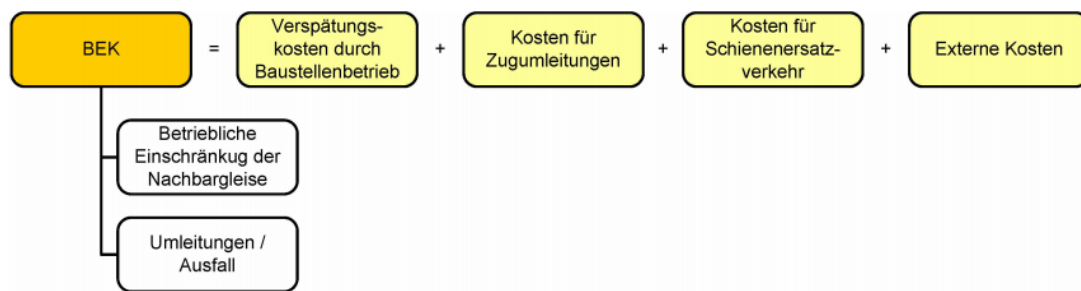


Abbildung 1 Zusammensetzung der Betriebserschwerungskosten [12]

Diese Kosten fallen vor allem durch betriebliche Einschränkungen eines Streckenabschnittes an, wie beispielsweise bei Zugumleitungen bzw. bei Ausfällen von Zügen. [12] Jedoch können auch durch Langsamfahrstellen Kosten verursacht werden. Langsamfahrstellen müssen häufig aufgrund von unzureichender Instandhaltung oder durch Überschreitung der Nutzungsdauer eingeführt werden. [5] Die Hauptfaktoren, aus denen sich Betriebserschwerungskosten zusammensetzen, sind Verspätungskosten durch Baustellenbetrieb, Kosten für eine Zugumleitung bzw. für einen Schienenersatzverkehr und externe Kosten. Diese Kosten treten bei Gleissperren, bei Geschwindigkeitsreduktionen oder allgemein formuliert, bei Abweichungen des Regelbetriebs auf. [12]

Durch die Entwicklung der Lebenszykluskosten-Strategie kann eine wirtschaftliche Bewertung von Re-Investitionsmaßnahmen im Sinne der Nachhaltigkeit durchgeführt werden. [1] Nachhaltigkeit bedeutet eine technische und wirtschaftliche Optimierung des gesamten Systems Bahn. Diese Verbesserung kann nur mittels einer Betrachtung der technischen

und wirtschaftlichen Aspekte erfolgen. Erst durch die Kombination aus diesen kann bei der Optimierung der Realitätsbezug erhalten bleiben. [5]

Die Lebenszykluskosten-Strategie stützt sich auf die sogenannte RAMS-Analyse. Erst durch die Betrachtung der vier Punkte dieser Analyse kann es zu einer Optimierung im Sinne einer Lebenszykluskostenbetrachtung kommen. Diese vier Punkte werden unter den Schlagworten **R**eliability, **A**vailability, **M**aintainability und **S**afety auf die Frequenz und die Art sowie die Verfügbarkeit aufgrund der auftretenden Fehler, die Instandhaltungsmaßnahme und die Folge der Fehler betrachtet. [5] Grundsätzlich lässt sich die Strategie jedoch auf eine einfache Frage beschränken: „Soll der gewünschte Streckenabschnitt erneuert oder instandgehalten werden?“. [1] Zur Beantwortung dieser Frage bedarf es, neben der Entwicklung einer Strategie, auch an erfahrenen InfrastrukturmanagerInnen, welche die Balance zwischen Instandhaltung und Erneuerung finden müssen, um somit die Kosten reduzieren zu können. [9]

Eines der wichtigsten Ziele der Lebenszyklus-Strategie ist die Verlängerung der Liegedauer des gesamten Oberbaus. Es zeigt sich, dass dadurch bereits ein wesentlicher Teil der Kosten verringert werden kann und somit hier ein großes Einsparungspotential vorhanden ist. [8] Die Erklärung dafür liegt in der Unterteilung der Gesamtkosten in die drei Kostenpositionen: Abschreibung, Instandhaltung und Betriebserschwerungskosten, wie aus Abbildung 2 im Balkendiagramm „Basis 2007“ ersichtlich ist. [1][13] Der größte Anteil fällt auf die Kostenposition Abschreibung mit rund 50 %. Der Instandhaltung werden 20 % der Gesamtkosten zugeschrieben und die restlichen 30 % fallen bei stark belasteten Strecken auf die Kostenposition Betriebserschwerungskosten. [14] Da die Abschreibung bei weitem die höchste Kostenposition darstellt, gilt es diese zu verringern. Dieses Ziel kann nur verfolgt werden, wenn die Liegedauer durch nachhaltige Methoden, wie Einsatz von innovativen Oberbaukomponenten, Erhöhung der Anfangsqualität bzw. Optimierung der Instandhaltungsmaßnahmen verlängert wird. [13] Die theoretische Variante geringerer Investitionskosten ist in aller Regel keine Option, da dadurch zumeist die Nutzungsdauer reduziert wird, womit die kalkulatorische Abschreibung steigt. Bei der Methode, die Anfangsqualität zu heben und dadurch weitere Liegedauerjahre zu gewinnen, bedarf es einer kostenintensiven Re-Investition. Jedoch zeigt sich durch die Umsetzung der besseren Anfangsqualität massives Einsparungspotential gegen Ende der Liegedauer. [9] Bei dieser Methode werden bereits bei sehr kurzer Verlängerung der Nutzungsdauer nennenswerte Einsparungspotentiale sichtbar. [8]

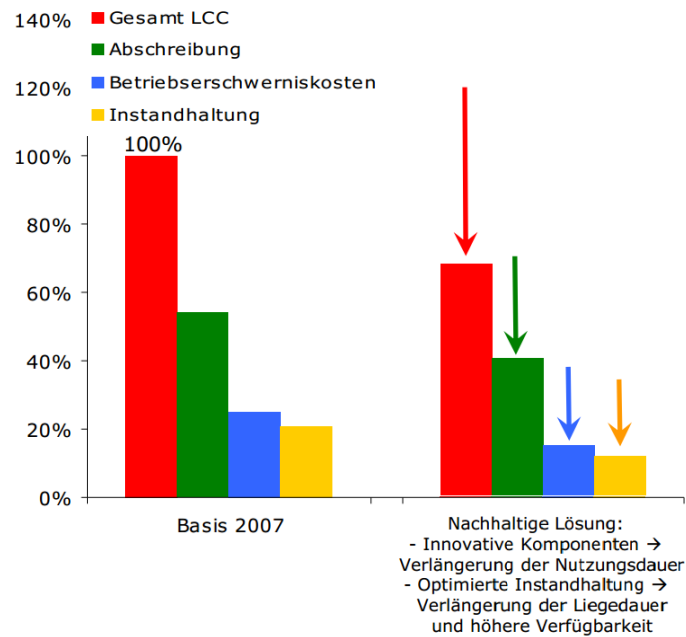


Abbildung 2 Unterteilung der Lebenszykluskosten in Abschreibung, Instandhaltung und Betriebserschwerungskosten [13]

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Strategie einer Lebenszyklusbetrachtung eine netzweite Basis für Instandhaltung und Investition schaffen soll. Damit kann eine technisch-wirtschaftliche Bewertung einer Maßnahme im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Infrastrukturanlage getroffen werden. [7] Der grundlegende Ansatz muss daher eine Verlängerung der Nutzungsdauer sein. [8] Im nachfolgenden Kapitel wird näher auf die Bestimmung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes und die damit erreichte Nutzungsdauererlängerung eingegangen.

## 2.2 Optimaler Re-Investitionszeitpunkt

Um die oben definierten Ziele der Lebenszykluskosten-Strategie umsetzen zu können, bedarf es der Ermittlung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes. Als optimaler Re-Investitionszeitpunkt wird jener Zeitpunkt definiert, bei dem aus technischer und wirtschaftlicher Sicht, eine Re-Investition am günstigsten ist. [5][7] Dafür reicht eine netzweite Basisstrategie nicht aus. [10]

Es ist erforderlich, die Standardelemente auf eine Vor-Ort-Strategie zu transformieren. [5][10] Ein Standardelement stellt die netztypische Oberbausituation mittels definierten Parametern dar. Den Kombinationen der Standardelemente wird eine Instandhaltungsstrategie mit durchschnittlichen Mengen zugeordnet. Werden die einzelnen Instandhaltungsmaßnahmen aufsummiert, ergibt sich dadurch ein Arbeitszyklus. [8][9] Bei der Transformation auf eine Vor-Ort-Strategie werden anstelle der durchschnittlichen Instandhaltungsmaßnahmen spezifische, auf einen Streckenabschnitt bezogene Maßnahmen, ermittelt. [5] Diese können aufgrund von aktuellen Messdaten, deren Analyse und einer Prognose festgestellt werden. Diese Messdaten bilden somit die Basis für die Abschätzung der Instandhaltungsmaßnahmen. [15]

Die Zustandserhebung erfolgt durch die Inspektion des Streckennetzes mittels sogenanntem Messwagen. [1] Vom Querschnitt der Strecke wird die Längshöhe und die Richtungslage der Schienen, die Spurweite, die Überhöhung, die Querhöhe, die Verwindung, die Krümmung, der Bogenradius, die Längsneigung, die Messgeschwindigkeit und der GPS-Standort in einem signalspezifischen Abstand gemessen bzw. erhoben. [16] Die nachfolgende Analyse dieser Daten erfolgt beim Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG über das Programm NATAS. Mit diesem Programm können mehrere Messsignale über die Länge abgebildet werden. [10]

Für die Beschreibung der zukünftigen Entwicklungen des Gleises wird mittels der Methode GleisPROPHET eine Prognose erstellt. [1][10] Diese kann aufgrund der Kenntnis über die erforderliche Qualität, den zeitlichen Verlauf des Gleisverhaltens und aufgrund von Forschungen erarbeitet werden. Hierfür werden die Qualitätsziffer und die Qualitätsfunktion benötigt, welche folgend näher beschrieben werden.[10]

### 2.2.1 Qualitätsziffer, MDZ-A-Wert

Die horizontale Standardabweichung ( $\sigma_H$ ) wird im Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG verwendet, um das Gleislageverhalten im Streckennetz zu beschreiben. Alternativ dazu kann jedoch auch der MDZ-A-Wert verwendet werden. Der Name MDZ-A-Ziffer lässt sich daraus herleiten, dass die Durchführung vor allem durch einen **m**echanisierten **D**urcharbeitungs**z**ug vorgesehen war.

Bei der MDZ-A-Ziffer wird die Beschleunigungsdifferenz als Bewertungsgröße angegeben. Die Beschleunigungsdifferenz setzt sich aus dem Höhenfehler, dem Lagefehler und dem Verwindungsfehler zusammen. Diese Bewertungsgröße wird in vektorieller Form am Fahrzeugschwerpunkt für eine bestimmte Gleislage und -länge gemessen. Früher wurde der Mittelwert der gemessenen Werte über eine Abschnittslänge von 500 m gebildet. Heutzutage ist dieser Wert für eine solche Länge zu ungenau. Man ermittelt anstelle von Mittelwerten für Abschnittslängen einen Einflusswert für Messpunkte. Die Länge, welche in den Einflusswert eingeht, ist frei wählbar und wird meist zwischen 200 und 100 m angenommen.

Die gefahrene Geschwindigkeit bei der Messung ist dabei nicht relevant, da die Messung aufgrund der funktionalen Beschreibung auf alle Geschwindigkeiten umgerechnet werden kann. Durch die Möglichkeit dieser Umrechnung kann die optimale Geschwindigkeit eines Streckenabschnittes aufgrund des Fahrkomforts für unterschiedliche Gleislagequalitäten bestimmt werden. Ein weiterer Vorteil der MDZ-A-Ziffer zeigt sich bei der Bildung der Standardabweichung. Durch die Quadratbildung der unterschiedlichen Fehlergrößen wird das Ergebnis verzerrt und dadurch maßgeblich beeinflusst. Da die MDZ-A-Ziffer nur eine Bewertungsgröße umfasst, kann der Fehler durch die Verzerrung minimiert werden. [5]

Allerdings ist für die Bewertung des Gleislageverhaltens eine Betrachtung der MDZ-A-Ziffer über einen längeren Zeitraum notwendig, da ein einzelner Wert nur die aktuelle Qualität des Gleises beschreibt. [5] Im Unternehmen ÖBB-Infrastruktur werden hierfür die aktuellen Messdaten an die TU Graz weitergeleitet und vorerst in der „TUG Datenbank“ gesammelt. Das Verschlechterungsverhalten wird durch die Umrechnung der Messdaten in MDZ-A-Ziffern und Aufschlüsselung dieser über die Zeit erkennbar. Mittels Regressionsgleichung kann über die Qualitätsziffern eine Funktion berechnet werden, welche in Form einer e-Funktion vorgesehen ist. Diese wird als Qualitätsfunktion oder Verschlechterungsfunktion bezeichnet und wird im nächsten Kapitel näher beschrieben. [5][11]

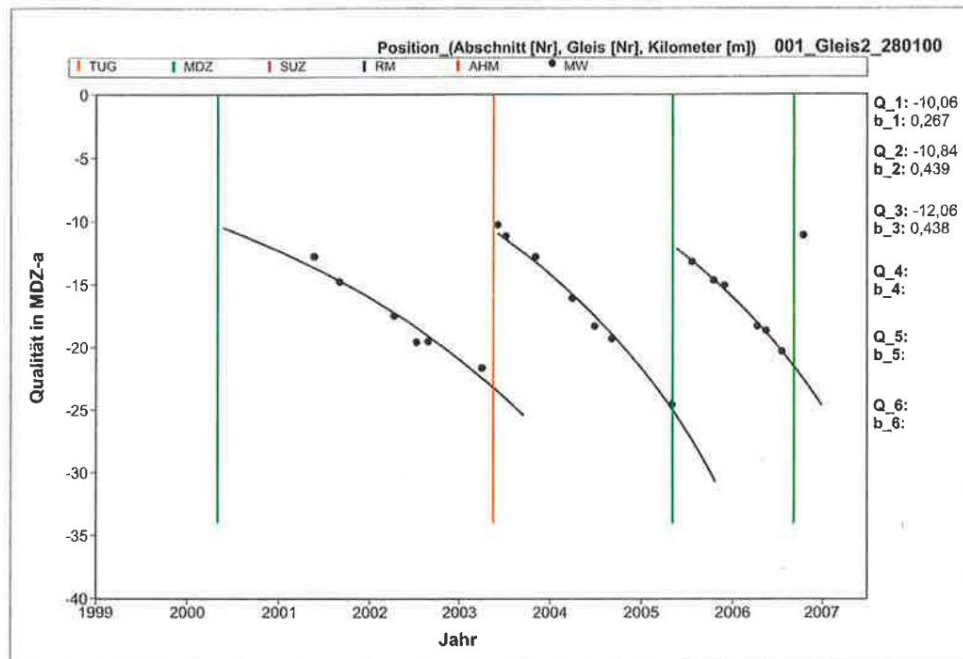


Abbildung 3 Darstellung MDZ-A-Ziffer [11]

In der oben dargestellten Graphik (Abbildung 3) sind mehrere Qualitätsziffern über die Zeit sichtbar. Durch die Verbindung der einzelnen Messwerte miteinander ergibt sich die Qualitätsfunktion, welche das Verschlechterungsverhalten des Gleises beschreibt.

### 2.2.2 Qualitätsfunktion

Die Ermittlung der Qualitätsfunktion wird, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, an der TU Graz durchgeführt. [10][11] Die Verschlechterungsfunktion wird auf Basis der Qualitätswerte für die Querschnitte berechnet. Anhand des Regressionsansatzes mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ergibt sich der unten stehende mathematische Ansatz. [11]

$$Q = Q_0 \times e^{-bt}$$

Q = aktuelle Qualität

$Q_0$  = Qualität zum Zeitpunkt  $t=0$ ; Anfangsqualität

b = Verschlechterungsrate

t = Zeit

[5][11]

Diese Funktion wird verwendet, um Aussagen über das zukünftige Gleislageverhalten zu tätigen. Aus dem mathematischen Ansatz ist ersichtlich, dass sich die Gleislagequalität zur aktuellen Qualität proportional verhält. Messdatenanalysen haben gezeigt, dass die Anfangsqualität durch Instandhaltungsmaßnahmen nicht überschritten werden kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in die Analyse nur Messungen nach Abnehmen der Anfangssetzung eingehen.

Die Verschlechterungsrate  $b$  ist abhängig von den gewählten Parametern für die Standardelemente. Es ergeben sich bei der Verschlechterungsrate große Schwankungen und eine Abhängigkeit in Bezug auf die Qualität. Zu Beginn ist ein fast linearer Verlauf der Qualitätsfunktion erkennbar, wohingegen bei zunehmender Verschlechterung des Gleiskörpers die Steigung der Tangente der Funktion zunimmt und somit auch die Verschlechterungsrate ansteigt. Weiters zeigt sich, dass eine schlechter hergestellte Anfangsqualität zu vermehrten Instandhaltungsmaßnahmen führt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es zu keiner Erhöhung der Verschlechterungsrate kommt, sondern die Verschlechterungsfunktion praktisch verschoben werden kann. Durch diese Verschiebung wird die Eingriffsschwelle schneller erreicht und es sind früher Instandhaltungsmaßnahmen notwendig. In Abbildung 4 sind zwei Qualitätsfunktionen mit gleichen Verschlechterungsraten, jedoch unterschiedlicher Ausgangsqualität dargestellt. Hierbei stellt  $\Delta t$  die gewonnene Zeit bis zur Durchführung der notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen und somit die gewonnene Nutzungsdauer dar.[5]

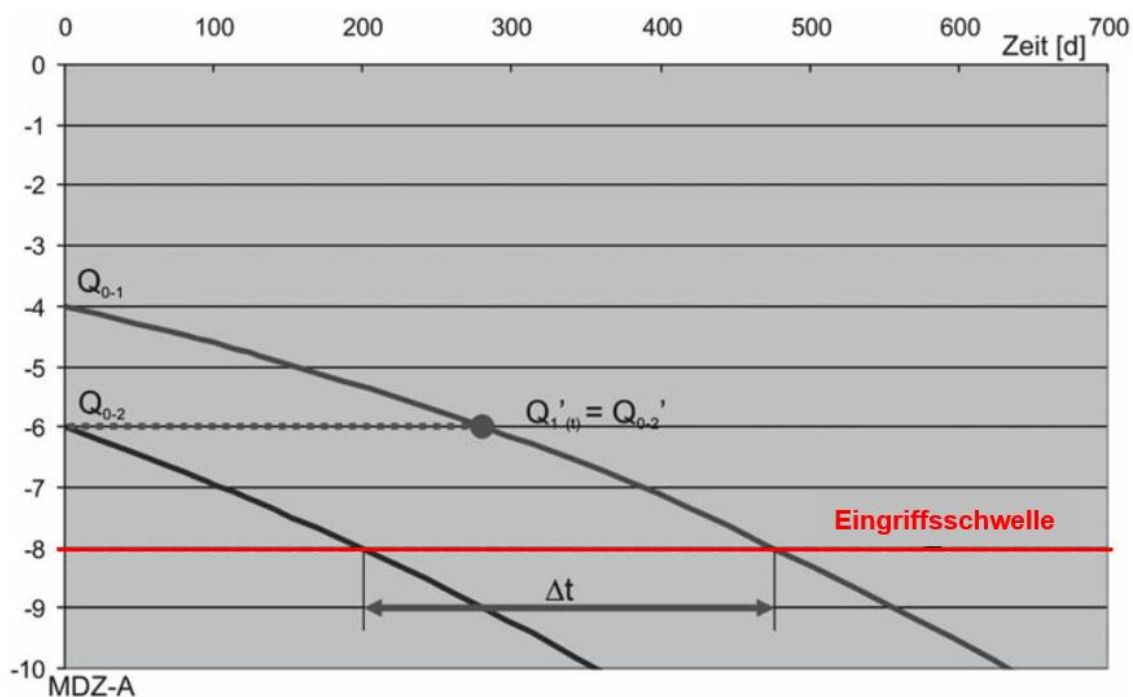


Abbildung 4 Einfluss der Ausgangsqualität [5]



Die Eingriffsschwelle legt fest, wann der richtige Zeitpunkt für den Einsatz einer Instandhaltungsmaßnahme gekommen ist. Man unterscheidet drei Arten von Eingriffsschwellen: die sofortige Eingriffsschwelle, die Aufmerksamkeitsschwelle und die Eingriffsschwelle. [16] Die Eingriffsschwelle kann als Stellschraube gesehen werden, wodurch die Verlängerung der Nutzungsdauer und die Häufung der Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst werden können. Für die Stellung dieser Schrauben ist jedoch die Kenntnis der realen Verschlechterungsfunktion und der Gesamtfunktion von Bedeutung. Die Gesamtfunktion setzt sich aus den vergangenen Messdaten und einer Prognose der Verschlechterung auf Basis der aktuellen Qualität zusammen. Erst wenn die Genauigkeit der Verschlechterungsraten durch eine Prognose aus den Randbedingungen angemessen ist, kann die Gesamtnutzungsdauer bestimmt werden. Die Gesamtnutzungsdauer gibt in diesem Fall die technische Nutzungsdauer an. Diese ist dann erreicht, wenn der Qualitätswert nicht mehr über die Eingriffsschwelle gebracht werden kann. [5] Weiters wird meist eine konforme Eingriffsschwelle angewendet. Darunter versteht man, dass zu Beginn die Eingriffsschwelle höher gehalten wird als gegen Ende der Nutzungsdauer. Dadurch kann, aufgrund einer früheren Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen, die Anfangsqualität länger umgesetzt werden. [5][10]

In Abbildung 5 wird die e-Funktion des Gleislageverhaltens mittels der Methode GleisPROPHET sichtbar. Die Methode GleisPROPHET ermöglicht die Bestimmung einer Prognose bezogen auf eine Instandhaltungsmaßnahme eines Gleises. Des Weiteren sind in dieser Graphik die vorhergesehenen Instandhaltungsmaßnahmen und dadurch die Verbesserung der Qualität des Gleises, durch eine Vertikale, zu erkennen. Beispielhaft soll nachstehend die Implementierung der Qualitätsfunktion in einen Arbeitszyklus, bezogen auf die Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* gezeigt werden. Die Eingriffsschwelle wird hier als rote Linie gekennzeichnet. [9][10]

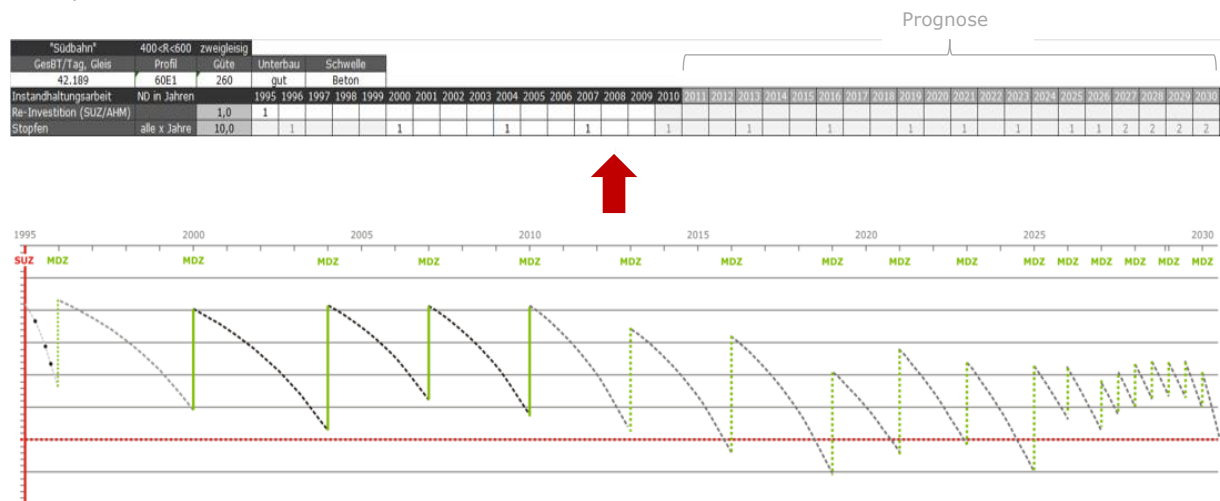


Abbildung 5 Implementierung der Qualitätsfunktion in den Arbeitszyklus [10]

Die Prognose mittels der Methode GleisPROPHET kann durch die Kenntnis über die erforderliche Qualität, über den zeitlichen Verschlechterungsverlauf des Gleises und durch Forschungen bestimmt werden. Diese wird für jede einzelne Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt. Die Vorhersage reicht für jede Maßnahme unterschiedlich weit. Über die Instandhaltungsmaßnahmen *Stopfen*, *Zwischenlagenwechsel*, *Schotterbettreinigung* oder *Befestigung von Holzschwellen* ist bereits sehr viel Information vorhanden und es kann dadurch eine weitreichende Prognose ausgeführt werden, wohingegen in anderen Bereichen, wie zum Beispiel bei Head Checks, weniger Informationen vorhanden sind. Hier hat die Kommunikation mit den verantwortlichen AnlagenmanagerInnen besondere Bedeutung, da diese die fehlende Information über das Gleis vor Ort liefern können. Um einen gesamten Arbeitszyklus zu erstellen, wird nicht jede Instandhaltungsmaßnahme einzeln betrachtet, sondern es werden alle Maßnahmen mit ihren zuvor ermittelten Prognosen zusammengeführt. Nach Fertigstellung des Arbeitszyklus wird dieser mit den AnlagenmanagerInnen abgeglichen.

### 2.2.3 Optimaler Re-Investitionszeitpunkt

Laut Enzi wird unter Re-Investition im Allgemeinen die Erneuerung des gesamten Oberbaus verstanden. [11] Diese hat die Aufgabe die Soll-Situation wiederherzustellen und somit das Gleislageverhalten zu verbessern. [17] Um dies im Sinne der Nachhaltigkeit durchführen zu können, muss der wirtschaftlich und technisch optimale Re-Investitionszeitpunkt gefunden werden. [7]

Dieser Zeitpunkt tritt dann ein, wenn die zusätzliche Instandhaltung die Kostenreduktion durch die längere Abschreibung überschreitet. Mathematisch lässt sich dies nach der unten stehenden Formel ermitteln.

mit

$K_{Inv}$ : Investitionskosten

$a$ : Jahr

$ND$ : Nutzungsdauer

$K_{IH}$ : Instandhaltungskosten

$$\frac{K_{Inv} + \sum_{a=0}^{ND-1} K_{IH}}{ND} > \frac{K_{Inv} + \sum_{a=0}^{ND} K_{IH}}{ND + 1}$$

Wenn

$$\sum_{a=0}^{ND} K_{IH} = \sum_{a=0}^{ND-1} K_{IH} + K_{IH,ND}$$

$K_{IH,ND}$ : Summe der Instandhaltungskosten über die Nutzungsdauer

Dann

$$K_{IH,ND} < \left( K_{Inv} + \sum_{a=0}^{ND-1} K_{IH} \right) \times \left( \frac{ND + 1}{ND} - 1 \right)$$

[1][15]

Theoretisch ist der optimale Re-Investitionszeitpunkt dann erreicht, wenn die Annuität ihr Minimum erreicht hat. Diese Methode wird unter dem Begriff Annuitätenmonitoring angewandt und im nachfolgenden Kapitel weiter erläutert. [17]

#### 2.2.4 Annuitätenmonitoring

Die lange Nutzungsdauer von Infrastrukturanlagen stellt im Bereich der Eisenbahn ein wesentliches Charakteristikum für die Wirtschaftlichkeit dar. [5] Demzufolge muss bei einer Wirtschaftlichkeitsberechnung für Infrastrukturanlagen über die gesamte Lebensdauer eine dynamische Betrachtung vorgesehen werden. Aufgrund der langen Nutzungsdauer dürfen die Kapitalbindungskosten nicht vernachlässigt werden. Die wichtigsten Ergebnisse für eine dynamische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind die Annuität, der Interne Zinssatz und die Amortisationszeit. [5][17]

Der Interne Zinssatz ist jener Zinssatz, bei dem die Kapitalwertfunktion ihren Nulldurchgang aufweist. Als Kapitalwert wird jener Wert verstanden, bei dem die Zahlungen eines Projektes auf den Beginn - auf die Investition - abgezinst und diese danach addiert werden. Die Kapitalwertfunktion zeigt die verschiedenen Kapitalwerte für beliebige kalkulatorische Zinssätze. Der Interne Zinssatz gibt somit die Verzinsung der untersuchten Investition an. Durch ihn kann die Wirtschaftlichkeit, demzufolge die Rentabilität, eines Projektes bestimmt werden. [5][8] Liegt der Interne Zinssatz über dem kalkulatorischen Zinssatz, erweist sich die Investition als wirtschaftlich. [5][17]

Als Amortisationszeitpunkt wird jener Zeitpunkt beschrieben, bei dem die Mehrkosten einer Investition durch Erlöse refinanziert sind. [17]

Um zwei Varianten auf wirtschaftlicher Basis miteinander vergleichen zu können, muss der Indikator Zeitraum annähernd gleiche Werte aufweisen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung beim Internen Zinssatz und bei der Amortisation. Bei der Annuitätenmethode hingegen wird dieser Indikator bereits durch die Ermittlung der durchschnittlichen dynamischen Jahreskosten mitberücksichtigt. Diese berechnen sich aus dem Kapitalwert multipliziert mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor. [5][17] Der Kapitalwiedergewinnungsfaktor wird bestimmt durch die Höhe des kalkulatorischen Zinssatzes und durch die Laufzeit. Mit diesem Faktor können die Barwerte in konstante jährliche Beträge, Annuitäten, umgerechnet werden. [18][19] Aufgrund dessen hat der Zeitraum bei der Gegenüberstellung zweier Varianten keinen Einfluss mehr. Somit kann für die Lebenszyklusbetrachtung die Annuitätenmethode herangezogen werden. [5][17] Bei der Berechnung der Annuität werden die Kapitalbindungskosten mittels des kalkulatorischen Zinssatzes berücksichtigt. Dieser beschreibt den zu erwartenden Zinssatz über die Nutzungsdauer. Der kalkulatorische Zinssatz ist im Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG mit 5 % festgelegt und wird bei einer Lebenszykluskostenberechnung über die gesamte Lebensdauer einer Infrastrukturanlage verwendet. [17] Im Vergleich dazu liegt der Realzinssatz meist zwischen 3 und 5 %. [15] Die Differenz zwischen den beiden Zinssätzen wird als Risikoabdeckung beschrieben. [17] Hingegen wird die Inflation bei einer Lebenszyklusberechnung nicht mitbetrachtet. Diese Größe wird vernachlässigt, da sie eine gewisse Unsicherheit darstellt. Diese Unsicherheit wirkt sich jedoch auf alle Elemente der Lebenszyklusbetrachtung gleich aus, weshalb die Berücksichtigung der Inflation nur eine Erhöhung der Werte bedeuten würde. Somit kann diese Fehlergröße vernachlässigt werden. [5][17]

Weitere Fehlergrößen stellen die Material- und Lohnkosten dar. Diese werden jedoch durch den Vergleich zweier Optionen zueinander eliminiert. Die Berechnung wird somit nicht mit Absolutgrößen durchgeführt, sondern mit den Kostenunterschieden im Vergleich zweier Varianten zueinander. [5][14][17] Durch die Berechnung mittels Differenzzahlungen wird die Aussage über die Wirtschaftlichkeit zweier Möglichkeiten zueinander betrachtet. Die Basisdaten für die Berechnung der Annuität sind die Arbeitszyklen mit der durchschnittlichen Nutzungsdauer und den durchschnittlichen Instandhaltungsmaßnahmen. Durch die Berechnung der Differenzzahlungen ergeben sich entweder Gewinn oder Verlust. [8] Gewinn bedeutet eine Einsparung und unter Verlust versteht man Mehrkosten im Vergleich zu einer Variante. [5] Werden Gewinn und Verlust in einer Graphik dargestellt, ergibt sich der sogenannte Differenzzahlungsstrom. Demzufolge fällt durch die Differenzkostenbildung von zwei Projekten die Erstinvestition weg und es werden ausschließlich die Re-Investitionen behandelt. [8] Im Bereich des Streckenneubaus wird eine Investition vom Staat fi-

nanziert, weshalb der Ansatz der ausschließlichen Betrachtung der Re-Investition von Vorteil ist. [17] Durch den Ansatz der Differenzzahlungen ergibt sich, dass aus den Annuitäten durchschnittliche jährliche Einsparungen oder Mehrkosten werden und aus dem Internen Zinssatz eine Verzinsung des zusätzlichen Kapitals entsteht. [5]

Bei der Überprüfung der Stabilität der Ergebnisse durch Sensitivitätsanalysen zeigt sich, dass trotz schwankender Eingangsgrößen die Ergebnisse stabil sind. [5][14]

Unter Annuitätenmonitoring versteht man generell die Beobachtung des Annuitätenverlaufes über die Zeit. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten werden für jedes Jahr neu berechnet, wodurch die zusätzliche Instandhaltung und die dadurch verlängerte Nutzungsdauer für die Berechnung miteinbezogen werden. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten werden danach über die Jahre aufgetragen. Das maßgebende Jahr wird durch den Minimalwert bestimmt. [15] Der optimale Re-Investitionszeitpunkt befindet sich demnach in dem Jahr, in dem die alternativ notwendige Instandhaltungsmaßnahme vorgesehen wäre. [1][15]

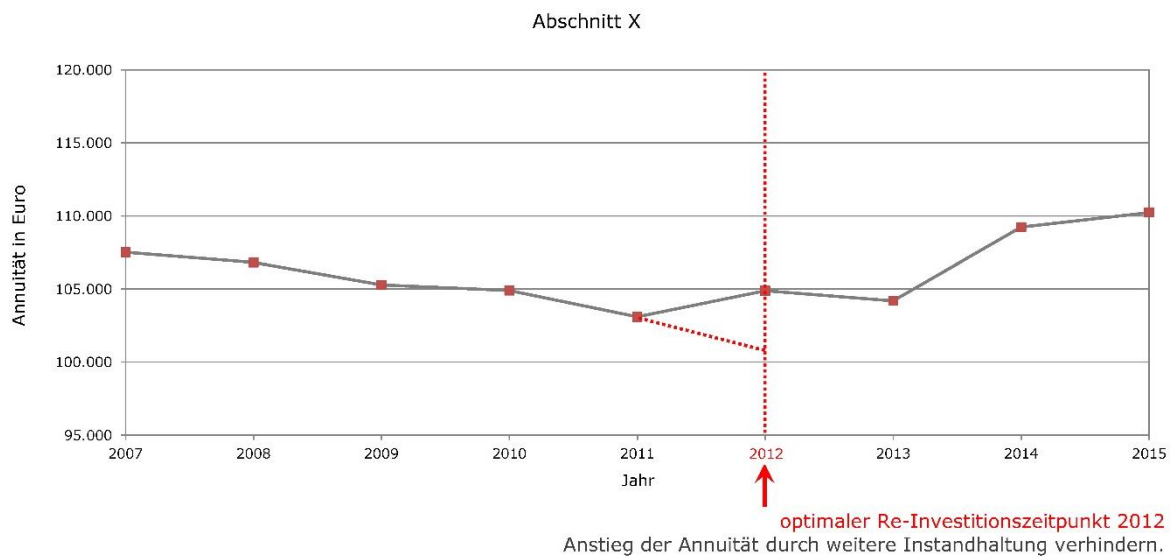


Abbildung 6 Annuitätenmonitoring [15]

In der oben dargestellten Graphik (Abbildung 6) wird ein Annuitätenverlauf dargestellt. Der Sprung in der Abbildung 6 ergibt sich dadurch, dass bei einer zusätzlich teureren Instandhaltungsmaßnahme die Annuität rapide ansteigt. Deswegen erweist es sich als sinnvoll, zum Zeitpunkt der alternativen Instandhaltungsmaßnahme zu re-investieren. In diesem Beispiel zeigt sich das Jahr 2012 als der optimale Re-Investitionszeitpunkt. [1] Den AnlagenmanagerInnen wird durch die Methode des Annuitätenmonitorings ein besseres Verständnis des Einsatzes der Instandhaltungsmaßnahmen ermöglicht. Durch den Annuitä-

tenverlauf kann der optimale Re-Investitionszeitpunkt, die Prognose über zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen und Aussagen über die zukünftige Gleisqualität getätigt werden. [9]

Für die Praxis ist jedoch die Vorhersage des Gleisverhaltens bzw. der notwendigen Instandhaltungsmaßnahme meist eine größere Herausforderung. Es bedarf an erfahrenen AnlagentechnikerInnen vor Ort und detaillierter Kenntnisse über die Verschlechterung des Gleises. [1][9] Allerdings gibt es einige allgemeine Anhaltspunkte, nach denen man sich in der Regel wenden kann, um das Erreichen des optimalen Re-Investitionszeitpunktes festzustellen. Unterjährige *Stopfaktivitäten*, *Einzelschwellenwechsel* oder *Schotterbettreinigung* gegen Ende der Nutzungsdauer führen meist zu einem Instandhaltungsaufwand, welcher sich im Kosten-Nutzen Verhältnis nicht mehr rentiert. Weiters führen Dauerlangsamfahrstellen auf betrieblich hochrangigen Gleisen zur Erhöhung der Betriebserschwerniskosten und sind im Allgemeinen zu vermeiden. [1][10]

## 2.3 Optimale Bauabschnittslänge

Kontinuität und homogene Verhältnisse im Gleis sind wichtige Voraussetzungen für das Verschleißverhalten und somit für die Instandhaltung des Gleises. Um dies gewährleisten zu können, wird in vielen Fällen versucht, Re-Investitionsabschnitte zusammenzulegen. Bei der Bewertung von Re-Investitionsprojekten werden nur einzelne Abschnitte alleine betrachtet. Die angrenzenden Abschnitte werden separat untersucht. Durch die Zusammenlegung dieser Re-Investitionsabschnitte können neben homogenen Verhältnissen und Kontinuität im Gleis auch die Einheitskosten der Herstellung reduziert werden. Vor allem aufgrund des großen finanziellen Vorteiles wird versucht, die Re-Investitionsabschnitte zu vereinen, weshalb oftmals auch vom optimalen Re-Investitionszeitpunkt abgewichen werden kann. [15]

Bei der Zusammenlegung von Abschnitten spielen nicht nur die Minderung der Einheitskosten eine Rolle, sondern es müssen ebenso die entstehenden Betriebserschwerungskosten durch den Baustellenbetrieb mitberücksichtigt werden. Der große Unterschied zwischen diesen beiden Kosten sind die verschiedenen Trendverläufe. Betriebserschwerungskosten steigen mit der Dauer der Sperre an, jedoch reduzieren sich die Einheitskosten mit der Baustellenlänge und somit mit der Sperrdauer. Es gilt nun, das Optimum zwischen den beiden Kosten zu finden. Aufgrund der Abhängigkeit der Betriebserschwerungskosten vom Verkehrsaufkommen, in Bezug auf die Anzahl der Züge, der Zuggattungen und der Gleisanzahl wird dieses Optimum jedoch von der gewählten Strecke beeinflusst. [9][11]

In der nachfolgenden Abbildung 7 werden die gegenläufigen Trends der Herstellungskosten und der Betriebserschwerungskosten gezeigt.

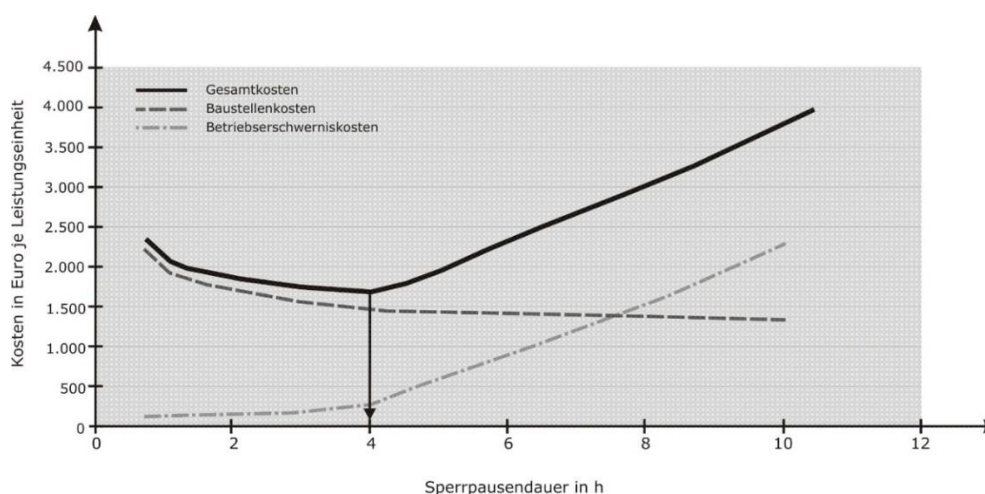


Abbildung 7 Trendverläufe Betriebserschwerungskosten und Einheitskosten [11]

Aus der Abbildung 7 ist ersichtlich, dass es bei einer Sperrpausendauer unter ca. 50 Minuten zu erheblicher Erhöhung der Einheitskosten kommt. Dies kann auf die Arbeitsleistung zurückgeführt werden. Da bei einer Sperrpause unter 50 Minuten die Anfahr-, Abfahr-, und Rüstzeit einen großen Zeitbereich einnehmen, kann im Vergleich dazu nur eine geringe Arbeitsleistung erbracht werden. Dadurch ergeben sich höhere Einheitskosten. Des Weiteren wird bei dieser Beispielstrecke das Optimum der Sperrpause bei ca. vier Stunden erreicht. Hier ergeben sich die geringsten Kosten in Bezug auf Herstellungskosten und Betriebserschwerungskosten. [11] Diese Methode der Optimierung basiert rein auf der Minimierung der Einheitskosten. Hierfür spielt die eigentliche Lebenszykluskostenbetrachtung keine Rolle.

Erst durch die Betrachtung von mehreren Abschnitten mit ähnlichen Re-Investitionszeitpunkten wird zur Findung der optimalen Re-Investitionslänge die Lebenszykluskostenbetrachtung berücksichtigt.



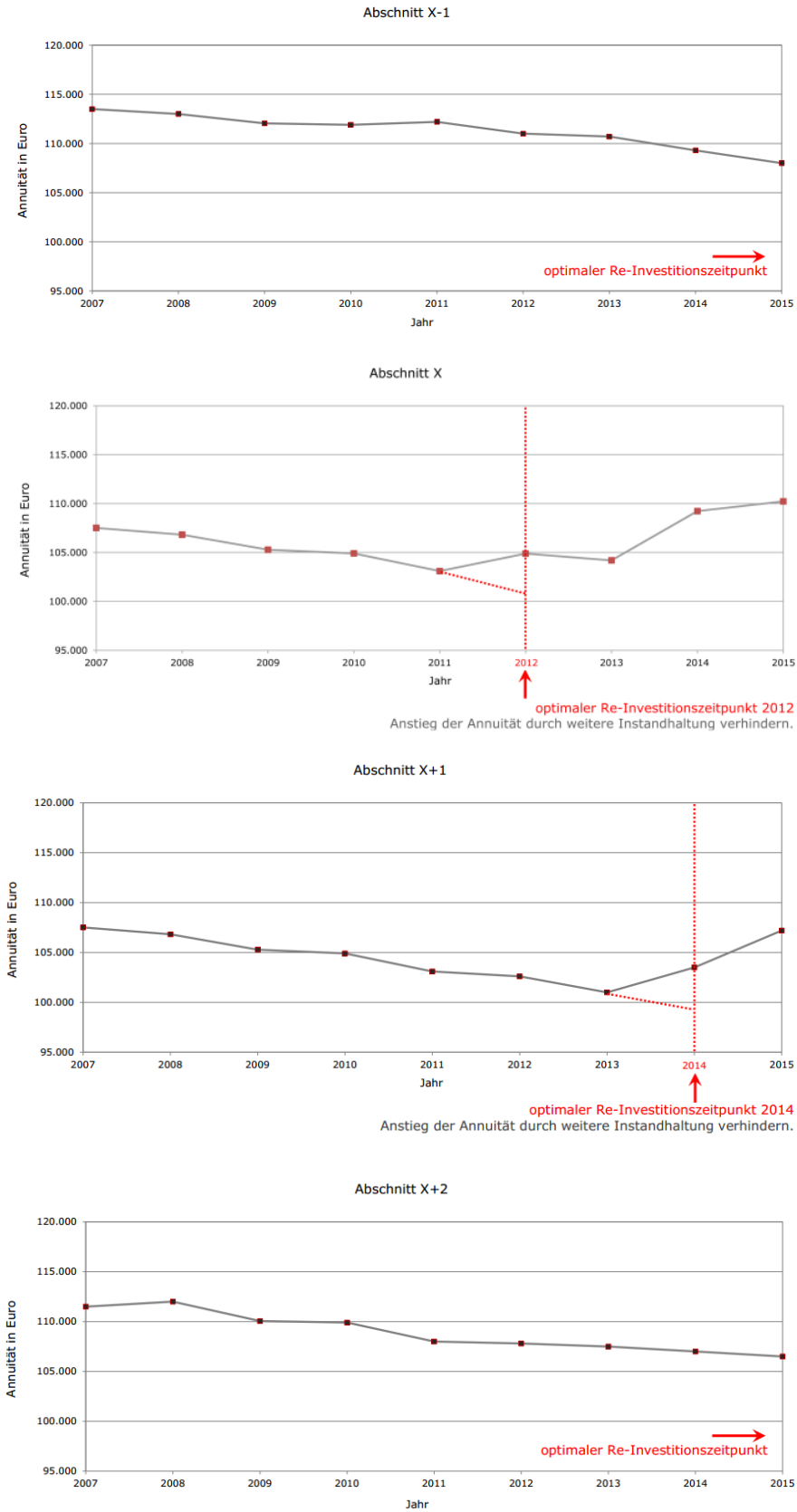


Abbildung 8 Annuitätenverläufe einzelner Abschnitte [15]

Wie in den Annuitätenverläufen in Abbildung 8 zu sehen, weisen die Abschnitte X und X+1 einen ähnlichen Re-Investitionszeitpunkt auf, und würden somit für eine nähere Betrachtung in Frage kommen. Dadurch ergibt sich der Vorteil einer gemeinsamen Re-Investition, jedoch verursacht diese in weiterer Folge einen Nachteil für einen der beiden Abschnitte. Entweder wird die Nutzungsdauer verworfen, indem früher als notwendig re-investiert wird oder es muss durch teure Instandhaltungsmaßnahmen die Nutzungsdauer verlängert werden. Wiegt sich dieser Nachteil mit dem Vorteil der reduzierten Laufmeterkosten auf, so ist es sinnvoll, beide Abschnitte gemeinsam zu re-investieren. Für die genaue Bestimmung der wirtschaftlichsten Bauabschnittslänge reicht der Annuitätenverlauf jedoch nicht aus. Hierfür bedarf es einer konkreten mathematischen Analyse. [15]

Für die mathematische Ermittlung wird zu Beginn jedem einzelnen Re-Investitionsabschnitt ein Standardkilometer zugeordnet, welcher die Vergleichsbasis für die weiterführenden Ermittlungen darstellt. Diese Zuordnung wird durchgeführt, um die durchschnittliche Nutzungsdauer des betrachteten Gleises zu ermitteln. Danach wird jedes Jahr, welches zwischen den beiden Re-Investitionszeitpunkten der einzelnen Abschnitte liegt, auf den optimalen Re-Investitionszeitpunkt untersucht. Jede gemeinsame Berechnung wird mit der getrennten Betrachtung der Abschnitte verglichen. Der Betrachtungszeitraum für die zu untersuchenden Abschnitte muss für die Gegenüberstellung gleich sein. Dieser Betrachtungszeitraum setzt sich aus der Nutzungsdauer des bestehenden Oberbaus ( $ND_{SK_{Ist}}$ ), der zukünftigen Nutzungsdauer ( $ND_{SK_{Neu}}$ ) und der Differenz zwischen den beiden Re-Investitionszeitpunkten der einzeln betrachteten Abschnitte zusammen. [11]

In der nachstehenden Abbildung 9 wird die Zusammensetzung des Betrachtungszeitraumes erläutert, wobei in diesem Anschauungsbeispiel die beiden Re-Investitionszeitpunkte fünf Jahre auseinanderliegen.

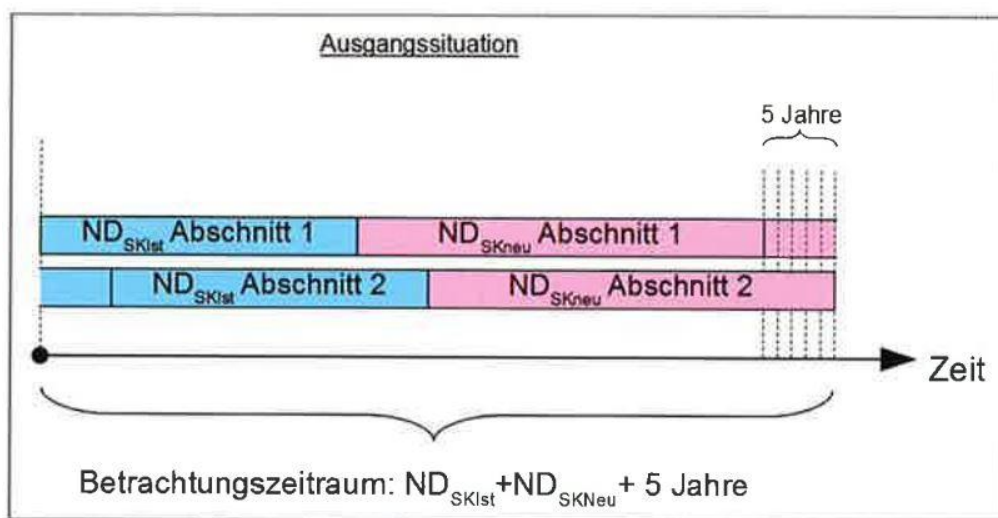


Abbildung 9 Betrachtungszeitraum [11]

Bei dem mathematischen Ansatz wird grundsätzlich der Schaden mit den reduzierten Einheitskosten verglichen. Generell wird eine Zusammenlegung der Abschnitte dann durchgeführt, wenn der Gewinn durch die Minimierung der Herstellungskosten die verlorene Abschreibung überschreitet. Weiters gilt, dass die Kosten durch die zusätzliche Instandhaltung weniger betragen müssen, als durch die Reduktion der Laufmeterkosten gewonnen werden kann. [15] In unserem Beispiel zeigt sich, dass der Abschnitt 1 um zwei Jahre verlängert werden soll, wobei der Abschnitt 2 um drei Jahre verkürzt wird. [11]

Die nachfolgende Graphik (Abbildung 10) veranschaulicht die Verlängerung bzw. Verkürzung der Nutzungsdauer der unterschiedlichen Abschnitte.

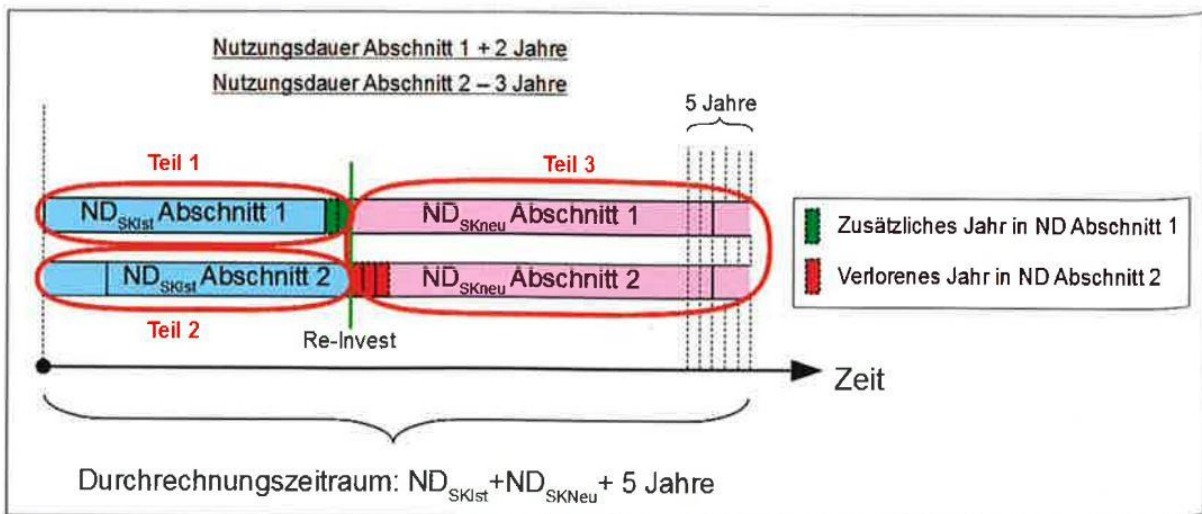


Abbildung 10 Ergebnis: Beispiel optimale Bauabschnittslänge [11]

Die Gleichung 1 beschreibt die durchschnittlichen jährlichen Kosten des bestehenden Abschnittes 1 mit einer Nutzungsdauerverlängerung von zwei Jahren. Die Gleichung 2 beschreibt dies für den Abschnitt 2 mit einer Liegedauerverkürzung von drei Jahren. Gleichung 3 berücksichtigt die Annuität bei einer gemeinsamen Re-Investition. Die Gesamtkosten für den Betrachtungszeitraum ergeben sich durch die Addition der drei Gleichungen. [11]

Grundsätzlich können alle benachbarten Abschnitte auf eine Zusammenlegung untersucht werden, jedoch wird diese ab einer Differenz der optimalen Re-Investitionszeitpunkte von fünf Jahren sehr unwahrscheinlich.

$$[JK_{SKist+2} \times (ND_{SKist} + 2)] \times l_1 \quad (1)$$

$$[JK_{SKist} \times 5 + JK_{SKist-3} \times (ND_{SKist} - 3)] \times l_2 \quad (2)$$

$$[JK_{SKneu(l_1+l_2)} \times (ND_{SKneu} + 3)] \times (l_1 + l_2) \quad (3)$$

Life Cycle Costs

mit

$JK_{SKist}$ : durchschnittliche Jahreskosten des derzeitigen Standardkilometerzyklus

$JK_{SKneu}$ : durchschnittliche Jahreskosten des anschließenden Standardkilometerzyklus

$l_1$ : Länge Abschnitt 1

$l_2$ : Länge Abschnitt 2

$JK_{SKneu(lx)}$ : durchschnittliche Jahreskosten des Standardkilometerzyklus bei Neulagenlänge  $x$

$ND_{SKist}$ : Nutzungsdauer des derzeitigen Standardkilometerzyklus

$ND_{SKneu}$ : Nutzungsdauer des zukünftigen Standardkilometerzyklus

[11]

### 3 Schwelle und Schotter

Eine wichtige Herausforderung im Bereich der Eisenbahn stellt die Dimensionierung der optimalen Gleiskonstruktion in Bezug auf die vorhandenen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise Geschwindigkeit, Achslast, Belastung etc. dar. Ein Gleis wird dann aus Kostensicht als „wirtschaftlich optimal“ definiert, wenn die durchschnittlichen, jährlichen Kosten des Oberbaus minimal werden. [8] Allerdings ist der Oberbau sehr hohen, andauernden und wechselwirkenden Beanspruchungen ausgesetzt, wodurch dieser verschleißt. Aufgrund dessen besteht die Notwendigkeit, die Oberbaukomponenten zu erhalten bzw. zu erneuern. [20] Um messtechnisch den richtigen Zeitpunkt für eine Instandhaltung zu finden, wird wie bereits in Kapitel 2.2.1 erwähnt, die horizontale Standardabweichung bei der ÖBB-Infrastruktur AG herangezogen. [5][8]

Beim Einsatz eines konventionellen Schotteroberbaus stellt sich heraus, dass sich bei richtiger Bemessung der Gleiskomponenten der Schotter als das limitierende Element ergibt. [21] Dies bedeutet, dass durch diesen die Gesamtnutzungsdauer des Oberbaus beeinflusst bzw. beschränkt wird. [14][22] Aufgrund des besonderen Augenmerkes auf die Oberbaukomponenten Schotter und Schwelle, wird in den folgenden Kapiteln auf die Aufgaben, Belastung und die Instandhaltung näher eingegangen.

#### 3.1 Schwelle

Bereits zu Beginn der Eisenbahntechnik wurden Holzschwellen für die Fixierung und Einhaltung von Spurweiten verwendet. Mit der zunehmenden Anforderung an den Oberbau durch höhere Geschwindigkeiten und höhere Achslasten konnten diese den Bedingungen nicht mehr standhalten und es wurden schwerere Schwellen gefordert. Zur Zeit sind weltweit ca. drei Milliarden Schwellen verlegt, wovon der Anteil der jährlich getauschten Schwellen ca. 5 % beträgt. Von den drei Milliarden Schwellen machen Betonschwellen einen Anteil von 20 % aus. Die restlichen 80 % setzen sich aus Holz-, Stahl- und Kunststoffschwellen zusammen. [8] Holzschwellen und Betonschwellen sind die im österreichischen Streckennetz am häufigsten verwendeten Schwellenarten. [13][23] Aufgrund dessen soll im folgenden Kapitel nur auf diese beiden Schwellenarten im Detail eingegangen werden.

##### 3.1.1 Aufgaben Schwelle

Die Hauptaufgabe der Schwelle besteht darin, die Spurweite der beiden Schienen sicherzustellen. [8][24] Dabei soll der Fahrweg nicht nur bei Betrieb, sondern auch bei Schienenbruch bzw. bei Entgleisung gesichert sein. Die Schwellen halten somit mittels Schienenbefestigung die Schienen gegen Aufwölbungen, Verschiebungen aufgrund von Flieh-

und Querkräften in Quer- und Längsrichtung fest. Außerdem stellt die Schwingungsdämpfung der Schienen, und somit die Reduktion von Schall- und Körperschallwellen, eine weitere Aufgabe dar. Darüber hinaus ist die Schwelle zuständig für die Weiterleitung der Kräfte in das Schotterbett. Die lotrechten Achslasten, die Längskräfte und die horizontalen Fliehkräfte müssen über die Schwelle in die darauffolgende Bettung weitergeleitet werden, um den Kraftfluss zu ermöglichen. [8]

### 3.1.2 Schwellenarten

#### 3.1.2.1 Holzschwellen

Holzschwellen werden bereits seit dem Anfang der Eisenbahntechnik zur Sicherung der Spurweite verwendet. In Europa werden hierfür vor allem die Holzarten Buche und Eiche eingesetzt. Buche wird aufgrund der guten Tränkbarkeit in Steinkohlenteeröl zur besseren Haltbarkeit benutzt. Bei höheren Anforderungen in Bezug auf die Ausformung kommen meist Eichenhölzer zum Einsatz. Die Profilform der Holzschwellen ist rechteckig mit in einem Winkel von 45° angeschrägten Seiten. Die Schwelle wird in der Mitte in ihrer Höhe oft aufgrund der geringeren Belastungen und Biegemomente vermindert. Der Querverschiebewiderstand ist bei Holzschwellen im Vergleich zu Betonschwellen um 15 % geringer, weshalb der Einsatz von Holzschwellen für Hochgeschwindigkeitsstrecken über 160 km/h nicht in Frage kommt. [8]

Die mittlere Lebensdauer einer Holzschwelle liegt zwischen 25 und 45 Jahren. Schwellen aus Buchenholz halten durchschnittlich 40 Jahre, jene aus Eichenholz durchschnittlich 32 Jahre. Die Nutzungsdauer wird jedoch wesentlich durch die Imprägniermethode, die Art und die Qualität des Holzes beeinflusst. [8] Der zeitliche Verfall von Holzschwellen wird hauptsächlich durch die Witterung und den Bakterieneinfluss bestimmt. [8][25] Aufgrund dessen kommt es zu einem reduzierten Kraftschluss zwischen Schiene und Schwelle, wodurch die Nutzungsdauer maßgeblich beschränkt wird. Zur Feststellung des vorhandenen Kraftschlusses stehen zwei Methoden zur Verfügung, welche allerdings nur eine punktuelle Betrachtung erlauben. Die erste Methode ist die sogenannte Windenprobe. Hierbei wird durch die Spreizung der Schienenköpfe die Spurweite gemessen und der Spreizwiderstand ermittelt. Bei der zweiten Methode wird das maximale Schwellenschraubenmoment mit Hilfe eines Drehmomentenschlüssels ermittelt. Wie bereits erwähnt, liefern beide Methoden jedoch nur eine begrenzte Aussage, da die Anwendung nur punktuell erfolgt. [25] Die Stärken der Holzschwellen liegen in der Elastizität und Nachgiebigkeit des Holzes. Dadurch wird der Schotter weniger beansprucht und die Schotterbettstärke kann somit reduziert werden. Weiters zeigt die Holzschwelle durch ihre Elastizität positive Eigenschaften im Bereich der Lärmreduktion und Erschütterungsreduktion. Außerdem ist die Einrichtung von Gleisstromkreisen mit isolierten Schienen einfacher. [26]

Aufgrund der kürzeren Lebensdauer, des geringeren Querverschiebewiderstandes im Vergleich zu Betonschwellen sowie des Umweltaspektes der Teeröltränkung, kommen Holzschwellen nur unter besonderen örtlichen Bedingungen, wie zum Beispiel im Hochwassergebiet, zum Einsatz. [8][27][28]

### 3.1.2.2 Betonschwellen

Im Streckennetz der ÖBB werden bereits seit 1980 Betonschwellen eingebaut. [24] Die am häufigsten verwendeten Betonschwellen sind die Spannbetonschwelle K1 und die Spannbetonschwelle L2. [23]

Die mittlere Nutzungsdauer von Betonschwellen liegt bei ca. 40 Jahren. [8][25] Die Lebensdauer der Betonschwelle wird im Vergleich zur Holzschwelle nicht durch den zeitlichen Verfall bestimmt, sondern durch die vorherrschende mechanische Beanspruchung. [25] Die Schwellen erfordern durch die wechselnden Temperaturen und die Dauerbeanspruchung eine hohe Zugfestigkeit und gute Verformungseigenschaften. [8] Hierbei können durch die Beanspruchung vor allem Rissbildungen auftreten. Des Weiteren entstehen Nutzungsdauerbeschränkungen durch Schäden, welche bereits von der Produktion herrühren. Aufgrund der industriellen Herstellung in großen Mengen tritt diese Art von Fehler im Streckennetz der ÖBB nicht sehr oft auf. [8][25] Die Carbonatisierung im Beton verursacht keine Beeinträchtigung der Lebensdauer, da sich diese in ihrem Wachstum nur langsam weiterentwickelt. [25]

Im Vergleich zur Holzschwelle, ergeben sich einige Vor- und Nachteile. Die Betonschwelle weist eine längere Nutzungsdauer auf und ist kostengünstiger in der Anschaffung im Gegensatz zu Hartholzschwellen. Außerdem zeigt sich bei der Betonschwelle, aufgrund des höheren Gewichts, ein um 15 % höherer Querverschiebewiderstand. [8] Überdies wirkt sich das hohe Gewicht positiv auf die Schwingungsdämpfung aus. [27] Allerdings steht dem gegenüber, dass durch das höhere Gewicht ein händischer Tausch der Betonschwelle unmöglich ist. Weiters werden Erhaltungsarbeiten und Wartungen kaum benötigt. Andererseits treten bei Betonschwellen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit Riffel bei Schienen auf und die Empfänglichkeit auf Bruch beim Schwellenreiten ist höher. Aufgrund der fehlenden Bewehrung gegen Schub- und Torsionskräfte besteht auf schlechtem Untergrund die Gefahr von Längsrissen. [8] Beim Einbau von Betonschwellen müssen allerdings gewisse Voraussetzungen gegeben sein, damit ein gut funktionierendes System Gleis vorherrscht. Dabei muss ein besonderes Augenmerk auf den Untergrund gelegt werden. Dieser darf keine größeren Setzungen zulassen bzw. dürfen keine Frostauszüge auftreten. Der Untergrund muss tragfähig und wasserdurchlässig sein. Bindigere Böden erfordern einen Einbau einer Tragschicht unter dem Schotterbett. Diese muss in Bezug auf die Belastung in ihrer Stärke und Sieblinie abgestimmt werden. Des Weiteren ist es wichtig, dass bei

Verlegungen und Instandhaltungen geeignete Oberbaumaschinen verwendet werden und ein lückenlos verschweißtes Gleis hergestellt werden kann. [23]

### 3.2 Schotter

Der Schotteroberbau kennzeichnet die Eigenschaft eines sogenannten „schwimmenden“ Bettes, in dem der Gleisrost eingelagert ist. Bereits zu Beginn treten Unregelmäßigkeiten in Bezug auf die Auflagerbedingungen, angesichts ungleichmäßiger Schottereigenschaften, Setzungen im Boden, sowie auftretender Kornumlagerungsvorgänge, auf. [29] Durch die Verkehrsbelastung und der einwirkenden Kräfte auf den Schotter kommt es zu einer Verschlechterung der Gleislage. [8] Jedoch kann die Gleislage bei einem konventionellen Schotteroberbau durch vollautomatische Oberbaumaschinen wiederhergestellt werden, um somit wieder größtmögliche Gleichmäßigkeit zu schaffen. [8][30] Aus diesem Grund stellt der Schotteroberbau eine sehr flexible, kostengünstige und des Weiteren lärmindernde Gleiskonstruktion im Vergleich zur Festen Fahrbahn dar. [30] Im Unternehmen der ÖBB-Infrastruktur AG werden daher jährlich ca. 1 Million Tonnen Gleisschotter für die Instandhaltung und den Neubau benötigt. [31]

In zahlreichen Versuchen wurde gezeigt, dass die wirksame Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotter nur einen geringen Prozentsatz von ca. 3 bis 5 % einnimmt. [30][32] Dies bedeutet, dass der Schotter sehr hohen Belastungen und Spitzendrücken ausgesetzt ist. [30] Dadurch wird die Gesamtnutzungsdauer beeinflusst bzw. beschränkt und bedarf besonderer Aufmerksamkeit. [22][30][32]

Um eine möglichst lange Nutzungsdauer zur Verfügung zu stellen, muss bei der Oberbaukomponente Schotter die optimale Gesteinsqualität und Gesteinssieblinie verwendet werden. [22] Die Anfangsqualität spielt hierbei eine wichtige Rolle in Bezug auf die Liegedauererweiterung. [8] Diese spiegelt eine Qualitätsreserve wieder, weshalb sie möglichst hoch gehalten werden sollte. [8][22] Nur durch die Verwendung von modernen Gleisinstandhaltungsmaschinen und Oberbaukomponenten kann eine hohe Anfangsqualität erreicht werden. [33][20] Dabei gilt es zu verstehen, dass bei Instandhaltungsarbeiten die bestmögliche Qualität nur für diesen einen Instandhaltungsvorgang herausgeholt werden kann. Die Anfangsqualität wird hierbei nicht mehr verbessert, die Verschlechterungsrate kann durch die Instandhaltung nicht beeinflusst werden. Durch den Ansatz der Erhöhung der Anfangsqualität können Instandhaltungsarbeiten reduziert und somit ein technisch-wirtschaftlicheres Gleis erzeugt werden. [8] Eine detaillierte Betrachtung dieses Themas wird in Kapitel 2.2.2 erläutert.

In den nachfolgenden Kapiteln soll aufgrund der wichtigen Position im System Oberbau zu Beginn auf die Aufgaben, den Aufbau und die Anforderungen des Schotters eingegangen werden. Danach werden die Belastung und Instandhaltungsmaßnahmen behandelt.



### 3.2.1 Aufgaben Schotter

Die bereits eingangs erwähnte schwimmende Schotterbettung hat als Hauptaufgabe, den Gleisrost in seiner Lage zu halten und die auftretenden statischen und dynamischen Kräfte in den Untergrund zu leiten. [24][31][27] Die vom Eisenbahnverkehr herrührenden Lasten und die aufgrund von Verschleißerscheinungen bei der Fahrbahn und beim Fahrzeug auftretenden Belastungen müssen über eine genügend große und stabile Auflagerfläche abgeleitet werden. [8][24][30] Diese Verteilung sollte möglichst gleichmäßig erfolgen. Durch die Elastizität im Gleis können die dynamischen Kräfte und somit auch die abzuleitenden Lasten reduziert werden, weshalb eine Gewährleistung dieser von großer Bedeutung ist. [8][21] Die auftretenden horizontalen Kräfte durch Anfahr- und Bremsbelastung, Führungskräfte im Bogen sowie Spannungen aufgrund der Temperatur führen zu einer Verschiebung des Gleisrostes. Die Aufgabe des Schotterbettes ist es, den Gleisrost durch Längs- und Querverschiebewiderstand in seiner Lage zu sichern. Die dadurch auftretenden Widerstände werden aus den Reibkräften an der Schwellensole, dem Schwellenvorkopf und der Schwellenflanke erzeugt. [8][21][31]

Durch die Anforderung an einen wasser- und luftdurchlässigen Schotteroberbau muss sichergestellt sein, dass Wasser ungehindert abgeleitet und der Schotter trocken gehalten werden kann. Dadurch kann die Bildung von Wassersäcken verhindert und die Tragfähigkeit des Untergrundes gewährleistet werden. In weiterer Folge können somit die Auswirkungen auf die Lebensdauer der gesamten Gleiskonstruktion gesichert werden. Eine weitere Aufgabe des Schotters besteht darin, die leichte Wiederherstellbarkeit der optimalen Gleisrostlage zu gewährleisten. Dies bedeutet, dass der Einsatz von Oberbaumaschinen möglich sein muss, um die ursprüngliche Lage des Gleises wieder herstellen zu können. [8][21][31]

Nur durch die Wahl der richtigen Bettungshöhe, dem Bettungsquerschnitt, der Schotterqualität und der Verdichtung des Schotters können die genannten Herausforderungen gelöst werden. [8][21] Hierfür ist ein elastisches, homogenes und sauberes Schotterbett eine der wichtigsten Grundlagen. [34]

### 3.2.2 Aufbau Schotter

Damit das Schotterbett seine Aufgaben erfüllen kann, müssen an dieses gewisse Anforderung in Bezug auf das Gesteinsmaterial gestellt werden. Im nachfolgenden Kapitel werden die zu erfüllenden Anforderungen zur Sicherstellung der Nutzungsdauer näher beleuchtet. [24]

Zur Gewährleistung der Anforderungen und Aufgaben an den Oberbauschotter haben sich in Österreich zur Verwendung als Gleisschotter vor allem Hartgesteine, wie beispielsweise

Basalte, Diabas, Granite und Dunite, herauskristallisiert. [21][30][31] Für die Verwendung des optimalen Gesteinsmaterials im Schotterbett müssen diese vor allem eine große Schlag-Festigkeit, Schlag-Abrieb-Festigkeit und eine hohe Druckfestigkeit aufweisen. Dies führt zu der Anforderung, dass das Gestein hohe Widerstände gegen Zerschlagen, Zerreiben und Zerdrücken aufweisen muss. [21][28][24][31] Die Mindestdruckfestigkeit sollte  $180 \text{ N/mm}^2$  nicht unterschreiten, da sonst die Abbruchwahrscheinlichkeit des Schotters zu hoch ist. [27] Die Abbrüche führen zu einer Verunreinigung des Schotters, weshalb die Wasser- und Luftdurchlässigkeit nicht mehr gewährleistet werden kann. [21][28] In Bezug auf das Brechen und Abplatzen von Körnern spielt die Kornform eine wesentliche Rolle. [8]

In der Kornform unterscheidet man zwischen drei Stadien in Abhängigkeit der Belastung. Beim Einbau besteht das Schotterbett zumeist aus dem sogenannten Skelettkorn. Dieses stellt eine Kornform dar, welche dem gelieferten Schotter entspricht und üblicherweise unregelmäßig und scharfkantig ist. Aufgrund der zunehmenden und dauerhaften Beanspruchungen kann das Gestein der Belastung nicht standhalten und es kommt zum Bruch, wodurch das sogenannte Distanzkorn entsteht. In Verbindung mit dem restlichen Skelettkorn erhöht das Distanzkorn durch eine verbesserte Korngrößenverteilung die Scherfestigkeit und den inneren Reibungswinkel. Dadurch erfolgt eine bessere Ableitung der Kräfte in den Untergrund. Bei weiter zunehmender Belastung steigt der Anteil des Distanzkornes und es entsteht zusätzlich das sogenannte Füllkorn. Durch das Hinzukommen des Füllkornes wird die Scherfestigkeit vermindert, wodurch die Beanspruchung auf den Untergrund erhöht wird. Füllkorn kann jedoch auch durch lehm- oder tonhaltigen Boden in den Schotter eindringen. Durch eine zu große Menge an Feinanteilen wird die Belastung auf den Untergrund maßgeblich erhöht und es besteht die Gefahr des Grundbruches. [8][21] Die Korngrößenverteilung ändert sich somit durch die Einwirkung der Belastung. Bereits beim Einbau des Schotters kann eine gestufte Korngrößenverteilung verwendet werden. Dadurch werden die Drainagefähigkeit und die elastischen Eigenschaften verbessert. Bei einer zu eng gestuften Korngrößenverteilung wird jedoch die Lastabtragung negativ beeinflusst. Die Schotterstabilität sinkt durch den abnehmenden Reibungswinkel und der reduzierten Scherfestigkeit. [31] Laborergebnisse haben gezeigt, dass durch die Beimengung der Körnung  $16/31,5 \text{ mm}$  zur Körnung  $31,5/63 \text{ mm}$  sich die Scherfestigkeit verbessert. Dabei wurden 15 % als optimale Beimengung definiert. [21][33] Grundsätzlich werden bei der ÖBB im Hauptgleis die Gesteinskörnung  $31,5/63 \text{ mm}$  und im Nebengleis die Körnung  $16/31,5 \text{ mm}$  verwendet. Die Angabe bezieht sich auf den anteilgrößten Bereich der Körnung. Die Korngrößenverteilung wird durch eine Quadratlochsiebung festgestellt. [21] In Abbildung 11 wird die Zusammensetzung aus dem Skelett-, Distanz- und Füllkorn gezeigt.

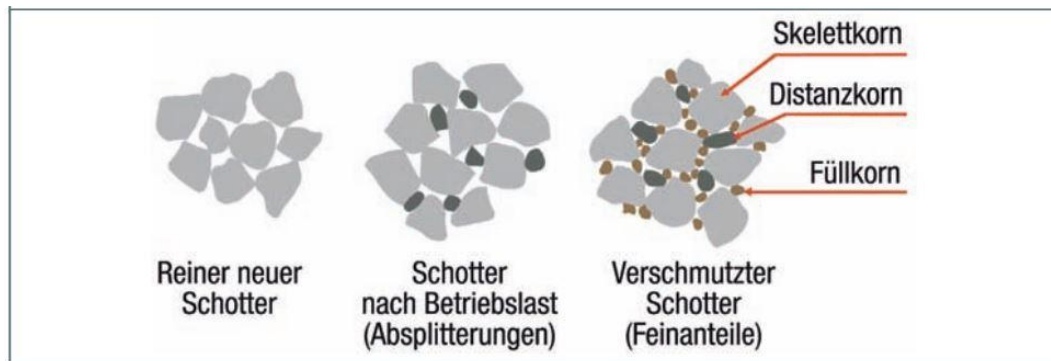


Abbildung 11 Zusammensetzung Skelett-, Distanz- und Füllkorn [21]

Darüber hinaus muss eine hohe Zähigkeit und eine Verwitterungsbeständigkeit gegeben sein. Die Verwitterungsbeständigkeit kann durch eine Prüfung mittels Kochen in einer Salzlösung überprüft werden, bei der die Aufnahme von Wasser des Gesteines nicht höher als 0,5 Gewichtsprozent sein darf. [21] Ein weiterer wichtiger Aspekt für die richtige Lastabtragung und für den Schotteroberbau ist die Bettungsstärke und die Bettungsbreite. Grundsätzlich ist die Bettungsstärke von drei Faktoren abhängig: vom Schwellenabstand, von der Schwellenbreite und vom Druckverteilungswinkel. Der Schwellenabstand muss, aufgrund der verwendeten Stopfpickel bei den Oberbaumaschinen, mindestens 50 cm betragen. Abhängig von der Streckenbelastung wird dieser meist zwischen 60 und 70 cm gewählt, wobei in Europa üblicherweise der Schwellenabstand von 60 cm verwendet wird. [21][27] Die Schwellenbreite wird hier meistens mit 26 cm definiert. Die Bettungsstärke ergibt sich im Allgemeinen aus den Druckverteilungslinien. Diese Linien gehen von jeder einzelnen Schwelle aus und sollen sich im Planum schneiden. Ist die Bettungsstärke falsch bemessen und schneiden sich die Druckverteilungslinien der benachbarten Schwellen nicht, würde dies zu einem Hochdrücken des Bodens zwischen den Schwellen führen. Um dies zu verhindern ist es wichtig, dass sich diese Linien kreuzen. In Folge der bereits erwähnten Schwellenbreite, des Druckausbreitungswinkels und des Schwellenabstandes ergibt sich die Bettungsstärke zu ca. 30 cm. [8][21][30] Bei Holzsschwellen kann die Bettungsstärke im Vergleich zu Betonschwellen durch die höhere Elastizität grundsätzlich vermindert werden. [24] Die Bettungsbreite ist grundsätzlich maßgebend für den Querverschiebewiderstand der Schwellen. Dies bedeutet, dass vor den Schwellenköpfen mindestens 45 cm Schotter gelagert werden sollen, um diesen positiv zu beeinflussen. Denn je mehr Schotter vorhanden ist, desto höher ist der Querverschiebewiderstand. [21]

### 3.3 Belastung

Auf den Fahrweg wirken durch den Verkehr unterschiedliche Belastungen. Um das System Gleis aufrecht zu erhalten, müssen die verursachten Beanspruchungen über die einzelnen Oberbaukomponenten auf den anstehenden Untergrund abgeleitet werden. [21][31] Generell setzt sich die Belastung aus dynamischen und quasistatischen Lasten zusammen. [21][35] Durch die vertikal wirkenden Kräfte werden Spannungen und Pressungen im Schotter erzeugt, welche gleichmäßig in den Boden abgeleitet werden müssen. Radlasten und Schläge in vertikaler Richtung verursachen vertikal auftretende Belastungen. Das Schotterbett ist durch die Pressung Unregelmäßigkeiten ausgesetzt, wodurch es zu starken Streuungen und Beanspruchungen auf dieses kommt. Die Abweichungen hängen von der Auflagerfläche, der Verdichtung und dem Rad-Schiene-Kontakt ab, wodurch die Streuung der Beanspruchung zwischen 3 und 30 % liegt. [21] Kraftspitzen entstehen vor allem bei Stoßlücken, Weichen und durch Flachstellen. Demzufolge treten diese bei Störstellen am Fahrweg bzw. am Fahrzeug selbst auf. [21][31]

Die auftretende Radlast wird aufgrund der elastischen Wirkung des Oberbaus über die Durchbiegung der Schienen auf die Schwellen weitergeleitet. Die ideale Durchbiegung und damit Einsenkung der Schiene befindet sich in einem Bereich zwischen 1,2 bis 1,5 mm. [8] Bei der Einsenkung der Schiene zeigt sich eine Abhängigkeit vom Schwellenabstand, der Schienensteifigkeit, der auftretenden Last, der Bettungszahl und der Untergrundsteifigkeit, wobei die Untergrundsteifigkeit maßgebend für die Verformung der Schiene ist. [8][21][31] Diese wird über die sogenannte Bettungsziffer oder Bettungszahl C zum Ausdruck gebracht. Die Bettungsziffer beschreibt die elastischen Eigenschaften des Schotters und des anstehenden Bodens. [21] Sie liefert die Aussage, wie hoch die Flächenpressung in N/cm<sup>2</sup> sein muss, um die Schiene um 1 cm verformen zu können. [8] Bei niedriger Bettungszahl weist der anstehende Boden eine weichere Konsistenz auf. Je niedriger diese ist, desto regelmäßiger ist die Ableitung der Kraft auf die Schwellen. Jedoch zeigt sich hier, dass die Einsenkung der Schiene und dadurch auch die Beanspruchung dieser vergrößert wird. Bei wesentlich härteren Untergrundverhältnissen wird die Belastung der Schiene aufgrund der geringeren Durchbiegung um ein Wesentliches reduziert. Allerdings führt dies zu einer schlechteren Verteilung der Kräfte auf die Schwellen. [8][21][31] Dies bedeutet, dass bei steiferen Böden, also höherer Bettungsziffer, die Last sich immer auf die mittlere Schwelle konzentriert und die Stützpunktkraft auch im Schotter bedeutend ansteigt. [8][31][36] Die Bettungszahl ist des Weiteren auch ein wichtiges Kennzeichen für die Entstehung von Gleislagefehler. Aufgrund der höheren Setzungen und dadurch auch häufigeren unregelmäßigeren Setzungen bei niedrigeren Bettungsziffern, zeigt sich hier ein vermehrtes Auftreten von Gleislagefehlern. Dabei ist zu beachten, dass die Reihenfolge der Bettungszahl absteigend eingebaut wird, jedoch örtlich eine

Gleichmäßigkeit vorhanden ist. Als ideale Gleissteifigkeit zeigt sich der Bereich zwischen 50 bis 100 kN/mm. [8]

Die Abtragung der Radlast von der Schwelle auf den Schotter beginnt zuerst über die Kontaktflächen der beiden Oberbaukomponenten - in weiterer Folge über Druck- und Schubkräfte, die sich bei den Kontaktpunkten der einzelnen Schotterkörner aufbauen. Die effektive Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotter ergibt sich bei Neulagen zu einem geringen Anteil von nur 3 %. Dies bedeutet, dass hohe Spitzendrücke auftreten und es weiterführend zur Umlagerung des Korngefüges und Änderung der Korngrößenverteilung kommt. [8][30] Durch die Abstimmung der Korngrößenverteilung und den Einsatz von Schwellenbesohlungen wird versucht, diese Spitzendrücke zu minimieren. [8] Die weitere Ableitung der Lasten geschieht über zufällig ausgebildete Kräftepfade. [31] Je nach Verdichtung des Schottermaterials ändert sich die Anzahl der mitwirkenden Schotterkörner bzw. Kräftepfade bei der Abtragung der Lasten. In Abbildung 12 ist die Ausbildung von Kräftepfaden ersichtlich. Bei schlechter Verdichtung und lockerer Lagerung werden nur wenige Schotterkörner zur Ableitung aktiviert und der Druck auf die einzelnen Steine erhöht sich. Diese unterschiedliche Lagerung des Gesteines führt zu den unterschiedlichen Setzungen im Oberbau. [8] Zu Beginn des Setzungsverlaufes treten aufgrund von Kornumlagerungen und Absplitterungen große Setzungen im Schotter ein, welche mit der Zeit aufgrund der verdichteten Lagerung geringer werden. Aus Versuchen wurde ersichtlich, dass trotz identischen Versuchsaufbaus die Setzung ungleichmäßig auftritt. Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Umlagerung der Körner und der Verdichtung, weshalb die Setzungen rein stochastisch vorkommen. [8][37][33] Die Setzung gibt in weiterer Folge auch Auskunft über die Verschmutzung des Oberbaus. Je kleiner die Reibung, desto größer die Verschmutzung. [8] Die innere Reibung des Schotterbettes beeinflusst nicht nur die Setzung, sondern hängt direkt mit der Scherfestigkeit zusammen. Die Scherfestigkeit und der innere Reibungswinkel nehmen ab, je größer die Verschmutzung ist. Beeinflusst wird die Scherfestigkeit vor allem durch die Gesteinseigenschaften: die Korngrößenverteilung, die Kornform und den Verschmutzungsgrad des Schotters. [21][31]

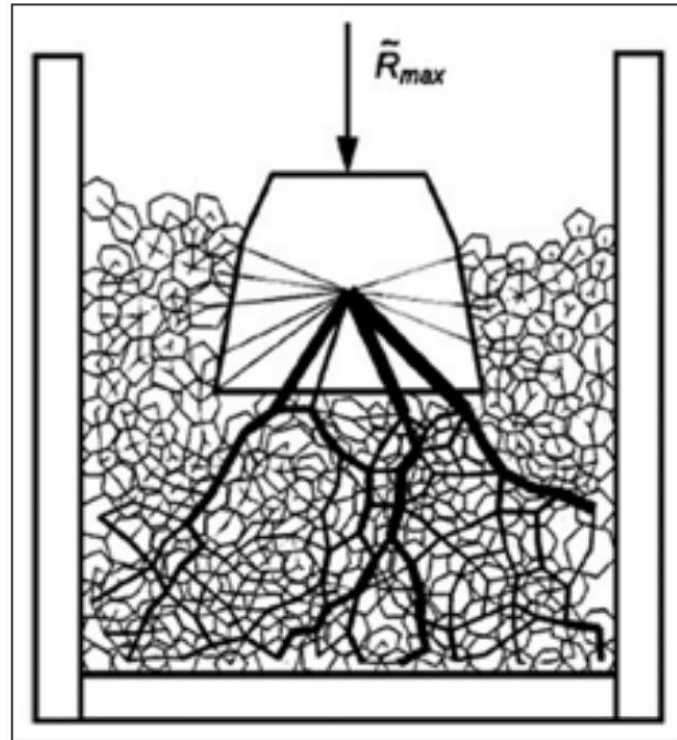


Abbildung 12 Bildung von Kräftepfaden [31]

Die Übertragung der Lasten auf den Untergrund soll gleichmäßig erfolgen, sodass diese am anstehenden Boden eine reduzierte Wirkung aufzeigen. Die entstehende Pressung auf den Untergrund hängt maßgeblich von der Schotterbettstärke und dem sogenannten Lastausbreitungswinkel ab. [8][31][36] Dieser Winkel wird durch viele Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise den Gesteinskennwerten, der Verdichtung, der Belastung, der Steifigkeit des Untergrundes und der Umlagerung der Gesteinskörner. [36] Die Schotterbettstärke spielt für die Tragfähigkeit des Untergrundes eine wesentliche Rolle. Diese wird idealerweise so gewählt, dass sich die Druckverteilungslinien der einzelnen Schwellen am anstehenden Boden schneiden. [31] Ist dies nicht der Fall, wird der Untergrund zwischen den Schwellen hinaufgedrückt. Feinanteile verschmutzen dadurch den Schotter und reduzieren somit die Qualität. [33] Der Lastausbreitungswinkel wird in der Theorie mit bis zu  $45^\circ$  angegeben. [31] Jedoch zeigen Versuche, dass sich die maximale Pressung unter der vorhandenen Last einstellt. Bei einem Winkel zwischen  $9^\circ$  und  $25^\circ$  wurde bereits nur mehr ein geringer Prozentsatz (10 %) der Kraft weitergeleitet. [37] Somit zeigt die Praxis, dass sich der Lastausbreitungswinkel bei durchschnittlich  $20^\circ$  einstellt. [8][31][36] Die Verteilung der Radlast und die damit verbundenen Druckverteilungslinien werden in Abbildung 13 ersichtlich.

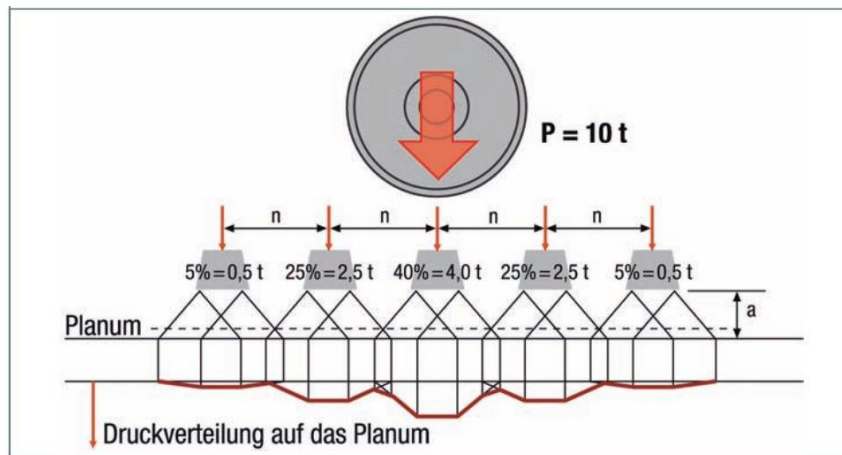


Abbildung 13 Druckverteilung der Radlast [21]

Das Schotterbett hat des Weiteren die Aufgabe, die horizontal auftretenden Kräfte, wie beispielsweise Fliehkräfte, Windkräfte, Temperatur- oder Eigenspannungen, aufzunehmen. [8][30] Dafür muss genügend Widerstand aufgebaut werden, um die Verschiebung in Längs- und Querrichtung zu verhindern. [24] Der Querverschiebewiderstand gibt die Lagesicherheit und die Stabilität des Gleisrostes im Schotter an. Die folgenden drei Teilwiderstände ergeben in Summe den Querverschiebewiderstand: der Flankenwiderstand, die Sohlreibung und der Vorkopfwiderstand. Der Sohlreibungswiderstand wird bei der Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotter aufgebaut. Dieser beträgt vom Gesamtquerverschiebewiderstand rund 40 bis 50 %. Der prozentuelle Anteil verringert sich jedoch bei der Abbewegung der Schwelle nach der Überfahrt des Schienenfahrzeuges und kann durch Schwellenbesohlung auf ca. 60 % erhöht werden. Der Flankenwiderstand beträgt in etwa 10 bis 15 % des gesamten Widerstandes. Der Reibkoeffizient, die Schütthöhe und die Materialkennwerte, wie Dichte und Gewicht beeinflussen den Flankenwiderstand. Der Vorkopfwiderstand wird nur durch die Bewegung der Schwelle hervorgerufen. Dieser nimmt einen Anteil von 35 bis 40 % des Gesamtwiderstandes ein. Wichtig dabei ist, dass bereits zu Beginn die Sohlreibung und der Flankenwiderstand existieren und der Vorkopfwiderstand erst durch die Verschiebung der Schwelle gegen den Vorkopf entsteht. Weiters können Vorkopfwiderstand und Flankenwiderstand nicht gemeinsam entstehen. [8][31] Durch die Überwindung der Reibung bei den vorhandenen Berührflächen wird der QVW (Querverschiebewiderstand) aktiviert. Erst danach beginnt der Gleisrost sich zu bewegen. [8] Die Lagesicherheit des Gleisrostes wird demzufolge durch die Schwellengeometrie, die Kornzusammensetzung und die Verdichtung maßgeblich beeinflusst. [8][31] Um die Stabilität des Gleisrostes zu verbessern, wird durch verschiedene Maßnahmen versucht, den Querverschiebewiderstand zu erhöhen. Durch verschiedene Arten von Verdichtungen kann dieser bereits bedeutend vermehrt werden. Durch den Dynamischen Gleisstabilisator wird beispielsweise der Widerstand um 30 bis 40 %, durch die Verdichtung des Vorkopfes um 4 % und durch eine



Zwischenfachverdichtung um ca. 7 % erhöht. [8] Sicherungskappen und die Erweiterung des Schottervorkopfes verbessern ebenfalls den Widerstand orthogonal zur Längsachse. [38] Weiters kann der Querverschiebewiderstand auch durch innovative Schwellenformen verbessert werden. [30]

### 3.4 Instandhaltungsmaßnahmen

Durch die auftretende Belastung wird das zu Beginn optimal hergestellte Gleis in seiner Lage gestört und es entstehen sogenannte Gleislagefehler. [31] Diese müssen durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen ausgebessert werden, um die ideale Gleislage wiederherstellen zu können. [8][34] In den folgenden Abschnitten soll auf die Auswirkung der Belastung und die dementsprechenden Instandhaltungsmaßnahmen eingegangen werden.

Durch die entstandene Biegung aufgrund der vorhandenen Belastung und der balkenförmigen Auflage der Oberbaukomponente Schwelle entstehen an dieser Risse. Diese entwickeln sich vor allem an der Oberseite der Schwellenmitte und an der Unterseite der Schienenaufleger. Durch eine dünnere Konstruktion der Schwellenmitte können Risse an dieser Stelle vermieden werden. [39] Über die Hohllagen von Schwellen kann die Verschlechterung des Gleislageverhaltens gezeigt werden. Die Anzahl und die Ausprägung von Hohllagen wird über den sogenannten Hohllagenindex definiert. Dieser kann über das bei einer Messfahrt entstehende Längshöhensignal bei einer Wellenlänge von fünf Metern bestimmt werden. Je weniger Hohllagen auftreten, desto besser ist die Qualität des Gleises. Sie lassen sich durch Stopfvorgänge einfach wiederherstellen. [25] Bei der Oberbaukomponente Schwelle weisen Betonschwellen im Vergleich zu Holzschwellen weniger Wartungsarbeiten auf. [8] Bei Holzschwellen wird die Lebensdauer vor allem durch die Einpressung von Rippenplatten, Längsrisse, Vergrößerung der Befestigungslöcher sowie Fäulnis beschränkt. [8][24] Unterschiedliche Feuchtigkeiten führen zu erhöhten Spannungen in den Holzschwellen, weshalb hier die Gefahr der Rissbildung vermehrt auftritt. Diese Feuchtigkeitsunterschiede treten vor allem im Sommer auf und führen zu einer Verwölbung der Schwelle nach oben. [8] Dadurch kommt es zu einer Verengung der Spurweite. Bei einer Verbiegung der Schwelle über den Toleranzbereich von minus 5 bis plus 30 mm, ist die Aufgabe der Sicherstellung der Spurweite nicht mehr gegeben. [8][40] Aufgrund der wesentlich geringeren Feuchtigkeitsunterschiede im Tunnel stellt sich heraus, dass die Nutzungsdauer von Holzschwellen bei diesen örtlichen Gegebenheiten höher ist. Bereits bei der Herstellung von Holzschwellen wird eine Sicherung am Ende der Schwelle eingebracht, wodurch ein Reißen an dieser Stelle verhindert wird. [8]



### *Schraublochanierung*

Um die Stabilität der Schienenbefestigung zu gewährleisten, wird eine sogenannte *Schraublochanierung* durchgeführt. [25] Bei dieser werden die Befestigungslöcher zuerst verdübelt, danach mit Kunststoff befüllt und abgefräst. Zum Schluss muss die Schwelle nochmals nachimprägniert werden. [8] Dies wird vermehrt bei Holzschwellenweichen eingesetzt, bei denen eine Restnutzungsdauer von ca. fünf Jahren gegeben ist. [25]

### *Einzelschwellenwechsel*

Eine weitere Instandhaltungsmaßnahme in Bezug auf die Oberbaukomponente Schwelle ist der sogenannte *Einzelschwellenwechsel*. Hierbei werden durch das Einschleiben von neuen Schwellen die gebrauchsuntauglichen Schwellen beseitigt. Aufgrund der unterschiedlichen Alterung der Holzschwellen werden Elastizitätsschwankungen im Oberbau verursacht. Demzufolge führt dies zu einer unregelmäßigen Belastung der Schwellen und weiters zu einer Verschlechterung der Gesamtnutzungsdauer, weshalb diese Art der Instandhaltung nicht von Vorteil ist. [8] Allerdings findet diese Instandhaltungsmaßnahme in der Praxis oftmals gegen Ende der Nutzungsdauer Anwendung, da somit durch geringen Instandhaltungsaufwand eine Verlängerung der Liegedauer erzielt werden kann.

### *Spurhaltestangen*

Als kurzfristige Instandhaltungsmaßnahme können jedoch zur Richtigstellung der Spurweite auch sogenannte Spurhaltestangen eingebaut werden. Diese werden auf den Schienenfüßen befestigt und können mittels sogenannter Gewindespindeln nachjustiert werden. [41] Die Verwendung von Spurhaltestangen ist auf dem Streckennetzen der ÖBB-Infrastruktur AG jedoch nur als Sofortmaßnahme erlaubt und stellt keinen dauerhaften Gebrauch dar.



Abbildung 14 Spurhaltestange [41]

Im Schotterbett führen die dauerhaften Beanspruchungen zu Umlagerungen der Kornstrukturen und zu Absplitterung dieser. Diese Schädigung des Schotterbettes verursacht durch den entstehenden Abrieb Verunreinigungen, welche die Gleislage und somit die Stabilität verschlechtern. [8][33] Des Weiteren wird durch herabfallendes Transportgut, Vegetationsrückstände, Feinbestandteile aus der Luft oder aufsteigende Feinanteile aus dem anstehenden Boden der Schotteroberbau verschmutzt. [8][29] Die Druckverteilung auf den Untergrund und die gleichmäßige Verteilung der Lasten wird durch die Verschmutzung des Schotterbettes negativ beeinflusst. Dadurch sinkt die Stabilität, wodurch es zu einer Verschlechterung der inneren Reibung und somit der Scherfestigkeit kommt. Der Anstieg der Feinanteile verhindert die Ableitung des eindringenden Wassers. Unregelmäßige Setzungen sind danach die Folge. [8][33] Die Gleisqualität sinkt bei Verunreinigung rapide ab, wodurch ein häufigeres *Stopfen* notwendig ist. [8] Weiters wird durch die höhere Feuchtigkeit die Nutzungsdauer von Holzschwellen beeinträchtigt. [8][33] Zur Beurteilung dieser Verschmutzung können zwei Methoden herangezogen werden. Die erste Methode erfolgt durch die Messung der Gleislagefehler mittels eines Messwagens. Bei der Verunreinigung des Schotters treten kurzweilige Höhenfehler auf, welche durch die Einsenkung der benachbarten Achsen zueinander erkennbar sind. [33] Eine augenscheinliche Überprüfung der Annahme eines verunreinigten Schotters kann durch die Beobachtung der Verschiebung des Schotters vor den Schwellenköpfen festgestellt werden. Bei der zweiten Methode wird, um den aktuellen Verschmutzungsgrad bestimmen zu können, eine Probe entnommen und eine Absiebung durchgeführt. [8][33] Hierfür eignet sich am besten die Kastenprobe. [33] Auf eine detaillierte Betrachtung der Kastenprobe wird in dieser Arbeit nicht eingegangen, dafür wird auf die jeweilige Fachliteratur verwiesen.

Bei nicht rechtzeitiger Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen reicht ein Stopfvorgang nicht aus. Die Wirkung der Maßnahme ist nicht nachhaltig, weshalb eine komplette *Schotterbettreinigung* notwendig ist. [8][33] Der Grenzwert für die Durchführung einer *Schotterbettreinigung* liegt bei einer Verunreinigung von größer 30 Gewichtsprozent. Hierbei wird der Mittelwert der Proben von einem 22,4 mm Quadratlochsieb herangezogen. [8][29][33] Werden überhaupt keine Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt, können nach einiger Zeit Ton und Lehm an die Oberfläche gelangen. Diese verursachen große Einsenkungen, wodurch sogar Entgleisungen hervorgerufen werden können. [33] Die unterschiedlichen Instandhaltungsmaßnahmen und ihre Auswirkungen werden nachstehend genauer beschrieben.

Werden Feinanteile und entstandene Wassersäcke über den auftretenden Pumpeffekt aus dem Untergrund an die Bettungskrone befördert, bilden sich Spritzstellen. [24][33] Hierbei tritt vorwiegend eine Belastung am Schwellenende auf, welche zum Verschleiß und Abrieb des Schotters führt. Durch die auftretende Durchbiegung der Schwelle werden höhere

Spannungen hervorgerufen, infolgedessen Querrisse entstehen. Weiters kommt es zu einer Reduktion der Nutzungsdauer. [24] Die gängigste Methode, um das Auftreten von Spritzstößen zu verhindern, ist der Einbau von Geotextilvliesen zwischen Untergrund und Schotter. Dieses lässt eine Ableitung von Wasser zu, verhindert jedoch einen Anstieg von Feinanteilen. [8]

Generell wird die Grenze bzw. der maßgebende Zeitpunkt bezüglich Instandhaltungsmaßnahmen durch die Eingriffsschwelle festgelegt. Diese kann als Stellschraube gesehen werden, wo bei Überschreitung der Eingriffsschwelle der unzulässige Fahrkomfort für Fahrgäste erreicht wird. Nach der Verbesserung aufgrund der durchgeführten Instandhaltungsmaßnahme kommt es zu einer Phase der Verschlechterung. Die Verschlechterung wird durch die Kornumlagerung und den Abrieb der Körner bestimmt. [5][8][16][33] Wie in Kapitel 2.2.2 bereits erwähnt, kann durch die Eingriffsschwelle die Verlängerung der Nutzungsdauer und die Häufung der Instandhaltungsmaßnahmen beeinflusst werden. [5] Eine nähere Betrachtung dieser Ansicht wird im Kapitel 2.2.2 gezeigt. Wesentlich für die Verbesserung des Oberbaus ist der Stopfvorgang nach der Planumssanierung. Der Zeitpunkt des Eingriffes wird durch die Verschlechterungsrate bestimmt. Ist die Verschlechterungsrate kleiner 0,1 zeigt sich der Oberbau als sehr stabil und die Durchführung eines Stopfvorganges ist nicht notwendig. Ein ehestmöglicher Einsatz von Instandhaltungsmaßnahmen sollte bei einer Verschlechterungsrate von größer 0,25 vorgesehen werden. [8]

Weiters zeigt sich, dass bei der Erreichung der Eingriffsschwelle die Elastizität eine wesentliche Rolle spielt. Bei zu steifen Verhältnissen im Oberbau führt dies durch die Belastung zu einem Zerreiben des Schotters. Hier treten nach etwa 15 Jahren bereits Probleme im Schotterbett auf. Bei diesen Verhältnissen wird die Verwendung von Holzschwellen aufgrund der höheren Elastizität empfohlen. Dies führt zu einer größeren Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotter und somit zu einer Verringerung der Spannungen auf die einzelnen Schotterkörner. [24]

### *Stopfen*

Die Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* wird zur Wiederherstellung der ursprünglichen Gleislage durchgeführt. [34] Dabei wird aufgrund einer Rüttelbewegung versucht, die Schotterkörner in eine höhere verdichtete Lage und in höhere Verspannungen gegeneinander zu bringen. Um diese Verspannungen und Verdichtungen bestmöglich herstellen zu können, wird das Schotterbett lagenweise eingebaut. Die Stopfpickel verursachen eine waagrechte Kraftauswirkung auf das Schotterbett. Der Gleisrost wird dabei angehoben, sodass es nach Überwindung der Reibung zwischen den Gesteinskörnern zu einer Umlagerung der Körner kommt. Eine Folgewirkung dieser Umlagerung ist die Absplitterung der Gesteinskörner. Dadurch werden bereits durch den Instandhaltungsvorgang Feinanteile in

den Oberbau eingetragen. Der entstehende Abrieb bei einem Stopfvorgang beträgt in etwa 1,8 bis 3,9 kg Feinbestandteile je Schwelle. Das entspricht bei einem Schottervolumen von 1050 kg pro Schwelle rund 0,17 bis 0,37 %. [33] Dies ist im Vergleich zum entstehenden Abrieb durch die Dauerbelastung jedoch ein sehr geringer Anteil, wodurch dieser nicht weiter von Bedeutung ist. [8] Beim Stopfvorgang stellt sich eine Verdichtung ein, welche im Bereich der verwendeten Stopfpickel am höchsten ist und gegen Schwellenende und Mitte abnimmt. [33] Eine gleichmäßige Verdichtung wird durch den Einsatz des sogenannten Dynamischen Gleisstabilisators bewirkt. Hierbei kommt es durch horizontale Schwingungen zu einer weiteren Umlagerung der Schotterkörner und dadurch zur weiteren Homogenisierung des Schotterbettes. [8][33] Den DGS (Dynamischen Gleisstabilisator) zeichnet seine geringe Schotterpressung von ca. 8 N/cm<sup>2</sup> bei der Verdichtung aus. Dadurch wird die Verdichtung auch als „kräftefrei und räumlich“ bezeichnet. Dies bewirkt eine Reduktion der Anfangssetzungen im Gleis. Des Weiteren werden Spitzendrücke aufgrund von höheren Kontaktflächen vermindert. Der Querverschiebewiderstand des Schotterbettes wird durch den Stopfvorgang um ca. 40 bis 50 % reduziert, dagegen führt der DGS zu einer Erhöhung der Gleisstabilität um bis zu 30 bis 40 %. [31] Der Stopfzyklus ist von den Randbedingungen der einzelnen Streckenabschnitte abhängig. Grobe Abschätzungen zeigen, dass bei Kernnetzstrecken ein Stopfintervall etwa alle vier bis fünf Jahre auftritt. [8]

### *Reinigung*

Eine *Schotterbettreinigung* muss aufgrund einer zu großen Menge an Feinanteilen im Schotterbett durchgeführt werden. Dabei wird der verunreinigte Schotter mittels einer Räumkette ausgehoben und danach mittels schwingenden Decks gesiebt. Hier wird das Über- und Unterkorn entfernt. Der gereinigte Schotter kann danach wieder eingebaut werden. Um nach dem Einbringen eine gute Stabilität des Oberbaus gewährleisten zu können, wird dieser danach gestopft und somit stabilisiert. Dabei spielt die Qualität des Gesteinsmaterials eine wesentliche Rolle. Die Instandhaltungsmaßnahmen, wie beispielsweise *Stopfen* und *Reinigen*, müssen seltener durchgeführt werden je besser die Gesteinsqualität ist. Generell ist aus den Kenntnissen der Praxis ersichtlich, dass ca. alle 15 Jahre eine *Schotterbettreinigung* und ca. alle 30 Jahre eine *Schotterbeterneuerung* durchgeführt werden müssen. Bei einem Lastwechsel von 30 bis 60 Millionen wird eine Gleisdurcharbeitung benötigt. [8] Dies sind jedoch nur generelle Richtwerte, die projektbezogen deutlich abweichen.

### *Vegetationskontrolle*

Vor allem für die Verschmutzung des Schotterbettes ist die Vegetationskontrolle eine wichtige Instandhaltungsmaßnahme. Dabei werden durch mechanischen Schnitt, Spritzen von Herbiziden oder Infrarotbehandlung vegetative Rückstände entfernt, da diese sonst eine Verunreinigung des Schotterbettes hervorrufen und die Entwässerung behindern. [8]

## 4 Life Cycle Management

Life Cycle Management verfolgt das Ziel der Umsetzung der Lebenszykluskosten-Strategie bezogen auf das Streckennetz. Dafür bedarf es an AnlagenmanagerInnen vor Ort, welche regionale Informationen und spezifische Randbedingungen der Strecken weiterleiten, um somit den technisch-wirtschaftlich optimalen Re-Investitionszeitpunkt zu ermitteln. [17]

Grundsätzlich kann das Ziel bzw. die Tätigkeit eines Life Cycle Managements auf ein paar generelle Entscheidungen heruntergebrochen werden, welche sich mit dem Verhalten und der Qualität des Gleises beschäftigen. Die Entscheidung zwischen Instandhaltung und Erneuerung ist die grundlegende Frage des Life Cycle Managements. Weiters müssen Entscheidungen bezüglich proaktiver oder minimaler Instandhaltung, der Untergrundverhältnisse oder Langsamfahrstellen für eine Liegedauererlängerung getroffen werden. [9] Diese grundlegenden Fragen führen uns zu der Aufgabe und den Herausforderungen der AnlagenmanagerInnen, das Gleichgewicht zwischen Instandhaltung und Erneuerung zu finden. [15][9] Ein weiteres Ziel ist die Reduktion der Kosten, indem die Kosten in Relation zum Nutzen im Sinne der Nachhaltigkeit abgewogen werden müssen. Somit gilt es, die effektive Gestaltung des Anlagenmanagements im Gesamtkonzept zu analysieren und nicht einzeln zu betrachten. [9][8][15][17] Life Cycle Management hat somit die Aufgabe, die potentiell zur Verfügung stehende, technische Nutzungsdauer in eine wirtschaftliche Nutzungsdauer zu transformieren. [10] Wichtig bei der Umsetzung eines Life Cycle Managements ist die klare Definition des Zieles, um die Arbeiten an diesem zu beschleunigen. [8]

Im Unternehmen ÖBB-Infrastruktur AG wird momentan ein proaktives Life Cycle Management umgesetzt, welches zu einem „integrierten Life Cycle Management – Modell Streckenansicht“ in den nächsten Jahren weiterentwickelt werden soll. Das proaktive Life Cycle Management wurde eingeführt, um ein Gesamtkonzept bezüglich Streckeninstandhaltung und -ausbau zu koordinieren und somit eine kundenorientierte und bedarfsgerechte Eisenbahninfrastruktur zu gewährleisten. [7]

### 4.1 Bewertung der Re-Investitionsprojekte

Seit 2011 überprüft die ÖBB-Infrastruktur AG ihre Re-Investitionsprojekte auf Basis der Lebenszykluskostenbetrachtung. Mit nachfolgend erläuteter Form der Projektbewertung hat die TU Graz eine Strategie entwickelt, welche bis jetzt in dieser Ausführung einzigartig ist. [1]

Circa 80 Re-Investitionsprojekte werden pro Jahr von der ÖBB-Infrastruktur AG an die TU Graz zur Analyse übermittelt. Die große Anzahl an auszuwertenden Projekten führt zu

einem hohen Aufwand, weshalb nicht alle Projekte detailliert analysiert werden können. Deswegen hat die TU Graz eine generelle Bewertung und eine detaillierte Bewertung der Re-Investitionsprojekte eingeführt. Bei diesen Bewertungen durchlaufen die Projekte Filter oder sogenannte Siebe, welche über die Notwendigkeit einer detaillierten Analyse entscheiden. Bei den vier Sieben werden die Messdaten, welche von der ÖBB-Infrastruktur AG bereitgestellt werden, mit Erwartungswerten verglichen. Entsprechen die Messwerte nicht den Erwartungswerten, bleiben die Projekte in den Sieben hängen und müssen genauer betrachtet werden. Diese Projekte werden dem detaillierten Projektbewertungsprozess zugeordnet, wofür die TU Graz die Messdaten und regionalen Informationen von den jeweiligen Streckenabschnitten, der Situation vor Ort, benötigt. [1][6] Diese Daten werden von der ÖBB-Infrastruktur AG über die „TUG Datenbank“ an die TU Graz weitergeleitet. Die Messdaten werden für jeden Querschnitt auf dem Streckennetz aufgezeichnet, diese entsprechen einer Länge von fünf Metern. [6][11] Da aufgrund der frequentierten Messung der Querschnitte viele Messdaten vorhanden sind, können Abschnitte mit dem gleichen Re-Investitionszeitpunkt zusammengefasst werden. Fällt ein Re-Investitionszeitpunkt in einem homogenen Abschnitt aus der Reihe, ist dies meist auf Einzelfehler zurückzuführen. [11] Nach dem Erhalt der wichtigsten Messdaten wird eine technische Evaluierung des Re-Investitionsabschnittes durchgeführt. Dabei ist wichtig, dass immer die alternativen Instandhaltungsmaßnahmen im Vergleich zur Re-Investition betrachtet werden. Dies erfolgt vor allem durch enge Zusammenarbeit mit den AnlagenmanagerInnen vor Ort, welche weitere Informationen über die Gleislagequalität und die vorhandenen Komponenten liefern. Danach folgt die wirtschaftliche Bewertung. Die ermittelten Ergebnisse werden den zuständigen AnlagenmanagerInnen übermittelt. [1][6] Durchlaufen Re-Investitionsprojekte diesen Prozess ohne in den Sieben hängen zu bleiben, können diese zum vorgeschlagenen Zeitpunkt re-investiert und an die ÖBB-Infrastruktur zurückgegeben werden. [1]

Generell werden bei dem Prozess vier Siebe unterschieden:

- I Sieb Langsamfahrstelle
- I Sieb Re-Investitionszeitpunkt, Re-Investitionslänge
- I Sieb Zustand Gleislage und Komponenten
- I Sieb Komponenten

[1][6]

Beim Sieb Langsamfahrstellen bleiben alle zweifelhaften Geschwindigkeitsreduktionen von Dauerlangsamfahrstellen im Filter hängen. Im Sieb Re-Investitionszeitpunkt wird das Anlagenalter mit der durchschnittlichen, erwarteten Nutzungsdauer (laut Standardelement) verglichen. Weiters werden die Nachbarabschnitte mitbetrachtet, um herauszufinden, ob diese zur gleichen Zeit re-investiert werden können. Beim Sieb Zustand wird der Zustand von Gleislage und Komponenten analysiert. Das Sieb für die Komponenten überprüft den

Einsatz der Komponenten in Bezug auf die vorgeschriebenen Oberbaukomponenten laut Lebenszykluskosten-Strategie. [1]

Grundsätzlich durchlaufen aufgrund des zeitlichen Aufwandes nur Re-Investitionsprojekte ab einer Höhe von ca. 5 Millionen Euro den detaillierten Life Cycle Management Prozess.



## 5 Analyse der Re-Investitionsprojekte

### 5.1 Aufgabenstellung

Für die Analyse wurden fünf Re-Investitionsprojekte der ÖBB-Infrastruktur AG herangezogen. Dabei wurde von der TU Graz bereits eine Projektbewertung durchgeführt und der optimale Re-Investitionszeitpunkt ermittelt. Dieser wurde bei den folgenden Projekten seitens der ÖBB-Infrastruktur AG aber auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Die Analyse beinhaltet die Beschreibung der Situation zum Zeitpunkt der Bewertung, sowie die zurzeit vorliegende Gleislagequalität. Des Weiteren soll ein Vergleich der tatsächlich durchgeführten zu den prognostizierten Instandhaltungen stattfinden. Die Analyse bezieht sich auf die Maßnahmen *Stopfen*, *Schleifen* und *Schotterbettreinigung*. Zur Darstellung wird der prognostizierte Arbeitszyklus dem modifizierten gegenübergestellt. Abschließend soll eine Interpretation der Analyse, bezogen auf die jeweiligen Projekte, durchgeführt werden. Zum besseren Verständnis werden alle zur Auswertung fehlenden Daten mit „keine Daten vorhanden“ bzw. im Diagrammbereich mit einem „?“ gekennzeichnet.

### 5.2 Projekt 1: km 140,190 – 147,396, Gleis 2

Beim Re-Investitionsprojekt 1 wurde seitens der ÖBB eine Gleisneulage in einer Länge von 7206 m für das Gleis 2 vorgeschlagen. Dieses Projekt wird zu Beginn und gegen Ende durch einen Weichenbereich begrenzt. Der gesamte Streckenabschnitt befindet sich auf einem Bereich mit Radien größer 600 m. Die zulässige Geschwindigkeit laut VzG (Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten) ergibt sich in diesem Projekt zu 130 km/h. Die Belastung beträgt 34.000 GesBt/Tag. Die Projektbewertung seitens der TU Graz erfolgte im Jahr 2012 und ergab für den optimalen Re-Investitionszeitpunkt das Jahr 2013 bzw. 2017. Diese beiden Re-Investitionszeitpunkte ergeben sich aufgrund der guten Gleislagequalität im Abschnitt 3 und den auftretenden Head Checks in den anderen Bereichen. [42]

#### Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Zum Zeitpunkt der Bewertung bestand der Oberbau aus Buchenholzschwelen aus dem Jahr 1980, sowie längsverschweißten 54E2 Schienen. Die im Jahr 1978 bzw. 1998 eingebauten Schienen weisen eine Güte von R260 auf. [42]

Auf den gesamten Bogenbereichen im Gleis befinden sich Head Checks mit einer Risstiefe zwischen 0,5 und 3,0 mm. Teilweise wird die Risstiefe von 3,0 mm auch überschritten. In Bezug auf Riffel- und Schlupfwellen sind keine Auffälligkeiten über den gesamten Projektbereich ersichtlich. In drei Bereichen zeigen sich leichte Bildungen dieser, jedoch sind hier noch keine Maßnahmen erforderlich. Die Seiten- und Höhenabnutzung weist einen maxi-

malen Verschleiß von 6 mm auf. Darüber hinaus ist im Schotter eine durchgehende Verunreinigung und eine nicht ausreichend vorhandene Entwässerung und Belüftung erkennlich. [42]

Das Re-Investitionsprojekt wurde in fünf Abschnitte unterteilt, wobei der erste Bereich bereits 2009 erneuert wurde und dieser somit für die nächste Re-Investition nicht mitbetrachtet wird. Dadurch ergibt sich der zu re-investierende Bereich von km 140,400 bis 147,396 zu einer Länge von 6,996 km. Die Unterteilung des Re-Investitionsprojektes in vier Abschnitte erfolgte aufgrund der auftretenden Head Checks in den Bogenbereichen. [42]

#### *Abschnitt 1: km 140,400 – 141,095*

Im ersten Abschnitt von km 140,400 bis 141,095 ist die Schienenneigung aufgrund des fehlenden Kraftschlusses bereits bei ca. 0°. Zusätzlich pressen sich hier die Rippenplatten bereits in die Holzschwellen ein. Zudem weist der Schotter Verunreinigungen auf. Aufgrund dessen ergibt sich der optimale Re-Investitionszeitpunkt dieses Abschnittes im Jahr 2014. Bei einer ausbleibenden Re-Investition im Jahr 2014 würde es, aufgrund des aktuellen Zustandes, zu steigenden Instandhaltungsmaßnahmen kommen. Dies würde eine steigende Mängelbehebung im Umfang von 25 %, ein bis 2016 zweijähriges und danach jährliches Stopfintervall und Einzelfehlerstopfungen zur Folge haben. Aufgrund einer Begehung am 28.06.2012 wurde auch ein *Einzelschwellenwechsel (ESW)* von 20 % prognostiziert. [42]

#### *Abschnitt 2: km 141,095 – 143,300*

Im Abschnitt 2 befindet sich von km 142,450 bis 142,650 eine Haltestelle. Diese fällt in den Einflussbereich einer Brücke. Bei der Eisenbahnkreuzung (EK) von km 141,250 bis 141,600 wurden bereits 2006 die Komponenten auf 60E1 Schienen und Betonschwellen getauscht. [42]

Trotz Schleifeinsatz im Jahr 2011 wurden bei der Begehung im Jahr 2012 zwei Bereiche mit Head Checks ersichtlich. Diese befinden sich von km 141,400 bis 142,500 und von km 142,600 bis 143,300. Aufgrund der vorhandenen Head Checks wäre bei einer nicht durchgeführten Re-Investition ein *Außenschienenwechsel* im Jahr 2013 notwendig. Darüber hinaus tritt auch hier verunreinigter Schotter auf. Die Entwässerung wird als nicht ausreichend erachtet und es zeigt sich ein feuchtes und unebenes Gleisplanum. Der fehlende Kraftschluss führt auch in diesem Bereich zu einer Schienenneigung von nur mehr 0°. Zusätzlich pressen sich die Rippenplatten in die Holzschwelle ein. Durch die Messsignale werden hier drei Einzelfehler erkennbar. Bei km 141,310 ist dies auf einen Eisenbahnkreuz-

zungsbereich und bei km 142,570 auf einen Brückenbereich zurückzuführen. Für den auftretenden Einzelfehler bei km 141,580 ist keine Ursache bekannt. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich für diesen Bereich im Jahr 2013. Bei nicht getätigter Re-Investition werden eine steigende Mängelbehebung im Ausmaß von 25 %, ein verdichtetes Stopfintervall und ein *Einzelschwellenwechsel* im Umfang von 200 Stück notwendig sein. [42]

#### *Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400*

Mit einer Länge von 3,1 km ergibt sich der Abschnitt 3 als längster der vier Abschnitte. Bei diesem fällt der optimale Re-Investitionszeitpunkt auf das Jahr 2017. Der Unterbau weist in einigen Bereichen ein unebenes Gleisplanum auf. Überdies zeigt sich von km 144,380 bis 144,550 über eine Länge von 170 m eine schlechte Gleislage infolge einer nicht ausreichend vorhandenen Entwässerung. Aus den Messsignalen ist darüber hinaus bei km 144,220 ein Einzelfehler unbekannter Ursache erkennbar. Aufgrund des aktuellen Zustandes ergeben sich folgende Instandhaltungsmaßnahmen: ein *Einzelschwellenwechsel* im Umfang von 5 % im Jahr 2017 und ein verdichtetes Stopfintervall. Zum Zeitpunkt der Bewertung erweist sich die Holzschwelle, im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Bereichen, als stabil. [42]

#### *Abschnitt 4: km 146,400 – 147,395*

Im Abschnitt 4 wurden bei der Begehung im Jahr 2012 trotz Schleifeinsatzes 2011 von km 147,000 bis 147,396 Head Checks sichtbar. Dadurch würde sich bei einer ausbleibenden Re-Investition im Jahr 2012 ein *Außenschienenwechsel* im Jahr 2013 ergeben. Die Schienenneigung geht auch in diesem Bereich aufgrund des fehlenden Kraftschlusses gegen 0°. Außerdem pressen sich bereits die Rippenplatten in die Schwellen ein. Der Unterbau weist über 400 m ein feuchtes Gleisplanum auf. Zum Zeitpunkt der Begehung im Jahr 2012 wurde ein bereits durchgeführter teilweiser *Einzelschwellenwechsel* sichtbar. Der Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich für diesen Abschnitt bereits im Jahr 2012 und sollte somit ehestmöglich umgesetzt werden. Bei ausbleibender Re-Investition wird, zufolge des aktuellen Zustandes, eine erhöhte Mängelbehebung im Umfang von 25 % notwendig. Darüber hinaus wurde bei der Begehung im Jahr 2012 ersichtlich, dass ein *Einzelschwellenwechsel* im Ausmaß von 150 Stück durchgeführt werden müsste. [42]

#### *Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Aufgrund der Projektbewertung seitens der TU Graz im Jahr 2012 wurde für den Abschnitt 1, 2 und 4 eine Re-Investition im Jahr 2013 und für den Abschnitt 3 im Jahr 2017 als sinnvoll erachtet. Für die Wahl der Komponenten wurde ein schwerer Oberbau mit 60E1 Schienen, besohnten Betonschwellen und einer Güte von R260 bzw. in Bögen von R350 HT

getroffen. Von km 142,344 bis 142,581 wurde eine konventionelle Unterbausanierung vorgeschlagen. Darüber hinaus sollen von km 140,400 bis 140,600 die Bahngräben reprofiliert und der Randbahnsteig von der Haltestelle erneuert werden. [42]

#### Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)

Die Re-Investition für den Abschnitt 1 und den Abschnitt 2 wurde, wie vorgeschlagen, 2013 durchgeführt. Da die in diesen Abschnitten befindliche Eisenbahnkreuzung bereits 2006 erneuert wurde, wurde die Re-Investition dieser nicht umgesetzt. Bei den Komponenten wurden, wie in der Projektbewertung vorgeschlagen, 60E1 Schienen auf besohlenen Betonschwellen und einer Güte von R350 HT eingebaut. Das Ende des Re-Investitionsabschnittes im Jahr 2013 wurde hinsichtlich eines Brückenbereiches bei km 143,318 gewählt. [42]

Die Erneuerung für den Abschnitt 3 und 4 fand 2016 statt. Dabei wurde ebenfalls ein schwerer Oberbau mit 60E1 Schienen und besohlenen Betonschwellen eingebaut. Die Güte der Schiene wurde in den geraden Bereichen mit R260 und in den Bogenbereichen mit R350 HT gewählt. Aufgrund eines beginnenden Weichenbereiches bei km 147,308 wurde der Abschnitt 4 dort vorzeitig beendet. Im letzten Bereich mit einer Länge von 59 m sind noch die Komponenten des bei der Bewertung vorhandenen Oberbaus eingebaut. [42]

#### Langsamfahrstelle

Außerdem wurde von km 143,300 bis 147,400 auf einer Länge von 4,1 km eine Langsamfahrstelle eingeführt. In diesem Bereich wird seit 08.09.2014 zufolge des vorhandenen schadhaften Oberbaus die Geschwindigkeit von 130 km/h auf 100 km/h reduziert. Dieser Bereich fällt mit dem Re-Investitionsabschnitt 3 und 4 zusammen und ist bis Oktober 2016 prognostiziert. Jedoch wurde die Geschwindigkeitsreduktion im Zuge der Re-Investition im Jahr 2016 wieder aufgelassen. [42]

#### Vergleich Prognose und IST

Im Vergleich des prognostizierten optimalen Re-Investitionszeitpunktes zur umgesetzten Re-Investition zeigt sich, dass die Abschnitte 1 und 2 wie vorgeschlagen durchgeführt wurden. Der Re-Investitionszeitpunkt für die Abschnitte 3 und 4 wurde zeitlich verschoben. Dabei wurde der Abschnitt 3 im Jahr 2016 anstatt 2017 umgesetzt. Der Abschnitt 4 wurde trotz einer Prognose im Jahr 2013 erst 2016 re-investiert. In Bezug auf die Komponenten wurden, wie vorgeschlagen, 60E1 Schienen und besohlte Betonschwellen eingebaut. [42]

#### Abschnitt 3 und 4:

Der Grund für die frühzeitige Re-Investition im Bereich 3 ist auf den Abschnitt 4 zurückzuführen. Hinsichtlich auftretender Head Checks im Re-Investitionsabschnitt 4 musste dieser

2016 umgesetzt werden. Dabei wurde anlässlich der kurzen Re-Investitionslänge des Abschnittes 4 der Bereich 3 ebenfalls re-investiert. Laut Projektbewertung wurde bei einer ausbleibenden Re-Investition des Abschnittes 4 ein *Außenschienenwechsel* im Jahr 2013 prognostiziert. Die Umsetzung dieses Tausches kann allerdings aufgrund der Re-Investition im Jahr 2016 aus den Daten des iOberbau nicht nachvollzogen werden. Aufgrund von fehlenden Messsignalen kann auch aus der Analyse der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung keine sichere Aussage über den *Außenschienenwechsel* getroffen werden. [42]

Aus den Messsignalen ist von km 144,180 bis 144,640 ein Bereich im Abschnitt 3 aufgrund eines erhöhten Stopfintervalls auffällig. In den Jahren 2013 und 2014 wurden fünf Stopfeinsätze durchgeführt. Bereits in der Vorhabensbeschreibung wird in diesen Abschnitt auf die schlechte Gleislage verwiesen. Des Weiteren tritt in diesem Bereich bei km 143,85 ein Schienenfehler auf, welcher sich seit 2008 jedes Jahr verschlimmert. Dieser hat laut NATAS bereits die Schienenfehlerdefinition U2/S2 erreicht. [42]

#### *Unterbausanierung, Entwässerung, Randbahnsteige*

Zusätzlich wurde für das Re-Investitionsprojekt 1 eine konventionelle Unterbausanierung vorgeschlagen. Diese wurde jedoch nicht über den prognostizierten Bereich ausgeführt. Außerdem wurden eine Reprofilierung der Entwässerungsgräben und eine Erneuerung des Randbahnsteiges angeordnet. Zu diesen Ausführungen sind allerdings keine Daten vorhanden. [42]

#### Modifizierter Arbeitszyklus

In den folgenden Tabellen werden die Arbeitszyklen für jeden einzelnen Abschnitt aufgelistet. Dabei wird ein Vergleich bezüglich der Prognose im Jahr 2012 und der umgesetzten Instandhaltungsmaßnahme geführt. Die Spalte „TUG“ enthält den prognostizierten Arbeitsaufwand und die Spalte „Umsetzung“ die tatsächlich durchgeführten Maßnahmen. Die Zahlen stellen die Länge der durchgeführten bzw. prognostizierten Instandhaltungsmaßnahmen über den gesamten Re-Investitionsabschnitt im Zeitraum von 2011 bis 2015 in Bezug zur Abschnittslänge dar.

Da zum Zeitpunkt der Bewertung die Daten aus dem Jahr 2011 noch nicht vorhanden waren, werden die Maschineneinsätze beginnend von 2011 bis zur Re-Investition im Jahr 2015 mitberücksichtigt. Aufgrund der Umsetzung der Abschnitte 1 und 2 zum vorgeschlagenen Zeitpunkt werden anschließend diese Arbeitszyklen nicht mitbetrachtet.

*Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	3	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,86
<b>Schleifen</b>	1	0,75

Tabelle 1 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 1, Abschnitt 3 [42]

*Abschnitt 4: km 146,400 – 147,395 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,18	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,11	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,45
<b>Schleifen</b>	1	0,94

Tabelle 2 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 1, Abschnitt 4 [42]

Die detaillierte Auflistung der einzelnen Bereiche und der zusammengefassten Daten befinden sich im Anhang. [42]

**FAZIT:**

Beim Re-Investitionsprojekt 1 wird zur Analyse nur der Abschnitt 4 betrachtet, aufgrund der Umsetzung der Abschnitte 1 und 2 zum vorgeschlagenen Zeitpunkt. Da nur Re-Investitionsabschnitte betrachtet werden, welche auf einen späteren Zeitpunkt verschoben wurden, kann der Abschnitt 3 nicht mitberücksichtigt werden. Dieser wurde, im Vergleich zu Abschnitt 4, zeitlich vorverlegt.

Der prognostizierte *Außenschienenwechsel* im Jahr 2013 kann mit den vorhandenen Daten nicht verifiziert werden. Aus der Datenbank iOberbau sind aufgrund der Re-Investition im Jahr 2016 nur die zurzeit im Gleis vorhandenen Komponenten ersichtlich. Ebenfalls war aufgrund der nicht vollständigen Messdaten bei der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung eine Aussage über den Wechsel der Schiene nicht möglich.

In Bezug auf die Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* ist aus der nachfolgenden Abbildung 15 ersichtlich, dass für den Abschnitt 4 eine Länge von 1992 m im Zeitraum von 2011 bis 2015 prognostiziert wurde. Dies entspricht der doppelten Abschnittslänge. Davon wurde auf 1440 m tatsächlich ein Stopfeinsatz durchgeführt. Dies bedeutet, dass in etwa die 1,5-fache Länge des Abschnittes gestopft wurde. Aus Abbildung 16 ist ersichtlich, dass von der prognostizierten Länge 72,29 % tatsächlich instandgehalten wurden. In dieser Graphik wird der prognostizierte Instandhaltungsaufwand als Optimum angenommen und ergibt sich somit zu 100 %. Die durchgeführte Instandhaltung wird auf diesen Wert bezogen und zeigt den relativen Prozentsatz zur Prognose.

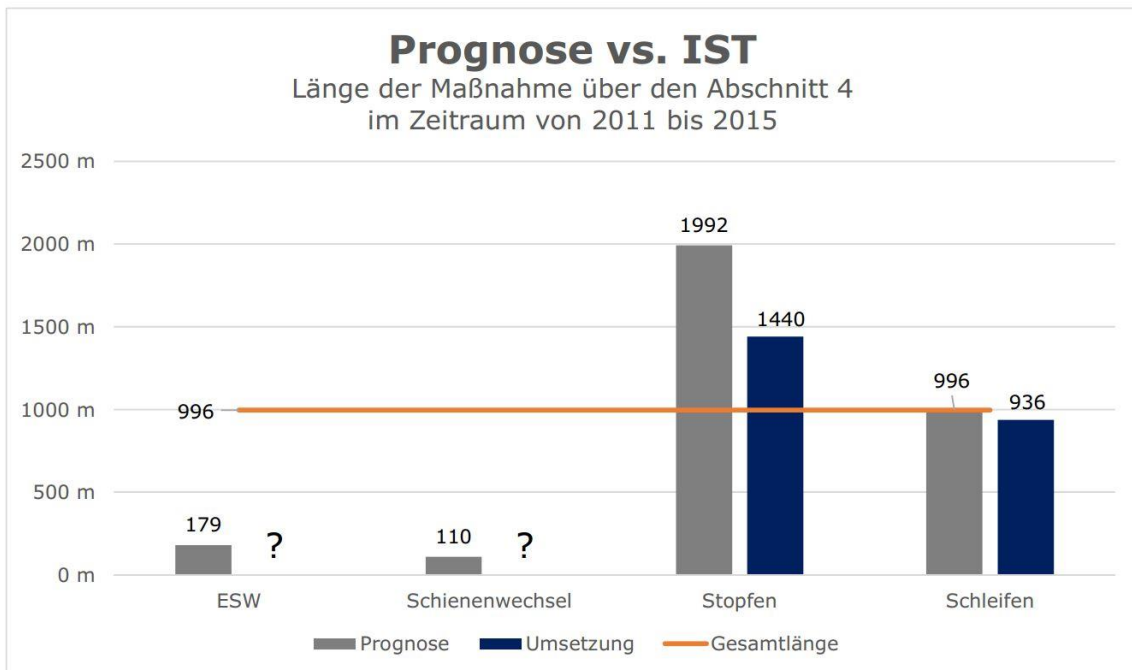


Abbildung 15 Länge der Maßnahme über Abschnitt 4

Beim Schleifeinsatz ist erkenntlich, dass die Prognose der TU Graz bereits sehr gut mit der Durchführung übereinstimmt. Hier wurde ein Schleifeinsatz auf der gesamten Abschnittslänge vorhergesehen. Dabei wurden von der Prognose 94 % tatsächlich umgesetzt. Dies entspricht einer Länge von 936 m. Hierbei wurde der Abschnitt innerhalb von vier Jahren insgesamt einmal geschliffen. Es gab somit keine Bereiche, bei denen vermehrt ein Schleifeinsatz durchgeführt wurde.

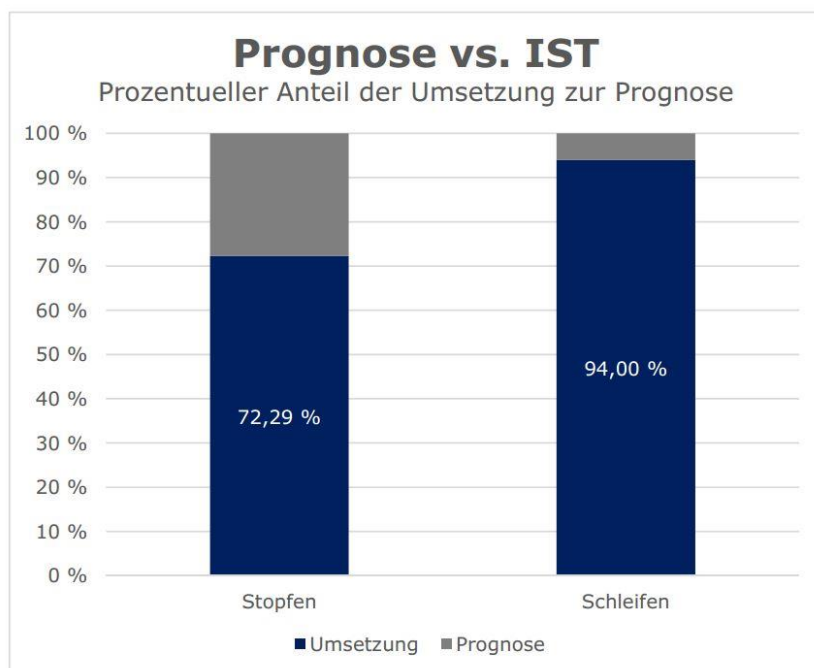


Abbildung 16 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

### 5.3 Projekt 2: km 35,450 – 39,300, Gleis 2

Für das Re-Investitionsprojekt 2 wurde eine Gleisneulage am Gleis 2 über eine Länge von 3,85 km vorgeschlagen. Zusätzlich soll eine Erneuerung des Bahnsteiges 2 bei einer Haltestelle über eine Länge von 240 m durchgeführt werden. Der zu erneuernde Bereich ist einer Belastung von 51.244 GesBt/Tag (Gesamtbruttotonnen pro Tag) ausgesetzt und befindet sich in einem Bereich mit Radien größer 600 m. Die zulässige Geschwindigkeit für dieses Re-Investitionsprojekt liegt bei 140 km/h. Für das im Jahr 2012 bewertete Projekt wurde von der TU Graz der optimale Re-Investitionszeitpunkt im Jahr 2015 ermittelt. [43]

#### Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Zum Zeitpunkt der Bewertung befinden sich im Oberbau Buchenholzschwellen und 54E2 Schienen aus dem Jahr 1989. Die Schiene weist durchgehend eine Güte von R260 auf. Aufgrund des homogenen Gleislageverhaltens über den gesamten Re-Investitionsbereich wird dieser als ein gesamter Abschnitt betrachtet. [43]

Infolge des hohen Alters der Holzschwellen ergibt sich die Notwendigkeit, diese zu tauschen. Aus den Messsignalen sind ein Rauschen der Schienenneigung und eine teilweise Verengung der Spur sichtbar. Bereits zum Zeitpunkt der Bewertung weisen einige Bereiche eine hohe Verschlechterungsrate auf. Diese ist auf die Zerstörung des Schotters zurückzuführen und bedarf bald eines unterjährigen Stopfeinsatzes. Zwischen km 36,600 und 36,850 ist bereits im Jahr 2012, zufolge der hohen Verschlechterungsrate von  $b=0,56$ , ein unterjähriges Stopfintervall notwendig. Die Gleislage zeigt, exklusive der Einzelfehler, auf 65 % der Gesamtlänge eine schlechte Qualität. In der folgenden Tabelle werden die kritischen Bereiche hinsichtlich der Verschlechterungsrate aufgelistet:

Bereich	Verschlechterungsrate
km 35,450 – 36,200	0,28
km 37,200 – 37,580	0,38
km 37,700 – 37,800	0,37
km 37,900 – 38,100	0,27
km 38,500 – 39,300	0,21

Tabelle 3 Gleislagequalität, Projekt 2 [43]

Aufgrund der großen Anzahl von Bereichen mit hoher Verschlechterungsrate und zusätzlich vier auftretenden Einzelfehlern würde es bei einer ausbleibenden Re-Investition zu einer steigenden Mängelbehebung im Umfang von 10 %, einem großteils unterjährigen Stopfintervall und einer *Schotterbettreinigung* im Ausmaß von 30 % des Abschnittes kommen. Darüber hinaus ist die Einführung einer Langsamfahrstelle bei einer nicht getätigten Re-Investition in diesem Bereich prognostiziert. [43]



*Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Aus dem Annuitätenmonitoring ergibt sich der optimale Re-Investitionszeitpunkt im Jahr 2015. Die Re-Investitionslänge kann laut TU Graz nicht bestätigt werden. Aufgrund der ähnlich eingebauten Komponenten hinsichtlich des Alters vor dem Re-Investitionsabschnitt wird eine Verlängerung des Projektes vorgesehen. Die Re-Investitionslänge ergibt sich aufgrund dessen von km 35,000 bis 39,300 zu einer Länge von 4,3 km. Für die vorgeschlagene Re-Investition wird ein Tausch der Komponenten auf einen schweren Oberbau mit 60E1 und besohlenen Betonschwellen vorgeschlagen. [43]

*Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)*

Bei diesem Re-Investitionsprojekt wurde seit 2012 kein Wechsel der Komponenten durchgeführt. Die eingebauten Komponenten entsprechen, wie zum Zeitpunkt der Bewertung, Holzschwellen mit 54E2 Schienen und einer Güte von R260. Allerdings ist für dieses Jahr noch eine Erneuerung des Oberbaus geplant. [43]

Aus der Projektliste im Jahr 2015 ist ersichtlich, dass die Schienen bereits ihre Grenzbelastung überschritten haben und dies zu erhöhten Instandhaltungsmaßnahmen führt. Aufgrund dessen wurden auf kurzen Bereichen sogenannte Passstücke eingeführt. Dies entspricht einem kurzen *Schienenwechsel*, welcher hinsichtlich auftretender Ultraschallfehler oder Head Checks durchgeführt wurde. Zudem pressen sich die Rippenplatten bereits in die Holzschwellen ein und verursachen dadurch Spurweitenfehler. Außerdem wird eine kurzfristige Langsamfahrstelle, zufolge des schlechten Untergrundes, prognostiziert. [43]

Darüber hinaus wurde auf dem gesamten Abschnitt in den Jahren 2014 und 2015 ein Stopfvorgang durchgeführt. Des Weiteren wurde im Bereich von km 35,800 bis 36,180 seit 2010 und im Bereich von km 36,520 bis 37,000 seit 2009 jedes Jahr ein MDZ (Mechanischer Durarbeitszug)-Einsatz getätigt. [43]

*Langsamfahrstelle*

Die bei ausbleibender Re-Investition prognostizierte Langsamfahrstelle aus der Vorhabensbeschreibung wurde nicht umgesetzt. [43]

Vergleich Prognose und IST

Der von der TU Graz vorgeschlagene optimale Re-Investitionszeitpunkt im Jahr 2015 wurde bei diesem Projekt nicht umgesetzt. Eine Re-Investition ist bis zum jetzigen Zeitpunkt im Jahr 2016 noch nicht erfolgt, allerdings ist die Durchführung der Erneuerung noch für dieses Jahr geplant. Die Re-Investitionslänge wurde im Vergleich zur von der ÖBB-Infrastruktur AG beauftragten Länge um 450 m erweitert. Die Umsetzung der vorgeschlagenen Länge konnte jedoch nicht verifiziert werden, da bei der Auswertung diese Daten nicht vorhanden waren. Die Komponenten wurden in diesem Abschnitt noch nicht getauscht und es befinden sich anstelle von einem schweren Oberbau Holzschwellen mit 54E2 Schienen im Gleis. [43]

Modifizierter Arbeitszyklus

Wie bereits beim Re-Investitionsprojekt 1 beschrieben, wird nachfolgend der Arbeitszyklus für das Re-Investitionsprojekt im Vergleich Prognose und IST-Zustand dargestellt. In der Spalte „TUG“ wird die Prognose und in der Spalte „Umsetzung“ die tatsächliche Umsetzung angegeben. Die Zahlen im Arbeitszyklus stellen wiederum die umgesetzte bzw. prognostizierte Länge in Bezug zur Abschnittslänge dar. Aufgrund der fehlenden Daten in Bezug auf die getätigten Instandhaltungsmaßnahmen werden hier die Maschineneinsätze im Zeitraum 2011 bis 2015 berücksichtigt.

*Abschnitt 1: km 35,450 – 39,300 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	8	Keine Daten vorhanden
<b>Schotterbettreinigung</b>	0,3	0,12
<b>Stopfen</b>	5,3	3,96
<b>Schleifen</b>	/	0,09

Tabelle 4 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 2, Abschnitt 1 [43]

Die genaue Beschreibung der kritischen Bereiche und die Zusammenfassung der angegebenen Daten befinden sich im Anhang. [43]

Fazit:

Beim Re-Investitionsprojekt 2 wurde bei ausbleibender Re-Investition im Jahr 2015 eine *Schotterbettreinigung* im Ausmaß von 30 % der Gesamtlänge prognostiziert. Die *Schotterbettreinigung* wurde im Jahr 2015 auf zwei Bereichen im Re-Investitionsprojekt durchgeführt. Dabei wurden 12 % der Gesamtlänge, also in etwa 450 m, gereinigt. Dies entspricht ausgehend von der Prognose einem Prozentsatz von 38,96.

Zu den im Arbeitszyklus angeführten „Zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen“ ist es schwer Informationen zu bekommen, da hierbei vor allem kleine Instandhaltungsarbeiten,

wie beispielsweise *Kleineisentauch* oder *Einzelfehlerstopfungen*, zählen. Hier ist die tatsächliche Umsetzung nicht ausreichend transparent.

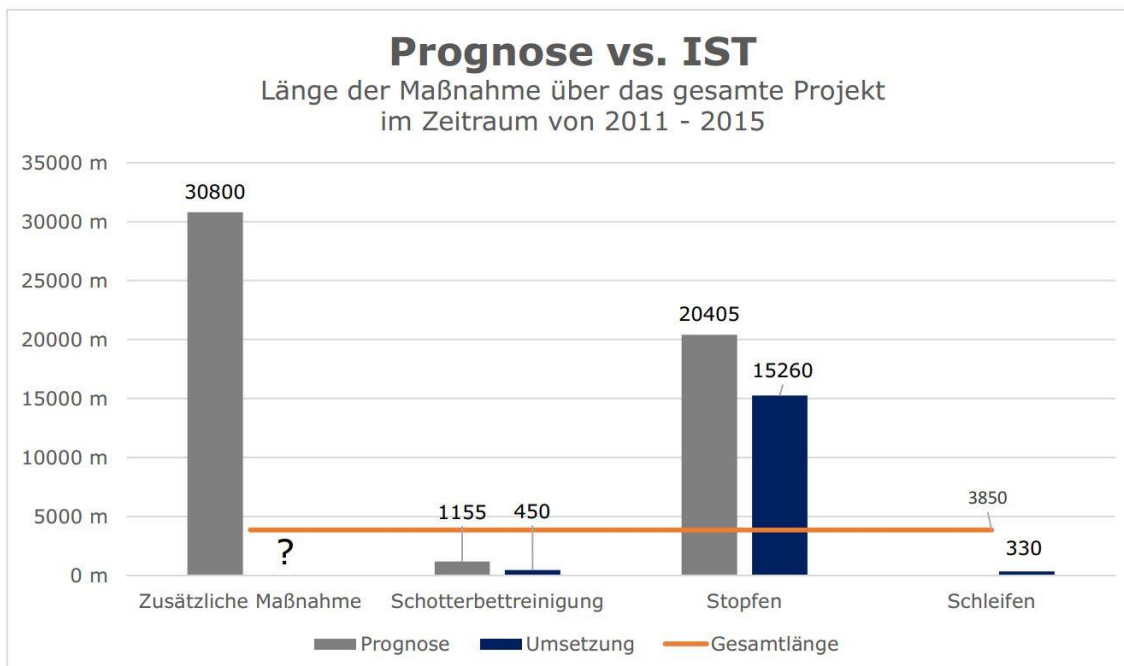


Abbildung 17 Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt

Bei der Prognose des Stopfeinsatzes wurde die Durchführung aufgrund der schlechten Gleislagequalität auf einer Länge von 20405 m vorhergesagt. Dies entspricht der 5,3-fachen Gesamtlänge des Projektes. Tatsächlich wurde auf 15260 m ein MDZ-Einsatz umgesetzt. Seit 2011 wurde ein jährliches Stopfintervall über die gesamte Projektlänge durchgeführt. Dabei wurde nur in den Jahren 2011 und 2013 in etwa 500 bis 700 m nicht gestopft. Im Jahr 2015 wurde zusätzlich zum jährlichen Stopfintervall auf noch drei Bereichen mit einer Länge von ca. 200 bis 400 m ein Maschineneinsatz durchgeführt. Eine Ausnahme bildet das Jahr 2012, wo 2 km der Projektlänge nicht umgesetzt wurden. Das bedeutet, dass von der prognostizierten Länge von 20405 m 74,78 % tatsächlich instandgehalten wurden.

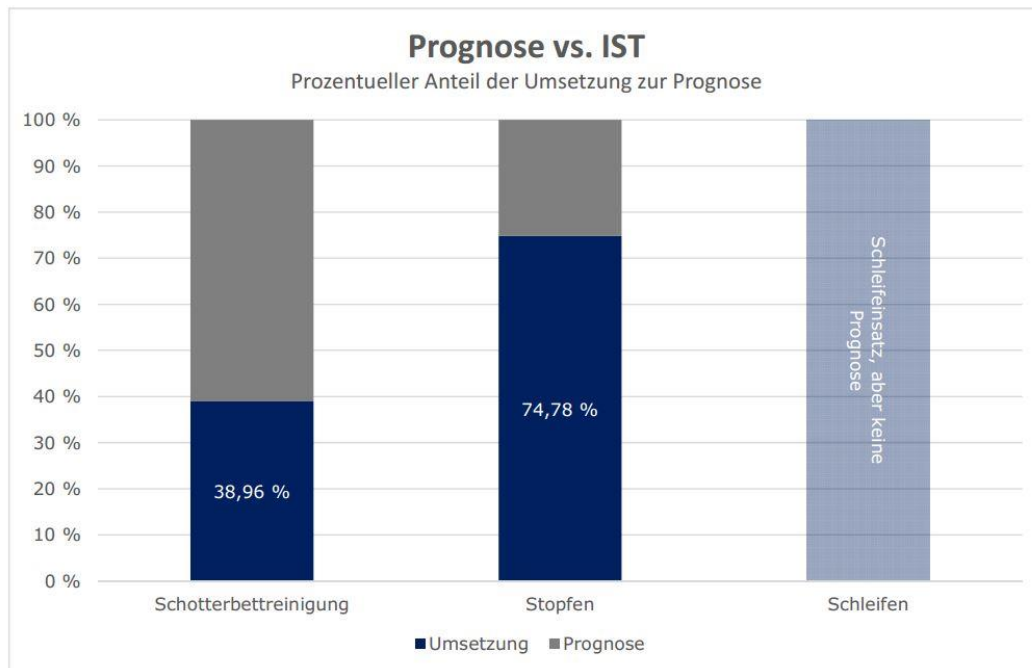


Abbildung 18 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

In Bezug auf die Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* wurde kein Maschineneinsatz vorhergesagt, jedoch wurde auf 330 m ein solcher vorgenommen. Dies entspricht in etwa 9 % der Gesamtlänge. Aus der obenstehenden Graphik ist dies durch den hellblauen Balken dargestellt.

#### 5.4 Projekt 3: km 17,325 – 21,616, Gleis 1

Bei dem Re-Investitionsprojekt 3 wurde seitens der ÖBB-Infrastruktur AG eine Gleisneulage in der Länge von 4,291 km für das Gleis 1 vorgeschlagen. Der Beginn und das Ende des Re-Investitionsabschnittes werden durch einen Weichenbereich begrenzt. Außerdem befinden sich in diesem Re-Investitionsprojekt zwei Haltestellen, von km 18,310 bis 18,900 und von km 19,955 bis 20,560. Auf diesem Streckenabschnitt sind Bögen mit Radien größer 600 m vorhanden. Die zulässige Geschwindigkeit laut VzG beträgt bis km 21,010 140 km/h, danach 120 km/h. Die Belastung pro Tag ergibt sich zu 12.000 Gesamtbruttotonnen. Das Projekt durchlief 2012 die Projektbewertung der TU Graz und der optimale Re-Investitionszeitpunkt wurde für das Jahr 2012 ermittelt. Somit wäre eine ehestmögliche Erneuerung sinnvoll. [44]

##### Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Zum Zeitpunkt der Bewertung befinden sich im Gleis Holzschwellen aus dem Jahr 1976 bzw. 1980. Hauptsächlich wurden 49E1 Schienen von einer Güte von R200 bzw. R260 eingebaut. Gegen Ende des Re-Investitionsprojektes wurde bereits 2011 ein Wechsel der Komponenten auf einen schweren Oberbau und zusätzlich eine *Schotterbettreinigung* durchgeführt. Hinsichtlich dessen wird die Re-Investitionslänge nur bis km 21,393 betrachtet. In der folgenden Tabelle werden die vorhandenen Komponenten detailliert aufgelistet. [44]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 17,325 – 17,336	54E2, lv (1997)	Bu1, RP (1976)	R260
km 17,336 – 18,741	49E1, lv (1976)	Bu1, RP (1976)	R200
km 18,741 – 20,000	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R200
km 20,000 – 21,393	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260
km 21,393 – 21,615	60E1, lv (2011)	K1, SKL14 (2011)	R260

Tabelle 5 Komponenten, Projekt 3 [44]

Aus den Messsignalen des betrachteten Re-Investitionsabschnittes ist bei der Schienenneigung ein auffälliges Rauschen zufolge des Verlustes des Kraftschlusses sichtbar. Zudem ergibt sich hier eine Spurverengung um bis zu -7 mm. Die Gleislagequalität weist auf 20 % der gesamten Re-Investitionslänge, exklusive der Gleisneulage, ein schlechtes Verhalten auf. Dieses ist auf eine nicht ausreichend vorhandene Entwässerung und ein feuchtes Gleisplanum zurückzuführen. [44]

Im Re-Investitionsprojekt treten einige Einzelfehler auf, die sich meist auf die zahlreichen Brücken und Durchlässe zurückführen lassen. Nachfolgend werden die Einzelfehler aufgelistet. [44]

*Einzelfehler:*

- km 17,675
- km 17,725
- km 18,220
- km 18,860
- km 20,298
- km 20,690
- km 20,960
- km 21,090

*Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Laut Projektbewertung der TU Graz ist der optimale Re-Investitionszeitpunkt bereits im Jahr 2012 erreicht und es sollte eine ehest mögliche Erneuerung durchgeführt werden. Die Re-Investitionslänge ergibt sich von km 17,325 bis 21,393 zu einer Länge von 4,068 km. Dabei sollen die Komponenten auf einen schweren Oberbau mit 60E1 Schienen und behohnten Betonschwellen getauscht werden. Aufgrund des Wechsels von einem leichten zu einem schweren Oberbau sollte auf eine Planumsverbesserung und die Entwässerung achtgegeben werden. [44]

*Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)*

In Bezug auf die Komponenten wurde im Vergleich zum Bewertungsjahr 2012 kein Wechsel durchgeführt. Wie zum Zeitpunkt der Bewertung befinden sich 49E1 Schienen und Holzschwellen im Gleis. [44]

*Langsamfahrstelle*

Laut Projektliste 2015 wird bei einer ausbleibenden Erneuerung eine Langsamfahrstelle über den gesamten Abschnitt prognostiziert. Diese soll aufgrund der Überschreitung der maximalen Höhenabnutzung eingeführt werden. Trotz eines ausbleibenden *Schienenwechsels* wurde die prognostizierte Langsamfahrstelle nicht umgesetzt, da dieser Bereich einer Ausnahmeregelung unterliegt. [44]

*Spurweite- und Fraktalanalyse:*

Bei der Analyse der Spurweite wurde ab km 21,400 eine deutliche Verbesserung der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung sichtbar. Diese Verbesserung ist jedoch auf die Neulage im Jahr 2011 zurückzuführen. Des Weiteren wurde bei der Fraktalanalyse die Korrektur einiger Bereiche erkenntlich. Dies ist allerdings mit dem Einsatz eines Mechanischen Durcharbeitungszuges begründbar. [44]

Vergleich Prognose und IST

Laut Projektbewertung der TU Graz sollte das Re-Investitionsprojekt 2012 ehest möglich umgesetzt werden. Dieses wurde jedoch bis zum jetzigen Zeitpunkt im Jahr 2016 noch nicht realisiert. Laut LCC (Life Cycle Costs)-Strategie sollten 60E1 Schienen mit besohnten Betonschwellen eingebaut werden. Jedoch wurden die Komponenten nicht getauscht, weshalb sich weiterhin hauptsächlich 49E1 Schienen mit Holzschwellen im Gleis befinden. Die Re-Investitionslänge wurde um 223 m gekürzt, da das Ende des Re-Investitionsprojektes bereits 2011 erneuert wurde. Somit ergibt sich das Re-Investitionsprojekt von km 17,325 bis 31,393. Laut Projektliste 2015 wurde das Re-Investitionsprojekt zeitlich nach hinten verschoben und soll im Jahr 2016 und 2017 umgesetzt werden. [44]

Modifizierter Arbeitszyklus

Für das Re-Investitionsprojekt 3 wurde, im Vergleich zu den anderen Projekten, im Arbeitszyklus über den sogenannten „Cash out“ der Instandhaltungsaufwand berechnet. Der „Cash out“ gibt hierbei den Geldbetrag an, der in einem Jahr für die Instandhaltung des Fahrweges aus dem Unternehmen aufgewendet werden muss. [45] Diese Methode wurde vor allem zu Beginn der Entwicklung der Lebenszykluskostenstrategie eingesetzt und wird heute nicht mehr angewandt. Da dieses Projekt noch nicht umgesetzt wurde, kann aufgrund der Berechnung mittels „Cash out“ keine Analyse stattfinden. Der Vollständigkeit halber wird nachfolgend der Arbeitszyklus angegeben. [44]

*Abschnitt 1: km 17,323 – 21,393 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	0,24	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	/	1,24
<b>Schleifen</b>	/	0,31

Tabelle 6 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 3, Abschnitt 1 [44]

Die im Projekt vorkommenden Daten werden im Anhang nochmals detailliert aufgezeigt. [44]

## 5.5 Projekt 4: km 76,456 – 78,949, Gleis 1 & Gleis 2

Beim Re-Investitionsprojekt 4, Gleis 1 und 2, wurde seitens der ÖBB-Infrastruktur AG eine Gleisneulage in der Länge von 2,493 km vorgeschlagen. Die Belastung in diesem Abschnitt beläuft sich auf ca. 11.900 GesBt/Tag. Die Strecke umfasst einige Bögen mit den Radienklassen  $250\text{ m} < R$  (Radius)  $< 400\text{ m}$ ,  $400\text{ m} < R < 600\text{ m}$  und  $R > 600\text{ m}$ . Zu Beginn und gegen Ende wird das Re-Investitionsprojekt durch einen Weichenbereich begrenzt. Darüber hinaus befinden sich auf diesem Abschnitt zwei Tunnel, von km 76,720 bis 77,390 und von km 78,130 bis 78,450. Die zulässige Geschwindigkeit laut VzG ergibt sich in diesem Bereich zu 80 km/h. Die Projektbewertung wurde von der TU Graz im Jahr 2012 durchgeführt und der optimale Re-Investitionszeitpunkt wurde für das Gleis 1 im Jahr 2014 und für das Gleis 2 im Jahr 2013 ermittelt. [46]

### 5.5.1 Gleis 1

#### Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Zum Zeitpunkt der Bewertung befinden sich im Oberbau des Gleises 1 Holzschwellen und längsverschweißte 54E2 und 49E1 Schienen. Das Einbaujahr der Schienen und Schwellen variiert stark, weshalb sich in der nachfolgenden Tabelle eine detaillierte Betrachtung der Komponenten befindet. [46]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,456 - 76,726	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1985)	R260	1
km 76,726 - 77,380	54E2, lv (1986)	Bu1, RP (1985)	R260	1, 2
km 77,380 - 77,387	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1985)	R260	2
km 77,387 - 77,630	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1983)	R260	2, 3, 4
km 77,630 - 77,862	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,862 - 77,910	49E1, lv (1992)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,910 - 78,947	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4

Tabelle 7 Komponenten, Projekt 4, Gleis 1 [46]

In den Bogenbereichen ist ersichtlich, dass die Schienenneigung und die Spurweite bereits kritische Werte einnehmen. Zusätzlich wird die Eingriffsschwelle in Bezug auf Riffel- und Schlupfwellen in zwei Bögen bereits überschritten. Diese Bögen befinden sich von km 76,880 bis 77,150 und von km 78,560 bis 78,600. [46]

Aus den Messsignalen sind im Gleis 1 zwei Einzelfehler bei km 76,721 und km 78,134 erkenntlich. Diese stimmen mit den Einfahrtsbereichen der Tunnel überein und sind auf diese zurückzuführen. [46]



Die Gleislagequalität zeigt in drei Bereichen bereits eine Verschlechterungsrate von 0,1 auf. Dies ist laut dem geotechnischen Streckenband auf nassen und verunreinigten Gleis-schotter zurückzuführen. Diese Abschnitte werden in der folgenden Tabelle aufgelistet. [46]

Bereich	Verschlechterungsrate
km 76,500 – 76,600	b = 0,1
km 77,300 – 77,500	b = 0,1
km 78,150 – 78,750	b = 0,09

Tabelle 8 Gleislagequalität, Projekt 4, Gleis 1 [46]

Der Re-Investitionsabschnitt wurde hinsichtlich der unterschiedlichen Radienklassen in vier Abschnitte unterteilt. [46]

#### *Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830*

Der Streckenabschnitt 1 wird gekennzeichnet durch einen geraden Bereich mit Bögen in der Radienklasse größer 600 m. Außerdem befindet sich hier bei km 76,720 der Einfahrtsbereich des ersten Tunnels. Laut der Projektbewertung der TU Graz wurde als optimaler Re-Investitionszeitpunkt für diesen Abschnitt das Jahr 2014 ermittelt. Bei einer ausbleibenden Re-Investition würde dies, aufgrund des aktuellen Zustandes, zu zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen von einer steigenden Mängelbehebung im Umfang von 20 %, sowie einem *Einzelschwellenwechsel* im Jahr 2014, 2016 und 2018 im Ausmaß von 10 % führen. [46]

#### *Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450*

Die auftretenden Bögen in diesem Abschnitt fallen in die Radienklasse zwischen 400 und 600 m. Dieser Bereich wird durch das Ende eines Tunnels bei km 77,390 gekennzeichnet. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich laut TU Graz im Jahr 2013. Bei einer nicht getätigten Erneuerung würde dies zu einer Erhöhung der Mängelbehebung um 10 %, einem *Einzelschwellenwechsel* in den Jahren 2013, 2015 und 2017 in einem Umfang von jeweils 10 % und einem verdichteten Stopfintervall führen. [46]

#### *Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610*

Dieser Streckenabschnitt wird durch Bögen der Radienklasse 250 bis 400 m gekennzeichnet. Aus dem Annuitätenmonitoring ergibt sich für diesen Abschnitt das Jahr 2014 als der optimale Re-Investitionszeitpunkt. Bei einem Ausbleiben der Erneuerung kommt es folglich zu einer steigenden Mängelbehebung im Umfang von 20 %. Außerdem würde dies zu einem verdichteten Stopfintervall und zu einem *Einzelschwellenwechsel* in den Jahren 2012 und 2016 im Ausmaß von je 5 % und im Jahr 2014 im Umfang von 10 % führen. [46]

#### *Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949*

Dieser Re-Investitionsabschnitt wird durch zwei Radienklassen geprägt. Zu Beginn treten Bögen mit Radien zwischen 400 und 600 m auf und gegen Ende befindet sich ein gerader Bereich mit Radien größer 600 m. Als Einbau ist hier von km 78,130 bis 78,450 ein Tunnel vorhanden. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich in diesem Bereich im Jahr 2017. Auch hier würde eine fehlende Erneuerung zu einer Erhöhung der Mängelbehebung um 20 %, einem verdichteten Stopfintervall und einem *Einzelschwellenwechsel* in den Jahren 2013, 2015 und 2017 im Umfang von jeweils 10 % führen. [46]

#### *Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich laut der Projektbewertung seitens der TU Graz im Jahr 2014. Dafür sollen die Komponenten laut LCC-Strategie umgesetzt werden. Der Einbau von besohnten Betonschwellen und 60E1 Schienen ist jedoch im Tunnel und im Übergangsbereich von 50 m nicht vorgesehen. Hier sollen aufgrund der geringen Schotterbetthöhe 54E2 Schienen und Holzschwellen eingebaut werden. Zufolge des Wechsels von einem leichten auf einen schweren Oberbau ist eine besondere Betrachtung des Unterbaues vorzunehmen. [46]

#### *Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)*

Im Vergleich zum Zeitpunkt der Bewertung wurde in Bezug auf die eingebauten Komponenten kein Wechsel durchgeführt. [46]

#### *Langsamfahrstelle*

In der Projektliste 2014 und 2015 wurde eine Langsamfahrstelle bei einer nicht durchgeführten Erneuerung prognostiziert. Die Geschwindigkeitsreduktion von 80 km/h auf 60 km/h wurde im Herbst 2014 angekündigt, allerdings nicht umgesetzt. [46]

#### *Spurweite- und Fraktalanalyse*

Bei der Analyse der Spurweite wurden einige Bereiche mit einer deutlichen Verbesserung der Spurweite bzw. der modifizierten Standardabweichung sichtbar. Diese Verbesserung ist vermutlich auf eine *Schraublochanalyse (SLS)* zurückzuführen. Aufgrund der fehlenden Daten über diese Instandhaltungsmaßnahme ist dies jedoch nur eine Annahme. Diese Abschnitte werden in der nachfolgenden Tabelle detailliert aufgelistet. [46]

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 77,400 – 77,600	Spurweite	SLS	54E2/49E1; Holz; Ende Tunnel; Durchlass; R=300 m
km 77,400 – 78,000	mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Ende Tunnel; Durchlass; R=300 m
km 77,750 – 78,000	Spurweite	SLS	54E2/49E1; Holz; Durchlass; 400 m<R<600 m
km 78,400 – 78,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Tunnel; Brücke; 400 m<R<600 m

Tabelle 9 Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 4, Gleis 1 [46]

Darüber hinaus ist bei der Fraktalanalyse ebenfalls eine Verbesserung ersichtlich, welche jedoch auf einen durchgehenden Einsatz eines MDZ schließen lässt. [46]

### Vergleich Prognose und IST

Laut der Projektbewertung der TU Graz sollten alle vier Abschnitte des Re-Investitionsprojektes 4 für das Gleis 1 bereits im Jahr 2014 erneuert werden. Eine Re-Investition wurde bis zum heutigen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt. Der Tausch der Komponenten von einem leichten Oberbau auf einen schweren Oberbau wurde noch nicht umgesetzt. Hierbei führte die umgesetzte *Schraubblochanierung* zu einer Verbesserung der Gleislage und somit zu einer zeitlichen Verzögerung des Re-Investitionsprojektes. Die *Schraubblochanierung* wurde zum Bewertungszeitpunkt im Jahr 2012 als keine längerfristige Instandhaltungsmaßnahme angenommen, jedoch führte sie zu einer deutlich stabileren Gleislage als erwartet. [46]

### Modifizierter Arbeitszyklus

In der nachfolgenden Tabelle wird, wie bei den Re-Investitionsprojekten zuvor, der Arbeitszyklus im Vergleich zu den prognostizierten und umgesetzten Instandhaltungsmaßnahmen gezeigt. Dabei werden die durchgeführten Arbeitsvorgänge von den Jahren 2011 bis 2015 auf die Gesamtlänge bezogen. Die Maschineneinsätze im Jahr 2016 werden nicht mitberücksichtigt, da diese zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht bekannt waren.

#### *Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830 (2011 – 2015)*

<b>Instandhaltungsmaßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,053	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1

Tabelle 10 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 1 [46]

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,153	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	1

Tabelle 11 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 2 [46]

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,15	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 12 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 3 [46]

*Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,043	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Schleifen</b>	/	0,33

Tabelle 13 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 4 [46]

Im Anhang befindet sich die detaillierte Auflistung der kritischen Bereiche und der wichtigsten ermittelten Daten. [46]

Fazit:

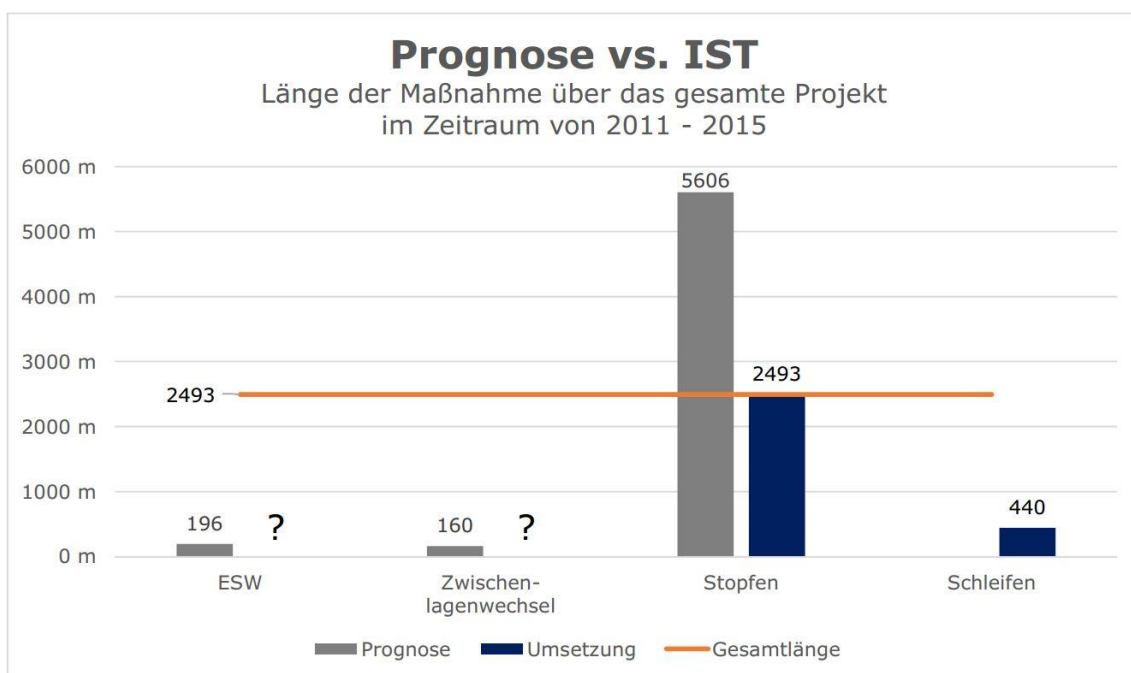


Abbildung 19 Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt

Beim Re-Investitionsprojekt 4, Gleis 1, wurde auf 5606 m ein Stopfeinsatz prognostiziert. Dies entspricht der 2,25-fachen Gesamtlänge. Tatsächlich wurde das Re-Investitionsprojekt von 2011 bis 2015 nur einmal gestopft. Dies ergibt sich hiermit zu einer MDZ-Länge von 2493 m. Hieraus ist ersichtlich, dass das prognostizierte verdichtete Stopfintervall nicht eingetroffen ist.

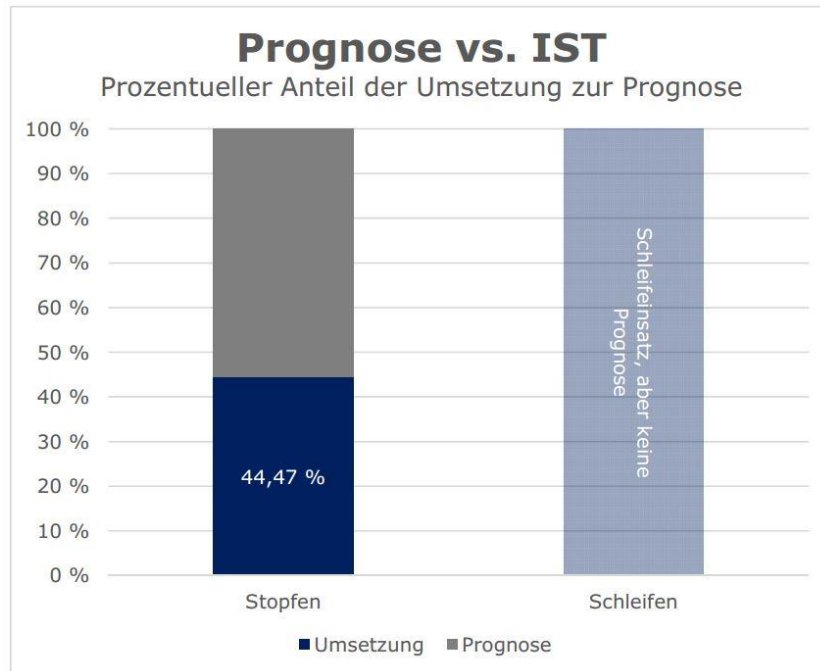


Abbildung 20 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

Die tatsächlich durchgeführten Meter entsprechen einem Prozentsatz von 44,47 der vorhergesagten Länge. Betrachtet man die einzelnen Abschnitte, ist erkenntlich, dass bei den Abschnitten 1, 3 und 4 die Hälfte der prognostizierten Länge umgesetzt wurde. Bei Abschnitt 2 wurde nur ein Drittel der Vorhersage wirklich durchgeführt.

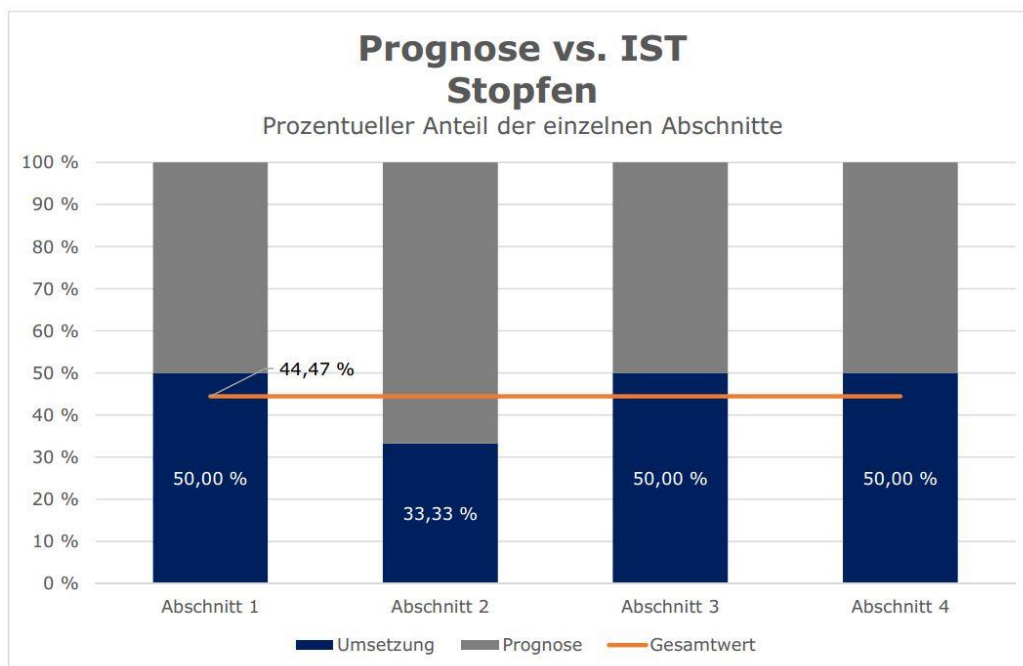


Abbildung 21 Prozentueller Anteil der Abschnitte

Bei der Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* wurde kein Maschineneinsatz prognostiziert, jedoch wurde in einem Bereich über 440 m ein Schleifeinsatz durchgeführt. Dies entspricht 18 % der Gesamtlänge.

## 5.5.2 Gleis 2

Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Im Gleis 2 befinden sich zum Zeitpunkt der Bewertung Buchenholzschwellen, welche hauptsächlich aus dem Jahr 1979 stammen. Im Tunnelbereich wurden anstelle von Buchenholzschwellen Eichenschwellen verwendet. Die 49E1 Schienen sind längsverschweißt und stammen meist aus dem Jahr 1980. Bei der Schienenstahlgüte wurde durchgehend die Güte R260 eingebaut. Die detaillierte Betrachtung der Komponenten wird in der folgenden Tabelle aufgelistet. [46]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,499 - 76,508	54E2, lv (1978)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,508 - 76,725	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,725 - 76,799	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	1
km 76,799 - 77,395	54E2, lv (1991) (A) 54E2, lv (1992) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	1, 2
km 77,395 - 77,634	54E2, lv (1998)	Ei1, RP (1979)	R260	2, 3, 4
km 77,634 - 77,751	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 77,751 - 78,045	49E1, lv (1993) (A) 49E1, lv (1980) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	4
km 78,045 - 78,447	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 78,447 - 78,497	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,497 - 78,578	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,578 - 78,802	49E1, lv (1992) (A) 49E1, lv (1979) (I)	Bu1, RP (1978) (A) Bu1, RP (1978) (I)	R260	4
km 78,802 - 78,949	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4

Tabelle 14 Komponenten, Projekt 4, Gleis 1 [46]

Aufgrund des fehlenden Kraftschlusses ist aus den Messsignalen bei der Schienenneigung und der Spurweite ein Grundrauschen zu erkennen. Des Weiteren werden bei der Schienenneigung und der Spurweite in den Bogenbereichen bereits kritische Werte überschritten. Wie bei Gleis 1 konnte in zwei Bereichen eine Überschreitung der Eingriffsschwelle in Bezug auf Riffel- und Schlupfwellen festgestellt werden. [46]

Der Zustand zum Zeitpunkt der Bewertung zeigt in drei Bereichen bei Gleis 2 eine kritische Schottersituation und Entwässerungsprobleme. Die auftretenden Einzelfehler befinden sich vor allem in den Tunnelbereichen. Im Gleis 2 treten jedoch im Vergleich zu Gleis 1 vermehrt Einzelfehler auf. [46]

Die Unterteilung des Re-Investitionsprojektes in Abschnitte wird wiederum wie bei Gleis 1 durch die Radienklassen gekennzeichnet. [46]

*Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830*

Dieser Streckenabschnitt wird durch Radien größer 600 m gekennzeichnet. Wie bereits bei Gleis 1 erwähnt, beginnt in diesem Abschnitt bei km 76,720 der erste Tunnel. Der optimale

Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich hier im Jahr 2015. Bei einer ausbleibenden Re-Investition muss folglich mit einer um 10 % erhöhten Mängelbehebung, einem verdichteten Stopfintervall und einem *Einzelwellenwechsel* im Umfang von 10 % im Jahr 2015 gerechnet werden. [46]

#### *Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450*

Im Abschnitt 2 befinden sich Bögen mit Radien im Bereich zwischen 400 und 600 m. Bei km 77,390 endet in diesem Abschnitt der Tunnel. Aus dem Annuitätenmonitoring wurde für diesen Abschnitt das Jahr 2013 als optimaler Re-Investitionszeitpunkt ermittelt. Bei einer nicht durchgeführten Erneuerung werden als zusätzliche Instandhaltungsmaßnahmen eine um 10 % steigende Mängelbehebung, ein verdichtetes Stopfintervall sowie ein *Einzelwellenwechsel* in den Jahren 2013, 2015 und 2017 im Umfang von je 10 % notwendig sein. [46]

#### *Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605*

Der Abschnitt 3 wird durch die Radien der Klasse  $250 \text{ m} < R < 400 \text{ m}$  gekennzeichnet. Die TU Graz hat auch für diesen Abschnitt das Jahr 2013 als optimalen Re-Investitionszeitpunkt ermittelt. Die zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen bei einer nicht getätigten Re-Investition werden in diesem Bereich gleich wie im zuvor beschriebenen Abschnitt anfallen. [46]

#### *Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949*

Der Abschnitt 4 setzt sich wiederum aus zwei Radienklassen zusammen. Zu Beginn treten Bögen mit Radien zwischen 400 und 600 m auf, danach folgt ein Bereich mit Radien größer 600 m. Der zweite Tunnel befindet sich gänzlich in diesem Re-Investitionsabschnitt. Wie in den beiden Abschnitten zuvor beläuft sich der optimale Re-Investitionszeitpunkt auf das Jahr 2013. Die zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen werden wie in den beiden Abschnitten zuvor angesetzt. [46]

#### *Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Laut Projektbewertung der TU Graz ergibt sich der optimale Re-Investitionszeitpunkt für das gesamte Re-Investitionsprojekt für das Jahr 2013. Hierbei sollen die Komponenten eines schweren Oberbaus laut LCC-Strategie eingebaut werden. Wie bei Gleis 1 soll hinsichtlich der geringen Schotterbetthöhe im Tunnel eine 54E2 Schiene und Holzschwellen verwendet werden. Diese Komponenten sollen auch im Übergangsbereich 50 m vor und nach den Tunneln verwendet werden. Zuzufolge des Wechsels von einem leichten auf einen schweren Oberbau soll auf den Unterbau besonders geachtet werden. [46]



Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)

Die Komponenten in diesem Re-Investitionsprojekt sind im Vergleich zum Zeitpunkt der Bewertung unverändert. Lediglich im Jahr 2008 wurden in einem kurzen Bereich (Länge: 2 m) die Buchenschwellen gegen Eichenschwellen getauscht. Dies lässt jedoch auf eine Re-Investition vor dem untersuchten Re-Investitionsprojekt schließen. Auf den restlichen Streckenabschnitten wurden die Komponenten nicht verändert. [46]

Langsamfahrstelle

Laut Projektliste 2014 und 2015 ist auf Gleis 2 ab Herbst 2016 eine Geschwindigkeitsreduktion um 20 km/h prognostiziert. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurde allerdings keine Langsamfahrstelle eingeführt. [46]

Spurweite- und Fraktalanalyse

Bei den Messsignalen der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung sind einige Bereiche mit einer deutlichen Korrektur der Signale erkennbar. Diese Verbesserung lässt auf eine durchgeführte *Schraubblochanierung* schließen. Die Ursache für diese Veränderung ist jedoch nur eine Vermutung, da die Daten für die Analyse zum Zeitpunkt der Auswertung nicht vorhanden waren. Darüber hinaus wurde bei der Analyse im Bereich von km 76,800 bis 77,300 eine deutliche Verbesserung der Spurweite sichtbar. Diese Korrektur konnte auch durch einen Sprung der Seitenabnutzung der linken Schiene in NATAS gezeigt werden. Hinsichtlich dieser Messsignale lässt sich daraus folgern, dass ein *Schienenwechsel* in diesem Bereich stattgefunden hat. Dieser wurde allerdings aufgrund des kurzen Bereiches von ca. 500 m nicht in das Programm iOberbau eingetragen. [46]

Nachfolgend finden sich die korrigierten Bereiche aufgelistet.

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 76,800 – 77,300	Spurweite	Schienenwechsel, nicht im iOberbau	54E2; Holz; Tunnel; 400 m<R<600 m
km 77,400 – 77,600	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	54E2; Holz; Tunnel; Durchlass; R=300
km 77,600 – 77,750	mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Durchlass
km 77,750 – 78,000	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Holz
km 78,450 – 78,900	Spurweite	SLS	49E1; Holz; Tunnel; Durchlass; Brücke
km 78,500 – 78,900	mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Holz; Tunnel; Durchlass; Brücke

Tabelle 15

Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 4, Gleis 2 [46]

Zudem ist auch aus der Fraktalanalyse eine Verbesserung ersichtlich, welche jedoch auf den Einsatz eines MDZ und auf den vermuteten Schienentausch zurückzuführen ist. [46]

### Vergleich Prognose und IST

Laut der Projektbewertung 2012 wurde der optimale Re-Investitionszeitpunkt für alle vier Abschnitte für das Jahr 2013 vorgeschlagen. Die Umsetzung dieser ist bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht erfolgt. Wie bei Gleis 1 führte die *Schraubblochsanie rung* zu einer stabileren Gleislage als erwartet. Bei der Projektbewertung wurde diese Instandhaltungsmaßnahme als keine langfristige Lösung beurteilt. Das verdichtete Stopfintervall musste auch am Gleis 2 nicht durchgeführt werden. Hier wurde ebenfalls nur im Jahr 2012 ein Stopfvorgang ausgeführt. [46]

Die im Gleis befindlichen Komponenten sind Holzschwellen und hauptsächlich 49E1 Schienen. Im Vergleich dazu hat die TU Graz einen schweren Oberbau mit 60E1 Schienen und besohnten Betonschwellen vorgeschlagen. Ausgenommen im Tunnelbereich sollen, hinsichtlich der geringen Schotterbetthöhe, Holzschwellen und 54E2 Schienen verwendet werden. [46]

### Modifizierter Arbeitszyklus

Wie zuvor beschrieben wird nachfolgend der Arbeitszyklus mit der Prognose in der Spalte „TUG“ und der Durchführung in der Spalte „Umsetzung“ durchgeführt. Auch hier gibt die im Arbeitszyklus stehende Zahl die Länge der durchgeführten bzw. prognostizierten Maschineneinsätze in Bezug zur gesamten Projektlänge an. Wiederum werden hier die Maschineneinsätze seit dem Jahr 2011 bis zum Jahr 2015 miteinbezogen. [46]

#### *Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,1	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	/

Tabelle 16 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 1 [46]

#### *Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	7	/

Tabelle 17 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 2 [46]

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Schleifen</b>	1	/
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	2	Keine Daten vorhanden

Tabelle 18 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 3 [46]

*Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	1

Tabelle 19 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 4 [46]

Die genaue Beschreibung der einzelnen Bereiche ist aus dem Anhang ersichtlich. [46]

Fazit:

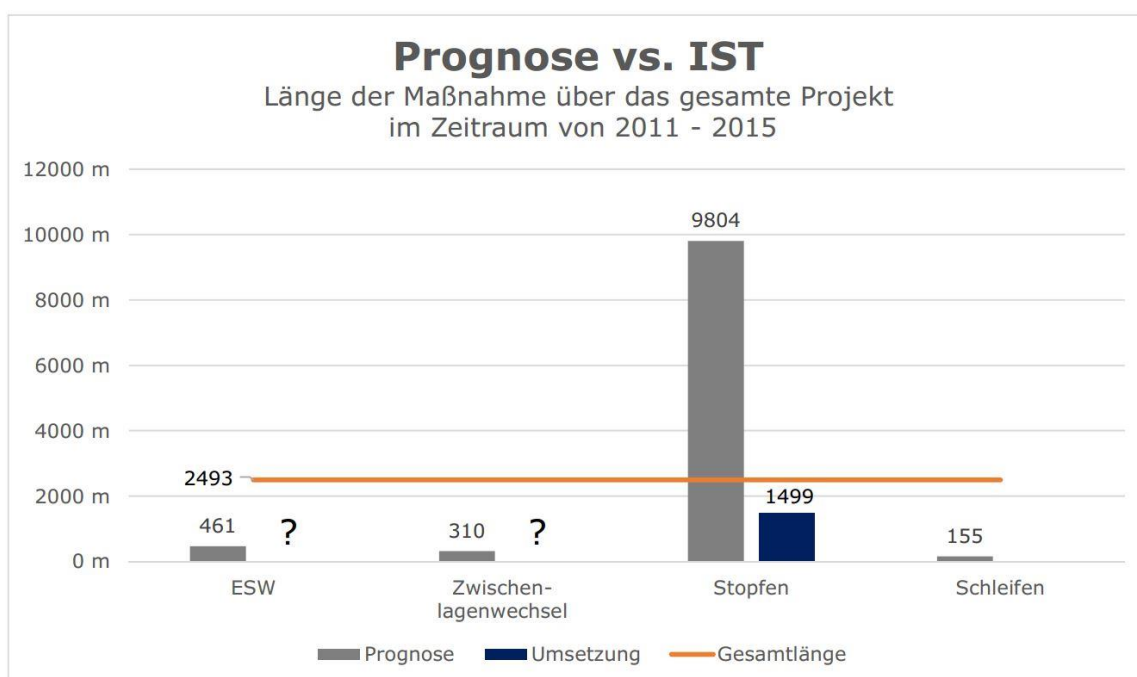


Abbildung 22 Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt

Im Vergleich zu Gleis 1 wurde am Gleis 2 ein Schleifeinsatz über 155 m prognostiziert. Im Gegenteil zu Gleis 1 wurde hier jedoch kein Maschineneinsatz durchgeführt. Es wurde ein verdichtetes Stopfintervall über 9804 m vorhergesagt. Es wurden jedoch nur 1499 m tatsächlich umgesetzt. Dies entspricht 15,29 % der Prognose.

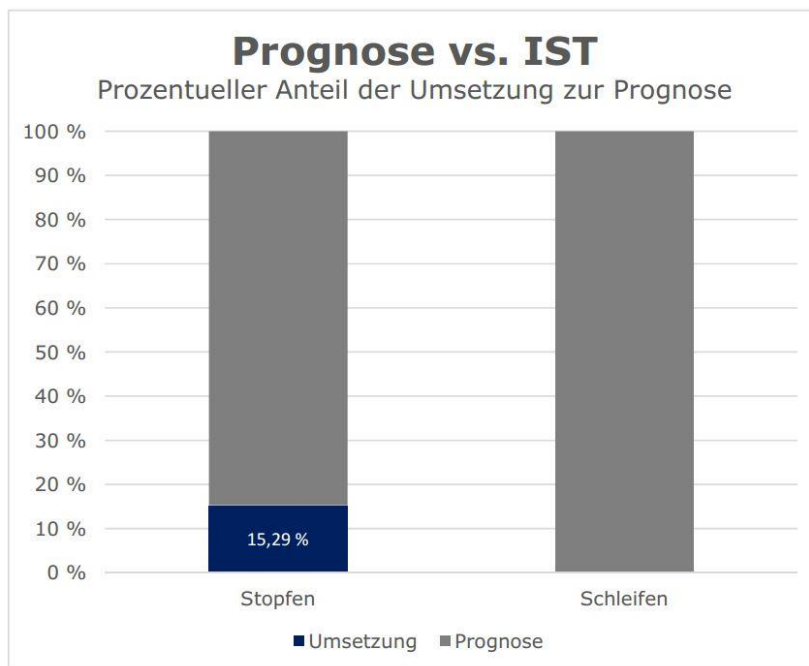


Abbildung 23 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

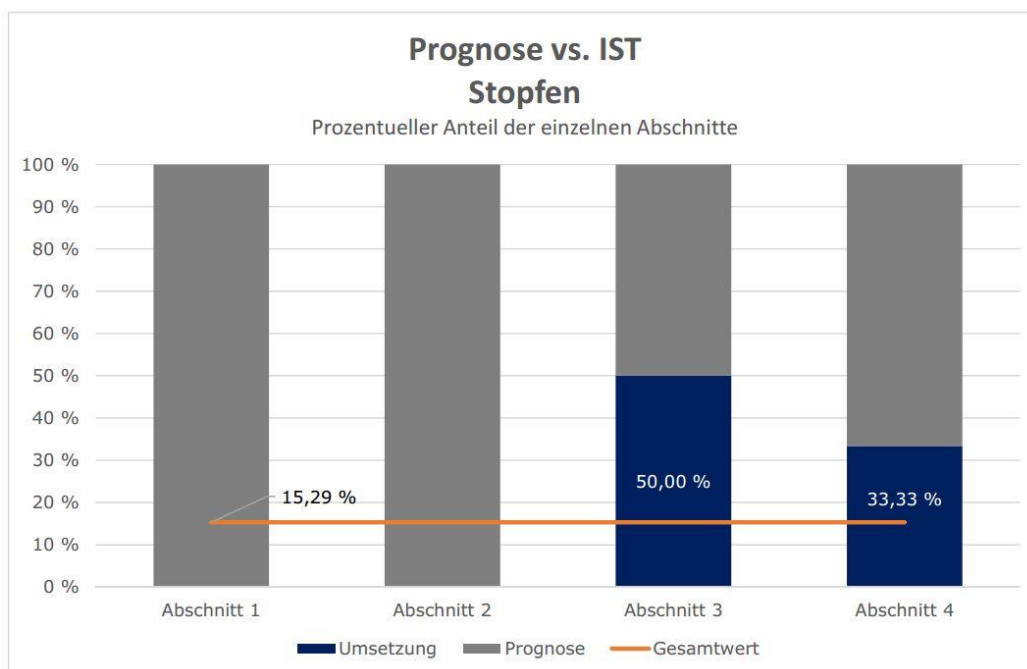


Abbildung 24 Prozentueller Anteil der Abschnitte

Betrachtet man die einzelnen Abschnitte im Detail, wird ersichtlich, dass in den Abschnitten 1 und 2 gar kein MDZ-Einsatz durchgeführt wurde. Von 2011 bis 2015 wurde bei den Abschnitten 3 und 4 nur ein Stopfeinsatz ausgeführt. Im Abschnitt 3 wurden von der Vorhersage 50 % tatsächlich umgesetzt. Im Abschnitt 4 betrug die Umsetzung nur ein Drittel der Prognose.

## 5.6 Projekt 5: km 130,600 – 136,517, Gleis 1 & Gleis 2

Beim Re-Investitionsprojekt 5 wurde seitens der ÖBB-Infrastruktur AG eine Gleisneulage für das Gleis 1 in einer Länge von 5,917 km vorgeschlagen. Auf diesem Streckenabschnitt befinden sich Bögen sowohl mit Radien größer 600 m, als auch Radien zwischen 250 und 400 m und Radien zwischen 400 und 600 m. Die zulässige Geschwindigkeit laut VzG beträgt bis km 131,000 120 km/h und danach 80 km/h. Entlang diesem Re-Investitionsprojekt befinden sich zahlreiche Einbauten wie Brücken und Durchlässe sowie ein Bahnhof von km 134,090 bis 134,700. Darüber hinaus wird das Projekt zu Beginn durch einen Weichenbereich begrenzt. Die Belastung dieses Abschnittes beträgt ca. 21.920 GesBt/Tag. Die Bewertung dieses Re-Investitionsprojektes seitens der TU Graz wurde im Jahr 2012 durchgeführt und ergibt den optimalen Re-Investitionszeitpunkt für dasselbe Jahr. Die ehestmögliche Umsetzung dieses Projektes wird als sinnvoll erachtet. Bei der Projektbewertung des Gleises 1 wurde das Gleis 2 ebenfalls mitbetrachtet. [47]

### 5.6.1 Gleis 1

#### Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Die eingebauten Komponenten zum Zeitpunkt der Bewertung sind hauptsächlich 49E1 Schienen mit einer Güte von R260. Die Schienen wurden größtenteils längsverschweißt, jedoch sind im Gleis zwei Bereiche vorhanden, wo ein Stoßgleis eingebaut wurde. Diese Abschnitte erstrecken sich von km 131,028 bis 131,661 und von km 132,245 bis 132,804. Bis km 134,137 wurden Holzschwellen aus dem Jahr 1982 verwendet, danach folgen Betonschwellen aus dem Jahr 1990. In zwei Bögen mit den Radien zwischen 250 und 400 m wurde 2011 bereits die Außenschiene getauscht und eine Schiene höherer Güte, R350 HT, eingebaut. Die detaillierte Auflistung der vorhandenen Komponenten folgt in der nachstehenden Tabelle. [47]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,600 – 130,632	54E2, lv (1999)	Ei1, RP (1999)	R260	1
km 130,632 – 131,028	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	1
km 131,028 – 131,060	49E1, 30m (1982) (A) 49E1, 30m (2001) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R260	1
km 131,060 – 131,661	49E1, 30m (1982) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R260	1,2
km 131,661 – 131,807	49E1, lv (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	2,3
km 131,807 – 132,245	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	3
km 132,245 – 132,265	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT R260	3
km 132,265 – 132,380	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3, 4
km 132,380 – 132,804	49E1, 30m (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	4, 5
km 132,804 – 133,740	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	5
km 133,740 – 133,748	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5
km 133,748 – 134,107	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5, 6, 7
km 134,107 – 134,120	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	7
km 134,120 – 134,137	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	7
km 134,137 – 134,750	54E2, lv (1990)	19, SKL1 (1990)	R260	8
km 134,750 – 136,517	54E2, lv (1989)	19, SKL1 (1989)	R260	8

Tabelle 20 Komponenten, Projekt 5, Gleis 1 [47]

Zum Zeitpunkt der Bewertung ist aus den Messsignalen ein starkes Rauschen der Schienenneigung ersichtlich. Dies ist auf den fehlenden Kraftschluss und das technische Ende der Holzschwellen, aufgrund des fortgeschrittenen Alters, zurückzuführen. In den Bogenbereichen werden zudem Riffel- und Schlupfwellen sichtbar. In zwei Bögen wird des Weiteren eine Spurerweiterung auf ca. 25/30 mm erkenntlich. Von km 133,850 bis 134,050 erreicht die Höhenabnutzung auf der Innenschiene bereits kritische Werte. Laut GSB (Geotechnisches Streckenband) befinden sich in diesem Re-Investitionsprojekt einige Abschnitte auf denen nasser und verunreinigter Gleisschotter vorzufinden ist. Generell ist von km 131,120 bis 131,750 und von km 132,250 bis 132,500 eine schlechte Gleislage vorhanden. [47]

Dieses Re-Investitionsprojekt wird aufgrund auftretender Bögen in acht Abschnitte unterteilt, wobei die Abschnitte 1, 3, 5 und 7 hinsichtlich der Radienklasse größer 600 m der gleichen Bewertung unterliegen. Die Abschnitte 2, 4 und 6 werden durch die Radienklasse 250 m < R < 400 m gekennzeichnet und werden ebenfalls gleich betrachtet. Wegen der eingebauten Betonschwellen wird der letzte Abschnitt getrennt bewertet. [47]

*Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120; Abschnitt 3: km 131,785 – 132,620; Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815; Abschnitt 7: km 134,070 – 134,137*

In diesen Abschnitten befinden sich Bögen mit den Radienklassen zwischen 400 und 600 m und größer 600 m. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt wurde hierfür seitens der

TU Graz für das Jahr 2017 bestimmt. Bei einer ausbleibenden Re-Investition werden zusätzliche Instandhaltungsmaßnahmen in Form einer steigenden Mängelbehebung im Ausmaß von 10 %, verdichtetes Stopfintervall und ein *Einzelschwellenwechsel* im Jahr 2017 in einem Umfang von 10 % und im Jahr 2019 im Ausmaß von 5 % notwendig sein. [47]

*Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785; Abschnitt 4: km 132,620 – 132,770; Abschnitt 6: km 133,815 – 134,070*

In diesen Bereichen verläuft die Strecke in Bögen mit den Radien zwischen 250 und 400 m. Der optimale Zeitpunkt zur Re-Investition wurde hier für das Jahr 2012 ermittelt. Die zusätzlich auftretenden Instandhaltungsmaßnahmen werden aufgrund des aktuellen Zustandes auf eine erhöhte Mängelbehebung im Umfang von 20 %, ein verdichtetes Stopfintervall, teilweisen *Innenschienenwechsel* und einen *Einzelschwellenwechsel* in den Jahren 2012, 2014 und 2016 im Ausmaß von jeweils 10 % prognostiziert. [47]

*Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517*

Der letzte Abschnitt wird durch die vorhandenen Betonschwellen und 54E2 Schienen gekennzeichnet. Hier treten zu Beginn Bögen mit Radien zwischen 250 und 400 m auf und gegen Ende Bögen mit Radien größer 600 m. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt wurde für das Jahr 2023 ermittelt, da in diesem Bereich Betonschwellen vorhanden sind. Hinsichtlich dessen wird dieser Abschnitt für die folgende Bewertung nicht mitbetrachtet. [47]

*Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Das Re-Investitionsprojekt 5, Gleis 1, wurde aufgrund der im letzten Abschnitt eingebauten Betonschwellen um 2,38 km gekürzt. Das Projekt wird somit von km 130,600 bis 134,137 für die Bewertung betrachtet. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich für die restlichen Abschnitte im Jahr 2012. Die einzubauenden Komponenten erfüllen die LCC-Strategie und entsprechen einer 60E1 Schiene und besohlenen Betonschwellen. Dabei sollen zufolge des Wechsels von einem schweren auf einen leichten Oberbau auch besonders die Bahnentwässerung und die Planungsverbesserung betrachtet werden. [47]

*Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)*

Im Jahr 2014 wurde im Vergleich zum Zeitpunkt der Bewertung eine Erneuerung von km 130,632 bis 131,860 durchgeführt. Hier wurden, wie in der LCC-Strategie vorgeschlagen, 60E1 Schienen mit einer Güte von R260 bzw. R350 HT und Betonschwellen eingebaut. Bei den restlichen Abschnitten wurde in Bezug auf die vorhandenen Komponenten im Gleis kein Wechsel durchgeführt. [47]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,600 – 130,632	54E2, lv (1999)	Ei1, RP (1999)	R260	1
km 130,632 – 131,051	60E1, lv (2014)	K1, SKL14 (2014)	R260	1
km 131,051 – 131,651	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R350 HT	1, 2
km 131,651 – 131,771	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R260	2
km 131,771 – 131,860	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R350 HT	2, 3
km 131,860 – 132,245	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	3
km 132,245 – 132,265	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3
km 132,265 – 132,380	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3, 4
km 132,380 – 132,804	49E1, 30m (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	4, 5
km 132,804 – 133,740	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	5
km 133,740 – 133,748	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5
km 133,748 – 134,107	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5, 6, 7
km 134,107 – 134,120	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	7
km 134,120 – 134,137	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	7
km 134,137 – 134,750	54E2, lv (1990)	19, SKL1 (1990)	R260	8
km 134,750 – 136,517	54E2, lv (1989)	19, SKL1 (1989)	R260	8

Tabelle 21 Komponenten 2016, Projekt 5, Gleis 1 [47]

Wie aus den Projektlisten der Jahre 2013, 2014 und 2015 ersichtlich, ist, aufgrund des hohen Alters der Holzschwellen, der Kraftschluss nicht mehr ausreichend vorhanden, so dass es zur Spurerweiterung im Bogen kommt. Außerdem pressen sich die Rippenplatten bereits in die Holzschwellen ein. Fünf Einbauten des Konstruktiven Ingenieurbaus benötigen eine Sanierung in Bezug auf die Verrohrung. Des Weiteren ist eine gesamte Objekterneuerung und eine Tragwerkssanierung notwendig. [47]

### *Langsamfahrstelle*

Über eine Länge von 730 m von km 131,070 bis 131,800 wurde seit 24.12.2012 durch einen schadhafte Oberbau eine Langsamfahrstelle verordnet. Die Geschwindigkeitsreduktion wurde bis 08.09.2014 von 80 km/h auf 50 km/h herabgesetzt. Das Ende der Langsamfahrstelle lässt sich mit der Neulage in diesem Bereich erklären. Außerdem wurde von km 134,200 bis 134,300 eine weitere Geschwindigkeitsreduktion auf 60 km/h zufolge einer Brücke verordnet. Diese Langsamfahrstelle wurde von 15.10.2012 bis 22.11.2013 angesetzt. [47]

### *Spurweite- und Fraktalanalyse*

Bei der Analyse der Spurweite wurden einige Bereiche ersichtlich, in denen eine Korrektur der Gleislage stattgefunden hat. Diese Richtigstellung der Spurweite und der modifizierten



Standardabweichung lässt sich auf die Neulage im Jahr 2014 und auf den *Außenschienenwechsel* im Jahr 2011 zurückführen. Im Bereich von km 132,600 bis 132,750 ist eine Verbesserung der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung erkennbar. Diese kann jedoch keinem *Schienenwechsel* zugeordnet werden. Es wird vermutet, dass in diesem Abschnitt eine *Schraubblochsanie rung* stattgefunden hat. [47]

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 131,000 – 131,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Neulage	6E1; Betonschwellen
km 132,300 – 132,400	Spurweite, mod. Standardabweichung	Schienenwechsel 2011	49E1; Brücke; Holz; 400 m < R < 600 m
km 132,600 – 132,750	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Brücke; Holz; 250 m < R < 400 m
km 133,800 – 134,000	Spurweite	Schienenwechsel 2011	49E1; Brücke; Holz; 250 m < R < 400 m

Tabelle 22 Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 5, Gleis 1 [47]

Bei der Betrachtung der Fraktalanalyse wurde ebenfalls eine Korrektur erkenntlich. Diese ist jedoch mit der Neulage und dem Maschineneinsatz des MDZ begründbar. [47]

#### Vergleich Prognose und IST

Die Länge des Re-Investitionsprojektes wurde, aufgrund der bereits vorhandenen Betonschwellen zur Zeit der Bewertung, um 2,38 km gekürzt und geht laut Projektbewertung von km 130,600 bis 134,137. Tatsächlich umgesetzt wurde allerdings im Jahr 2014 der Bereich von km 130,632 bis 131,860. Aus der Projektliste 2013 geht hervor, dass die Re-Investition aufgeteilt wurde und die restliche Projektlänge 2017 ausgeführt werden soll. Die Umsetzung betrifft den Abschnitt 1 und 2 und teilweise den Abschnitt 3. Alle anderen Komponenten wurden im Vergleich zum Zeitpunkt der Bewertung nicht verändert. [47]

#### Modifizierter Arbeitszyklus

In der nachfolgenden Tabelle wird wiederum der prognostizierte und modifizierte Arbeitszyklus für die einzelnen Abschnitte dargestellt. Aufgrund der Umsetzung zum geplanten Zeitpunkt im Jahr 2014 bzw. Kürzung der Projektlänge werden nur die Abschnitte 3.2 bis 7 analysiert. Der Abschnitt 3 wurde hinsichtlich der Re-Investition im Jahr 2014 in die Abschnitte 3.1 und 3.2 unterteilt. Im Abschnitt 3.2 fand noch keine Erneuerung des Oberbaus statt. Für den Arbeitszyklus wurden die Maschineneinsätze im Zeitraum von 2011 bis 2015 berücksichtigt. [47]

*Abschnitt 3.2: km 131,860 - 132,620 (2011 - 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,22
<b>Schleifen</b>	/	0,39

Tabelle 23 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 3.2 [47]

*Abschnitt 4: km 132,620 - 132,770 (2011 - 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 24 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 4 [47]

*Abschnitt 5: km 132,770 - 133,815 (2011 - 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,01

Tabelle 25 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 5 [47]

*Abschnitt 6: km 133,815 - 134,070 (2011 - 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 26 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 6 [47]

*Abschnitt 7: km 134,070 - 134,137 (2011 - 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1

Tabelle 27 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 7 [47]

Die genaue Auflistung der Maschineneinsätze und der zusammengefassten Daten befinden sich im Anhang. [47]

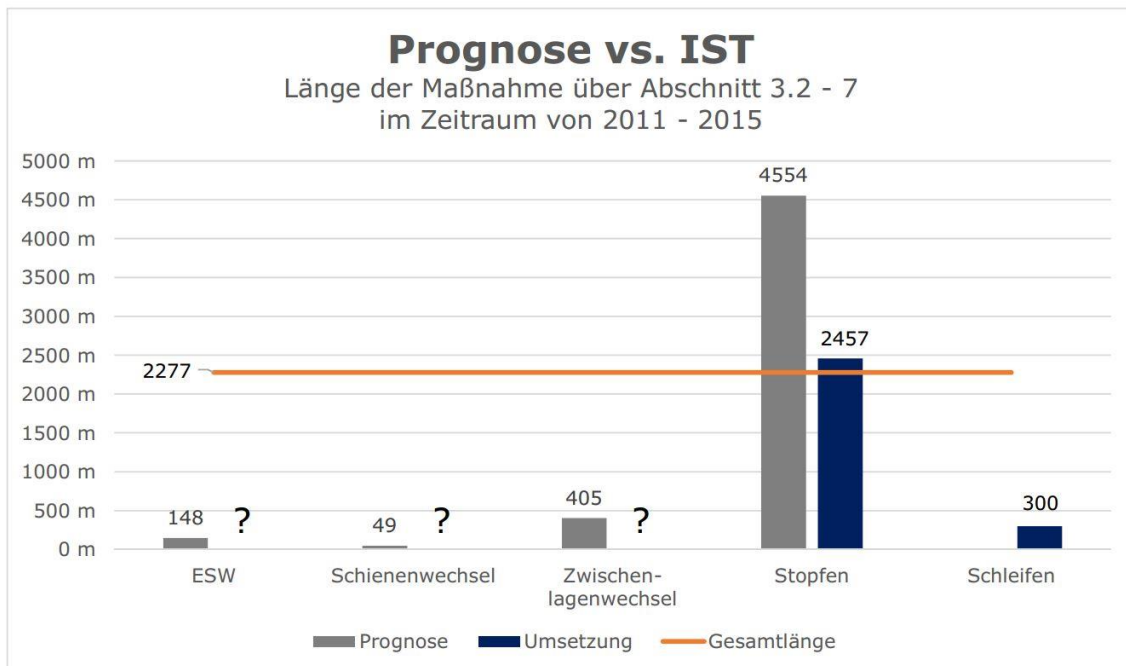
Fazit:

Abbildung 25 Länge der Maßnahme über Abschnitte 3.2 - 7

In Bezug auf die Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* wurde in diesem Projekt eine Gesamtlänge von 4554 m für den MDZ-Einsatz von 2011 bis 2015 prognostiziert. Davon wurden 53,95 % tatsächlich ausgeführt. Hierbei ist aus den Maschineneinsätzen ersichtlich, dass die zu analysierenden Abschnitte 3.2 bis 7 im angegebenen Zeitraum einmal über den gesamten Bereich gestopft wurden. Das vorhergesagte verdichtete Stopfintervall ist somit nicht eingetreten. Die durchgeführte Maßnahme entspricht dadurch einer Länge von 2457 m. Untersucht man die einzelnen Abschnitte im Detail wird ersichtlich, dass die Prognose bei den Abschnitten 4 bis 7 in etwa zur Hälfte umgesetzt wurden. Im Abschnitt 3.2 entsprach die Ausführung 61,19 %.

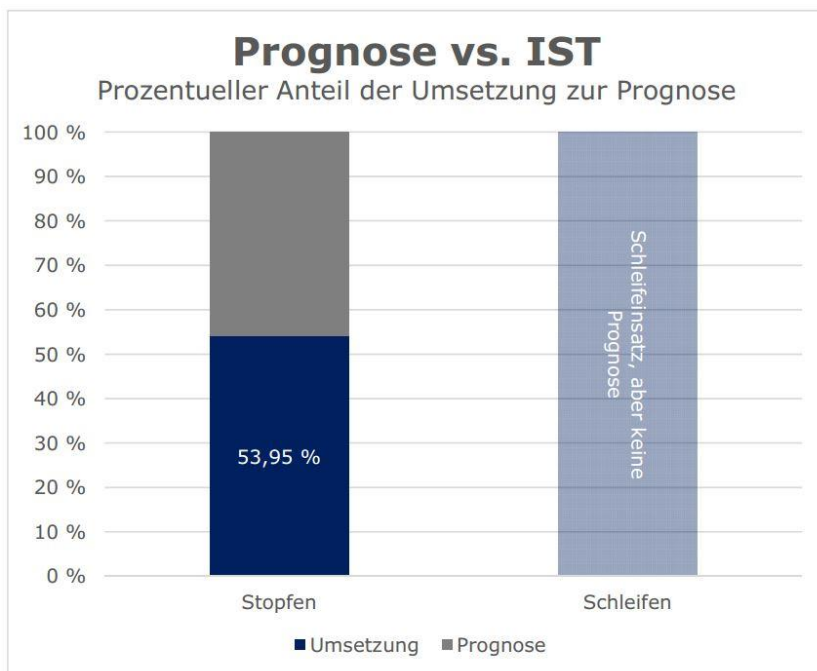


Abbildung 26 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

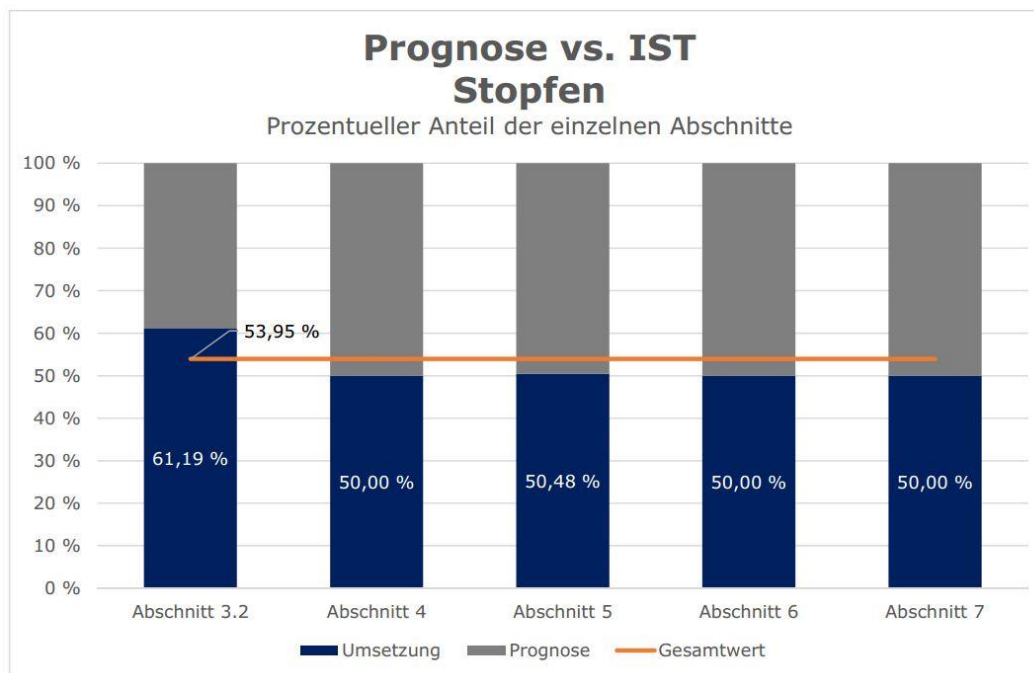


Abbildung 27 Prozentueller Anteil der Abschnitte

Bei der Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* wurde bei diesem Projekt kein Einsatz prognostiziert, jedoch ist es 2015 im Abschnitt 3.2 im Bogenbereich zu einem Schleifeinsatz gekommen. Dieser wurde über 300 m durchgeführt.

## 5.6.2 Gleis 2

Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung

Zum Zeitpunkt der Bewertung besteht der Oberbau aus längsverschweißten 49E1 Schienen mit der Güte R260 und Betonschwellen. Die Einbaujahre der Komponenten variieren sowohl bei der Schiene als auch bei der Schwelle stark. Die nachfolgende Tabelle stellt eine genaue Aufschlüsselung dar. [47]

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,680 – 131,150	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1985)	R260	1, 2
km 131,150 – 131,177	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2
km 131,177 – 131,839	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2,3
km 131,839 – 131,863	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260	3
km 131,863 – 132,701	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	3, 4
km 132,701 – 132,716	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4
km 132,716 – 132,833	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4, 5
km 132,833 – 133,850	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	5, 6
km 133,850 – 134,090	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	6, 7
km 134,090 – 134,930	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	7, 8
km 134,930 – 135,128	49E1, lv (2001) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	8
km 135,128 – 135,363	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8
km 135,363 – 135,377	49E1, lv (1985)	Bu1, RP (1978)	R260	8
km 135,377 – 135,442	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8,9
km 135,442 – 136,508	60E1, lv (2004)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9
km 136,508 – 136,517	49E1, lv (2011)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9

Tabelle 28 Komponenten, Projekt 5, Gleis 2 [47]

Laut dem GSB ist auf 97 Prozent der Gesamtlänge, exklusive dem Abschnitt 9, die Entwässerung unzureichend vorhanden. Des Weiteren kommt es in den Bogenbereichen vor allem bei den Brückenanschlussbereichen aufgrund der eingebauten Betonschwellen zu Gleislageproblemen. Zudem ist aus den Messsignalen ein Rauschen bei der Schienenneigung ersichtlich. Aufgrund des Gleislagezustandes im Jahr 2012 wurden in der Vorhabensbeschreibung bereits einige Bereiche genannt, in denen in den folgenden Jahren ein *Einzelstellenwechsel* notwendig sein wird. Diese Bereiche werden folgend aufgelistet. [47]

- km 132,300 – 132,400
- km 132,650 – 132,800
- km 133,000 – 133,400

- km 133,800 – 134,200
- km 134,200 – 134,300
- km 134,900 – 135,000
- km 135,000 – 135,350

In Bögen mit Radien zwischen 300 und 400 m ist aus den Messschrieben eine hohe Achslagerbeschleunigung erkenntlich. Hinsichtlich Riffel- und Schlupfwellen sind diese Abschnitte ebenfalls auffällig. Des Weiteren treten vier Einzelfehler unbekannter Ursache auf. Der Einzelfehler bei km 135,920 lässt sich auf eine Brücke zurückführen. Nachfolgend sind alle Einzelfehler detailliert aufgelistet. [47]

- km 130,890
- km 134,630
- km 135,920 (Brücke)
- km 136,230
- km 136,370

Das Re-Investitionsprojekt wird aufgrund der vorhandenen unterschiedlichen Radienklassen in neun Abschnitte unterteilt. Wie bei Gleis 1 unterliegen die Bereiche 1, 3, 5 und 7 aufgrund derselben Radienklasse der gleichen Projektbewertung, ebenso die Abschnitte 2, 4, 6 und 8. Der letzte Bereich wurde bereits 2004 erneuert und entfällt aufgrund des optimalen Re-Investitionszeitpunktes im Jahr 2037 für diese Bewertung. [47]

*Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120; Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310; Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820; Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915*

Diese Abschnitte fallen in die geraden Bereiche mit der Radienklasse größer 600 m. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt wurde hierfür für das Jahr 2018 ermittelt. Bei einer ausbleibenden Erneuerung würde es zu einer steigenden Mängelbehebung im Ausmaß von 10 %, sowie einem *Einzelschwellenwechsel* ab dem Jahr 2013 im Umfang von 10 % und danach für jedes weitere Jahr von 5 % kommen. Des Weiteren verdichtet sich das Stopfintervall und ein *Zwischenlagenwechsel* wird notwendig. [47]

*Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785; Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770; Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070; Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440*

Dieser Streckenabschnitt wird durch Bögen mit den Radien zwischen 250 und 400 m gekennzeichnet. Hier wurde der optimale Re-Investitionszeitpunkt für das Jahr 2014 ermittelt. Bei einer nicht getätigten Re-Investition würde dies, aufgrund des aktuellen Zustandes, zu denselben zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen wie bei den Abschnitten zuvor kommen. Jedoch ist hier mit einer *Schotterbettreinigung* zu rechnen. [47]

### *Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517*

Bei diesem Abschnitt ergibt sich, aufgrund der Re-Investition 2004, der optimale Re-Investitionszeitpunkt im Jahr 2037. Hinsichtlich dessen wird dieser Bereich in die Projektbewertung nicht miteinbezogen. [47]

#### *Prognose aufgrund der Projektbewertung der TU Graz (2012)*

Die geplante Re-Investition sollte laut Projektbewertung im Jahr 2016 bzw. 2017 stattfinden. Hinsichtlich des bereits 2004 erneuerten Abschnittes wurde die Re-Investitionslänge um 1,077 km gekürzt. Für die einzubauenden Komponenten sollen laut LCC-Strategie 60E1 Schienen und besohlte Betonschwellen verwendet werden. Hierbei findet wiederum ein Wechsel von einem leichten auf einen schweren Oberbau statt. Der Unterbau muss daher besonders beachtet werden. [47]

#### *Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)*

Die im Gleis vorhandenen Komponenten haben sich im Vergleich zum Zeitpunkt der Bewertung nicht geändert. Es wurde somit kein Wechsel der Komponenten durchgeführt. [47]

#### *Langsamfahrstelle*

Im Bereich von km 134,200 bis 134,300 wurde über eine Länge von 100 m vom 15.10.2012 bis 22.11.2013 eine Langsamfahrstelle angesetzt. Die Geschwindigkeitsreduktion um 20 km/h wurde zufolge einer sanierungsbedürftigen Brücke verordnet, welche ebenfalls am Gleis 1 zu finden ist. [47]

#### *Spurweite- und Fraktalanalyse*

Bei der Analyse der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung wurde in einigen Bereichen eine Verbesserung erkenntlich. Die Korrektur im Bereich von km 131,200 bis 131,800 ist auf den in iOberbau eingetragenen *Schienenwechsel* im Jahr 2011 zurückzuführen. Die Veränderung folgender Bereiche deutet auf einen vermutlichen *Zwischenlagenwechsel* bzw. einen *Einzelschwellenwechsel* hin. Diese Abschnitte fallen mit den zuvor erwähnten notwendigen Einzelschwellenwechsel zusammen. Dies ist jedoch nur eine Annahme, welche aufgrund der fehlenden Daten nicht weiter analysiert werden kann. Die detaillierte Auflistung der Bereiche ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich. [47]

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 131,200 – 131,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Schienenwechsel 2011	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 132,300 – 132,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m; 400 m < R < 600 m
km 133,800 – 134,350	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 134,900 – 135,200	Spurweite	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 134,900 – 135,300	mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m

Tabelle 29 Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 5, Gleis 2 [47]

Vergleich Prognose und IST

In Bezug auf die Komponenten wurden der laut LCC-Strategie vorgeschlagene Schienentyp und die Schwellenart noch nicht umgesetzt. Im Oberbau sind noch immer die zum Zeitpunkt der Bewertung vorhandenen Komponenten im Gleis. Die Erneuerung des Oberbaus wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgeführt. Der geplante Re-Investitionszeitpunkt wurde für das Gleis 2 allerdings für das Jahr 2016 bzw. 2017 ermittelt, wodurch dieses Projekt noch nicht zeitlich verschoben wurde. Nachfolgend soll trotz der Einhaltung der zeitlichen Umsetzung eine Analyse der bis jetzt durchgeführten und prognostizierten Instandhaltungen stattfinden. [47]

Modifizierter Arbeitszyklus

In den untenstehenden Arbeitszyklen werden wiederum die vorhergesehenen mit den durchgeführten Längen in Bezug zur Gesamtlänge verglichen. Der Betrachtungszeitraum ist hier wiederum von 2011 bis 2015. [47]

Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120 (2011 – 2015)

<b>Instandhaltungsmaßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,85
<b>Schleifen</b>	/	0,77

Tabelle 30 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 1 [47]



*Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,76
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 31 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 2 [47]

*Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,08

Tabelle 32 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 3 [47]

*Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	2,07
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 33 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 4 [47]

*Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,69
<b>Schleifen</b>	/	0,58

Tabelle 34 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 5 [47]

*Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,8
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 35 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 6 [47]

*Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,94
<b>Schleifen</b>	/	0,18

Tabelle 36 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 7 [47]

*Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,14
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

Tabelle 37 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 8 [47]

*Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517 (2011 – 2015)*

Instandhaltungsmaßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	1,03
<b>Schleifen</b>	/	0,97
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	0,34	Keine Daten vorhanden

Tabelle 38 Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 9 [47]

Im Anhang sind die genauen Daten zum Projekt inklusive der Maschineneinsätze und der kritischen Bereiche zu finden. [47]

Fazit:

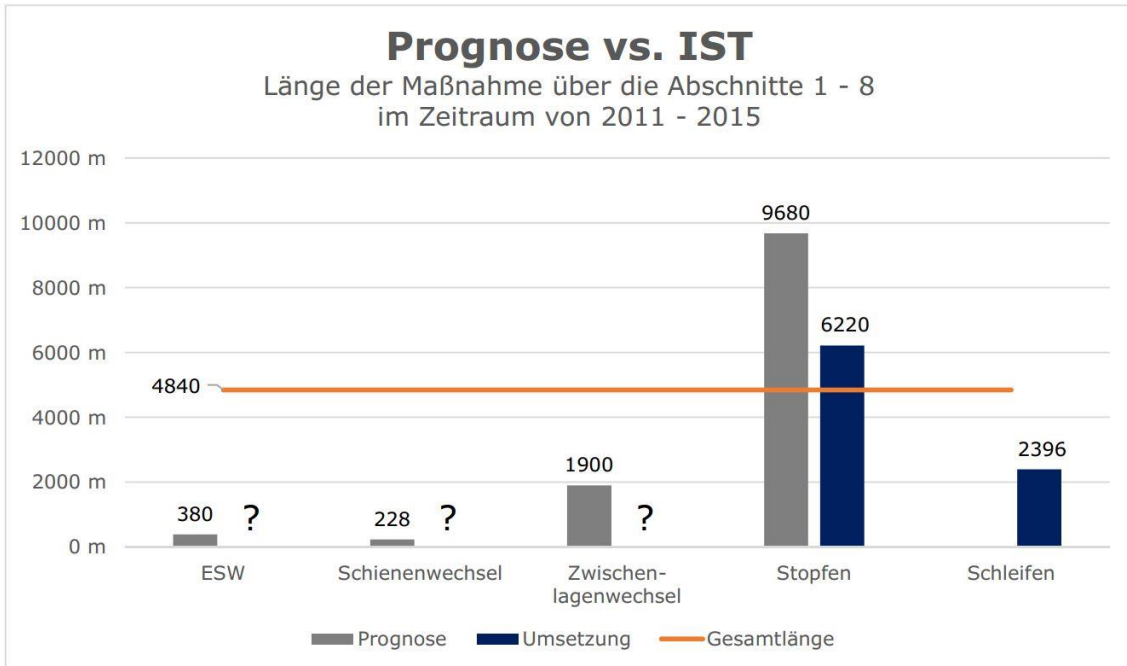


Abbildung 28 Länge der Maßnahme über die Abschnitte 1 - 8

Der optimale Re-Investitionszeitpunkt für das Re-Investitionsprojekt 5, Gleis 2, ergibt sich laut der Projektbewertung der TU Graz im Jahr 2016 bzw. 2017. Dadurch wurde die zeitliche Durchführung dieses Projektes noch nicht nach hinten verschoben. Trotzdem soll nachfolgend ein Vergleich der prognostizierten und umgesetzten Instandhaltungsmaßnahmen für den Zeitraum von 2011 bis 2015 stattfinden.

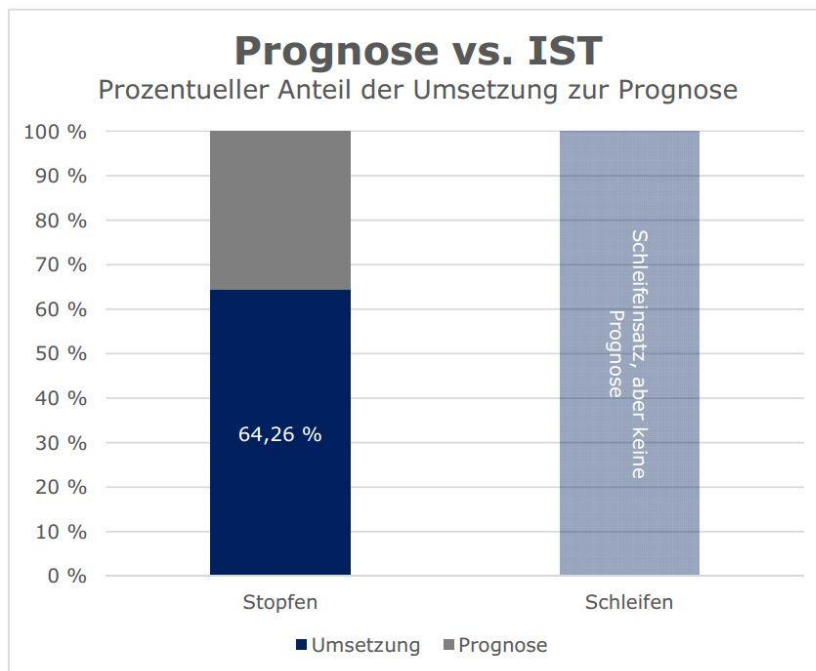


Abbildung 29 Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose

Für die Instandhaltung *Stopfen* ist aus dem Arbeitszyklus der TU Graz ersichtlich, dass die doppelte Gesamtlänge des Re-Investitionsprojektes prognostiziert wurde. Dies entspricht einer Länge von 9680 m. Davon wurden 64,26 % in der Praxis ausgeführt, wodurch sich eine tatsächliche Länge von 6220 m ergibt. Aus den Maschineneinsätzen ist ersichtlich, dass bei diesem Projekt sehr oft sehr kleine Bereiche gestopft wurden. In der nachfolgenden Abbildung 30 ist der prozentuelle Anteil der Umsetzung von der Prognose für die einzelnen Abschnitte angegeben.

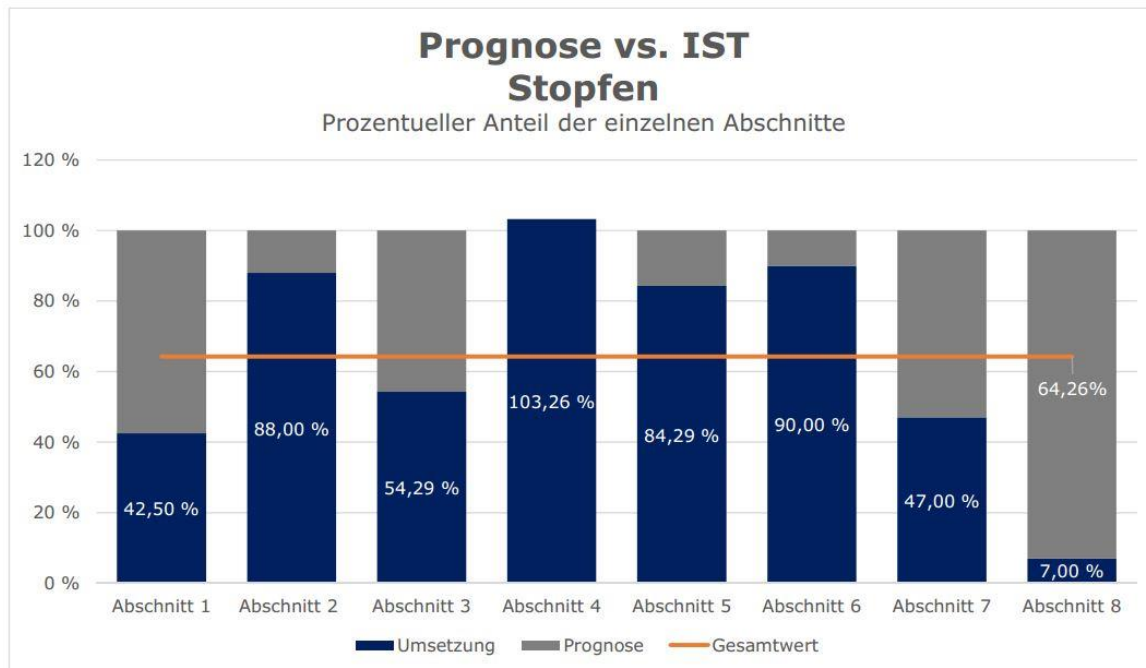


Abbildung 30 Prozentueller Anteil der einzelnen Abschnitte

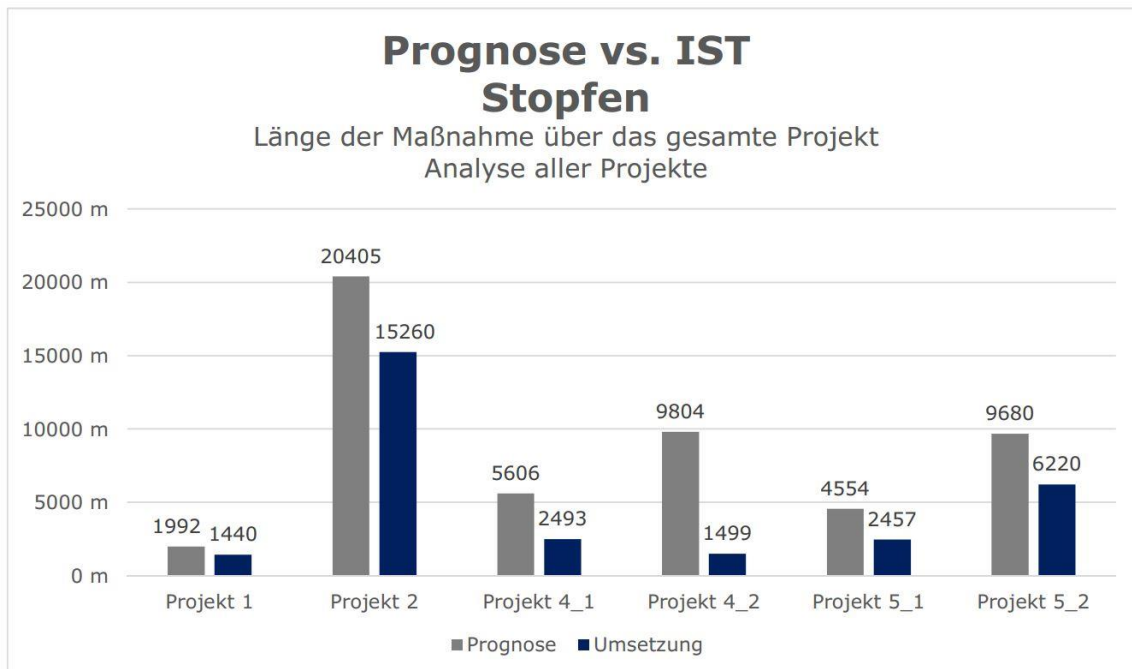
Hieraus ist ersichtlich, dass bei allen Abschnitten, ausgenommen Abschnitt 8, die Umsetzung einen prozentuellen Anteil über 40 % von der Prognose einnimmt. Die gleich bewerteten Abschnitte 1, 3 und 7 befinden sich in etwa bei der Hälfte der Vorhersage, wohingegen die Abschnitte 2, 4, 5 und 6 über 80 % einnehmen. In Abschnitt 4 wurde mehr ausgeführt als prognostiziert war. Allerdings ist hierbei zu vermerken, dass die Länge der einzelnen Abschnitte im Vergleich zu den anderen Projekten sehr kurz ist. Die Länge der einzelnen Bereiche liegt zwischen 250 und 850 m. Abschnitt 5 ist mit 1050 m der längste Abschnitt dieses Re-Investitionsprojektes.

Bei der Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* wurde wiederum kein Einsatz prognostiziert, jedoch wurde über eine Länge von 2396 m ein solcher durchgeführt. Hierbei wurde ein Schleifeinsatz in den Abschnitten 1, 4, 5, 6, 7 und 8 ausgeführt, wobei im Abschnitt 5 ein Bereich zwei Mal innerhalb eines Jahres ausgeführt wurde.

## 5.7 Ergebnisse der Analyse der Re-Investitionsprojekte

Die Beschaffung der Daten für die jeweiligen Re-Investitionsprojekte war in Bezug auf die Instandhaltungsmaßnahmen *Schleifen*, *Stopfen* und *Schotterbettreinigung* aufgrund der vorhandenen Datenbank relativ einfach. Aus den NATAS-Blättern kann man die Maschineneinsätze in den getätigten Jahren und die genauen Bereiche ermitteln. Auch die Daten der vorhandenen Oberbaukomponenten stehen, angesichts der Datenbank iOberbau, einfach zur Verfügung. Aufgrund der kurz zuvor getätigten Re-Investition bei Projekt 1, konnten über die Datenbank nur mehr die aktuell im Gleis befindlichen Komponenten aufgezeigt werden. Der zuvor vorhandene Oberbau konnte nicht mehr eruiert werden. Somit konnte eine Umsetzung des prognostizierten *Außenschienenwechsels* im Jahr 2013 nicht nachvollzogen werden. Des Weiteren werden in der Datenbank kleine Instandhaltungsarbeiten, wie beispielsweise ein kurzer *Schientausch* oder ein *Einzelwellenwechsel*, nicht vermerkt. Dafür benötigt man AnlagenmanagerInnen, welche die regionalen Informationen bereitstellen. Allerdings ist die Beschaffung dieser Daten meist sehr langwierig und war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

Eine weitere Methode, um kleine getätigte Instandhaltungsmaßnahmen zu erkennen, ist die Messung der Spurweite und der modifizierten Standardabweichung. Hierbei kann durch eine Verbesserung dieser beiden Werte ein Schientausch festgestellt werden. Dieser ist meist auch aus den NATAS-Blättern durch eine Änderung der Seitenabnutzung ersichtlich. Bei einer Korrektur der modifizierten Standardabweichung lässt dies auf Instandhaltungsmaßnahmen wie beispielsweise *Kleineisentauch*, *Änderungen bei der Befestigung*, *Zwischenlagenwechsel* oder *Schraublochanierung* schließen. Der Zustand des Schotters bzw. des Untergrundes kann über die Fraktalanalyse festgestellt werden. Durch eine deutliche Verbesserung des mittelwelligen Bereiches kann von einer *Schotterbettreinigung* ausgegangen werden. Außerdem können bei kleinen Veränderungen Stopfeinsätze sichtbar werden. Diese Methoden waren allerdings zum Zeitpunkt der Bewertung im Jahr 2012 noch nicht verfügbar.

*Stopfen*Abbildung 31 Länge der Maßnahme *Stopfen* über die gesamten Projekte

Die Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* wurde bei allen Re-Investitionsprojekten prognostiziert. Bei allen Projekten wurde ein höherer Instandhaltungsaufwand vorhergesagt, als tatsächlich eingetroffen ist. Betrachtet man die kalkulierten und umgesetzten Längen, so ist ersichtlich, dass die Differenz zwischen diesen beiden meistens nur zwischen 500 m und 5 km liegt. Das Re-Investitionsprojekt 4, Gleis 2 (Projekt 4\_2), bildet eine Ausnahme, da hier der Unterschied von der Prognose zur Umsetzung bereits 8 km beträgt. Die Verdichtung des Stopfintervalls wurde somit generell in zu großem Umfang prognostiziert.

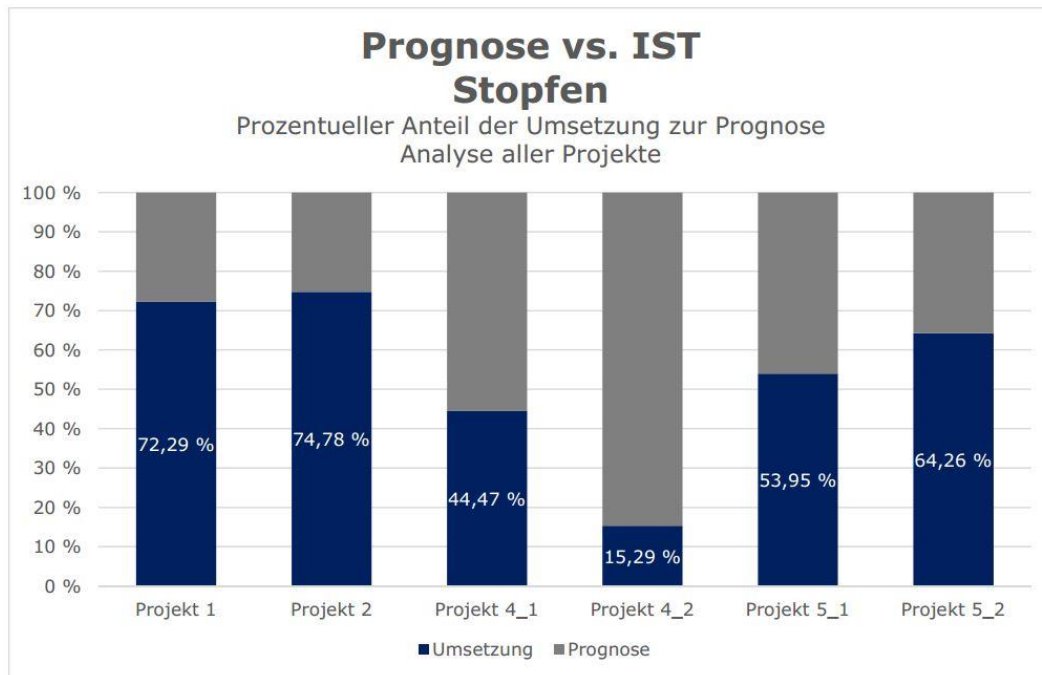


Abbildung 32 Prozentueller Anteil für die Maßnahme *Stopfen* über alle Projekte

Aus der obenstehenden Abbildung 32 ist erkenntlich, dass bei vier Projekten mehr als die Hälfte der prognostizierten Menge umgesetzt wurde. Im Vergleich zur Vorhersage der Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* ist die Übereinstimmung mit der Ausführung beim Stopfeinsatz jedoch bereits sehr gut.

### Schleifen

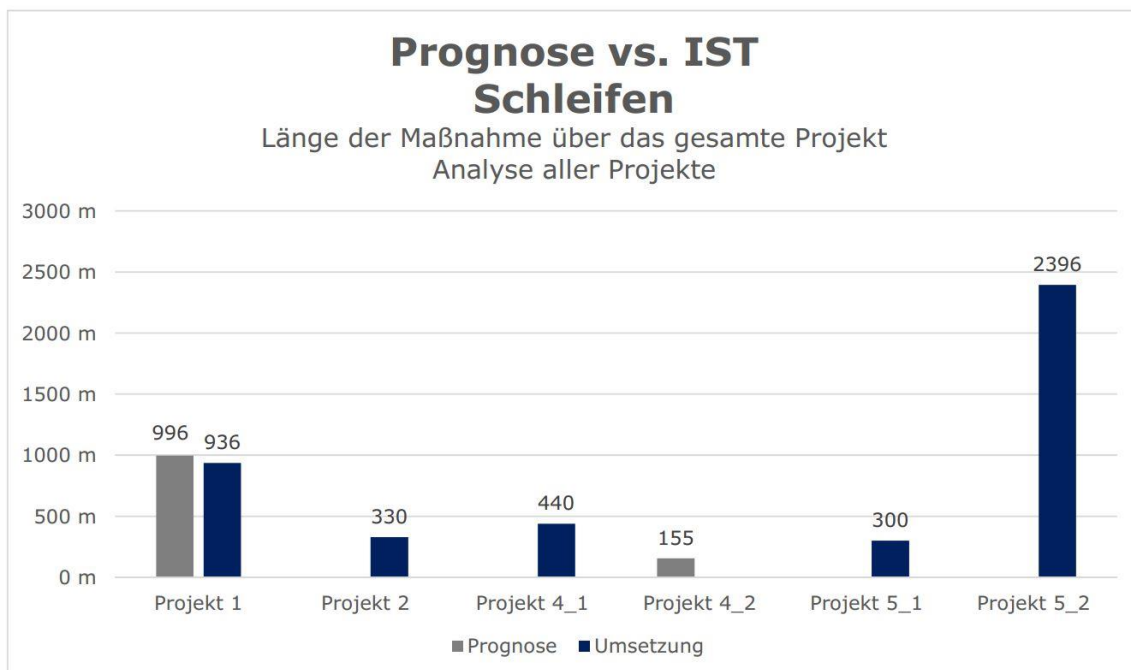


Abbildung 33 Länge der Maßnahme *Schleifen* über alle Projekte

Bei der Instandhaltungsmaßnahme *Schleifen* wurde im Vergleich zur vorher aufgezeigten Maßnahme *Stopfen* kaum Instandhaltungsarbeiten prognostiziert. Hier wurde deutlich mehr ausgeführt, als von Seiten der TU Graz vorhergesagt. Allerdings ist aus Abbildung 33 ersichtlich, dass sich die Durchführung meist auf sehr kleine Bereiche mit einer Länge unter 1 km belaufen. Bei drei von fünf Projekten wurde kein Maschineneinsatz prognostiziert, es wurden jedoch einzelne Bereiche geschliffen. Hingegen ist aus Projekt 1 ersichtlich, dass von der prognostizierten Länge 94 % tatsächlich umgesetzt wurden. In diesem Fall stimmt die Prognose sehr gut mit der Ausführung überein.

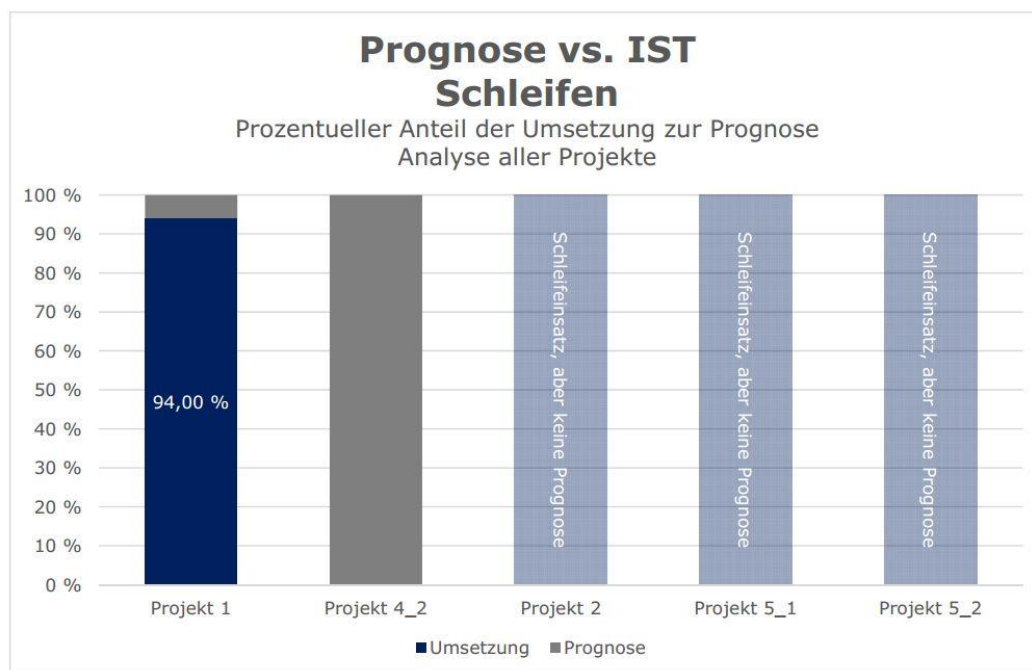


Abbildung 34 Prozentueller Anteil der Maßnahme *Schleifen*



### Schotterbettreinigung

Die Reinigung des Schotterbettes wurde von fünf Re-Investitionsprojekten nur bei Projekt 2 prognostiziert. Hierbei wurde eine Vorhersage von 30 % der Gesamtlänge getätigt. Dabei wurden 450 m tatsächlich umgesetzt, das entspricht 12 % der Gesamtlänge. Ausgeführt wurden von der Prognose somit 38,96 %.

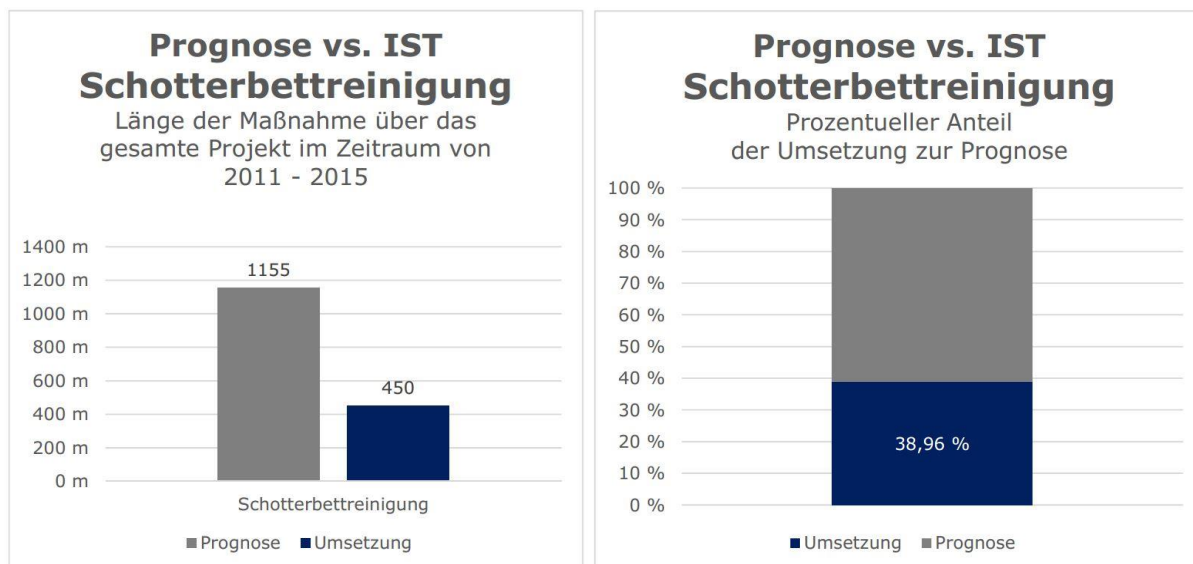


Abbildung 35 Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt

### Langsamfahrstelle

Langsamfahrstellen stellen Geschwindigkeitsreduktionen dar, wodurch ohne zusätzliche Instandhaltungsmaßnahmen eine Verlängerung der Nutzungsdauer erzielt werden kann. Daher werden Langsamfahrstellen oft in kritischen Bereichen gesetzt, um eine Re-Investition hinauszuzögern. Seitens der TU Graz wird eine solche Maßnahme in der Projektbewertung normalerweise nicht angesetzt, da diese zwar zu einer Reduktion der Abschreibung, aber auch zu erhöhten Betriebserschwerungskosten führt. Somit ist eine Optimierung im Sinn der Lebenszykluskosten-Strategie nicht gegeben.

Bei den fünf analysierten Re-Investitionsprojekten wurde bei zwei Projekten eine Langsamfahrstelle eingeführt. Diese wurden zumeist aufgrund eines schadhaften Oberbaus bzw. einer sanierungsbedürftigen Brücke angesetzt. Die Geschwindigkeitsreduktionen in Projekt 1 und Projekt 5, Gleis 2, wurden wegen eines schadhaften Oberbaus etwa zwei Jahre geführt. Bei Projekt 5, Gleis 1 und Gleis 2, trat die Langsamfahrstelle aufgrund einer sanierungsbedürftigen Brücke für ca. ein Jahr auf.

Beim Re-Investitionsprojekt 2 wurde bei einer nicht getätigten Erneuerung eine Langsamfahrstelle vorhergesagt, die jedoch nicht umgesetzt wurde.

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel der Lebenszykluskosten-Strategie ist die Verlängerung der Nutzungsdauer. Durch die Minimierung der größten Kostenposition „Abschreibung“ ist in diesem Ansatz großes Einsparungspotential vorhanden. [8] Durch Erhöhung der Anfangsqualität kommt es zu einer Verschiebung der Qualitätsfunktion, wodurch die Eingriffsschwelle später erreicht wird. Somit kommt es zu einer Verlängerung der Liegedauer. [5] Diese Umsetzung erfordert eine kostenintensive Re-Investition, jedoch ist in diesem Ansatz massives Einsparungspotential vorhanden. [9] Die Reduktion der Gesamtkosten führt somit zu einem nachhaltigen Einsatz der finanziellen Mittel. [7]

Mit Hilfe der Methode GleisPROPHET kann mit der aktuellen Qualität des Gleises, der Verschlechterungsrate und der bereits getätigten Forschungen für einige Jahre eine Prognose erstellt werden. [15] Für die Instandhaltungen *Stopfen*, *Zwischenlagenwechsel*, *Schotterbettreinigung* oder *Befestigung von Holzschwellen* ist die Kenntnis für die Prognose bereits sehr weitreichend, wohingegen bei Head Checks weniger Informationen über die Verschlechterung vorhanden sind. Dafür benötigt man AnlagenmanagerInnen, welche in Kommunikation mit der TU Graz weitere wichtige regionale Informationen für die Projektbewertung liefern. [17] Zur Ermittlung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes wird die Methode des Annuitätenmonitorings herangezogen. Dabei wird der Verlauf der durchschnittlichen dynamischen jährlichen Kosten betrachtet und der Zeitpunkt bestimmt, in dem die alternativ notwendige Instandhaltungsmaßnahme vorgesehen wäre. [1][15] Als Ergebnis der Projektbewertung wird der optimale Re-Investitionszeitpunkt, die Re-Investitionslänge und die nach Lebenszykluskosten-Strategie einzubauenden Komponenten an die ÖBB-Infrastruktur AG zurückgegeben. Dieses Ergebnis stellt lediglich einen Vorschlag zur Re-Investition dar. [1][6]

In Bezug auf die analysierten Projekte stellt sich heraus, dass die Prognose der Instandhaltungsmaßnahme *Stopfen* bereits sehr gut mit der tatsächlichen Umsetzung übereinstimmt. Hierbei wurde die Vorhersage eines verdichteten Stopfintervalls bei zumeist jedem Re-Investitionsprojekt auch ausgeführt, jedoch war die Intensität dieser Stopfeinsätze etwas geringer. Generell wurde bei dieser Instandhaltungsarbeit eine höhere Umsetzung prognostiziert als tatsächlich ausgeführt wurde. Im Gegensatz dazu stimmte die Kalkulation der Schleifeinsätze mit der tatsächlichen Durchführung nicht überein. Zumeist wurde ein Maschineneinsatz umgesetzt, obwohl in diesem Projekt keiner prognostiziert wurde. Allerdings war bei annähernd allen Re-Investitionsprojekten die Länge der Bereiche für den Schleifeinsatz unter 1 km. Bei der Instandhaltungsmaßnahme *Schotterbettreinigung* war die Umsetzungslänge im Vergleich zur Prognose etwas geringer, jedoch wurde diese bei nur einem Projekt prognostiziert. Alternativ zu zusätzlichen Instandhaltungsmaßnahmen

wurden auch Langsamfahrstellen eingesetzt. Diese erschweren bzw. verfälschen jedoch die Prognose, da diese bei der Projektbewertung nicht mitbetrachtet werden und andere Instandhaltungsarbeiten ersetzen. Bei der Durchführung einer *Schraubblochsanie rung* konnte festgestellt werden, dass eine stabilere Gleislage erreicht wurde, als ursprünglich angenommen. Generell kann die zeitliche Verschiebung der analysierten Re-Investitionsprojekte als sinnvoll erachtet werden, da ein höherer Instandhaltungsaufwand prognostiziert wurde als tatsächlich ausgeführt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die gewonnenen Erkenntnisse über die einzelnen Instandhaltungsmaßnahmen zu einer Verbesserung der Prognose, insbesondere für den Schleifeinsatz, führen sollte. Bei der durchgeführten Analyse konnte festgestellt werden, dass es bei den Re-Investitionsprojekten zu einer Differenz zwischen Prognose und Umsetzung kommt. Dieses Resultat gilt es zu hinterfragen und durch weitere Projekte zu untersuchen. Eine Ursache hierfür könnte die Einführung von Langsamfahrstellen sein. Geschwindigkeitsreduktionen werden eingeführt, um die Nutzungsdauer zu verlängern und zusätzliche Instandhaltungsmaßnahmen aufzuschieben. Diese werden jedoch bei den ermittelten Längen der Prognose an der TU Graz nicht mitberücksichtigt. Dadurch wird die Umsetzungslänge und somit das Ergebnis beeinflusst. Für zukünftige Analysen gilt es diese Erkenntnis in die Betrachtung miteinzubeziehen. In Bezug auf die Datenbeschaffung ist die Ermittlung dieser aus vorhandenen Datenbanken relativ einfach und schnell, wohingegen die Informationen für kleine Instandhaltungsmaßnahmen relativ schwer zu schaffen sind. Zu diesen Maßnahmen zählen beispielsweise *Einzelschwellenwechsel*, *Schraubblochsanie rungen*, *Zwischenlagenwechsel* und der *Tausch von Kleineisen*. Eine Verbesserung der Datengrundlage von regionalen Informationen würde eine Verbesserung der Prognosemöglichkeit bieten. Diese Arbeit bietet die Grundlage, die bereits entwickelte Lebenszykluskosten-Strategie in einigen Punkten weiterzuentwickeln. Für die Optimierung der Lebenszykluskosten-Strategie ist es erforderlich, weitere Analysen über Re-Investitionsprojekte durchzuführen und mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen die Prognosegenauigkeit weiter zu erhöhen.

## Anhang: Daten aus internen Projektberichten

## Projekt 1: km 140,190 –147,396, Gleis 2

**Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)**

<i>Bewertung:</i>	2012
<i>Gleisneulage:</i>	7,206 km
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 6,5 Mio.
<i>Radien:</i>	>600 m
<i>Belastung:</i>	34.000 GesBt/Tag
<i>VzG:</i>	130 km/h

*Komponenten:*

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 140,190 – 147,396	54E2 (1978/1998)	Holzschwelle, Bu1 (1980)	R260

*Zustand:*

- Head Checks (in allen Bögen; Risstiefe: zw. 0,5 und 3,0 mm; teilweise >3,0 mm)
- Riffel- und Schlupfwellenbildung in Ordnung
- Seiten- und Höhenabnutzung max. 6 mm
- Durchgehende Verunreinigung des Schotters; Spritzstellen; keine Entwässerung und Belüftung
- Gleislage ist kein Re-Investitionsgrund
- *Riffel- und Schlupfwellen*

Bereich
km 140,200 – 140,240
km 140,450 – 140,800
km 147,220 – 147,393

## Anhang

*Einbauten:*

<i>Bahnhof:</i>	km 142,250 – 142,850		
<i>Weichen:</i>	km 140,256	km 147,337	
<i>EK:</i>	km 141,325	km 144,222	km 144,485
<i>Brücken:</i>	km 140,404	km 140,558	km 141,198
	km 141,820	km 141,920	km 142,033
	km 142,229	km 142,583	km 142,908
	km 143,324	km 144,024	km 144,235
	km 144,861	km 145,673	km 145,894
	km 146,022	km 146,365	km 147,032

*Abschnitt 0.1: km 140,260 – 140,395*

Abschnitt wurde gestrichen, da dieser erst 2009 re-investiert wurde

60E1 Schiene, besohlte Betonschwellen

- Einzelfehler

Bereich	Ursache
km 140,358	Entwässerung

*Abschnitt 1: km 140,400 – 141,095*

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Länge:* 695 m

*Zustand:*

- Schienenneigung geht gegen 0°, aufgrund von fehlendem Kraftschluss
- Rippenplatten pressen sich in Holzschwelle ein

## Anhang

*Unterbau:*

- km 140,400 – 140,600  
Verunreinigter Gleisschotter und unebenes Gleisplanum (29 %) laut GSB; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 2,5 Jahre; mittlere Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe zwischen 0,20 und 0,73 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA und Entwässerung (Bahngräben reprofiliieren)  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; geländegleich
- km 140,600 – 141,200:  
Verunreinigter Gleisschotter laut GSB; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 5,5 Jahre; geringe Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe zwischen 0,06 und 0,13 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- Steigende Mängelbehebung um 25 %
- Zweijähriges Stopfintervall bis 2016, danach jährliches Stopfintervall
- Im Jahr ohne Durcharbeitung: Einzelfehlerstopfungen, ab 2017 jährlich
- Einzelschwellenwechsel im Jahr 2014 (20 %) (Besichtigung)
  - km 140,500 – 140,900: Rippenplatten eingepresst

Abschnitt 2: km 141,095 – 143,300

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2013

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Länge:* 2205 m

*Einbauten:*

- Bahnhof und Brückenbereich: km 142,450 – 142,650
- Eisenbahnkreuzung: km 141,250 – 141,600 (Komponenten wurden 2006 auf Betonschwellen und 60E1 Schienen getauscht)

*Zustand:*

- Schienenneigung geht gegen 0°, aufgrund von fehlendem Kraftschluss
- Rippenplatten pressen sich in Holzschwelle ein
- Spritzstellen: km 142,500
- Head Checks: km 141,400 – 142,500  
km 142,600 – 143,300

*Unterbau:*

- km 141,200 – 141,500:  
Verunreinigter Gleisschotter laut GSB; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 2,5 Jahre; geringe Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe zwischen 0,12 und 0,20 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA; Bereich EK: km 141,325 Ausbildung Einzelfehler  
Feuchtes und unebenes Gleisplanum; 25 %  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; Einschnitt; 62 %
- km 141,500 – 141,600:  
Verunreinigter Gleisschotter laut GSB und vor Ort vorgefunden; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 4,5 Jahre; mittlere Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe 0,24 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA  
Feuchtes und unebenes Gleisplanum; 25 %  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; Einschnitt; 62 %
- km 141,600 – 142,400:  
Verunreinigter Gleisschotter laut GSB und vor Ort vorgefunden; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 4,5 Jahre; geringe Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe 0,12 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA  
Feuchtes und unebenes Gleisplanum; 25 %  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; Einschnitt; 62 %
- km 142,400 – 142,600:  
Verunreinigter und nasser Gleisschotter; unebenes und feuchtes Gleisplanum laut GSB; braune Spritzstellen vor Ort vorgefunden (Einzelfehlerbehebung wurde angesetzt); durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 1,5 Jahre; mittlere bis hohe Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe 0,73 mm pro Jahr) → Unterbauproblem → Unterbausanierung und Entwässerung; Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; Einschnitt
- km 142,600 – 144,200  
Verunreinigter Gleisschotter und teilweise nasser Gleisschotter, sowie unebenes Gleisplanum laut GSB; durchschnittlicher Stopfzyklus ca. alle 4,5 Jahre; geringe Verschlechterungsrate der Gleislage (Veränderung Standardabweichung Längshöhe 0,08 mm pro Jahr) → Schotterproblem → GDA  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; geländegleich; 63 %

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- Steigende Mängelbehebung um 25%
- Verdichtetes Stopfintervall (vorher alle 4 Jahre)
- 3 Einzelfehler; PLM Einsatz notwendig
  - km 141,310 Ursache: EK-Bereich
  - km 141,580 Ursache: Unbekannt; Entwässerung nicht ausreichend
  - km 142,570 Ursache: Brückenbereich
- Einzelschwellenwechsel im Jahr 2013 (200 Stück) (*Begehung*)
  - km 142,500 – 143,000 (Rippenplatten eingepresst)
- Head Checks; Außenschienenwechsel im Jahr 2013 trotz Schleifeinsatzes 2011 (*Begehung*)

Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2017

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Länge:* 3100 m

*Einbauten:*

- Eisenbahnkreuzung: km 144,150 – 144,500

*Zustand:*

- Schlechte Gleislagequalität: km 144,380 – 144,550 (170 m)

*Unterbau:*

- km 143,400 – 143,500  
Unebenes Gleisplanum; Dammzustand schlecht
- km 144,000 – 144,800  
Sicker-, Schicht- und Kapillarwasser; Entwässerung nicht ausreichend; geländegleich; 81 %  
Unebenes Gleisplanum; Dammzustand schlecht; 34 %
- km 146,000 – 146,100  
Sicker- und Schichtwasser; Entwässerung nicht ausreichend; Einschnitt; 63 %
- km 146,300 – 146,500  
Unebenes Gleisplanum; Dammzustand schlecht; 38 %

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- Einzelschwellenwechsel im Jahr 2017 (5 %); derzeit Holzschwelle noch ok
- Verdichtetes Stopfintervall (vorher alle 4 Jahre)
- Einzelfehler:
  - km 144,220 Ursache: Unbekannt, Entwässerung nicht vorhanden



## Anhang

- Bereich: km 144,380 – 144,550 (170 m) schlechte Gleislage, Entwässerung nicht vorhanden

Abschnitt 4: km 146,400 – 147,395

Optimaler Re-Investitionszeitpunkt: 2012

Geplanter Re-Investitionszeitpunkt: 2014

Länge: 995 m

*Zustand:*

- Head Checks: km 147,000 – 147,396
- Schienenneigung geht gegen 0°, aufgrund von fehlendem Kraftschluss
- Einzelschwellenwechsel bereits 2012 teilweise durchgeführt

*Unterbau:*

- km 147,000 – 147,400  
Feuchtes Planum; Dammszustand schlecht; 30 %

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- Steigende Mängelbehebung um 25 %
- Einzelschwellenwechsel im Jahr 2012 (150 Stück) (*Begehung*)
  - km 146,400 – 146,800 (Rippenplatten eingepresst)
  - km 147,000 – 147,396 (Rippenplatten eingepresst)
- Head Checks; Außenschienenwechsel im Jahr 2013 trotz Schleifeinsatzes 2011 (*Begehung*)

**Geplante Re-Investition:***Re-Investitionszeitpunkt:*

Abschnitt 1, 2, 4: 2013

Abschnitt 3: 2017

Re-Investitionslänge: km 140,400 – 147,396

Komponenten: 60E1 Schiene

Besohlte Betonschwellen

Güte R260, R350 HT

60E1(R260/R350HT)-LV-BE L2 besohlt-SKL14(ZW700)-600

## Anhang

*Unterbau:* Unterbausanierung konventionell:  
km 142,344 – 142,581 = 237 m

Entwässerung (Bahngräben reprofilieren):  
km 140,400 – 140,600 = 200 m

Erneuerung Randbahnsteig Haltestelle:  
km 142,459 – 142,573 = 114 m  
Randbahnsteig mit Kantenhöhe 55 cm

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)***Komponenten:*

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 140,400 – 141,316	60E1 (2013)	L2, SKL 14 (2013)	R350 HT	1, 2
km 141,316 – 141,346	60E1 (2006)	Betonschwellen	/	EK
km 141,346 – 143,318	60E1 (2013)	L2, SKL 14 (2013)	R350 HT	2, 3
km 143,318 – 145,478	60E1 (2016)	L2, SKL 28 (2016)	R350 HT	3
km 145,478 – 146,198	60E1 (2016)	L2, SKL 28 (2016)	R260	3
km 146,198 – 147,308	60E1 (2016)	L2, SKL 28 (2016)	R350 HT	3, 4
km 147,308 – 147,337	54E2 (1998)	Bu1, RP (1980)	R260	4

*Maschineneinsatz:*

Bis 2009 aus NATAS-Blatt 2012

Abschnitt 1: km 140,400 – 141,095			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
MDZ	2000	km 140,400 – 141,095	Über gesamten Bereich
	2009	km 140,400 – 140,640	2x Brücke
Speno	2000	km 140,400 – 141,000	Riffel- und Schlupfwellen

Abschnitt 2: km 141,095 – 143,300			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
MDZ	1999	km 142,460 – 142,620	Bahnhof & Brückenbereich
	2000	km 141,900 – 142,340 km 142,460 – 142,620	3x Brücke
	2001	km 141,095 – 143,300	Über gesamten Bereich
	2004	km 141,095 – 143,300	Über gesamten Bereich
	2009	km 141,200 – 143,300	

<b>Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 143,480 – 146,400	
	2001	km 143,300 – 144,460	
	2002	km 144,520 – 146,400	
	2004	km 143,300 – 144,460	
	2009	km 143,300 – 144,960	
	2005	km 144,420 – 146,400	Regelmäßigkeit

<b>Abschnitt 4: km 146,400 – 147,396</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 146,400 – 147,280	
	2002	km 146,400 – 147,260	
	2005	km 146,400 – 147,320	
Speno	1998	km 146,860 – 147,340	
RM	2009	km 147,300 – 147,400	

*Bis 2016 aus NATAS-Blatt 2016*

<b>Abschnitt 1: km 140,400 – 141,095</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2013	km 140,400 – 141,095	Über gesamten Bereich
	2013	km 140,400 – 141,095	Über gesamten Bereich
AHM	2013	km 140,400 – 140,540	Wie vorgeschlagen
RM	2013	km 140,400 – 141,095	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 2: km 141,095 – 143,300</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 141,240 – 141,460	
	2013	km 141,095 – 143,300	Über gesamten Bereich
	2013	km 141,095 – 143,300	Über gesamten Bereich
Speno	2011	km 141,900 – 143,300	Head Checks
AHM	2013	km 142,320 – 142,580	feuchtes und unebenes Gleisplanum
	2013	km 143,140 – 143,300	feuchtes und unebenes Gleisplanum
RM	2013	km 141,095 – 143,300	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 146,140 – 146,400	
	2013	km 143,300 – 143,500	
	2013	km 144,220 – 144,580	
	2014	km 144,220 – 144,580	Schlechte Gleislage, praktisch gleicher Bereich
	2014	km 144,220 – 144,640	
	2014	km 144,180 – 144,600	
	2014	km 145,460 – 146,040	
2014	km 144,320 – 144,400	PLM	
Speno	2011	km 143,600 – 143,880	
	2011	km 144,220 – 144,600	
	2011	km 145,020 – 145,400	
	2011	km 146,300 – 146,400	
	2013	km 143,840 – 144,300	
	2014	km 144,300 – 144,920	
	2014	km 146,180 – 146,300	
AHM	2016	km 143,300 – 143,500	
	2016	km 144,100 – 144,300	Vorschlag von km 144,000 – 144,800
	2016	km 146,340 – 146,400	
RU	2016	km 143,300 – 146,400	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 4: km 146,400 – 147,396</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 146,400 – 147,300	
	2014	km 146,780 – 147,320	
Speno	2011	km 146,400 – 146,800	Head Checks
	2012	km 146,880 – 147,320	
	2014	km 147,300 – 147,400	
PLM	2009	km 147,300 – 147,400	
RU	2016	km 146,400 – 147,337	
AHM	2016	km 146,400 – 146,940	Vorgeschlagene Länge weitergezogen

### Schienenfehler:

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung (IH) nochmals auftreten.

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 143,850	U2/S2	Seit 2008

### Langsamfahrstelle:

<b>km 143,300 – 147,400</b>	
Länge:	4100 m
Seit:	08.09.2014
Bis:	10.2016 (Prognose)
Km/h:	130 km/h / 100 km/h
Ursache:	Schadhafter Oberbau

Langsamfahrstelle befindet sich in Abschnitt 3 und 4

Anhang

*Spurweite- und Fraktalanalyse:* Messsignal nicht über den ganzen Bereich verfügbar

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 143,000 – 143,400	Spur, mod. Standardabweichung	Neulage, 2013	60E1; Betonschwellen; Brücke; R>600
km 147,100 – 147,300	Spur, mod. Standardabweichung		54E2; Holz; R>600
km 145,400 – 145,900	mod. Standardabweichung	MDZ 2014	54E2; Holz; Brücke

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST***Re-Investitionszeitpunkt:**Abschnitt 1:* SOLL: 2013 IST: 2013 (bis auf EK bei km 141,316 – 141,346)*Abschnitt 2:* SOLL: 2013 IST: 2013*Abschnitt 3:* SOLL: 2017 IST: 2016*Abschnitt 4:* SOLL: 2013 IST: 2016

(im letzten Teil, über eine Länge von 88 m, wurde nichts gemacht; Komponenten aus dem Jahr 1998)

*Komponenten:* wurden laut Vorschlag von TUG eingebaut*Unterbau:*

<b>Maßnahme</b>	<b>SOLL</b>	<b>IST</b>
<b>Unterbausanierung konventionell</b>	km 142,344 – 142,581	km 140,400 – 140,540
<b>Entwässerung</b>	km 140,400 – 140,600	Keine Daten vorhanden
<b>Erneuerung Randbahnsteig</b>	km 142,459 – 142,573	Keine Daten vorhanden

**Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus***Abschnitt 1: km 140,400 – 141,095 (2011 – 2012)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Stopfen</b>	1	/

*Abschnitt 2: km 141,095 – 143,300 (2011 – 2012)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	3	/
<b>Stopfen</b>	1	0,1
<b>Schleifen</b>	1	0,63

*Abschnitt 3: km 143,300 – 146,400 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	3	/
<b>Stopfen</b>	2	0,86
<b>Schleifen</b>	1	0,75

*Abschnitt 4: km 146,400 – 147,395 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,18	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,11	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,45
<b>Schleifen</b>	1	0,94

## Projekt 2: km 35,450 – 39,300, Gleis 2

### Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)

<i>Bewertung:</i>	2012
<i>Gleisneulage:</i>	3850 m und Bahnsteig 2 bei einer Haltestelle (240 m); ab km 35,000 bereits ähnliches Verhalten des Gleises
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 5 Mio.
<i>Radien:</i>	>600 m
<i>Belastung:</i>	51.244 GesBt/Tag
<i>VzG:</i>	140 km/h
<i>Komponenten:</i>	

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 35,450 – 39,300	54E2 (1989)	Holzschwelle, Bu1 (1989)	R260

### Zustand:

- Schwellentausch aufgrund des Alters
- Schienenneigung zeigt Rauschen
- Spurverengung
- 65 % der Gesamtlänge weist schlechte Gleislagequalität auf (exkl. Einzelfehler)
- Bei km 36,600 – 36,850 bereits unterjähriges Stopfintervall; Verschlechterungsrate: 0,56
- In folgenden Bereichen wird bald unterjähriges Stopfintervall notwendig sein; Grund dafür ist die Schotterzerstörung

Bereich	Verschlechterungsrate
km 35,450 – 36,200	Verschlechterungsrate: 0,28
km 37,200 – 37,580	Verschlechterungsrate: 0,38
km 37,700 – 37,800	Verschlechterungsrate: 0,37
km 37,900 – 38,100	Verschlechterungsrate: 0,27
km 38,500 – 39,300	Verschlechterungsrate: 0,21

- *Riffel- und Schlupfwellen:*

<b>Bereich</b>
km 35,450 – 35,620
km 37,400
km 35,800 – 36,140

*Einbauten:*

*Bahnhof:* km 36,240 – 36,840

*Durchlass:* km 35,530 km 35,751 km 36,315  
 km 36,964 km 37,616 km 38,218  
 km 38,223

*Brücke:* km 36,791

*Abschnitt 1: km 35,450 – 39,300*

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2015

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2015

*4 Einzelfehler:*

<b>Bereich</b>	<b>Ursache</b>
km 36,210	Brückenbereich
km 36,980	Brückenbereich
km 37,260	Unbekannt
km 38,210	Brückenbereich

*Instandhaltungsmaßnahmen* aufgrund des aktuellen Zustandes:

- Steigende Mängelbehebung um 10 %
- Großteils einjähriges Stopfintervall bzw. unterjähriges Stopfintervall
- Schotterbettreinigung von 30 % des Abschnittes
- Ohne Maßnahme: LA erforderlich

**Geplante Re-Investition:**

*Re-Investitionszeitpunkt:* 2015

*Re-Investitionslänge:* km 35,000 – 39,300



Anhang

Komponenten: 60E1 Schiene

Besohlte Betonschwellen

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)**

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 35,450 – 35,986	54E2 (1988), lv	Holzschwelle, Bu1 (1988)	R260
km 35,986 – 39,290	54E2 (1990), lv	Holzschwelle, Bu1 (1990)	R260
km 39,290 – 39,300	60E1 (2010), lv	Betonschwelle, L2 (2010)	R260

*Zustand aus Projektliste 2015:*

- Grenzbelastung der Schiene ist erreicht bzw. überschritten
- Rippenplatten eingepresst
- Spurweitenfehler aufgrund der eingepressten Rippenplatten
- Spritzstellen führen zu kurzfristigen LA-Stellen

*Maschineneinsatz:**Bis 2010 aus NATAS-Blatt 2012*

Abschnitt 1: km 35,450 – 39,300			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
MDZ	1999	km 36,200 – 38,200	
	2000	km 35,000 – 39,300	
	2002	km 36,200 – 39,260	
	2003	km 35,400 – 36,200	
	2003	km 36,700 – 37,050	
	2003	km 36,800 – 36,840	
	2004	km 38,900 – 39,300	
	2005	km 35,000 – 36,840	
	2005	km 37,900 – 38,300	
	2006	km 35,740 – 36,160	
	2006	km 36,600 – 36,820	
	2006	km 36,540 – 37,800	
	2007	km 35,000 – 36,140	
	2007	km 36,600 – 39,300	
	2008	km 36,600 – 36,840	
	2009	km 36,640 – 36,840	
	2010	km 35,800 – 37,000	
	2010	km 36,300 – 36,380	
	2010	km 36,920 – 37,080	
	2010	km 38,100 – 38,280	
Speno	2006	km 35,000 – 39,300	Über gesamten Bereich

Bis 2015 aus NATAS-Blatt 2016

<b>Abschnitt 1: km 35,450 – 39,300</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 35,450 – 36,180	Gleicher Bereich, b=0,28
	2011	km 36,520 – 38,050	b=0,56
	2011	km 37,320 – 37,580	b=0,38
	2011	km 39,180 – 39,300	b=0,21
	2012	km 35,450 – 36,180	Gleicher Bereich, b=0,28
	2012	km 36,550 – 37,000	b=0,56
	2012	km 39,200 – 39,300	b=0,21
	2013	km 35,800 – 38,000	Fast gesamter Bereich, jährlich
	2013	km 38,700 – 39,300	b=0,21
	2014	km 35,450 – 39,250	Fast gesamter Bereich, jährlich
	2015	km 35,450 – 39,300	Über gesamten Bereich, jährlich
	2015	km 35,820 – 36,020	b=0,28
	2015	km 36,420 – 36,850	b=0,56
	2015	km 37,620 – 37,880	b=0,37
Speno	2015	km 36,450 – 36,780	b=0,56
RM	2015	km 36,550 – 36,850	b=0,56
	2015	km 35,850 – 36,000	b=0,28

- Ab 2013 jährlicher Stopfeinsatz über den gesamten Bereich
- km 35,800 – 36,180: seit 2010 jährliches Stopfintervall
- km 36,520 – 37,000: seit 2009 jährliches Stopfintervall
- km 35,300 – 36,200: alle drei Meter wurde ein Schurf genommen
- km 36,600 und km 36,720: alle drei Meter wurde ein Schurf genommen
- km 38,600 – 39,300: 3 Schürfe

**Schienenfehler:**

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten.

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 35,450	Schienenfehler (rot)	Jahr 2012
km 35,550	U2/S2	Tritt immer wieder auf, seit 2010
km 35,620	U2/S2	Seit 2009
km 36,080	Schienenfehler (rot)	Jahr 2012
km 36,140	U2/S2	Seit 2015
km 37,420	U3/S3	Seit 2015

**Spurweite- und Fraktalanalyse:**

<b>Fraktal</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>
km 35,450 – 35,800	Schotter, Unterbau	MDZ
km 36,900 – 37,100	Schotter, Unterbau	MDZ
km 37,350 – 37,650	Schotter, Unterbau	MDZ
km 37,850 – 38,100	Unterbau	MDZ

Anhang

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST**

Re-Investitionszeitpunkt: SOLL: 2015 IST: -

Komponenten:

Soll		IST	
Schiene	Schwelle	Schiene	Schwelle
60E1	Besohlte Beton-schwellen	54E2 (1988/1990), lv	Holzschwellen, Bu1 (1988/1990)

**Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus**

Abschnitt 1: km 35,450 – 39,300 (2011 – 2015)

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	8	Keine Daten vorhanden
<b>Schotterbettreinigung</b>	0,3	0,1
<b>Stopfen</b>	5,3	3,96
<b>Schleifen</b>	/	0,09

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

## Projekt 3: km 17,325 – 21,616, Gleis 1

### Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)

<i>Bewertung:</i>	2012	
<i>Gleisneulage:</i>	4291 m	
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 6,9 Mio.	
<i>Radien:</i>	>600 m	
<i>Belastung:</i>	12.000 GesBt/Tag	
<i>VzG:</i>	140 km/h	km 17,325 – 21,010
	120 km/h	km 21,010 – 21,616

#### Komponenten:

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 17,325 – 17,336	54E2, lv (1997)	Bu1, RP (1976)	R260
km 17,336 – 18,741	49E1, lv (1976)	Bu1, RP (1976)	R200
km 18,741 – 20,000	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R200
km 20,000 – 21,393	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260
km 21,393 – 21,615	60E1, lv (2011)	K1, SKL14 (2011)	R260

Letzter Teil wurde 2011 betrachtet und deswegen bei der Projektbewertung nicht mitberücksichtigt

#### Zustand:

- Schienenneigung zeigt auffälliges Schienenrauschen aufgrund des Kraftschlussverlustes
- Spurverengung um bis zu -7 mm
- 2011: wurde von km 21,393 – 21,615 eine Re-Investition durchgeführt und 60E1 Schienen und Betonschwellen eingebaut; zusätzlich wurde eine Schotterbettreinigung durchgeführt
- Abzüglich des Re-Investitionsbereiches weisen 20 % des Re-Investitionsprojektes eine schlechte Gleislage auf
- Riffel- und Schlupfwellenbildung zwischen km 19,000 – 19,700

#### Einbauten:

<i>Haltestelle:</i>	km 18,310 – 18,900	km 19,955 – 20,560
<i>Weichen:</i>	Beginn und Ende des Projektes werden durch einen Weichenbereich begrenzt	

## Anhang

<i>Brücken:</i>	km 17,671	km 17,734	km 18,221
	km 18,243	km 18,618	km 18,655
	km 18,859	km 19,565	km 19,643
	km 20,273	km 20,291	km 20,696
	km 21,106	km 21,363	km 21,496
<i>Durchlass:</i>	km 17,492	km 17,762	km 18,381
	km 18,737	km 18,796	km 18,805
	km 19,045	km 19,556	km 21,222
	km 21,351		
<i>Einzelfehler:</i>	km 17,675	km 17,725	km 18,220
	km 18,860	km 20,298	km 20,690
	km 20,960	km 21,090	

*Schlechte Gleislage*

<i>km 17,300 – 18,900:</i>	Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; feuchtes und unebe- nes Gleisplanum; nasser und verunreinigter Gleisschotter; Ent- wässerung nicht vorhanden
<i>km 19,100 – 19,200:</i>	Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden
<i>km 19,300 – 20,100:</i>	feuchtes Gleisplanum
<i>km 20,100 – 20,300:</i>	Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden
<i>km 21,600 – 21,700:</i>	Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden

Anhang

*Detaillierte Betrachtung der schlechten Gleislage:*

- km 18,500 - 18,700:* Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden
- km 17,300 - 18,900:* nasser Gleisschotter; verunreinigter Gleisschotter
- km 18,700 - 18,800:* feuchtes Gleisplanum; unebenes Gleisplanum; Dammzustand mittel
- km 19,100 - 19,200:* Sicker- und Schichtwasser, geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden
- km 19,300 - 20,100:* feuchtes Gleisplanum; Dammzustand mittel
- km 20,100 - 20,300:* Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden
- km 21,600 - 21,700:* Sicker- und Schichtwasser; geländegleich; Entwässerung nicht vorhanden

**Geplante Re-Investition:**

- Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2012
- Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014
- Re-Investitionslänge:* km 17,325 - 21,393
- Komponenten:* 60E1 Schiene  
Besohlte Betonschwellen
- Unterbau:* Planumsverbesserung und Bahntwässerung am Gleis 1

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)**

*Komponenten:* gleich wie zum Zeitpunkt der Bewertung

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte
km 17,325 - 17,336	54E2, lv (1997)	Bu1, RP (1976)	R260
km 17,336 - 18,741	49E1, lv (1976)	Bu1, RP (1976)	R200
km 18,741 - 20,000	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R200
km 20,000 - 21,393	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260
km 21,393 - 21,615	60E1, lv (2011)	K1, SKL14 (2011)	R260

*Aus Projektliste 2015*

- Spurerweiterung in den Bogenbereichen aufgrund des hohen Alters der Holzschwellen und fehlenden Kraftschlusses
- Rippenplatten zum Teil stark eingefahren
- Bei ausbleibender Re-Investition ist im Jahr 2014 mit einer Geschwindigkeitsreduktion von 20 km/h zu rechnen; Fahrzeitverlust durch LA für Railjet: 0,1 min
- Durchlass km 21,470 zeigt Schäden in Form von Rissen, Ausbrüchen, Betonverwitterung; das Objekt ist aufgrund der Schäden aufzulassen
- Re-Investition wurde 2016 und 2017 angesetzt mit einem Geldbetrag von jeweils € 3,2 Mio.

Maschineneinsatz:*Bis 2012 aus NATAS-Blatt 2012*

<b>Abschnitt 1: km 17,325 – 21,393</b>			
<b>Maschinen einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 17,325 – 21,393	Nasser und verunreinigter Schotter; 14x Brücken; 10x Durchlässe
	2002	km 20,250 – 20,400	Sicker- und Schichtwasser; Entwässerung nicht vorhanden; 1x Brücke
	2003	km 17,325 – 21,393	Nasser und verunreinigter Schotter; 14x Brücken; 10x Durchlässe
	2003	km 19,460 – 19,720	Gleicher Bereich im gleichen Jahr; feuchtes Gleisplanum; 2x Brücke, 1x Durchlass
	2003	km 19,460 – 19,720	
	2005	km 19,460 – 19,720	
	2007	km 17,325 – 16,780	Nasser und verunreinigter Gleisschotter; 6x Brücken; 4x Durchlässe
Speno	2001	km 20,000 – 21,020	
	2003	km 18,400 – 20,300	Riffel- und Schlupfwellen
	2007	km 17,325 – 18,760	
	2007	km 21,160 – 21,393	

Bis 2015 aus NATAS-Blatt 2016

<b>Abschnitt 1: km 17,325 – 21,393</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 18,580 – 20,780	Feuchtes und unebenes Gleisplanum; 5x Brücken; 5x Durchlässe
	2011	km 20,750 – 21,393	2x Brücken; 1x Durchlass
	2012	km 17,500 – 17,860	Nasser und verunreinigter Gleisschotter; 2x Brücken; 1x Durchlass
	2012	km 18,150 – 18,280	Nasser und verunreinigter Gleisschotter
	2012	km 21,210 – 21,393	1x Brücke; 2x Durchlass
	2014	km 18,600 – 18,980	Feuchtes und unebenes Gleisplanum, 2x Brücken, 3x Durchlässe
	2014	km 19,460 – 19,700	Feuchtes Gleisplanum, 2x Brücken, 1x Durchlass
	2014	km 20,480 – 21,393	3x Brücken
Speno	2012	km 18,400 – 18,800	
	2013	km 18,780 – 19,660	2015 treten wieder Risstiefen von ca. 0,5 – 1 mm auf; Riffel- und Schlupf- wellen

#### Schienenfehler:

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten.

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 17,920	Schienenfehler (rot)	Seit 2008; nasser und verunreinigter Schotter
km 18,240	U3+/S3+	Seit 2015; Brücke; Einzelfehler
km 18,640	U2/S2	Seit 2014; Brücke; Sicker- und Schichtwasser
km 19,180	U2/S2	Seit 2014; Sicker- und Schichtwasser
km 19,240	U2/S2	Seit 2014
km 19,290	U3/S3	Seit 2014
km 19,400	U3/S3	Seit 2014
km 19,520	U2/S2	Seit 2015; Durchlass und Brücke; feuchtes Planum
km 20,840	U2/S2	Seit 2015
km 20,980	U2/S2	Seit 2015

#### Langsamfahrstelle:

Langsamfahrstelle wurde aufgrund zu großer Höhenabnutzung über den gesamten Bereich angesetzt. Die Schiene wäre zu tauschen gewesen, jedoch wurde dies aufgrund einer Ausnahmeregelung nicht durchgeführt.



Anhang

*Spurweite- und Fraktalanalyse:* Messsignal nicht vollständig

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Zustand</b>
Ab km 21,400	Spurweite, mod. Standardabweichung	Neulage

<b>Fraktal</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>
km 17,500 – 17,800	Unterbau	MDZ
km 18,800 – 19,000	Unterbau, Schotter	MDZ
km 19,000 – 19,200	Unterbau	MDZ
km 20,200 – 20,400	Unterbau	MDZ
km 20,500 – 20,800	Unterbau	MDZ
km 20,900 – 21,200	Unterbau	MDZ

### Teil 3: Vergleich Prognose und IST

Re-Investitionszeitpunkt:

*Abschnitt 1:* SOLL: 2012 IST: /

*Komponenten:*

<b>SOLL</b>		<b>IST</b>	
<b>Schiene</b>	<b>Schwelle</b>	<b>Schiene</b>	<b>Schwelle</b>
60E1	Besohlte Beton-schwellen	49E1 (1976/1980)	Holzschwellen Bu1 (1979/1980)

### Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus

*Abschnitt 1: km 17,323 – 21,393 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	0,24	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	/	1,24
<b>Schleifen</b>	/	0,31

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind;  
Nur Cash-Out vorhanden; kann nur mit Geldwert verglichen werden

## Projekt 4: km 76,456 – 78,949, Gleis 1

### Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)

<i>Bewertung:</i>	2012
<i>Gleisneulage:</i>	2493 m
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 8,4 Mio.
<i>Radien:</i>	250 m < R < 400 m, 400 m < R < 600 m, R > 600 m
<i>Belastung:</i>	11.900 GesBt/Tag
<i>VzG:</i>	80 km/h

#### Komponenten:

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,456 - 76,726	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1985)	R260	1
km 76,726 - 77,380	54E2, lv (1986)	Bu1, RP (1985)	R260	1, 2
km 77,380 - 77,387	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1985)	R260	2
km 77,387 - 77,630	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1983)	R260	2, 3, 4
km 77,630 - 77,862	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,862 - 77,910	49E1, lv (1992)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,910 - 78,947	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4

#### Zustand:

- Kritische Bereiche der Schienenneigung und Spurweite in den Bogenbereichen

Bereich
km 76,580 – 76,780
km 76,925 – 77,400
km 77,450 – 77,625
km 78,550 – 78,825

- Bei km 77,625 – 77,450 zeigt sich eine Verbesserung des Messsignals (zusätzliche Maßnahmen getätigt)
- Einzelfehler:

Bereich
km 76,721
km 78,134 (Tunneleinfahrtsbereich)

- Schlechte Gleislagequalität:

Bereich	Verschlechterungsrate
km 76,500 – 76,600	b=0,1
km 77,300 – 77,500	b=0,1
km 78,150 – 78,750	b=0,09

- Riffel- und Schlupfwellen bereits über Eingriffsschwelle

Bereich
km 76,880 – 77,150
km 78,560 – 78,600

*Geotechnisches Streckenband:*

*km 76,500 – 76,700:* Sicker- und Schichtwasser; fehlende Entwässerung; Einschnitt; nasser und verunreinigter Gleisschotter

*km 76,500 – 76,700:* feuchtes Gleisplanum

*km 77,400 – 78,100:* verunreinigter und nasser Gleisschotter

*km 78,600 – 78,800:* Sicker- und Schichtwasser; fehlende Entwässerung; verunreinigter und nasser Gleisschotter

*Einbauten:*

*Tunnel:* km 76,720 – 77,390 km 78,130 – 78,450

*Weichen:* Projektbeginn und Projektende werden durch einen Weichenbereich begrenzt

*Brücken:* km 76,552 km 78,510

*Durchlässe:* km 77,432 km 77,640 km 77,847

km 78,029 km 78,192 km 78,717

km 78,885

*Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830*

*Radien:* R>600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

Anhang

*Komponenten:* 49E1 Schiene (1983), lv, R 260

Holzschwellen Bu1 (1985), RP

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2014, 2016, 2018 (10 %)

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450*

*Radien:* 400 m < R < 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2013

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 54E2 Schiene (1998)

Holzschwellen (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2013, 2015, 2017 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610*

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 54E2 Schiene (1998)

Holzschwellen (1983)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2012 (5 %), 2014 (10 %), 2016 (5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

Anhang

Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949

Radien: 400 m &lt; R &lt; 600 m , R &gt; 600 m

Optimaler Re-Investitionszeitpunkt: 2017

Geplanter Re-Investitionszeitpunkt: 2014

Komponenten: 49E1 Schiene (1983)  
Holzschwellen (1983)

Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2013, 2015, 2017 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

**Geplante Re-Investition:**

Re-Investitionszeitpunkt: 2014

Komponenten: 60E1 Schiene  
Besohlte Betonschwellen  
Tunnelbereich +/- 50 m: 54E2 Schiene  
Holzschwellen  
Aufgrund der geringeren Schotterbetthöhe

Unterbau: Wechsel von leichtem auf schweren Oberbau nötig

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)**

Komponenten: gleich wie zum Zeitpunkt der Bewertung

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,456 - 76,726	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1985)	R260	1
km 76,726 - 77,380	54E2, lv (1986)	Bu1, RP (1985)	R260	1, 2
km 77,380 - 77,387	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1985)	R260	2
km 77,387 - 77,630	54E2, lv (1998)	Bu1, RP (1983)	R260	2, 3, 4
km 77,630 - 77,862	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,862 - 77,910	49E1, lv (1992)	Bu1, RP (1983)	R260	4
km 77,910 - 78,947	49E1, lv (1983)	Bu1, RP (1983)	R260	4

Anhang

Maschineneinsatz:

Bis 2010 aus NATAS-Blatt 2012

<b>Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
Speno	2004	km 76,460 – 76,830	Gleicher Bereich; Tunnel
	2005	km 76,760 – 76,830	Gleicher Bereich wurde auf Gleis 2 gemacht

<b>Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
Speno	2004	km 76,830 – 77,400	Gleicher Bereich; Tunnel; Riffel- und Schlupfwellen
	2005	km 76,830 – 77,700	Gleicher Bereich wurde auf Gleis 2 gemacht; Riffel- und Schlupfwellen

<b>Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2006	km 77,500 – 77,610	Gleicher Bereich wurde auf Gleis 2 gemacht; verunreinigter und nasser Schotter; zwischen Tunnelbereichen; 3x Durchlässe
	2010	km 77,360 – 77,610	
Speno	2009	km 77,420 – 77,610	

<b>Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2006	km 77,610 – 78,120	Gleicher Bereich wurde auf Gleis 2 gemacht; verunreinigter und nasser Schotter; zwischen Tunnelbereichen; 3x Durchlässe
	2006	km 78,520 – 78,949	Verunreinigter und nasser Schotter; Entwässerung nicht vorhanden; Sicker- und Schichtwasser; Tunnel
	2010	km 77,610 – 78,160	Verunreinigter und nasser Schotter
	2010	km 78,440 – 78,600	Verunreinigter und nasser Schotter; Entwässerung nicht vorhanden; Sicker- und Schichtwasser
Speno	2004	km 78,560 – 78,949	Riffel- und Schlupfwellen
	2005	km 78,400 – 78,500	
	2006	km 78,420 – 78,949	Gleicher Bereich wurde auf Gleis 2 gemacht; Riffel- und Schlupfwellen
	2009	km 77,610 – 78,949	

Anhang

*Bis 2015 aus NATAS-Blatt 2016*

<b>Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 76,456 – 76,830	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 76,830 – 77,450	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 77,450 – 77,610	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 77,610 – 78,949	Über gesamten Bereich
Speno	2015	km 77,720 – 78,160	Risstiefe von 0-1 mm: km 77,780 – 78,100

*Schienenfehler:*

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten.

*Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 76,540	U3/S3	Seit 2015; Brücke
km 76,620	U2/S2	Seit 2015

*Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 78,510	U2/S2	Seit 2013; Brücke
km 78,550	U3/S3	Seit 2010

*Langsamfahrstelle:*

Keine Langsamfahrstelle eingeführt

Anhang

*Zustand aus Projektliste 2014/2015*

- Bei ausbleibender Re-Investition ist für das Gleis 1 ab 2014 und für das Gleis 2 ab Herbst 2016 eine Geschwindigkeitsreduktion von 20 km/h vorgesehen

*Spurweite- und Fraktalanalyse:*

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 77,400 – 77,600	Spurweite	SLS	54E2/49E1; Holz; Ende Tunnel; Durchlass; R=300 m
km 77,400 – 78,000	mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Ende Tunnel; Durchlass; R=300 m
km 77,750 – 78,000	Spurweite	SLS	54E2/49E1; Holz; Durchlass; 400 m < R < 600 m
km 78,400 – 78,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Tunnel; Brücke; 400 m < R < 600 m

<b>Fraktal</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>
km 76,700 – 78,949	Schotter, Unterbau	MDZ

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST***Re-Investitionszeitpunkt:*

Abschnitte 1, 2, 3, 4:                      SOLL: 2014    IST: /

*Komponenten:*

<b>SOLL</b>		<b>IST</b>	
<b>Schiene</b>	<b>Schwelle</b>	<b>Schiene</b>	<b>Schwelle</b>
60E1, 54E2 (Tunnel)	Besohlte Beton-schwellen, Holz-schwellen (Tunnel)	54E2, 49E1, lv	Holzschwelle Bu1



**Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus***Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,053	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,153	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	1

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,610 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,15	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 4: km 77,610 – 78,949 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,043	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Schleifen</b>	/	0,33

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

## Projekt 4: km 76,456 – 78,949, Gleis 2

### Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)

<i>Bewertung:</i>	2012
<i>Gleisneulage:</i>	2493 m
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 8,4 Mio.
<i>Radien:</i>	250 m < R < 400 m, 400 m < R < 600 m, R > 600 m
<i>Belastung:</i>	11.900 GesBt/Tag
<i>VzG:</i>	80 km/h

#### Komponenten:

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,499 - 76,508	54E2, lv (1978)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,508 - 76,725	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,725 - 76,799	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	1
km 76,799 - 77,395	54E2, lv (1991) (A) 54E2, lv (1992) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	1, 2
km 77,395 - 77,634	54E2, lv (1998)	Ei1, RP (1979)	R260	2, 3, 4
km 77,634 - 77,751	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 77,751 - 78,045	49E1, lv (1993) (A) 49E1, lv (1980) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	4
km 78,045 - 78,447	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 78,447 - 78,497	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,497 - 78,578	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,578 - 78,802	49E1, lv (1992) (A) 49E1, lv (1979) (I)	Bu1, RP (1978) (A) Bu1, RP (1978) (I)	R260	4
km 78,802 - 78,949	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4

Eichenschwellen wurden im Tunnel und zwischen den beiden Tunneln eingebaut

#### Zustand:

- Die Schienenneigung und die Spurweite zeigen im Bogenbereich kritische Werte; zusätzlich ist ein Grundrauschen aufgrund eines Kraftschlussproblems zu erkennen

Bereich
km 76,850 - 77,260
km 77,500 - 77,600
km 78,450 - 78,500
km 78,620 - 78,820

- Einzelfehler: alle Einzelfehler befinden sich im Tunneleinfahrtsbereich oder im Tunnel selbst

Bereich
km 76,721, (wie bei Gleis 1)
km 77,000
km 77,400
km 78,130
km 78,447

- Riffel- und Schlupfwellen überschreiten bereits die Eingriffsschwelle

Bereich
km 76,510 – 77,400
km 78,540 – 78,620

#### Geotechnisches Streckenband:

km 76,600 – 76,700: kritische Schottersituation; Entwässerungsprobleme

km 77,800 – 78,100: Einschnitt; Sicker- und Schichtwasser; Entwässerungsprobleme

km 77,400 – 78,100: kritische Schottersituation; Entwässerungsprobleme

#### Einbauten:

Tunnel: km 76,720 – 77,390 km 78,130 – 78,450

Weichen: Projektbeginn und Projektende werden durch Weichenbereich begrenzt

Brücken: km 76,552 km 78,510

Durchlässe: km 77,432 km 77,640 km 77,847

km 78,029 km 78,192 km 78,717

km 78,885

#### Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830

Radien: R > 600 m

Optimaler Re-Investitionszeitpunkt: 2015

Geplanter Re-Investitionszeitpunkt: 2014

Anhang

*Komponenten:* 49E1 Schiene (1980)

Holzschwellen (1980)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel im Jahr 2015 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450*

*Radien:* 400 m < R < 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2013

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 54E2 Schiene (1991)

Holzschwellen (1979)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2013, 2015, 2017 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605*

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2013

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 54E2 Schiene (1998)

Holzschwellen (1979)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2013, 2015, 2017 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

Anhang

Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949*Radien:* 400 m < R < 600 m , R > 600 m*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2013*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014*Komponenten:* 49E1 Schiene (1980)

Holzschwellen (1979)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2013, 2015, 2017 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

**Geplante Re-Investition:***Re-Investitionszeitpunkt:* 2013*Komponenten:* 60E1 Schiene

Besohlte Betonschwellen

Tunnelbereich +/- 50 m: 54E2 Schiene

Holzschwellen

Aufgrund geringerer Schotterbetthöhe

*Unterbau:* Wechsel von leichtem auf schweren Oberbau nötig

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)**

Komponenten: wie vorher, nur zwischen km 76,499 – 76,501: Ei 1, RP, 2008

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 76,499 – 76,501	54E2, lv (1978)	Ei1, RP (2008)	R260	1
km 76,501 – 76,508	54E2,lv (1978)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,508 – 76,725	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1980)	R260	1
km 76,725 – 76,799	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	1
km 76,799 – 77,395	54E2, lv (1991) (A) 54E2, lv (1992) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	1, 2
km 77,395 – 77,634	54E2, lv (1998)	Ei1, RP (1979)	R260	2, 3, 4
km 77,634 – 77,751	49E1,lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 77,751 – 78,045	49E1, lv (1993) (A) 49E1, lv (1980) (I)	Ei1, RP (1979) (A) Ei1, RP (1979) (I)	R260	4
km 78,045 – 78,447	49E1, lv (1980)	Ei1, RP (1979)	R260	4
km 78,447 – 78,497	49E1, lv (1980)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,497 – 78,578	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4
km 78,578 – 78,802	49E1, lv (1992) (A) 49E1, lv (1979) (I)	Bu1, RP (1978) (A) Bu1, RP (1978) (I)	R260	4
km 78,802 – 78,949	49E1, lv (1979)	Bu1, RP (1978)	R260	4

Maschineneinsatz:

Bis 2009 aus NATAS-Blatt 2012

Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
Speno	2004	km 76,740 – 76,830	Gleicher Bereich; Tunnel; Riffel- und Schlupfwellen
	2005	km 76,760 – 76,830	Riffel- und Schlupfwellen
	2006	km 76,720 – 76,830	Riffel- und Schlupfwellen
	2009	km 76,500 – 76,720	Riffel- und Schlupfwellen

Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
Speno	2004	km 76,830 – 78,440	Gleicher Bereich; Tunnel
	2005	km 76,830 – 77,450	Riffel- und Schlupfwellen
	2006	km 76,830 – 77,450	Riffel- und Schlupfwellen

Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
MDZ	2006	km 77,500 – 77,605	
Speno	2004	km 77,450 – 77,605	Gleicher Bereich; Tunnel
	2005	km 77,450 – 77,605	
	2006	km 77,450 – 77,605	
	2009	km 77,500 – 77,605	

<b>Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2001	km 78,500 – 78,860	
	2003	km 78,840 – 78,949	
	2006	km 77,605 – 78,100	Sicker- und Schichtwasser; Entwässerung nicht vorhanden
Speno	2004	km 77,605 – 78,440	Gleicher Bereich; Tunnel
	2005	km 77,605 – 77,680	
	2005	km 78,360 – 78,949	Gleicher Bereich; Tunnel; Riffel- und Schlupfwellen
	2006	km 77,605 – 77,640	
	2006	km 78,420 – 78,949	Riffel- und Schlupfwellen
	2009	km 77,605 – 78,949	

Bis 2016 aus NATAS-Blatt 2016

<b>Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 77,450 – 77,605	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 77,605 – 78,949	Über gesamten Bereich

*Schienenfehler:*

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten.

*Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 76,456	U3/S3	Seit 2011; Weichenbereich
km 76,540	U2/S2	Seit 2008
km 76,600	U3+/S3+	Seit 2015
km 76,680	U3/S3	Seit 2011
km 76,800	U3/S3	Seit 2014

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 76,920	U3/S3	Seit 2009
km 76,760	U3/S3	Seit 2015

Anhang

*Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949*

Bereich	Schienenfehler	Grund, Jahr
km 78,220	U3/S3	Seit 2015
km 78,260	U2/S2	Seit 2014
km 78,520	U2/S2	Seit 2012

*Langsamfahrstelle:*

Keine Langsamfahrstelle

*Zustand aus Projektliste 2014/2015*

- Bei ausbleibender Re-Investition ist für Gleis 1 ab Herbst 2014 und für Gleis 2 ab Herbst 2016 eine Geschwindigkeitsreduktion von 20 km/h vorgesehen

*Spurweite- und Fraktalanalyse:*

Spurweite, modifizierte Standardabweichung			
Bereich	Verbesserung	Grund	Zustand
km 76,800 – 77,300	Spurweite	Schienenwechsel, nicht im iOberbau	54E2; Holz; Tunnel; 400 m<R<600 m
km 77,400 – 77,600	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	54E2; Holz; Tunnel; Durchlass; R=300
km 77,600 – 77,750	mod. Standardabweichung	SLS	54E2/49E1; Holz; Durchlass
km 77,750 – 78,000	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Holz
km 78,450 – 78,900	Spurweite	SLS	49E1; Holz; Tunnel; Durchlass; Brücke
km 78,500 – 78,900	mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Holz; Tunnel; Durchlass; Brücke

Fraktal		
Bereich	Verbesserung	Grund
km 76,900 – 77,100	Schotter, Unterbau	MDZ, Schiene
km 78,500 – 78,700	Schotter, Unterbau	MDZ

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST***Re-Investitionszeitpunkt:*

Abschnitte 1, 2, 3, 4:                      SOLL: 2013                      IST: /



Anhang

Komponenten:

SOLL		IST	
Schiene	Schwelle	Schiene	Schwelle
60E1, 54E2 (Tunnel)	Besohlte Beton-schwellen, Holz-schwellen (Tunnel)	54E2, 49E1, lv	Holzschwelle Bu1, Ei1

#### Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus

*Abschnitt 1: km 76,456 – 76,830 (2011 – 2015)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,1	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	/

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 2: km 76,830 – 77,450 (2011 – 2015)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	7	/

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 3: km 77,450 – 77,605 (2011 – 2015)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Schleifen</b>	1	/
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	2	Keine Daten vorhanden

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

*Abschnitt 4: km 77,605 – 78,949 (2011 – 2015)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	3	1

2016 wurde nicht mitbetrachtet, da hier keine Maschineneinsätze vorhanden sind

## Projekt 5: km 130,600 – 136,517, Gleis 1

**Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)**

<i>Bewertung:</i>	2012	
<i>Gleisneulage:</i>	5917 m	
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 7,5 Mio.	
<i>Radien:</i>	250 m < R < 400 m, 400 m < R < 600 m, R > 600 m	
<i>Belastung:</i>	21.920 GesBt/Tag	
<i>VzG:</i>	km 130,600 – 131,000	120 km/h
	km 131,000 – 136,517	80 km/h
<i>Komponenten:</i>		

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,600 – 130,632	54E2, lv (1999)	Ei1, RP (1999)	R260	1
km 130,632 – 131,028	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	1
km 131,028 – 131,060	49E1, 30m (1982) (A) 49E1, 30m (2001) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R260	1
km 131,060 – 131,661	49E1, 30m (1982) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R260	1,2
km 131,661 – 131,807	49E1, lv (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	2,3
km 131,807 – 132,245	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	3
km 132,245 – 132,265	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT R260	3
km 132,265 – 132,380	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3, 4
km 132,380 – 132,804	49E1, 30m (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	4, 5
km 132,804 – 133,740	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	5
km 133,740 – 133,748	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5
km 133,748 – 134,107	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5, 6, 7
km 134,107 – 134,120	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	7
km 134,120 – 134,137	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	7
km 134,137 – 134,750	54E2, lv (1990)	19, SKL1 (1990)	R260	8
km 134,750 – 136,517	54E2, lv (1989)	19, SKL1 (1989)	R260	8

2011 wurde die Außenschiene in den Bereichen zwischen km 132,245 – 132,380 und km 133,740 – 134,120 getauscht

## Anhang

## Zustand:

- Spurerweiterung im Bogenbereich auf ca. 25/30 mm

Bereich
km 131,100 – 131,700
km 133,800 – 134,100

- Auffällige Schienenneigung: starkes Rauschen im Messsignal aufgrund des fehlenden Kraftschlusses erkennbar; Schwellen sind bereits am Ende ihrer technischen Nutzungsdauer angelangt

Bereich
km 131,600 – 131,800
km 133,800 – 134,100
km 134,900 – 135,100
km 135,800 – 136,000
km 136,300 – 136,400

- Kritische Höhenabnutzung auf der Innenschiene

Bereich
km 133,850 – 134,050

- Schlechte Gleislage

Bereich
km 131,120 – 131,750
km 132,250 – 132,500

- Einzelfehler

Bereich
km 130,780
km 130,890

- Riffel- und Schlupfwellen

Bereich	
km 131,050 – km 131,850	im Bogenbereich
km 132,300 – km 132,900	im Bogenbereich
km 133,680 – km 135,100	im Bogenbereich

## Geotechnisches Streckenband:

km 130,600 – 131,600: nasser und verunreinigter Gleisschotter

km 132,200 – 132,400: nasser und verunreinigter Gleisschotter

km 132,700 – 133,100: nasser und verunreinigter Gleisschotter

km 133,600 – 133,800: Sicker-, Schicht-, Hangwasser; Entwässerung nicht ausreichend; geländegleich

## Anhang

km 133,900 – 134,100: nasser und verunreinigter Gleisschotter

km 136,300 – 136,500: unebenes Gleisplanum

*Einbauten:*

*Stoßgleis:* km 131,028 – 131,661

km 132,245 – 132,804

*Bahnhof:* km 134,090 – 134,700

*Weichen:* vor Projektbeginn

*Brücken:*

km 131,307 km 131,480 km 131,663

km 131,784 km 132,019 (Verrohrung) km 132,257

km 132,393 km 132,459 km 132,541 (Tragwerkssan.)

km 132,717 (Verrohrung) km 132,879 km 133,035 (Verrohrung)

km 133,201 (Verrohrung) km 133,253 (Objekterneuerung) km 133,387

km 133,480 (Verrohrung) km 133,611 (Verrohrung) km 133,755

km 133,835 km 133,952 km 134,210

km 134,260 km 134,294 km 134,762

km 135,371 km 135,697 km 135,838

km 135,936 km 135,990 km 136,072

km 136,127 km 136,268 km 136,322

km 136,381 km 136,402

*Durchlass:*

km 132,818 km 132,918 km 133,108

**Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120**

*Radien:* R>600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2017

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Stoßgleis (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2017 (10 %), 2019 (5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

**Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785**

*Radien:* 250 m<R<400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2012

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Stoßgleis (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP+RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2012, 2014, 2016 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- In Teilbereichen Innenschienenwechsel notwendig

**Abschnitt 3: km 131,785 – 132,620**

*Radien:* R>600 m, 400 m<R<600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2017

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2017 (10 %), 2019 (5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

**Abschnitt 4: km 132,620 – 132,770**

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2012

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP+RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2012, 2014, 2016 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- In Teilbereichen Innenschienenwechsel notwendig

**Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815**

*Radien:* R > 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2017

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2017 (10 %), 2019 (5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

**Abschnitt 6: km 133,815 – 134,070**

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2012

Anhang

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Iv (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP+RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 20 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2012, 2014, 2016 (10 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- In Teilbereichen Innenschienenwechsel notwendig

#### Abschnitt 7: km 134,070 – 134,137

*Radien:* 400 m < R < 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2017

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Iv (1982), R260

Holzschwellen Bu1, RP (1982)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel in den Jahren 2017 (10 %), 2019 (5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall

#### Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517

*Radien:* 250 m < R < 400 m, R > 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2023

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 54E2 Schiene, Iv (1989), R260

Betonschwellen, SKL 1 (1989)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- Schotterbetteinigung 20 %
- 2013 und 2018 wurde ein Zwischenlagenwechsel im Bogenbereich angesetzt

## Anhang

**Geplante Re-Investition:***Re-Investitionszeitpunkt:* 2012*Re-Investitionslänge:* km 130,600 – 134,137*Komponenten:* 60E1 Schiene

Besohlte Betonschwellen

*Unterbau:* Bahnentwässerung, Planumsverbesserung**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)***Komponenten:*

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,600 – 130,632	54E2, lv (1999)	Ei1, RP (1999)	R260	1
km 130,632 – 131,051	60E1, lv (2014)	K1, SKL14 (2014)	R260	1
km 131,051 – 131,651	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R350 HT	1, 2
km 131,651 – 131,771	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R260	2
km 131,771 – 131,860	60E1, lv (2014)	K1, SKL 14 verstärkt (2014)	R350 HT	2, 3
km 131,860 – 132,245	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	3
km 132,245 – 132,265	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP, (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3
km 132,265 – 132,380	49E1, 30m (2011) (A) 49E1, 30m (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	3, 4
km 132,380 – 132,804	49E1, 30m (1982)	Bu1, RP+RP (1982)	R260	4, 5
km 132,804 – 133,740	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	5
km 133,740 – 133,748	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5
km 133,748 – 134,107	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP+RP (1982) (A) Bu1, RP+RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	5, 6, 7
km 134,107 – 134,120	49E1, lv (2011) (A) 49E1, lv (1982) (I)	Bu1, RP (1982) (A) Bu1, RP (1982) (I)	R350 HT (A) R260 (I)	7
km 134,120 – 134,137	49E1, lv (1982)	Bu1, RP (1982)	R260	7
km 134,137 – 134,750	54E2, lv (1990)	19, SKL1 (1990)	R260	8
km 134,750 – 136,517	54E2, lv (1989)	19, SKL1 (1989)	R260	8

Von km 130,632 – 131,860 wurden 2014 die Komponenten getauscht



Anhang

Maschineneinsatz:

Bis 2010 aus NATAS-Blatt 2012

<b>Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120</b>			
<b>Maschinen- einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2001	km 130,800 – 131,120	
	2006	km 131,000 – 131,120	
Speno	2005	km 131,060 – 131,120	
	2010	km 130,640 – 131,040	

<b>Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785</b>			
<b>Maschinen- einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2001	km 131,120 – 131,720	Nasser und verunreinigter Schotter
	2006	km 131,120 – 131,785	Nasser und verunreinigter Schotter
Speno	2005	km 131,120 – 131,785	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen

<b>Abschnitt 3: km 131,785 – 132,620</b>			
<b>Maschinen- einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 132,260 – 132,440	Nasser und verunreinigter Schotter
	2005	km 131,840 – 132,620	Nasser und verunreinigter Schotter
	2006	km 131,785 – 131,940	
Speno	2005	km 131,785 – 131,820	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen
	2005	km 132,400 – 132,620	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen
	2010	km 131,800 – 132,620	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen, über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 4: km 132,620 – 132,770</b>			
<b>Maschinen- einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2005	km 132,620 – 132,770	Nasser und verunreinigter Schotter; über gesamten Bereich
Speno	2005	km 132,620 – 132,770	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen; über gesamten Bereich
	2010	km 132,620 – 132,770	Stoßgleis, Bogenbereich, Riffel- und Schlupfwellen; über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2005	km 132,770 – 133,760	Nasser und verunreinigter Schotter; Sicker-, Schicht- und Hangwasser
Speno	2005	km 132,770 – 132,820	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen
	2006	km 133,400 – 133,815	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen
	2010	km 132,770 – 133,815	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen; über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 6: km 133,815 – 134,070</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2007	km 133,860 – 134,070	
Speno	2006	km 133,815 – 134,070	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen; über gesamten Bereich
	2010	km 133,815 – 134,070	Stoßgleis; Bogenbereich; Riffel- und Schlupfwellen; über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 7: km 134,070 – 134,137</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2007	km 134,070 – 134,137	Über gesamten Bereich
Speno	2006	km 134,070 – 134,137	Über gesamten Bereich
	2010	km 134,070 – 134,137	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 134,580 – 134,680	
	2006	km 134,220 – 136,517	Bahnhofsbereich; unebenes Gleisplanum
	2007	km 134,137 – 135,380	Nasser und verunreinigter Schotter
Speno	2003	km 135,360 – 136,517	
	2005	km 134,800 – 135,400	
	2006	km 135,420 – 136,517	
	2010	km 134,800 – 135,200	

Bis 2016 aus NATAS-Blatt 2016

<b>Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 131,040 – 131,120	
	2014	km 130,640 – 131,120	
	2015	km 130,640 – 131,120	
SUZ	2014	km 130,632 – 131,120	
AHM	2014	km 130,632 – 131,120	

<b>Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2014	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2015	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
SUZ	2014	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
AHM	2014	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 3: km 131,785 – 132,620</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 131,785 – 132,620	Über gesamten Bereich
	2014	km 132,440 – 132,460	Einzelfehlerbehebung
	2014	km 131,785 – 131,980	
	2015	km 131,785 – 131,890	
Speno	2015	km 132,250 – 132,550	Bogenbereich
SUZ	2014	km 131,785 – 131,860	
AHM	2014	km 131,785 – 131,860	

<b>Abschnitt 4: km 132,620 – 132,770</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 132,620 – 132,770	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 132,770 – 133,815	Über gesamten Bereich
	2014	km 133,020 – 133,030	Einzelfehlerbehebung

<b>Abschnitt 6: km 133,815 – 134,070</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 133,815 – 134,070	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 7: km 134,070 – 134,137</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 134,070 – 134,137	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 134,137 – 134,240	
	2011	km 135,200 – 135,440	
	2014	km 134,840 – 135,200	
	2014	km 135,280 – 136,517	
Speno	2011	km 135,380 – 136,517	
	2014	km 134,137 – 136,517	Über gesamten Bereich

### Schienenfehler:

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten.

### Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 133,200	U3/S3	Seit 2013; Brücke
km 133,400	U3+/S3+	Seit 2015
km 133,650	U3/S3	Seit 2015

### Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 134,690	U3+/S3+	Seit 2014

### Langsamfahrstelle:

<b>km 131,070 – 131,800</b>	
Länge:	730 m
Seit:	24.12.2012
Bis:	08.09.2014
Km/h:	80 km/h / 50 km/h
Ursache:	Schadhafter Oberbau, Spur, Holzschwellen

Ende der Langsamfahrstelle aufgrund der Neulage im Jahr 2014

<b>km 134,200 – 134,300</b>	
Länge:	100 m
Seit:	15.10.2012
Bis:	22.11.2013
Km/h:	80 km/h / 60 km/h
Ursache:	Brücke

*Zustand aus Projektliste 2013:*

- Die Re-Investition wird auf die Jahre 2014 und 2017 aufgeteilt
- Die Re-Investition soll aufgrund des hohen Anlagenalters stattfinden
- Die Holzschwellen weisen vor allem in den Bogenbereichen starke Spurerweiterungen auf
- Fehlender Kraftschluss der Befestigung
- Rippenplatten sind teilweise sehr stark eingefahren
- Bei ausbleibender Re-Investition droht eine Geschwindigkeitsreduktion von 30 km/h ab dem Jahr 2014
- Umbau Konstruktiver Ingenieurbau:
  - Durchlass km 132,019 (Beton, Schaden: Risse, Ausbrüche, Betonverwitterung)
  - Durchlass km 132,541 (Schiene, Schaden: starke Rostschäden)
  - Durchlass km 132,717 (Schiene, Schaden: starke Rostschäden)
  - Durchlass km 133,035 (Schiene, Schaden: starke Rostschäden)
  - Durchlass km 133,201 (Schiene, Schaden: starke Rostschäden)

*Zustand aus Projektliste 2014/2015:*

- Untergrund und Entwässerung sind nach Maßgabe der Planungsvorhaben zu erneuern
- Umbau Konstruktiver Ingenieurbau:
  - Durchlass km 132,019 (Schaden: Verrohrung)
  - Durchlass km 132,541 (Schaden: Tragwerk)
  - Durchlass km 132,717 (Schaden: Verrohrung)
  - Durchlass km 133,035 (Schaden: Verrohrung)
  - Durchlass km 133,201 (Schaden: Verrohrung)
  - Durchlass km 133,253 (Schaden: gesamt)
  - Durchlass km 133,480 (Schaden: Verrohrung)
  - Durchlass km 133,611 (Schaden: Verrohrung)

*Spurweite- und Fraktalanalyse:*

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 131,000 – 131,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Neulage	6E1; Betonschwellen
km 132,300 – 132,400	Spurweite, mod. Standardabweichung	Schienenwechsel 2011	49E1; Brücke; Holz; 400 m<R<600 m
km 132,600 – 132,750	Spurweite, mod. Standardabweichung	SLS	49E1; Brücke; Holz; 250 m<R<400 m
km 133,800 – 134,000	Spurweite	Schienenwechsel 2011	49E1; Brücke; Holz; 250 m<R<400 m
km 134,900 – 135,100	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	54E2; Brücke; Beton; 250 m<R<400 m
km 135,500 – 135,600	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	54E2; Beton; 250 m<R<400 m
km 135,800 – 136,000	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	54E2; Beton; 250 m<R<400 m

Die letzten drei Bereiche befinden nicht mehr im betrachteten Projektbereich, dieser geht bis km 134,137

<b>Fraktal</b>		
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>
km 130,600 – 131,800	Schotter, Unterbau	Neulage
km 132,200 – 133,100	Schotter, Unterbau	MDZ
km 135,300 – 135,500	Unterbau	MDZ
km 135,800 – 136,000	Schotter, Unterbau	MDZ
km 136,200 – 136,500	Schotter, Unterbau	MDZ

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST***Re-Investitionszeitpunkt:*

<i>Abschnitt 1:</i>	SOLL: 2017	IST: teilweise 2014
<i>Abschnitt 2:</i>	SOLL: 2012	IST: 2014
<i>Abschnitt 3:</i>	SOLL: 2017	IST: 2014
<i>Abschnitt 4:</i>	SOLL: 2012	IST: /
<i>Abschnitt 5:</i>	SOLL: 2017	IST: /
<i>Abschnitt 6:</i>	SOLL: 2012	IST: /
<i>Abschnitt 7:</i>	SOLL: 2017	IST: /
<i>(Abschnitt 8:</i>	SOLL: 2023	IST: /)

Anhang

*Re-Investitionslänge:*

SOLL: km 130,632 – 134,137

IST: km 130,632 – 131,860 (2014)

*Komponenten:*

Von km 130,632 – 131,860 wurden die Komponenten, wie vorgeschlagen, 2014 eingebaut;  
sonst wurde kein Wechsel durchgeführt

**Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus***Abschnitt 1: km 130,600 – 131,112 (2011 – 2013)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	0,15

Betrachtung nur bis 2014, da danach SUZ eingesetzt wurde

*Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785 (2011 – 2013)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,1	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	1

Betrachtung nur bis 2014, da danach SUZ eingesetzt wurde

*Abschnitt 3.1: km 131,785 – 131,860 (2011 – 2013)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	1
<b>Schleifen</b>	/	/

Betrachtung nur bis 2014, da danach SUZ eingesetzt wurde

*Abschnitt 3.2: km 131,860 – 132,620 (2011 – 2015)*

IH-Maßnahme	TUG	Umsetzung
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,22
<b>Schleifen</b>	/	0,39

*Abschnitt 4: km 132,620 – 132,770 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 5: km 132,770 – 133,815 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,01

*Abschnitt 6: km 133,815 – 134,070 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 7: km 134,070 – 134,137 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1

*Abschnitt 8: km 134,137 – 136,517 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	0,82
<b>Schleifen</b>	/	1,48
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	0,34	Keine Daten vorhanden



## Projekt 5: km 130,600 – 136,517, Gleis 2

### Teil 1: Anlage zum Zeitpunkt der Bewertung (2012)

<i>Bewertung:</i>	2012	
<i>Gleisneulage:</i>	5917 m	
<i>Re-Investitionsvolumen:</i>	ca. € 7,5 Mio.	
<i>Radien:</i>	250 m < R < 400 m, 400 m < R < 600 m, R > 600 m	
<i>Belastung:</i>	21.956 GesBt/Tag	
<i>VzG:</i>	km 130,600 – 131,000	120 km/h
	km 131,000 – 136,517	80 km/h

#### Komponenten:

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,680 – 131,150	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1985)	R260	1, 2
km 131,150 – 131,177	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2
km 131,177 – 131,839	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2,3
km 131,839 – 131,863	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260	3
km 131,863 – 132,701	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	3, 4
km 132,701 – 132,716	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4
km 132,716 – 132,833	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4, 5
km 132,833 – 133,850	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	5, 6
km 133,850 – 134,090	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	6, 7
km 134,090 – 134,930	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	7, 8
km 134,930 – 135,128	49E1, lv (2001) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	8
km 135,128 – 135,363	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8
km 135,363 – 135,377	49E1, lv (1985)	Bu1, RP (1978)	R260	8
km 135,377 – 135,442	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8,9
km 135,442 – 136,508	60E1, lv (2004)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9
km 136,508 – 136,517	49E1, lv (2011)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9

## Zustand:

- Notwendiger Einzelschwellenwechsel

Bereich
km 131,200 – 131,800 ( <i>Durchführung bereits 2009</i> )
km 132,300 – 132,400
km 132,650 – 132,800
km 133,000 – 133,400
km 133,800 – 134,200
km 134,200 – 134,300
km 134,900 – 135,000
km 135,000 – 135,350

- Riffel- und Schlupfwellen; hohe Achslagerbeschleunigung

Bereich
km 134,900 – 135,100
km 136,300 – 136,450
km 133,800 – 134,100
km 132,650 – 133,750

- Schlechte Gleislage (Korrelation mit schwerem Oberbau, schlechtem Untergrund; vor allem in Bogenbereichen und Brückenanschlussbereichen)

Bereich
km 131,100 – 131,800
km 132,100 – 132,400
km 132,600 – 132,750
km 132,900 – 133,600
km 133,800 – 134,000
km 134,200 – 135,150
km 135,250 – 135,350
km 136,100 – 136,250

- Einzelfehler

Bereich
km 130,890
km 134,630
km 135,920 (Brücke)
km 136,230
km 136,370

- Auffällige Schienenneigung

Bereich
km 131,000 – 131,900
km 132,300 – 132,400
km 132,600 – 132,800
km 133,000 – 133,400
km 133,800 – 134,100
km 134,900 – 135,200

## Anhang

*Geotechnisches Streckenband:*

km 132,100 – 134,500: Entwässerungsprobleme; nasser und verunreinigter Gleisschotter

km 136,100 – 136,600: Entwässerungsprobleme; Schicht- und Sickerwasser

km 132,200 – 134,000: Entwässerungsprobleme; Wasser

*Einbauten:*

*Bahnhof:* km 134,090 – 134,700

*Weichen:* vor Projektbeginn

*Brücken:*

km 131,307	km 131,480	km 131,663
km 131,784	km 132,019 (Verrohrung)	km 132,257
km 132,393	km 132,459	km 132,541 (Tragwerkssan.)
km 132,717 (Verrohrung)	km 132,879	km 133,035 (Verrohrung)
km 133,201 (Verrohrung)	km 133,253 (Objekterneuerung)	km 133,387
km 133,480 (Verrohrung)	km 133,611 (Verrohrung)	km 133,755
km 133,835	km 133,952	km 134,210
km 134,260	km 134,294	km 134,762
km 135,371	km 135,697	km 135,838
km 135,936	km 135,990	km 136,072
km 136,127	km 136,268	km 136,322
km 136,381	km 136,402	

*Durchlass:*

km 132,818	km 132,918	km 133,108
------------	------------	------------

## Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120

*Radien:* R > 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2018

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1994/2011), R260/R350 HT

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

Im Bereich zwischen km 131,200 – 131,800 wurde im Jahr 2009 bereits ein Einzelschwellenwechsel durchgeführt

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Schotterbettreinigung 20 % (2014)
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310

*Radien:* R > 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2018

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

Im Bereich zwischen km 131,200 – 131,800 wurde im Jahr 2009 bereits ein Einzelschwellenwechsel durchgeführt

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Schotterbettreinigung 20 % (2014)
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820

*Radien:* R > 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2018

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

Anhang

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- Zwischenlagenwechsel

Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985/2003), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Schotterbetteinigung 20 % (2014)
- Zwischenlagenwechsel

Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915

*Radien:* 400 m < R < 600 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2018

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, lv (1985), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Verdichtetes Stopfintervall
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Geplanter Re-Investitionszeitpunkt:* 2014

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Iv (1985/2001), R260

Betonschwellen 19, OP/FBE HM (1985)

*Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund des aktuellen Zustandes:*

- 10 % erhöhte Mängelbehebung
- Einzelschwellenwechsel ab 2013 (10 %, 5 %)
- Schotterbettreinigung 20 % (2014)
- Zwischenlagenwechsel

## Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517

Wurde bereits 2004 re-investiert

*Radien:* 250 m < R < 400 m

*Optimaler Re-Investitionszeitpunkt:* 2037

*Komponenten:* 49E1 Schiene, Iv (1985), R260

Betonschwellen K1, SKL 14 (2004)

**Geplante Re-Investition:**

*Re-Investitionszeitpunkt:* 2016/2017

*Re-Investitionslänge:* km 130,600 – 135,440

*Komponenten:* 60E1 Schiene

Besohlte Betonschwellen

*Unterbau:* Achtung Unterbau

**Teil 2: Anlage zum jetzigen Zeitpunkt (2016)***Komponenten:*

Bereich	Schiene	Schwelle	Güte	Abschnitt
km 130,680 – 131,150	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1985)	R260	1, 2
km 131,150 – 131,177	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2
km 131,177 – 131,839	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (2011) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260 (A) R350 HT (I)	2,3
km 131,839 – 131,863	49E1, lv (1994) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1985) (A) 19, OP/FBE HM (1985) (I)	R260	3
km 131,863 – 132,701	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	3, 4
km 132,701 – 132,716	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4
km 132,716 – 132,833	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	4, 5
km 132,833 – 133,850	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	5, 6
km 133,850 – 134,090	49E1, lv (2003) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	6, 7
km 134,090 – 134,930	49E1, lv (1985) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	7, 8
km 134,930 – 135,128	49E1, lv (2001) (A) 49E1, lv (1985) (I)	19, OP/FBE HM (1986) (A) 19, OP/FBE HM (1986) (I)	R260	8
km 135,128 – 135,363	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8
km 135,363 – 135,377	49E1, lv (1985)	Bu1, RP (1978)	R260	8
km 135,377 – 135,442	49E1, lv (1985)	19, OP/FBE HM (1986)	R260	8,9
km 135,442 – 136,508	60E1, lv (2004)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9
km 136,508 – 136,517	49E1, lv (2011)	K1, SKL 14 (2004)	R260	9

*Maschineneinsatz:**Bis 2010 aus NATAS-Blatt 2012*

Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120			
Maschinen-einsatz	Jahr	km	
MDZ	1999	km 130,600 – 131,120	Über gesamten Bereich
	2003	km 130,660 – 131,120	
	2008	km 131,060 – 131,120	
	2010	km 131,100 – 131,120	
Speno	2003	km 131,060 – 131,120	
	2008	km 131,060 – 131,120	
	2009	km 131,060 – 131,120	



<b>Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2000	km 131,040 – 131,785	2 jähriges Stopfintervall; schlechte Gleislage; Schienen- neigung; 2009 wurde ESW durchgeführt
	2003	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2006	km 131,180 – 131,785	
	2008	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2010	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2010	km 131,350 – 131,600	
Speno	2003	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2008	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2009	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 131,785 – 132,310	Über gesamten Bereich
	1999	km 132,260 – 132,310	
	2000	km 131,785 – 131,860	2 jähriges Stopfintervall; schlechte Gleislage; Schienen- neigung; 2009 wurde ESW durchgeführt
	2003	km 131,785 – 131,840	
	2004	km 131,840 – 132,310	
	2006	km 131,785 – 131,860	
	2006	km 132,200 – 132,310	
	2008	km 131,785 – 131,860	
	2010	km 131,785 – 132,310	Über gesamten Bereich
Speno	2003	km 131,785 – 131,840	
	2005	km 132,280 – 132,310	
	2008	km 131,785 – 131,840	
	2009	km 131,785 – 131,900	

<b>Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich
	1999	km 132,310 – 132,440	
	1999	km 132,560 – 132,680	
	2003	km 132,520 – 132,770	
	2004	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich
	2006	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich
	2008	km 132,310 – 132,410	
	2008	km 132,640 – 132,740	
	2010	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich
	2010	km 132,640 – 132,690	
Speno	2005	km 132,310 – 132,770	

<b>Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 132,770 – 133,820	Über gesamten Bereich
	1999	km 132,960 – 133,440	ESW notwendig; Schienenneigung; Entwässerung
	2000	km 132,820 – 133,820	
	2000	km 132,910 – 133,110	Gleicher Bereich
	2001	km 133,740 – 133,820	
	2003	km 132,770 – 132,840	
	2003	km 133,700 – 133,820	ESW notwendig; schlechte Gleislage; Achslagerbeschleunigung; Schienenneigung; Entwässerung
	2003	km 133,740 – 133,820	
	2004	km 132,770 – 133,820	Über gesamten Bereich
	2006	km 132,770 – 133,080	
	2010	km 132,770 – 133,820	Über gesamten Bereich
Speno	2003	km 133,740 – 133,820	
	2005	km 132,770 – 132,860	
RM	2000	km 132,920 – 133,820	

<b>Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
	2000	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
	2001	km 133,820 – 134,070	
	2003	km 133,820 – 134,070	ESW notwendig; schlechte Gleislage; Achslagerbeschleunigung; Schienenneigung; Entwässerung
	2003	km 133,820 – 134,000	
	2004	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
	2010	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
Speno	2003	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
RM	2000	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 134,070 – 134,915	Über gesamten Bereich
	1999	km 134,620 – 134,700	
	1999	km 134,800 – 134,915	
	2000	km 134,070 – 134,915	Über gesamten Bereich
	2000	km 134,800 – 134,915	
	2001	km 134,740 – 134,915	
	2001	km 134,070 – 134,100	
	2003	km 134,070 – 134,100	
	2004	km 134,070 – 134,400	
	2004	km 134,360 – 134,915	
	2010	km 134,070 – 134,915	Über gesamten Bereich
	2010	km 134,240 – 135,915	Gleicher Bereich
Speno	2003	km 134,070 – 134,280	
	2005	km 134,800 – 134,915	
RM	2000	km 134,070 – 134,915	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 134,915 – 135,440	Über gesamten Bereich
	1999	km 134,915 – 135,160	Achslagerbeschleunigung; Schienenneigung; schlechte Gleislage; ESW notwendig; Entwässerung
	2000	km 134,915 – 135,440	Über gesamten Bereich
	2000	km 135,915 – 135,040	
	2001	km 135,915 – 135,440	Über gesamten Bereich
	2004	km 134,915 – 135,440	Über gesamten Bereich
	2010	km 134,915 – 135,420	
	2010	km 134,915 – 135,420	
Speno	2001	km 134,915 – 135,100	
	2005	km 134,915 – 135,360	
RM	2000	km 134,915 – 135,420	

<b>Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	1999	km 135,440 – 136,517	Über gesamten Bereich
	2000	km 135,440 – 135,520	
	2001	km 135,440 – 136,517	Über gesamten Bereich
	2004	km 135,440 – 136,517	Über gesamten Bereich
	2005	km 135,520 – 135,800	
	2005	km 135,940 – 136,060	
	2005	km 136,140 – 136,280	
	2010	km 135,440 – 136,560	
Speno	2001	km 135,440 – 136,517	Über gesamten Bereich
	2005	km 136,480 – 136,517	
RM	2004	km 135,440 – 135,517	Über gesamten Bereich

Bis 2016 aus NATAS-Blatt 2016

<b>Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 130,680 – 131,120	
Speno	2014	km 130,700 – 131,100	

<b>Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 131,120 – 131,785	Über gesamten Bereich
	2014	km 131,280 – 131,785	schlechte Gleislage; Schienen- neigung; 2009 wurde ESW durchgeführt

<b>Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 131,790 – 131,800	Einzelfehlerbehebung
	2012	km 131,785 – 132,310	Über gesamten Bereich
	2014	km 131,785 – 131,820	

<b>Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 132,380 – 132,390	Einzelfehlerbehebung
	2012	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich
	2014	km 132,380 – 132,390	Einzelfehlerbehebung
	2014	km 132,450 – 132,490	Einzelfehlerbehebung
	2015	km 132,340 – 132,770	
Speno	2013	km 132,310 – 132,770	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 133,100 – 133,240	
	2011	km 133,350 – 133,820	
	2012	km 132,770 – 133,820	Über gesamten Bereich
	2015	km 132,770 – 132,880	
Speno	2011	km 132,950 – 133,450	
	2013	km 132,770 – 132,800	
	2013	km 133,740 – 133,820	

<b>Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 133,820 – 134,020	
	2012	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich
Speno	2013	km 133,820 – 134,070	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2011	km 134,780 – 134,790	
	2012	km 134,070 – 134,380	
	2013	km 134,450 – 134,915	
	2014	km 134,780 – 134,790	
Speno	2013	km 134,070 – 134,160	
	2013	km 134,850 – 134,915	

<b>Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2013	km 134,915 – 134,990	
Speno	2013	km 134,915 – 135,440	Über gesamten Bereich

<b>Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517</b>			
<b>Maschinen-einsatz</b>	<b>Jahr</b>	<b>km</b>	
MDZ	2012	km 136,220 – 136,440	
	2013	km 136,100 – 136,517	
	2014	km 135,680 – 136,150	
Speno	2013	km 135,440 – 136,480	

### *Schienenfehler:*

Schienenfehler werden vermerkt, wenn diese auftreten und danach keine Instandhaltung mehr ausgeführt wurde, oder sie trotz Instandhaltung nochmals auftreten

### *Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 131,000	U2/S2	Seit 2011

### *Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 132,200	U3/S3	Seit 2011; Durchlass
km 132,100	U3+/S3+	Seit 2015
km 132,180	U2/S2	Seit 2013

### *Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 133,350	U2/S2	Seit 2013

### *Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915*

<b>Bereich</b>	<b>Schienenfehler</b>	<b>Grund, Jahr</b>
km 134,200	U2/S2	Seit 2010; Brücke

Anhang

*Langsamfahrstelle:*

<b>km 134,200 – 134,300</b>	
Länge:	100 m
Seit:	15.10.2012
Bis:	22.11.2013
Km/h:	80 km/h / 60 km/h
Ursache:	Brücke

Langsamfahrstelle gleich wie auf Gleis 1

*Spurweite- und Fraktalanalyse:*

<b>Spurweite, modifizierte Standardabweichung</b>			
<b>Bereich</b>	<b>Verbesserung</b>	<b>Grund</b>	<b>Zustand</b>
km 131,200 – 131,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Schienenwechsel 2011	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 132,300 – 132,800	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m; 400 m < R < 600 m
km 133,800 – 134,350	Spurweite, mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 134,900 – 135,200	Spurweite	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m
km 134,900 – 135,300	mod. Standardabweichung	Zwischenlagenwechsel od. ESW	49E1; Beton; Brücke; 250 m < R < 400 m

Bereiche fallen mit notwendigem Einzelschwellenwechsel zusammen.

**Teil 3: Vergleich Prognose und IST**

*Komponenten:* Komponenten wurden nicht wie vorgeschlagen eingesetzt; es sind noch immer die gleichen Komponenten wie zum Zeitpunkt der Bewertung vorhanden

*Re-Investitionszeitpunkt:*

<i>Abschnitt 1:</i>	SOLL: 2018	IST: /
<i>Abschnitt 2:</i>	SOLL: 2014	IST: /
<i>Abschnitt 3:</i>	SOLL: 2018	IST: /
<i>Abschnitt 4:</i>	SOLL: 2014	IST: /
<i>Abschnitt 5:</i>	SOLL: 2018	IST: /
<i>Abschnitt 6:</i>	SOLL: 2014	IST: /
<i>Abschnitt 7:</i>	SOLL: 2018	IST: /
<i>Abschnitt 8:</i>	SOLL: 2014	IST: /
<i>Abschnitt 9:</i>	SOLL: 2037	IST: 2004

**Teil 4: Modifizierter Arbeitszyklus***Abschnitt 1: km 130,600 – 131,120 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,85
<b>Schleifen</b>	/	0,77

*Abschnitt 2: km 131,120 – 131,785 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,76
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 3: km 131,785 – 132,310 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,08

*Abschnitt 4: km 132,310 – 132,770 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	2,07
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 5: km 132,770 – 133,820 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,69
<b>Schleifen</b>	/	0,58

*Abschnitt 6: km 133,820 – 134,070 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	1,8
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 7: km 134,070 – 134,915 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,94
<b>Schleifen</b>	/	0,18

*Abschnitt 8: km 134,915 – 135,440 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Einzelschwellenwechsel</b>	0,2	Keine Daten vorhanden
<b>Schienenwechsel</b>	0,12	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	2	0,14
<b>Schleifen</b>	/	1
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	1	Keine Daten vorhanden

*Abschnitt 9: km 135,440 – 136,517 (2011 – 2015)*

<b>IH-Maßnahme</b>	<b>TUG</b>	<b>Umsetzung</b>
<b>Zusätzliche Maßnahmen</b>	/	Keine Daten vorhanden
<b>Stopfen</b>	1	1,03
<b>Schleifen</b>	/	0,97
<b>Zwischenlagenwechsel</b>	0,34	Keine Daten vorhanden



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung Deckblatt: Fred Beilhack: *RU 800 S – ein Einsatzvergleich nach 3 Jahren*,  
EI-Eisenbahningenieur, September 2009, Frankfurt/Main

Abbildung 1	Zusammensetzung der Betriebserschwerungskosten [12] .....	9
Abbildung 2	Unterteilung der Lebenszykluskosten in Abschreibung, Instandhaltung und Betriebserschwerungskosten [13] .....	11
Abbildung 3	Darstellung MDZ-A-Ziffer [11] .....	14
Abbildung 4	Einfluss der Ausgangsqualität [5] .....	15
Abbildung 5	Implementierung der Qualitätsfunktion in den Arbeitszyklus [10] .....	17
Abbildung 6	Annuitätenmonitoring [15] .....	20
Abbildung 7	Trendverläufe Betriebserschwerungskosten und Einheitskosten [11] .....	22
Abbildung 8	Annuitätenverläufe einzelner Abschnitte [15] .....	24
Abbildung 9	Betrachtungszeitraum [11] .....	25
Abbildung 10	Ergebnis: Beispiel optimale Bauabschnittslänge [11] .....	26
Abbildung 11	Zusammensetzung Skelett-, Distanz- und Füllkorn [21] .....	34
Abbildung 12	Bildung von Kräftepfaden [31] .....	37
Abbildung 13	Druckverteilung der Radlast [21] .....	38
Abbildung 14	Spurhaltestange [41] .....	40
Abbildung 15	Länge der Maßnahme über Abschnitt 4 .....	54
Abbildung 16	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose .....	54
Abbildung 17	Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt .....	58
Abbildung 18	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose .....	59
Abbildung 19	Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt .....	67
Abbildung 20	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose .....	68

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 21	Prozentueller Anteil der Abschnitte.....	69
Abbildung 22	Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt.....	74
Abbildung 23	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose.....	75
Abbildung 24	Prozentueller Anteil der Abschnitte.....	75
Abbildung 25	Länge der Maßnahme über Abschnitte 3.2 - 7.....	82
Abbildung 26	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose.....	83
Abbildung 27	Prozentueller Anteil der Abschnitte.....	83
Abbildung 28	Länge der Maßnahme über die Abschnitte 1 - 8.....	90
Abbildung 29	Prozentueller Anteil der Umsetzung zur Prognose.....	90
Abbildung 30	Prozentueller Anteil der einzelnen Abschnitte.....	91
Abbildung 31	Länge der Maßnahme <i>Stopfen</i> über die gesamten Projekte.....	93
Abbildung 32	Prozentueller Anteil für die Maßnahme <i>Stopfen</i> über alle Projekte.....	94
Abbildung 33	Länge der Maßnahme <i>Schleifen</i> über alle Projekte.....	94
Abbildung 34	Prozentueller Anteil der Maßnahme <i>Schleifen</i> .....	95
Abbildung 35	Länge der Maßnahme über das gesamte Projekt.....	96

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 1, Abschnitt 3 [42] .....	53
Tabelle 2	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 1, Abschnitt 4 [42] .....	53
Tabelle 3	Gleislagequalität, Projekt 2 [43].....	55
Tabelle 4	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 2, Abschnitt 1 [43] .....	57
Tabelle 5	Komponenten, Projekt 3 [44] .....	60
Tabelle 6	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 3, Abschnitt 1 [44] .....	62
Tabelle 7	Komponenten, Projekt 4, Gleis 1 [46] .....	63
Tabelle 8	Gleislagequalität, Projekt 4, Gleis 1 [46] .....	64
Tabelle 9	Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 4, Gleis 1 [46].....	66
Tabelle 10	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 1 [46].....	66
Tabelle 11	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 2 [46].....	67
Tabelle 12	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 3 [46].....	67
Tabelle 13	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 1, Abschnitt 4 [46].....	67
Tabelle 14	Komponenten, Projekt 4, Gleis 1 [46] .....	70
Tabelle 15	Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 4, Gleis 2 [46].....	72
Tabelle 16	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 1 [46].....	73
Tabelle 17	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 2 [46].....	73
Tabelle 18	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 3 [46].....	74
Tabelle 19	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 4, Gleis 2, Abschnitt 4 [46].....	74
Tabelle 20	Komponenten, Projekt 5, Gleis 1 [47] .....	77
Tabelle 21	Komponenten 2016, Projekt 5, Gleis 1 [47] .....	79
Tabelle 22	Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 5, Gleis 1 [47].....	80
Tabelle 23	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 3.2 [47] .....	81

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 24	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 4 [47] .....	81
Tabelle 25	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 5 [47] .....	81
Tabelle 26	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 6 [47] .....	81
Tabelle 27	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 1, Abschnitt 7 [47] .....	81
Tabelle 28	Komponenten, Projekt 5, Gleis 2 [47] .....	84
Tabelle 29	Spurweite- und Fraktalanalyse, Projekt 5, Gleis 2 [47] .....	87
Tabelle 30	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 1 [47] .....	87
Tabelle 31	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 2 [47] .....	88
Tabelle 32	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 3 [47] .....	88
Tabelle 33	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 4 [47] .....	88
Tabelle 34	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 5 [47] .....	88
Tabelle 35	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 6 [47] .....	88
Tabelle 36	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 7 [47] .....	89
Tabelle 37	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 8 [47] .....	89
Tabelle 38	Modifizierter Arbeitszyklus, Projekt 5, Gleis 2, Abschnitt 9 [47] .....	89

## Literaturverzeichnis

- [1] Stefan, Marschnig; Peter, Veit: *Life Cycle Management in der Realität*, ZEVrail, September 2012, Berlin
- [2] [http://www.oebb.at/infrastruktur/de/5\\_0\\_fuer\\_Generationen/5\\_4\\_Wir\\_bauen\\_fuer\\_Generationen/5\\_4\\_1\\_Schieneinfrastruktur/Zukunftsbahn\\_Zielnetz\\_2025/](http://www.oebb.at/infrastruktur/de/5_0_fuer_Generationen/5_4_Wir_bauen_fuer_Generationen/5_4_1_Schieneinfrastruktur/Zukunftsbahn_Zielnetz_2025/); entnommen am 17.11.2015
- [3] BMVIT: *Faktenblatt - Gesamtverkehrsplan für Österreich*, o.V., 13.12.2012, Wien
- [4] Klaus, Geißdörfer: *Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC): Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA*, LIT, 2009, Berlin
- [5] Peter, Veit: *Instandhaltung und Anlagenmanagement*, in: Fendrich, Lothar (Hrsg.): *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*, Springer, 2007, Berlin Heidelberg
- [6] Fabian, Hansmann; Matthias, Landgraf; Georg, Neuper: *LifeCycleManagement State-of-the-Art at the Austrian Federal Railways*, o. V., 24.04.2012, Delft
- [7] Michael, Mach: *LCM im Fahrweg der ÖBB Infra*, o.V., 29.09.2015, Wien
- [8] Bernhard, Lichtberger: *Handbuch Gleis: Unterbau – Oberbau – Instandhaltung – Wirtschaftlichkeit*, Eurailpress, 2010, Hamburg
- [9] Stefan, Marschnig; Fabian, Hansmann: *Life-cycle costs determine asset management policy*, Railway Gazette International, Jänner 2015, Sutton; Surrey
- [10] Stefan, Marschnig: *Life Cycle Management: Eisenbahninfrastruktur - Von der Basisstrategie zur Umsetzung*, o. V., 29.03.2012, Zürich
- [11] Markus, Enzi: *Der optimale Re-Investitionszeitpunkt für das Gleis unter dem Aspekt der Lebenszykluskosten*, ZEVrail, März 2012, Berlin
- [12] René, Schönemann: *Methoden und Kriterien zur Bewertung von Eisenbahninfrastruktur*, Diplomarbeit, 06.01.2009, Dresden
- [13] Peter, Veit: *Gleiserhaltungsstrategien und Lebenszykluskosten*, o. V., 03.02.2011, Dresden
- [14] Stefan, Marschnig; Peter, Veit; Gregor, Girsch; Peter, Eichberger: *Fahrwegstrategien für Gleis und Weiche auf Komponentenbasis – Optimierung auf Basis von Lebenszykluskosten*, ZEVrail, November-Dezember 2006, Berlin

- [15] Stefan, Marschnig; Peter, Veit: *Nachhaltige Bewirtschaftung der Infrastruktur unter Budgetrestriktionen*, ZEVrail, Juni-Juli 2012, Berlin
- [16] Florian, Auer: *Berührungslos arbeitende Gleismessfahrzeuge und Auswertung der Messdaten*, EIK, 2014, Frankfurt/Main
- [17] Peter, Veit; Stefan, Marschnig: *ÖBB LCM - PlanBudget*, Eigenverlag, 2011, Graz
- [18] Michael Kleinaltenkamp; Wulff Plinke: *Technischer Vertrieb – Grundlagen*, Springer, 1995, Berlin Heidelberg
- [19] <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/wiedergewinnungsfaktor.html>, entnommen am 27.08.2016
- [20] Bernhard, Lichtberger: *Optimierungspotenziale in der Gleisstandhaltung und im Gleisbau*, ZEVrail, Sonderheft Fahrweg 2009, Berlin
- [21] Erwin, Klotzinger: *Der Oberbauschotter – Teil 1: Anforderungen und Beanspruchung*, ETR, Jänner-Februar 2008, Hamburg
- [22] Stefan, Marschnig; Armin Berghold: *Besohlte Schwellen im netzweiten Einsatz*, ETR, Mai 2011, Hamburg
- [23] Rudolf, Schilder: *Der Einsatz von Betonschwellen im Netz der ÖBB – Ein Beitrag zur aktuellen Situation*, in: Herbert, Lachmayer; Peter, Plica (Hrsg.): *Über die Schwelle*, Böhlau, 2003, Wien
- [24] Florian, Auer; Rudolf, Schilder: *Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1: Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB*, ZEVrail, Mai 2009, Berlin
- [25] Florian, Auer; Agnes, Schöpp: *Substanzermittlung von Oberbaukomponenten*, ZEVrail, September 2012, Berlin
- [26] Eduard J., Besler: *Holz im Gleisbau: früher, heute – und morgen?*, Wald und Holz, Mai 2014, o.O.
- [27] Hartmut, Freystein; Martin, Muncke; Peter, Schollmeier: *Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen: Linienführung, Oberbau, Ingenieurbauwerke, Tunnel, Personenverkehrsanlagen, Bahnübergänge, Container-Terminals*, Eurailpress, 2005, Hamburg
- [28] Joachim, Fiedler; Wolfgang, Scherz: *Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen*, Werner, 2001, Köln

- [29] Holger Bach; Christoph Kuttelwascher; Christine Latal: *Alternative Prüfverfahren zur Qualitätssicherung von Gleisschotter*, ZEVrail, März 2012, Berlin
- [30] Johann, Fischer: *Das steinerne Bett – Ein Exkurs über den Eisenbahnschotter*, in: Herbert, Lachmayer; Peter, Plica (Hrsg.): *Über die Schwelle*, Böhlau, 2003, Wien
- [31] Christoph, Kuttelwascher; Michael, Zuzic: *Oberbauschotter – Kompendium für Österreich*, EIK, 2013, Frankfurt/Main
- [32] Peter, Veit; Stefan, Marschnig: *Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 2: Wirtschaftlichkeit im Netz der ÖBB*, ZEVrail, November-Dezember 2009, Berlin
- [33] Erwin Klotzinger: *Der Oberbauschotter – Teil 2: Qualitätsverlauf und Eingriffsschwellen*, ETR, März 2008, Hamburg
- [34] Peter, Plica: *Neue Wege – Neue Schwellen*, in: Herbert, Lachmayer; Peter, Plica (Hrsg.): *Über die Schwelle*, Böhlau, 2003, Wien
- [35] Klaus, Lieberenz; Dirk Wegener: *Abtragung der Lasten im System Oberbau, Unterbau und Untergrund*, EIK, 2009, Frankfurt/Main
- [36] Ekkehard, Steiner; Christoph, Kuttelwascher; Günter, Prager: *Druckausbreitung von belasteten Eisenbahnschwellen im Gleisschotter*, ETR Austria, Dezember 2012, Hamburg
- [37] Armin, Berghold: *Wirkungsweise von unterschiedlichen Gleisschotterarten mit und ohne Schwellenbesohlung*, ZEVrail, Jänner-Februar 2016, Berlin
- [38] Johannes, Franz: *Beanspruchung von Gleisen und Weichen*, in: Fendrich, Lothar (Hrsg.): *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*, Springer, 2007, Berlin Heidelberg
- [39] Peter, Plica: *Vom Steinquader zur Spannbetonschwelle – ein Streifzug durch die Geschichte der Schwellentechnik*, in: Herbert, Lachmayer; Peter, Plica (Hrsg.): *Über die Schwelle*, Böhlau, 2003, Wien
- [40] Republik Österreich: *398. Verordnung: Eisenbahnbau- und -betriebsverordnung – EisbBBV sowie Änderung der Eisenbahnverordnung 2003 – EisbVO 2003*, 19.11.2008, Wien
- [41] <http://robel.info/de/products/detail.asp?id=18&tit=Spurhaltestange&cfilter;> entnommen am 24.08.2016

---

Literaturverzeichnis

- [42] Projektbewertung Projekt 1: *Interner Projektbericht*, nicht veröffentlicht, 2012
- [43] Projektbewertung Projekt 2: *Interner Projektbericht*, nicht veröffentlicht, 2012
- [44] Projektbewertung Projekt 3: *Interner Projektbericht*, nicht veröffentlicht, 2012
- [45] Michaela, Schaffhauser-Linzatti: *Rechnungswesen Schritt für Schritt*, Facultas, 2012, Wien
- [46] Projektbewertung Projekt 4: *Interner Projektbericht*, nicht veröffentlicht, 2012
- [47] Projektbewertung Projekt 5: *Interner Projektbericht*, nicht veröffentlicht, 2012



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](http://www.ebw.tugraz.at)