

# Optimaler Re-Investitionszeitpunkt für den Oberbau von Streckenabschnitten

## Dissertation

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

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Markus Enzi

## Begutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Peter Veit**  
Technische Universität Graz  
Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft

Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Detlef Heck**  
Technische Universität Graz  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

## Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, im Juli 2011

---

## Danksagung

Mein Dank gilt Herrn em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Rießberger, unter dessen Leitung ich im Jahr 2005 zuerst halbtags an das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft kam. In dieser Zeit lernte ich als Absolvent der Studienrichtung Wirtschaftsingenieur-Bauwesen das Eisenbahnwesen und insbesondere den verkehrswirtschaftlichen Teil wesentlich detaillierter kennen.

In besonderem Maße möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit bedanken, der es mir ermöglichte, ab dem Jahr 2008 als Projektmitarbeiter am Institut zu bleiben und hierbei meine Dissertation zu erstellen. Des Weiteren möchte ich mich bei Ihm und Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Marschnig für die wertvolle Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit in Form von Gesprächen, wertvollen Anregungen und Diskussionen bedanken.

Außerdem bin ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck und Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-techn. Peter Veit für die Begutachtung der Arbeit bzw. für die Abnahme des Rigorosums sehr zu Dank verpflichtet.

Neben der fachlichen Betreuung habe ich von meiner Familie, meinen Freunden und meinen Kollegen Rückhalt und Motivation erfahren, auch Ihnen allen somit ein herzliches Dankeschön. Speziell möchte ich mich hiermit bei meinen Eltern, Maria und Kurt Enzi, bedanken, die mich bei meiner Ausbildung immer unterstützten und es mir dadurch überhaupt erst ermöglichten, ein Studium zu betreiben.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Frau Sabine Enzi und meiner Tochter Anika. Sie waren in so mancher schwierigen Zeit für mich da und mussten leider, insbesondere in der letzten Zeit, oft auf mich verzichten. Sie bestärkten mich jedoch immer wieder in meiner Arbeit und waren mir so dabei die größte Stütze. Danke!

## Kurzfassung

Eine wirtschaftliche Bewertung von Streckenabschnitten aufgrund des bisherigen Verhaltens ist nur dann möglich, wenn man eine ausreichend große Datenbasis mit Messdaten in entsprechend guter Qualität vorliegen hat und ein durchgehender zeitlicher Verlauf dieser über mehrere Jahre hinweg gewährleistet ist.

Mit der Überführung der bestehenden TUG Datenbank in die LCC Tool Datenbank ist diese Datenbasis vorhanden, da hier die Anlagedaten mit dem dazugehörigen Qualitätsverhalten gespeichert werden, die Anbindung weiterer Datenquellen möglich ist und eine automatisierte Unterbaubewertung durchgeführt wird. Das Modell der Unterbaubewertung basiert auf dem bisherigen Verschlechterungsverhalten, Belastung, Oberbaukomponenten, den Maschineneinsatzdaten, derzeitiger Nutzungsdauer und evtl. vorhandene Dauerlangsamfahrstellen. Durch diese Bewertung ist es möglich, jedem Querschnitt (entspricht 5m) in der Datenbank eine Unterbauklasse zuzuordnen und somit auch eindeutig einer Normkilometerklasse. Mit der Normkilometerzuteilung ist für jeden Querschnitt ein Re-Investitionszeitpunkt errechenbar, der in weiterer Folge als Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung dient.

Durch das Zusammenfassen von Querschnitten mit gleichen Re-Investitionszeitpunkten ist es möglich, Abschnitte zu bilden. Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt von benachbarten Abschnitten, deren Re-Investitionsjahre nicht mehr als etwa fünf Jahre auseinander liegen. Hierbei werden die Einsparungen den zusätzlichen Kosten einer gemeinsamen Re-Investition gegenübergestellt. Eine größere Bauabschnittslänge führt zu wesentlichen Einsparungen: Geringere Kosten einer Neulage und verringerte jährliche Instandhaltungskosten sowie sinkende Jahreskosten bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. vorzeitig niedrigere Jahreskosten durch wirtschaftlichere Oberbaukomponenten bei Nutzungsdauerverkürzung. Als zusätzliche Kosten fallen höhere Jahreskosten durch Nutzungsdauerverkürzung und Kosten auftretender LA sowie erst später anfallende niedrigere Jahreskosten durch wirtschaftlichere Oberbaukomponenten bei Nutzungsdauerverlängerung an. All diese Kosten werden hier herangezogen. Dadurch ergeben sich Gesamtkosten bei einer gemeinsamen Re-Investition der Abschnitte. Durch Verschieben des Bewertungszeitpunktes vom Re-Investitionsjahr des einen zum Re-Investitionsjahr des anderen Abschnittes erhält man für jedes Jahr eine wirtschaftliche Bewertung und erkennt so den optimalen Re-Investitionszeitpunkt. Kommt es bei allen Bewertungszeitpunkten zu höheren Gesamtkosten als bei einer getrennten Neulage, so ist eine gemeinsame Re-Investition nicht sinnvoll.

Die Anwendung dieses Modells kann auf mehrere Abschnitte gleichzeitig angewendet werden, sodass man für einen gesamten Bereich (Bahnhof–Bahnhof) die optimalen Bauabschnittslängen mit dazugehörigem Re-Investitionszeitpunkt erhält.

## Abstract

An economic evaluation of track sections due to track behaviour is only possible if a large database of measurement data is available and a time row over several years is guaranteed.

With the transfer of the existing TUG Database into the LCC Tool Database, this data is available. The asset data and the quality behaviour of track are stored, the connection to other data sources is possible and an automated substructure evaluation is carried out. The model of substructure evaluation is based on track degradation, traffic load, track components, maintenance work, service life and permanent slow orders. Due to the substructure evaluation it is possible to assign every cross section (corresponding to 5m of track length) to a standard kilometre category. With the assignment to a standard kilometre category it is possible to calculate point in time of track re-investment, which is used for the economic evaluation.

By combining cross-sections with the same point in time of track re-investment, it is possible to form longer sections. The economic evaluation is made of adjacent sections where the point of track re-investment is no more than five years apart. The cost savings are then compared to the additional cost when reinvesting both sections together. Savings which are caused by larger section lengths are lower investments and maintenance costs, reduction in annual costs for service life extension and benefits by earlier installation of track with optimised components. Additional costs, such as higher annual costs by shortening service life, costs of operational hindrances due service life extension and effects of postponing the installation of optimised track components, are also considered. The result is the total cost of re-investment for both sections. For every year between the point in time of track re-investment of one section to that of the other, an economic evaluation is obtained which thus allows finding the optimal point in time for track re-investment.

The application of this model can be applied to multiple sections, so the optimal section lengths with associated point in time for re-investment is obtained that for an entire track stretch (station to station).

## Abkürzungsverzeichnis

AHM:	Aushubmaschine, mit der eine Unterbausanierung durchgeführt wird
BEK:	Betrieberschwerniskosten
DauerLA:	Dauerlangsamfahrstelle
DGS:	Dynamischer Gleisstabilisator
EM 250:	Messwagen der Österreichischen Bundesbahnen
GesBT/Tag:	Gesamtbruttotonnen pro Tag
GSB:	Geotechnisches Streckenband
LA:	Langsamfahrstelle
LCC:	Life-Cycle-Costs
LCM:	Life-Cycle-Management
MDZ-a:	Einheit der Bewertung der Gleislagequalität nach ADA II Verfahren
MDZ:	Mechanisierter Durcharbeitungszug
MDZ Ziffer:	Aus Beschleunigungsdifferenzen bewertete Gleislagequalität
ND:	Nutzungsdauer
ÖBB:	Österreichische Bundesbahnen
PSS:	Planumsschutzschicht
PLM:	Weichenstopfmaschine
RoLa:	Rollende Landstraße
RM:	Schotterreinigungsmaschine
SigH:	Vertikale Standardabweichung
SUZ:	Schnellumbauzug
VzG:	Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Ziel, Basisdaten .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b><i>Problemstellung .....</i></b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b><i>Basisdaten und Werkzeuge .....</i></b>	<b>3</b>
1.2.1	TUG Datenbank .....	8
1.2.2	LCC Tool Datenbank .....	13
1.2.2.1	<i>Struktur LCC Tool Datenbank .....</i>	<i>13</i>
1.2.2.2	<i>Inhalt der LCC Tool Datenbank .....</i>	<i>15</i>
1.2.2.3	<i>Erweiterung der LCC Tool Datenbank .....</i>	<i>15</i>
<b>2</b>	<b>Bewertungsmodell für den Unterbau .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b><i>Definition Unterbau .....</i></b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Definition der Unterbauklassen nach [Veit 1999] .....</i></b>	<b>17</b>
2.2.1	Unterbauklasse „Gut“ [Veit 1999] .....	17
2.2.2	Unterbauklasse „U3“ [Veit 1999] .....	17
2.2.3	Unterbauklasse „U4“ [Veit 1999] .....	17
2.2.4	Unterbauklasse „U5“ [Veit 1999] .....	17
2.2.5	Unterbauklasse „U9“ .....	17
2.2.6	Fazit Unterbauklassen .....	17
<b>2.3</b>	<b><i>Relation Verschlechterungsrate – Unterbauklassen .....</i></b>	<b>18</b>
2.3.1	Exkurs Geotechnisches Streckenband (GSB) .....	18
2.3.2	Definition der b-Rate bei Unterbauklasse „Gut“ .....	19
<b>2.4</b>	<b><i>Klassifizierung des Unterbaus .....</i></b>	<b>25</b>
2.4.1	Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens ...	25
2.4.2	Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei Überalterung des Gleises ohne Dauerlangsamfahrstelle .....	28
2.4.3	Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei vorhandenen Dauerlangsamfahrstellen .....	28
2.4.4	Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei Überalterung und vorhandener Dauerlangsamfahrstelle .....	29
2.4.5	Zuteilung der Unterbauklasse anhand bisheriger Maschineneinsätze .....	30
2.4.5.1	<i>Zuteilung der Unterbauklasse anhand MDZ-Einsätze .....</i>	<i>30</i>
2.4.5.2	<i>Zuteilung der Unterbauklasse anhand AHM-Einsätze .....</i>	<i>31</i>
2.4.5.3	<i>Zuteilung der Unterbauklasse anhand SUZ-Einsätze .....</i>	<i>32</i>
2.4.5.4	<i>Zuteilung der Unterbauklasse ohne Daten .....</i>	<i>32</i>
<b>3</b>	<b>Methodik der Bewertung des wirtschaftlich optimalen Re-Investitionszeitpunktes von Gleisabschnitten .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Berechnung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes für Gleisabschnitte (QS) .....</i></b>	<b>34</b>

<b>3.2</b>	<b><i>Bildung von Mindestabschnittslängen</i></b> .....	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b><i>Betrieberschwerniskosten (BEK) zufolge Dauerlangsamfahrstellen</i></b> .....	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b><i>Zusammenhang Abschnittslänge - Kosten</i></b> .....	<b>40</b>
3.4.1	Optimale Sperrpausendauer .....	41
<b>3.5</b>	<b><i>Wirtschaftliche Bewertung von Einzelabschnitten</i></b> .....	<b>46</b>
3.5.1	Der Zinssatz bei der dynamischen Bewertung .....	46
3.5.2	Dynamisches Bewertungsmodell .....	47
3.5.3	Statisches Bewertungsmodell .....	48
<b>3.6</b>	<b><i>Bewertung von Abschnitten mit unterschiedlichem Re-Investitionszeitpunkt</i></b> .....	<b>51</b>
3.6.1	Verkürzung des Normkilometerzyklus .....	53
3.6.2	Verlängerung des Normkilometerzyklus .....	53
<b>4</b>	<b><i>Ergebnisse</i></b> .....	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b><i>Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstellen</i></b> .....	<b>55</b>
4.1.1	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	55
4.1.2	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	56
4.1.3	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	56
4.1.4	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	57
4.1.5	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	57
4.1.6	Betrieberschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	58
<b>4.2</b>	<b><i>Kosten in Abhängigkeit der Abschnittslänge</i></b> .....	<b>58</b>
4.2.1	Einfluss der Abschnittslänge auf die Normkilometerkosten .....	58
4.2.1.1	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	59
4.2.1.2	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	63
4.2.1.3	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	65
4.2.1.4	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	67
4.2.1.5	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	69
4.2.1.6	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	71
4.2.1.7	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	73
4.2.1.8	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	75
4.2.2	Parameteruntersuchung zur Kosteneffizienz der Bauabschnittslängen .....	76
4.2.2.1	Abschnittslängenverhältnisse über Belastungsklassen für die einzelnen Radienklassen .....	77
<b>4.3</b>	<b><i>Durchschnittliche Jahreskosten bei Verlängerung bzw. Verkürzung der Nutzungsdauer</i></b> .....	<b>79</b>

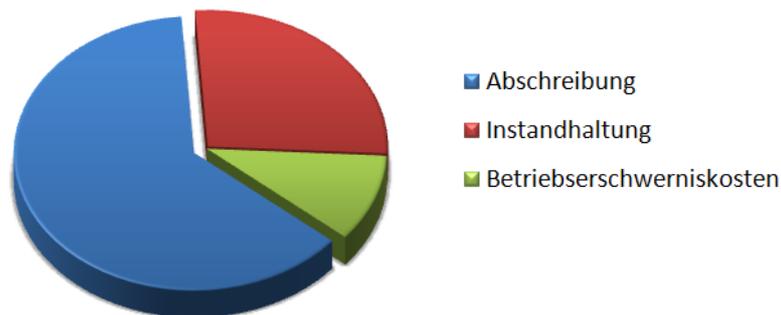
<b>4.4</b>	<b><i>Ergebnisse der Bewertung von zwei Gleisabschnitten</i></b> .....	<b>82</b>
4.4.1	Berechnung zweier Abschnitte .....	82
4.4.2	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	85
4.4.3	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	86
4.4.4	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	87
4.4.5	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	88
4.4.6	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	89
4.4.7	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	91
4.4.8	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	92
4.4.9	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	93
4.4.10	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig bei nicht strategiekonformen Oberbau .....	94
4.4.11	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig bei noch nicht strategiekonformem Oberbau und einer Unterbauklasse „U4“ .....	98
<b>4.5</b>	<b><i>Zusammenfassung</i></b> .....	<b>100</b>
4.5.1	Auswertung des Re-Investitionsbedarfs .....	100
4.5.2	Netzweite Altersstruktur aufgrund Normkilometer-Zuteilung .....	102
4.5.3	Soll-Stopfen aufgrund der Normkilometer-Zuteilung .....	103
<b>5</b>	<b><i>Ausblick</i></b> .....	<b>104</b>
<b>6</b>	<b><i>Anhang</i></b> .....	<b>105</b>
<b>6.1</b>	<b><i>Standard Normkilometerzyklen nach Strategie</i></b> .....	<b>106</b>
6.1.1	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	106
6.1.2	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	107
6.1.3	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	109
6.1.4	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	110
6.1.5	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	111
6.1.6	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	114
6.1.7	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	115
6.1.8	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	116
<b>6.2</b>	<b><i>In der Nutzungsdauer verlängerte Normkilometerzyklen nach Strategie</i></b> .....	<b>118</b>
6.2.1	Verkehrsbelastung > 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	118
6.2.2	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	119
6.2.3	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	121
6.2.4	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	122
6.2.5	Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	123
6.2.6	Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	125
6.2.7	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	126
6.2.8	Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig .....	127
<b>6.3</b>	<b><i>Beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform)</i></b> .....	<b>129</b>
6.3.1	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	129

---

<b>6.4</b>	<b><i>In der Nutzungsdauer verlängerte, beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform) .....</i></b>	<b>131</b>
6.4.1	Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig .....	131
<b>6.5</b>	<b><i>Beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform und Unterbauklasse „U4“) .....</i></b>	<b>133</b>
<b>6.6</b>	<b><i>In der Nutzungsdauer verlängerte, beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform und Unterbauklasse „U4“) .....</i></b>	<b>134</b>
<b>6.7</b>	<b><i>Weitere Parameteruntersuchungen zur Kosteneffizienz der Bauabschnittslängen ..</i></b>	<b>136</b>
6.7.1	Radienklassen über Belastungsklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 50% .....	136
6.7.2	Radienklassen über Belastungsklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 100% .....	137
6.7.3	Belastungsklassen über Radienklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 50% .....	138
6.7.4	Belastungsklassen über Radienklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 100% .....	139

## 1 Einleitung, Ziel, Basisdaten

Die Entscheidung bei Investitionen, die eine lange Nutzungsdauer bzw. hohe Instandhaltungskosten aufweisen, wird heutzutage meistens aufgrund von Life-Cycle-Cost (LCC) Berechnungen getroffen. Da im Eisenbahnwesen 40 Jahre und mehr als Nutzungsdauer für ein Gleis keine Seltenheit sind und dazu auch noch ein hoher Instandhaltungsaufwand gegeben ist, wurden schon sehr früh Überlegungen zu Life-Cycle-Costs gemacht. Die Lebenszykluskosten für ein Gleis werden anhand eines Beispiels in Abbildung 1.1 dargestellt.



*Abbildung 1.1: Verteilung der durchschnittlichen Jahreskosten des Oberbaus bei einer 2-gleisigen Strecke mit einer Belastung von über 70.000GesBT/Tag, Gleis*

Der Begriff Life-Cycle-Management (LCM) bedeutet, dass hinter einer Investition nicht nur eine LCC-Rechnung steht, sondern bereits eine Strategie ausgearbeitet wurde und diese für Investitionen und Instandhaltung angewandt und laufend überprüft und verbessert wird. Dieser Weg des Life-Cycle Managements wurde bei den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) bereits im Jahr 2000, unter der Leitung von Prof. Veit im Rahmen des Projekts „Strategie Fahrweg“, begonnen.

In weiterer Folge wurden die Projekte „Strategie Komponenten – Schienen“ und „Strategie Komponenten – Weichen“ ins Leben gerufen und im Jahr 2005 abgeschlossen.

Motivation für diese Arbeit war vor allem die bisher sehr unterschiedliche Betrachtung des Fahrweges in den Bereichen Ober- und Unterbau, da es einerseits Datenbanken gibt, in denen der Oberbau mit seinen verschiedenen Komponenten und ihrem Zustand sehr gut erfasst ist, andererseits für den Unterbau nur abgeleitete Daten und für einige Bereiche singuläre Informationen vorhanden sind.

Ziel ist es, mit einem klassifizierten Unterbau das System Oberbau und Unterbau gemeinsam zu sehen. Dadurch lässt sich das Gleisverhalten leichter verstehen bzw. kann man in manchen Fällen auch die Ursache von Fehlern erkennen und im Endeffekt die richtigen Maßnahmen treffen, um den Fehler zu beheben oder zumindest nicht so schnell wieder entstehen zu lassen. Zusätzlich ermöglicht eine gemeinsame Betrachtung des Systems diesem ein Verhalten zuzuordnen. Aufgrund dessen können der Instandhaltungsaufwand und damit Kosten für eine wirtschaftliche Bewertung ermittelt werden.

## 1.1 Problemstellung

Im Allgemeinen stellt sich gegen Ende der Nutzungsdauer bei einem Gleis immer die Frage, ob eine weitere Instandhaltung oder eine Reinvestition sinnvoller erscheint.. Die Antwort darauf kann nicht sofort „errechnet“ werden, da für die Berechnung des wirtschaftlich optimalen Re-Investitionszeitpunktes zuerst mehrere Voraussetzungen geschaffen werden müssen.

Um einen wirtschaftlich optimalen Re-Investitionszeitpunkt errechnen zu können, muss man vor allem wissen, welche Kosten noch anfallen werden. Dazu müssen die einzelnen Gleiskomponenten bekannt sein, zusätzlich das bisherige Gleisverhalten, aus dem man auf das zukünftige Verhalten schließen bzw. das erwartete Nutzungsdauerende errechnen kann. Dieser Teil wird in dieser Arbeit mit einem Unterbaubewertungsmodell [Kapitel 2] abgedeckt, woraus sich im Anschluss verschiedene Gleisabschnitte einem Normkilometer zuordnen lassen, um die noch anfallenden zukünftigen Kosten für diesen Gleisabschnitt errechnen zu können.

Nach diesem Teil fehlen aber noch immer die Kosten, die bei der Re-Investition für die Neulage anfallen, ebenso die danach anfallenden Instandhaltungskosten, die ebenfalls einen Einfluss auf die Entscheidung des Re-Investitionszeitpunktes haben. Diese Informationen erhält man aus einer Investitionsstrategie [Veit, Marschnig 2005a], in der für verschiedene Streckenparameter die wirtschaftlich optimalen Komponenten bereits definiert sind.

Kann man nun die noch anfallenden Kosten als auch jene für die Neulage ermitteln, ergibt sich das Problem, dass sich diese eigentlich nur auf einen Querschnitt von fünf Meter Länge beziehen, da die noch anfallenden Kosten aufgrund der Normkilometerzuteilung ermittelt wurden und diese Zuteilung für jeden Querschnitt gemacht wird. Es sind diese Querschnitte also in erster Linie aufgrund ihrer Normkilometerzuteilung zu einem zusammenhängenden Abschnitt zusammenzufassen, sodass sich für eine Re-Investition ausreichend lange Abschnitte (>200m) ergeben. Im Falle von Unterbrechungen durch Einzelquerschnitte müssen diese für die Abschnittsbildung angepasst werden, mit dem Vermerk, dass diese ursprünglich eine andere Bewertung hatten.

Als letzten Schritt gilt es bei der Bewertung zu berücksichtigen, dass die Kosten der Neulage in Abhängigkeit zur Bauabschnittslänge und der optimalen Sperrpausendauer stehen [Veit, Marschnig 2008b].

## 1.2 Basisdaten und Werkzeuge

Sämtlich Messdaten, auf denen die TUG Datenbank [Kapitel 1.2.1], und weitergehend auch die LCC Tool Datenbank [Kapitel 1.2.2] basiert, wurden von den ÖBB zur Verfügung gestellt.

*In der Eisenbahntechnik werden üblicherweise zur Beschreibung der Gleisgeometrie zumindest die folgenden fünf Parameter erfasst:*

- *Spurweite,*
- *Längshöhenlage,*
- *Richtungslage,*
- *Überhöhung und davon abgeleitet die*
- *Verwindung.*

*Mittels der bei vielen Oberbaumessfahrzeugen üblichen Pfeilhöhenmessung können Fehler nicht exakt wiedergegeben werden. Bei den im EM 250 verwendeten Inertial-Messsystemen erhält man hingegen Raumkurven, die die echten Abweichungen des Gleises von einer idealen, relativen Gleislage formtreu wiedergeben. [Hanreich 2004]*

Auf dem österreichischen Hauptnetz befährt der Messwagen EM 250 der ÖBB die Strecken durchschnittlich zwei bis vier mal pro Jahr. Dadurch erhält man Daten über die aktuelle Gleislagequalität. Diese wird dann als vertikale Standardabweichung (SigH) und als Komfortziffer (MDZ-a) angegeben, sie wird aus den Beschleunigungsdifferenzen eines theoretischen Fahrzeugschwerpunktes berechnet.

### **Gleisanalysesystem ADA-II (MDZ-a)**

Die vertikale Standardabweichung ist ein internationaler Standard zur Darstellung der Gleislagequalität. Es gibt jedoch auch weitere Kennzahlen, die sich für manche Auswertungen besser eignen.

Eine dieser Kennzahlen ist die Qualitätsziffer MDZ, die sich aus dem ADA-II Verfahren [Riessberger 2004] entwickelt hat. Mit dieser Qualitätsziffer wird nicht die Lage des Gleises selbst angegeben, sondern die Auswirkungen der Gleislage auf ein Fahrzeug. Das heißt es werden Höhen- und Seitenlage sowie die Lage beider Schienenstränge zueinander in einem Wert zusammengefasst [Hummitzsch 2009]. Das erfolgt als gleitender Wert (MDZ-a) über eine Einflusslänge von 100m [Abbildung 1.2].

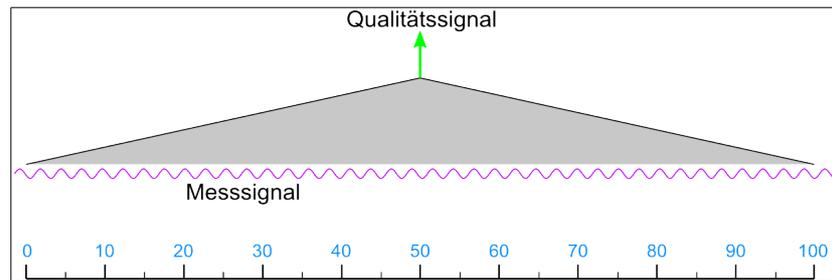


Abbildung 1.2: Errechnung des Qualitätssignals über eine 100m Einflusslänge

Nach [Hanreich 2004] ist die MDZ-Zahl folgendermaßen definiert:

*Sie entsteht aus dem arithmetischen Mittelwert aus den mit dem Quadrat der Kreisfrequenz gewichteten Beträgen der vertikalen und horizontalen Beschleunigungsvektoren des Schwerpunktes eines ungefederten Fahrzeuges, das sich mit Streckenhöchstgeschwindigkeit  $V_{max}$  über die von der Solllage abweichende, also gestörte Gleislage, bewegt [Hanreich 2004].*

Bei der Berechnung wird von einem steifen Fahrzeug mit einer einzigen Achse ausgegangen, bei dem eine steife Verbindung zum Schwerpunkt, in 1,5m Höhe (entspricht der Spurweite) über der Schienenoberkante des Fahrzeuges, gegeben ist [Riessberger 2004]. Die Beschleunigungen werden in diesem Punkt aufgenommen, was wiederum heißt, dass sich die bestehende Gleislage auf Fahrzeuge mit anderem Schwerpunkt etwas anders auswirkt.

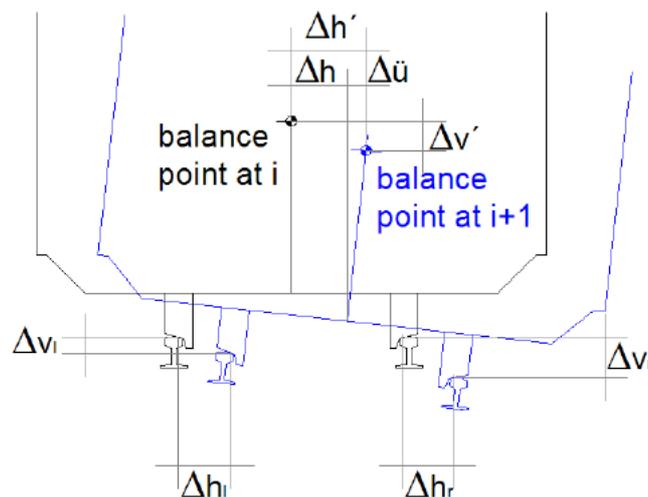


Abbildung 1.3: ADA II - Prinzipskizze zur Bewegung des Wagenschwerpunktes [Hummitzsch 2009]

Die MDZ-Ziffer nach dem ADA-II Verfahren wird mit folgender Formel 1 [Hummitzsch 2009] berechnet:

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

wobei:

- $c$  Konstante
- $L$  Auswertungslänge
- $V$  Streckenhöchstgeschwindigkeit (VzG)
- $\Delta x$  Abstand zweier Messquerschnitte
- $\Delta v'$  vertikale Änderung
- $\Delta h$  horizontale Änderung
- $\Delta \ddot{u}$  Änderung Überhöhung

Der Einfluss der Federn und Dämpfer ist durch die Anregung mit unterschiedlichen Frequenzen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten verschieden, sie wird jedoch nach [Riessberger 2004] mit der Funktion  $V^{0,65}$  abgedeckt.

Es sei hier noch einmal festgehalten, dass die MDZ-Ziffer ein Komfortkriterium und kein Sicherheitskriterium darstellt. Da die MDZ-Ziffer allerdings mit der Streckenhöchstgeschwindigkeit errechnet wird, lässt sich im Falle einer Überschreitung von Komfortkriterien die noch zulässige Geschwindigkeit ermitteln, die notwendig ist, um Komfortgrenzwerte einzuhalten. Dieser Effekt kann auch bei der Ermittlung der Geschwindigkeitsreduktion für Dauerlangsamfahrstellen infolge schlechter Gleislage, verwendet werden [Berghold 2011].

### **Ansätze zur Beschreibung der Gleisqualität [Lichtberger 2003]**

Für den Verlauf der Gleislagequalität über die Zeit gibt es verschiedenste Ansätze. Einer davon, der auch in der TUG Datenbank verwendet wird, ist die exponentielle Darstellung [Kapitel 1.2.1 TUG Datenbank] mit dem Ansatz, dass die Verschlechterungsrate proportional zur Qualität ist.

Ein weiterer ist die lineare Darstellung, bei der sich nach einer anfänglichen exponentiellen Verschlechterung (bis zur ersten Stopfung nach ca. 0,5-2 Mio. t Betriebsbelastung) die Gleisqualität linear mit der Betriebslast verschlechtert. [Lichtberger 2003]

*Die Verschlechterung des Gleises verläuft proportional mit der Radlast. Radsätze mit Höchstlast (dynamisch und statisch) sind bestimmend.* [Lichtberger 2003]

Eine halblogarithmische Darstellung wird bei ORE-Untersuchungen [Forschungs- und Versuchsammt des internationalen Eisenbahnverbandes 1975] angeführt.

*Zwischen der Entwicklung von Gleisfehlern und der Standardabweichung der Einsenkung lässt sich dem Anschein nach eine Verbindung herstellen; der Änderungsgrad der*

*Standardabweichung der Gleisfehler  $c_0$  schwankt zwischen 30 und 60% des Änderungsgrades  $b_0$  der Standardabweichung der Einsenkung. [Forschungs- und Versuchsamt des internationalen Eisenbahnverbandes 1975]*

Nachdem bereits in der TUG Datenbank mit dem exponentiellen Ansatz die Gültigkeit dieses Ansatzes belegt wurde, wird dieser Ansatz auch in der LCC Tool Datenbank verwendet.

### Exkurs Maschineneinsätze

Unter dem Begriff Maschineneinsätze werden verschiedene maschinelle Arbeiten bezeichnet, die, verteilt über die Nutzungsdauer des Gleises, entweder bei der Investition oder bei Instandhaltung anfallen. In den TUG- bzw. LCC Tool Datenbanken kommen diese verschiedenen Typen von Maschineneinsätzen immer wieder vor.

Bei der Re-Investition (bei schlechtem Unterbau auch innerhalb der geplanten Nutzungsdauer) muss für eine stabile Gleislage, bei einem nicht ausreichend entwässerten bzw. nicht tragfähigen Unterbau, eine Tragschicht eingebaut werden [Auer et al. 2007]. Diese Unterbausanierung wird bei den ÖBB meist mit einer Aushubmaschine (**AHM** bzw. RPM) durchgeführt.

Im Laufe der Nutzungsdauer muss das Gleis in Höhe und Lage immer wieder neu eingerichtet werden, da mit der Zeit aufgrund der Beanspruchung Gleislagefehler entstehen. Dies geschieht mit einem Mechanisierten Durcharbeitungszug (**MDZ**), welcher aus einem Schotterpflug, einer Stopf-Nivellier-Richtmaschine und einem Gleisstabilisator (DGS) besteht. Neuere Systeme haben anstatt des Schotterpfluges ein System zur Schotterbewirtschaftung (BDS), das einen evtl. vorhandenen Schotterüberschuss aufnimmt und im Bedarfsfall wieder gezielt abgibt.

Die durch den Kornaufbau vorgegebenen und gewünschten Eigenschaften des Schotterbettes gehen verloren, wenn der Anteil an Feinkorn (in der Regel eine Körnung mit einem Durchmesser kleiner als 25mm) im Schotterbett erheblich größer ist als der zulässige Anteil. Bei Neuschotter beträgt der zulässige Anteil an Feinkorn in der Regel 3-5% [Klotzinger 2001]. Bei einer starken Verschmutzung des Schotterbettes kann selbst mit einem MDZ-Einsatz keine dauerhafte stabile Lage des Gleises mehr hergestellt werden. Um den Feinanteil aus dem Schotterbett zu bekommen, verwendet man eine Reinigungsmaschine (**RM**), die die Feinanteile heraus sibt und neuen Schotter ergänzt.

Da im Weichenbereich aufgrund des abzweigenden Astes nicht mit einem MDZ durchgearbeitet werden kann, wird dafür eine eigene Weichenstopfmaschine (**PLM**) eingesetzt. Diese kann auch zum Beheben von Einzelfehlern verwendet werden.

Im Zuge einer Re-Investition werden nach einer Schotterbettreinigung bzw. -auswechslung Schienen und Schwellen mittels Schnellumbauzug (**SUZ**) getauscht. Danach wird das neue Gleis gestopft, stabilisiert, entspannt und verschweißt. Ebenso erfolgt eine Neuschienenschleifung und nach rund 6 Monaten ein Stabilisierungsstopfgang.

## Exkurs Normkilometer

Unter dem Begriff Normkilometer versteht man ein Gleis, das durch folgende Parameter definiert ist:

- Schienenprofil
  - 60E1
  - 54E2
  - 49E1
  - A
- Schienengüte
  - R200
  - R260
  - R320Cr
  - R350HT
- Schwellentyp
  - Beton
  - Beton besohlt
  - Holz
  - Stahl
  - Brückenhölzer
- Radienklasse
  - $R > 3000\text{m}$
  - $1000 < R < 3000\text{m}$
  - $600 < R < 1000\text{m}$
  - $400 < R < 600\text{m}$
  - $250 < R < 400\text{m}$
  - $R < 250\text{m}$
- Belastungsklasse
  - 8.000 – 15.000GesBT/Tag
  - 15.000 – 30.000GesBT/Tag
  - 30.000 – 45.000GesBT/Tag
  - 45.000 – 70.000GesBT/Tag
  - >70.000GesBT/Tag
- Unterbauklasse [siehe Kapitel 2.2 Definition der Unterbauklassen nach [Veit 1999]]
  - Gut
  - U3
  - U4
  - U5

Gleise, die durch eine Parameterkombination definiert sind, verhalten sich an jeder Stelle im Netz gleich, und sind somit demselben Normkilometer zugeordnet. Einer der am schwierigsten zu fassenden Parameter ist dabei die Unterbauklasse. Ein Modell für die mögliche Bewertung wird im nachfolgenden Kapitel [Kapitel 2 Bewertungsmodell für den Unterbau] vorgestellt.

Für jeden Normkilometer gibt es auch Arbeitszyklen, in denen alle planbaren Arbeiten bzw. auch ungeplante Instandsetzungsarbeiten, die während der gesamten Liegedauer des Oberbaus durchzuführen sind, aufgelistet werden, einschließlich der Angabe, wann diese Arbeiten anfallen [Veit 2004]. Hieraus können sämtliche Kosten, die während der gesamten Nutzungsdauer anfallen, und so auch die durchschnittlichen Jahreskosten (statisch) bzw. Annuitäten (dynamisch), berechnet werden.

In nachfolgendem Beispiel [Abbildung 1.4] ist ein Arbeitszyklus für einen Normkilometer dargestellt. Dieser spiegelt die Arbeiten innerhalb der Nutzungsdauer für ein Gleis mit folgenden Parametern wieder: Zweigleisige Strecke, Schienenprofil 60E1, Betonschwelle, Belastungs-klasse >70.000GesBT/Tag, Schienengüte R260, Radienklasse 400<R<600m und ein guter Unterbau.

Investition				Eigenschaften des Normkilometers																														
Unterbau "Gut"	400<R<600	zweigleisig		geplante Instandhaltung									Nutzungsdauer																					
Gest./Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	gut		Schwelle							Betton																					
>70.000	60E1	260	gut	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22								
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	23,0		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22								
Neulage		1,0		1																														
Stoßen	alle x Jahre	2,1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1								
Schleifen	Anzahl in ND	4,0						1					1							1					1									
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	1,0																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,3														0,3																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																
Zwischenschienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																
Mängelbehebung	Anzahl in ND	23,0		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5								

Abbildung 1.4: Beispiel eines Lebenszyklus' für einen Normkilometer

### 1.2.1 TUG Datenbank

Die TUG Datenbank wurde von Holzfeind [Holzfeind 2009] und Hummitzsch [Hummitzsch 2009] im Rahmen ihrer Dissertationen am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft an der TU Graz erstellt. Grund dafür war ein Bedarf an einem übersichtlicheren Ordnungssystem [Abbildung 1.6] der Messdaten in Österreich (ca. 3800 km) [Abbildung 1.5].

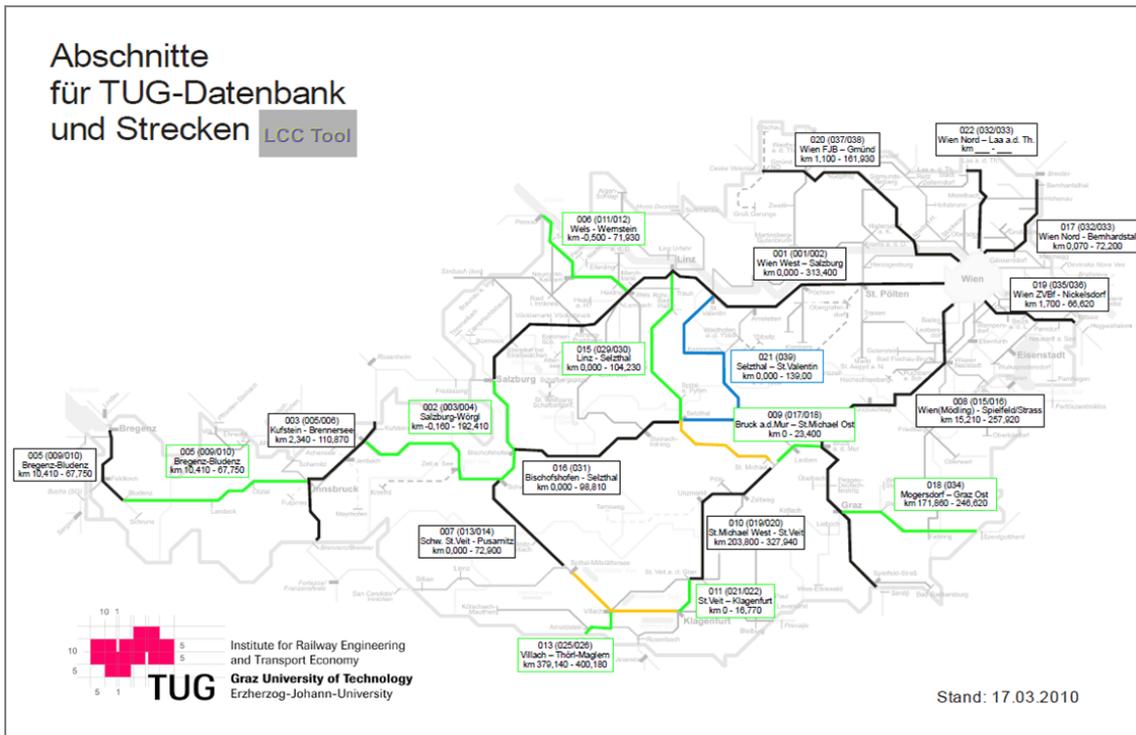


Abbildung 1.5: Strecken der TUG Datenbank [Hummitzsch 2009]

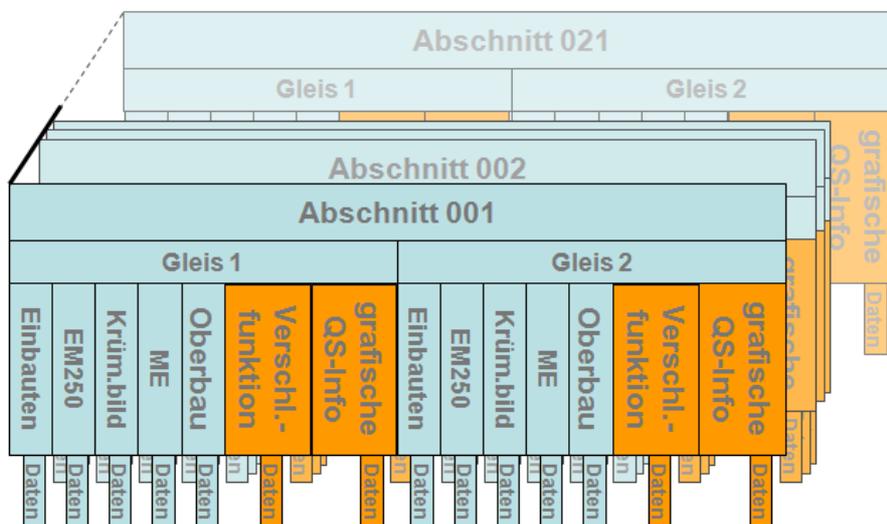


Abbildung 1.6: Struktur der TUG Datenbank [Hummitzsch 2009]

In der TUG Datenbank ist das Hauptnetz in 21 Abschnitte unterteilt, wobei jedem Querschnitt im Abstand von 5 Metern auf dem Gleis folgende Daten zugeordnet sind:

- Einbauten
  - Brücken
  - Tunnel
  - Bahnhöfe

- Eisenbahnkreuzungen
- Weichen
- Messdaten des Messwagen EM250 der ÖBB
- Krümmung, Radius und Überhöhung
- Maschineneinsätze
  - Unterbausanierung (AHM)
  - Schotterbettreinigung (RM)
  - Gleisneulage (SUZ)
  - Stopfen und Stabilisieren von Gleisen (MDZ)
  - Weichen- und Einzelfehlerstopfen (PLM)
- Oberbaudaten (Schiene, Schwelle)
- Zulässige Geschwindigkeit (VzG)
- Verschlechterungsfunktionen (Q, b)
- Grafische Darstellung dieser Informationen (alle 50 m)

Aus den vorhandenen Messdaten wurden alle 5m Verschlechterungsfunktionen errechnet (derzeit ca. 2 Millionen), die jeweils durch zwei Maschineneinsätze begrenzt sind und durch folgende Funktion abgebildet werden.

$$Q_{(t)} = Q_n \times e^{b_n t} \quad (\text{Formel 2})$$

$Q_{(t)}$  ..... Qualität zum Zeitpunkt t  
 $Q_n$  ..... Qualität nach Maschineneinsatz  
 $b_n$  ..... Verschlechterungsrate  
 n ..... nter Verschlechterungsast  
 n=0 für Gleisverhalten nach Neulage

Diese Verschlechterungsfunktion wurde durch eine Regressionsrechnung mit der Methode der kleinsten Quadrate errechnet, sofern zwischen zwei Maschineneinsätzen mindestens drei Messpunkte vorhanden sind.

Eine Verschlechterungsfunktion zwischen zwei Maschineneinsätzen wird auch als Verschlechterungsast bezeichnet. Ein Beispiel hierfür ist in nachfolgender Abbildung [Abbildung 1.7] angeführt, wo auf einem Querschnitt drei Verschlechterungsäste zu sehen sind und die Verschlechterungsraten ( $b_1 - b_3$ ) und Gleislagequalitäten ( $Q_1 - Q_3$ ) nach dem jeweiligen Maschineneinsatz am rechten Rand stehen.

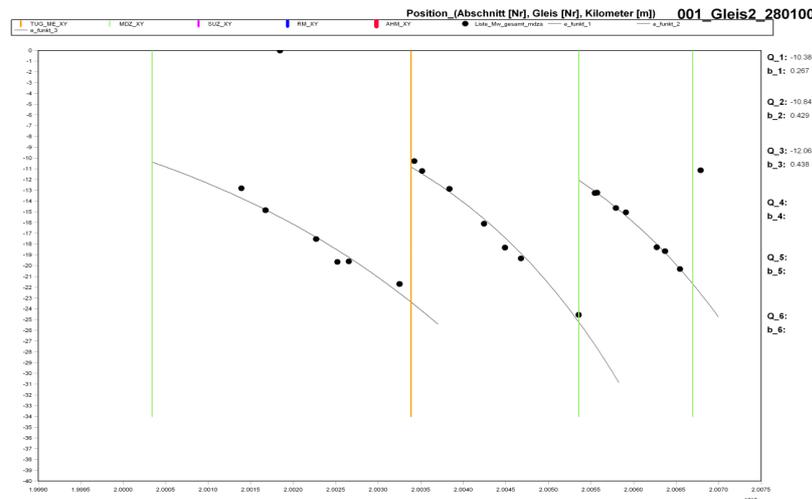


Abbildung 1.7: Querschnitt mit drei Verschlechterungsästen  
[Hummitzsch 2009]

Die Verschlechterungsrate ist durch folgende Parameter beeinflussbar [Lichtberger 2003]:

- ein größeres Trägheitsmoment der Schiene verlangsamt den Verfall,
- ein Verkleinern des Schwellenabstandes wirkt sich günstig aus,
- enge Kurvenradien wirken nachteilig,
- homogen verdichteter Untergrund und Schotterschicht sind ein wichtiger Faktor für die Dauerhaftigkeit der Gleislage,
- die Schwankung der vertikalen Elastizität zeigt negative Auswirkungen und
- das Spektrum der ins Gleis eingebrachten Kräfte ist insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten ein entscheidender Faktor.

### „Homogene Bereiche“ [Hummitzsch 2009]

Als „Homogene Bereiche“ werden Abschnitte bezeichnet, bei denen ein bestimmtes Parameter bei aufeinanderfolgenden Querschnitten gleich ist [Abbildung 1.8]. So ein Parameter besteht aus:

- Schiene
- Schwelle
- Unterbau
- Radius
- Belastung
- Zulässige Geschwindigkeit (VzG)

In diesem Bereich findet kein Wechsel dieser angegebenen Parameter statt, und es treten auch keine Störstellen durch Einbauten wie Bahnhofsbereiche, Tunnel, Weichen, Brücken oder Eisenbahnkreuzungen auf.

Des Weiteren sei angemerkt, dass in diesen Bereichen auch kein Start oder Ende eines Maschineneinsatzes, welcher wiederum zu einer Störstelle führen kann, liegt.

Ein „Homogener Bereich“ ist definiert als der längste zusammenhängende Bereich mit derzeit betrachteten, gleich bleibenden Parametern [Hummitzsch 2009].

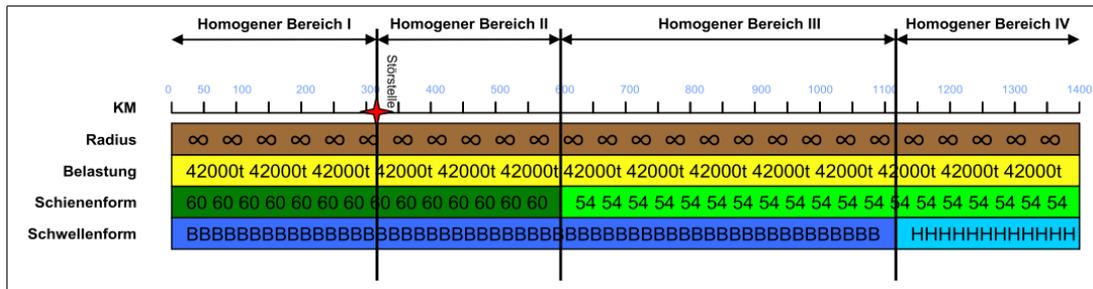


Abbildung 1.8: Definition eines "Homogenen Bereiches" [Hummitzsch 2009]

### Gültige Längen [Hummitzsch 2009]

Da bei der Untersuchung der „Homogenen Bereiche“ die Parameter zwar alle gleich sind, diese jedoch durch Störstellen getrennt werden, ist darauf zu achten, dass der MDZ-a Wert aus einer Einflusslänge von 100m errechnet wird und somit am Anfang und am Ende dieses „Homogenen Bereiches“ 50m „weggeschnitten“ werden müssen, um einen völlig unbeeinflussten Bereich [Abbildung 1.9] zu bekommen. Ein solcher Bereich ist dann als „Gültige Länge“ definiert.

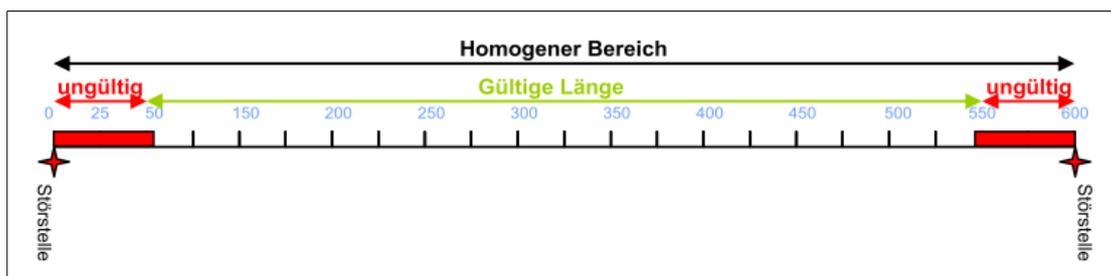


Abbildung 1.9: Definition einer "Gültigen Länge" [Hummitzsch 2009]

Der Einfluss so einer Störstelle auf das Qualitätssignal ist in Abbildung 1.10 dargestellt. Der Einflussbereich der Störstelle, sofern es ein Einzelfehler ist und nur einen Querschnitt betrifft, ist dann 100m und betrifft somit den Bereich davor und danach, jeweils mit 50m Länge.

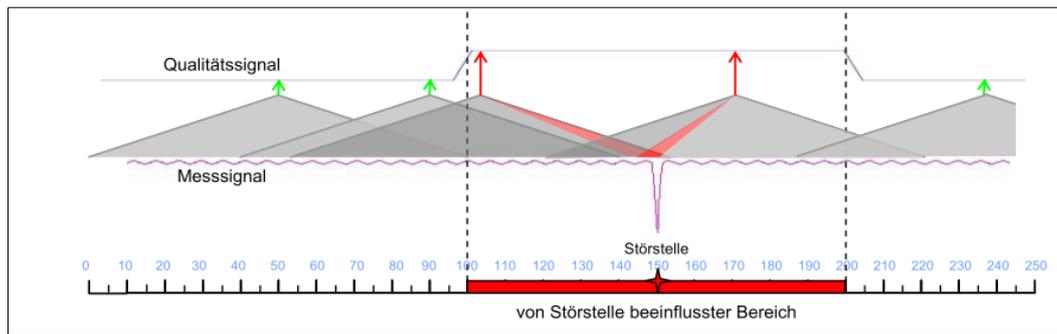


Abbildung 1.10: Einflussbereich einer Störstelle auf die Qualitätswerte [Hummitzsch 2009]

### 1.2.2 LCC Tool Datenbank

Für bestimmte Auswertungen und Berechnungen musste eine neue bzw. abgeänderte Datenbank erstellt werden, da die TUG Datenbank zwar eine sehr gute Struktur für das Speichern von Streckendaten und die Möglichkeit der Berechnung von Verschlechterungsästen bietet, allerdings nicht für weiterführende netzweite wirtschaftliche Berechnungen und statistische Auswertungen konzipiert war.

Die LCC Tool Datenbank ist eine auf MS-Access basierende Datenbank, die bereits so konzipiert ist, dass sie in einer weiteren Ausbaustufe bei Bedarf auch auf einem SQL-Server verwendet werden kann. Sämtliche Eingangsdaten für die LCC Tool Datenbank liefert die TUG Datenbank. Sie wird jedoch mit zusätzlichen Bewertungen beim Import erweitert und ist darauf vorbereitet, weitere Daten wie Zugzahlen, Dauerlangsamfahrstellen usw. für die einzelnen Strecken einzubinden.

#### 1.2.2.1 Struktur LCC Tool Datenbank

Wie schon in der TUG Datenbank sind Strecken in Querschnitte unterteilt, wobei diese Querschnitte eindeutig einer einzigen Streckennummer zugeordnet sind. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, einem Gleis auf einer Strecke eine eigene Streckennummer zu geben. Das heißt wiederum, dass eine zweigleisige TUG-Strecke (Strecke aus der TUG Datenbank) für jedes Gleis eine Streckennummer in der LCC Tool Datenbank erhält.

Die Hauptstruktur der LCC Tool Datenbank ist in nachfolgender Abbildung [Abbildung 1.11] dargestellt. Die Tabelle „tblStreckenQS“, mit den Daten zum Einzelquerschnitt bildet hierbei die Haupttabelle.

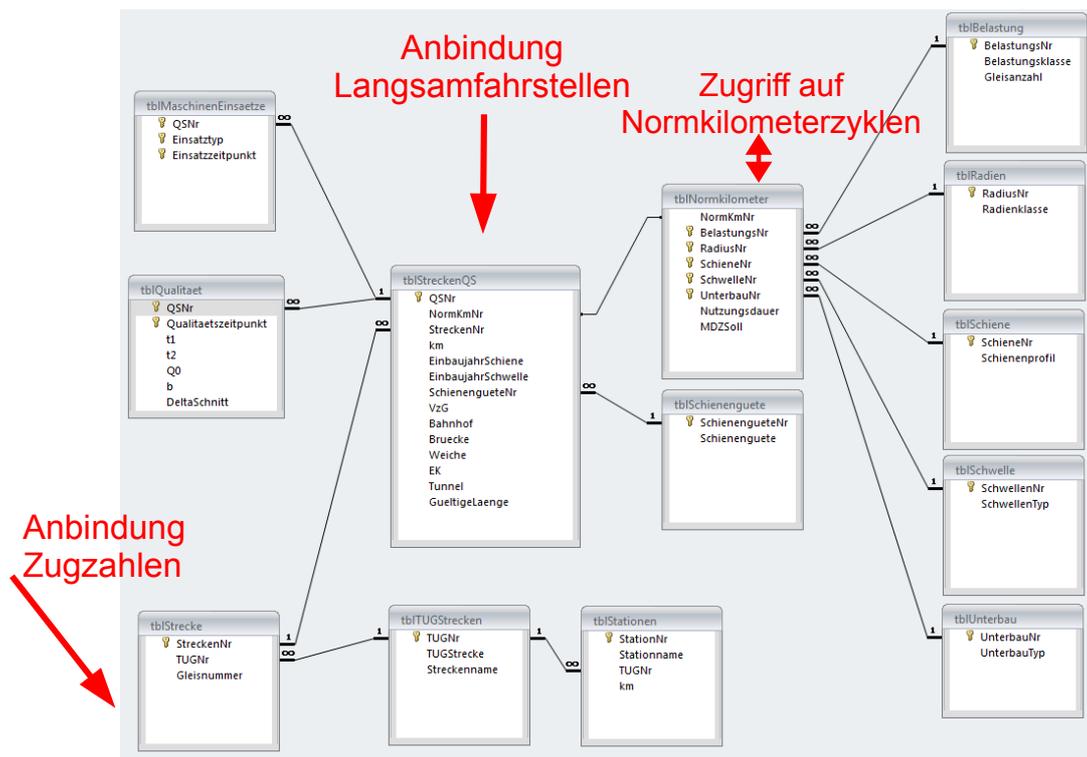


Abbildung 1.11: Struktur des LCC Tool Datenbank

In dieser Struktur ist es möglich, Informationen über die zuvor eingebauten Oberbau-komponenten bzw. deren Qualitätsverhalten zu erhalten. Somit ist eines der größten Mankos der TUG Datenbank beseitigt, da dort bei einem Wechsel von Oberbaukomponenten die Information über zuvor eingebaute Komponenten verloren ging.

In der Datenbank sind des Weiteren bereits Anbindungen für weitere Tabellen geschaffen worden, insbesondere die Daten der tatsächlichen Zugzahlen auf den jeweiligen Streckenabschnitten. Mit diesen Daten werden die einzelnen Züge automatisiert zu den entsprechenden Zugklassen zugeordnet. Durch die ebenfalls vorhandene Anbindung des Kalkulationsschemas [Veit, Marschnig 2006] zur Bestimmung der Kosten von Dauerlangsamfahrstellen können bei der wirtschaftlichen Bewertung auch die Betriebserschwerungskosten (BEK) automatisiert bestimmt und einbezogen werden. Durch die Erfassung dieser Kosten wird in der Datenbank auch eine Historie auftretender und vor allem wiederkehrender Dauerlangsamfahrstellen, in Verbindung mit der Qualitätsentwicklung des Gleises, möglich. Betriebserschwerungskosten zufolge Gleisarbeiten erfordern hingegen Betriebssimulationen, in deren Rahmen die betrieblichen Auswirkungen temporärer Kapazitätsengpässe bestimmt werden. Dies sind wiederum Eingangsdaten für die Bestimmung der BEK. Mit dem BEK-Katalog [Veit, Marschnig 2008a] liegt eine diesbezügliche Auswertung vor, auf die für alle Arbeiten, Strecken und Behinderungsauern zurückgegriffen wird.

### ***1.2.2.2 Inhalt der LCC Tool Datenbank***

Es werden folgende Daten aus der TUG Datenbank importiert:

- Schienentalter
- Schienenprofil
- Schienengüte
- Schwellentalter
- Schwellentyp
- Radienklasse
- Belastungsklasse
- VzG
- Maschineneinsätze (AHM, SUZ, MDZ, PLM, Schleifzug)
- Bahnhofsbereich
- Tunnelbereich
- Brückenbereich
- Eisenbahnkreuzungsbereich

### ***1.2.2.3 Erweiterung der LCC Tool Datenbank***

Zu den aus der TUG Datenbank importierten Daten wird zusätzlich eine Unterbauklasse ermittelt [Kapitel 2 Bewertungsmodell für den Unterbau]. Mit diesen zusätzlichen Daten kann eine eindeutige Zuordnung zu einem Normkilometer durchgeführt und somit auf bereits bestehende Zyklen [Veit, Marschnig 2005a] zurückgegriffen werden. Dies geschieht automatisiert, sodass die Datenbank nach Normkilometerzuordnung die Kosten für jeden Querschnitt automatisiert ermittelt.

## 2 Bewertungsmodell für den Unterbau

Zum Verhalten der Gleislage trägt neben dem Oberbau auch der Unterbau in großem Maße bei. Allerdings ist über diese Komponente, neben dem Untergrund, in den Datenbanken bei den meisten Bahnen nur wenig Konkretes zu finden und muss daher größtenteils indirekt aus dem Verhalten des Gleises abgeleitet werden.

### 2.1 Definition Unterbau

Als Unterbau wird der Bereich zwischen Unterkante Schotter (Planum) und Oberkante Untergrund (Untergrundplanum) verstanden, welcher die Kräfte aus dem Oberbau aufnimmt und sie in den Untergrund ableitet. Bei einem Schottergleis bzw. bei einer gleisgebundenen Neulage, bei der häufig auch eine Untergrundsanierung durchgeführt wird, übernimmt diese Aufgabe die Planumsschutzschicht (PSS). Zum Unterbau zählt auch noch eine eventuell vorhandene Frostschutzschicht oder Dammschüttung bzw. ein verbesserter Untergrund.

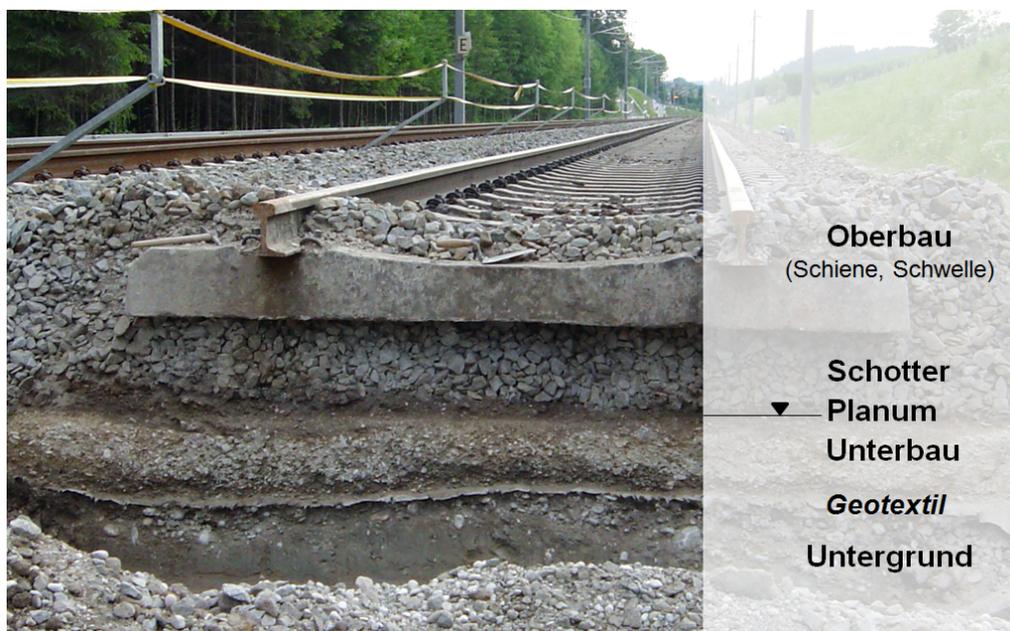


Abbildung 2.1: Übersicht eines Gleisaufbaus [vgl. Holzfeind 2009]

Da der Oberbau wasserdurchlässig ist, hat die PSS die Aufgabe, das Niederschlagswasser in Bahngräben, Drainagen oder ähnliches durch eine Querneigung von in der Regel 1:20 (pult- oder dachförmig), abzuleiten. Die PSS hat eine Minstdicke von 20cm aufzuweisen und sollte weitgehend wasserundurchlässig und filterstabil gegenüber dem Untergrund sein [Lichtberger 2003].

Als Material wird ein korngestuftes Gemisch 0/32 [Schilder, Piereder 2000] verwendet, bei dem durch die Zugabe von Wasser eine bessere Verdichtung beim Einbau erreicht wird. Der Einbau von Geokunststoffen im Bereich zwischen Planum und PSS [Lichtberger 2003] bzw. PSS und Untergrund [Auer et al. 2007] bewirkt eine Stabilisierung der PSS beim Verdichten, eine dauerhafte Trennung der Schichten und eine Ableitung des Wassers.

## 2.2 Definition der Unterbauklassen nach [Veit 1999]

### 2.2.1 Unterbauklasse „Gut“ [Veit 1999]

Bei gutem Unterbau wird von keinen Problemen im Unterbau ausgegangen, d.h. es sind keine Auswirkungen auf die Gleislage anzunehmen, die vom Unterbau ausgehen könnten.

### 2.2.2 Unterbauklasse „U3“ [Veit 1999]

Bei dieser Unterbauklasse wird von einem erhöhten Instandhaltungsbedarf (ca. 50%) ausgegangen, die Nutzungsdauer verkürzt sich jedoch im Vergleich zum guten Unterbau nicht wesentlich.

### 2.2.3 Unterbauklasse „U4“ [Veit 1999]

Der Unterbau „4“ erfordert eine ähnlich intensive Instandhaltung wie der Unterbau „5“, die Nutzungsdauer verkürzt sich allerdings auch hier im Vergleich zum guten Unterbau nicht bzw. kaum und es treten keine Langsamfahrstellen auf.

### 2.2.4 Unterbauklasse „U5“ [Veit 1999]

Der sehr schlechte Unterbau „5“ führt zu Frostaufzügen, die 2 Monate Langsamfahren pro Jahr und eine intensive Instandhaltungstätigkeit erzwingen, wobei sich trotzdem eine deutliche Reduktion der Nutzungsdauer des Oberbaus ergibt.

### 2.2.5 Unterbauklasse „U9“

In manchen Fällen ist aufgrund fehlender Daten keine Zuordnung zu einer der vorher angeführten Unterbauklassen möglich. Da allerdings für die weiteren Berechnungen eine Zuteilung zu einem Normkilometer zwingend ist, und dieser wiederum auch durch eine Unterbauklasse definiert ist, werden solche Querschnitte der Unterbauklasse „U9“ zugeordnet. Da Dauerlangsamfahrstellen nur nach der Nutzungsdauer auftreten und keine Instandhaltungsmaßnahmen vorliegen, wird die Unterbauklasse „U9“ als guter Unterbau behandelt. Die Unterbauklasse „U9“ umfasst nur ca. 9% der Netzlänge.

### 2.2.6 Fazit Unterbauklassen

Wenn ein Unterbau eine durchschnittliche Verschlechterung entsprechend der Belastung aufweist, ist er als „Gut“ anzusehen.

Bei den Unterbauklassen „U3“ und „U4“ ist zwar dieselbe Nutzungsdauer wie bei gutem Unterbau zu erreichen, allerdings mit entsprechend erhöhtem Instandhaltungsaufwand.

Selbst bei sehr hoher Instandhaltungstätigkeit ist bei der Unterbauklasse „U5“ die Nutzungsdauer der Klassen „Gut“ bis „U4“ nicht zu erreichen und liegt wesentlich unter der Nutzungsdauer der Klassen „Gut“ bis „U4“ (im Bereich von 50%). Zusätzlich treten Langsamfahrstellen auf.

## 2.3 Relation Verschlechterungsrate – Unterbauklassen

Um eine Klassifizierung der Unterbaus anhand des Verschlechterungsverhaltens durchzuführen, muss zuerst ein Konnex zwischen der Verschlechterungsrate und dem Unterbau hergestellt werden. Die dazu erforderlichen Daten, die auch in ausreichender Menge vorhanden sind, bietet das Geotechnische Streckenband.

### 2.3.1 Exkurs Geotechnisches Streckenband (GSB)

*Zur Grobdiagnose des „erweiterten Fahrweges“ (Überbegriff für die Summe der Oberbau- und Unterbauanlagen mit Einfluss auf die Gleislage) wird bei den ÖBB das so genannte Geotechnische Streckenband eingesetzt. [Auer et al. 2007]*

*Die österreichischen Bundesbahnen gründeten im Jahr 2000 die Projektgruppe Unterbaudiagnose, die ein Verfahren entwickeln sollte, welches eine Ist-Zustand-Erhebung des Bahnkörpers ermöglicht. In diesem Sinne wurde die Grobdiagnose des erweiterten Fahrweges, d.h. des unmittelbaren Fahrweges inklusive all seiner beeinflussenden Faktoren wie Entwässerungsanlagen, Erdbauwerke, vorkommender Wasserarten etc. entwickelt. Mit Hilfe dieses Beurteilungsverfahrens wird der Ist-Zustand dieses erweiterten Fahrweges als sogenanntes geotechnisches Streckenband erfasst (GSB). [Landgraf 2011]*

Hierbei werden verschiedenste Informationen [Abbildung 2.2], die den Oberbau oder Unterbau direkt oder indirekt betreffen, wie Messdaten des Oberbaumesswagens, unterschiedlich gewichtet und kombiniert und daraus die geotechnische Zustandsziffer errechnet. Diese bewegt sich in einer Bandbreite zwischen 0 und 100% und gilt dann jeweils immer für einen 100m Abschnitt je Gleis.

100% beschreibt einen ausreichend tragfähigen Unterbau bei guter Entwässerung und entspricht damit praktisch der Unterbauklasse „Gut“. 0% hingegen beschreibt einen nicht ausreichend tragfähigen Unterbau bei einer unzureichender Entwässerung, und entspricht damit der Unterbauklasse „U5“.

Oberbau	• schlechte Gleislage	örtliche Erfahrung
	• hoher Wartungsaufwand	
	• nasser Gleisschotter	
	• verunreinigter Gleisschotter	
	• schlechte Belüftung	
	• nasser Gleisschotter	Georadar
	• verunreinigter Gleisschotter	
Verschlechterungsrate	• Messdaten	Oberbaumesswagen
Unterbau	• Tragschicht	Datenbank
	• kurzes Stopfintervall	örtliche Erfahrung
	• Sutteln	
	• Spritzstellen	
	• Frostaufzüge	
	• Damm	Geotechnische Begehung
Untergrund	• Dammaufstandsfläche	Geotechnische Begehung
	• geländegleich	
	• Einschnitt	
Wassersituation	• Damm	Geotechnische Begehung
	• geländegleich	
	• Einschnitt	
	• Entwässerungsanlage	
	• Grundwasser	
	• Sickerwasser	
	• Schicht- bzw. Stauwasser	
	• Hangwasser	
• Kapillarwasser		

Abbildung 2.2: Einflussparameter für das Geotechnische Streckenband [Auer et al. 2007]

Anhand dieser geotechnischen Zustandsziffer wird der Abschnitt dann einer der vier möglichen Klassen, wie

- kein Handlungsbedarf,
- langfristiger Handlungsbedarf,
- mittelfristiger Handlungsbedarf,
- bis zu unmittelbarer Handlungsbedarf

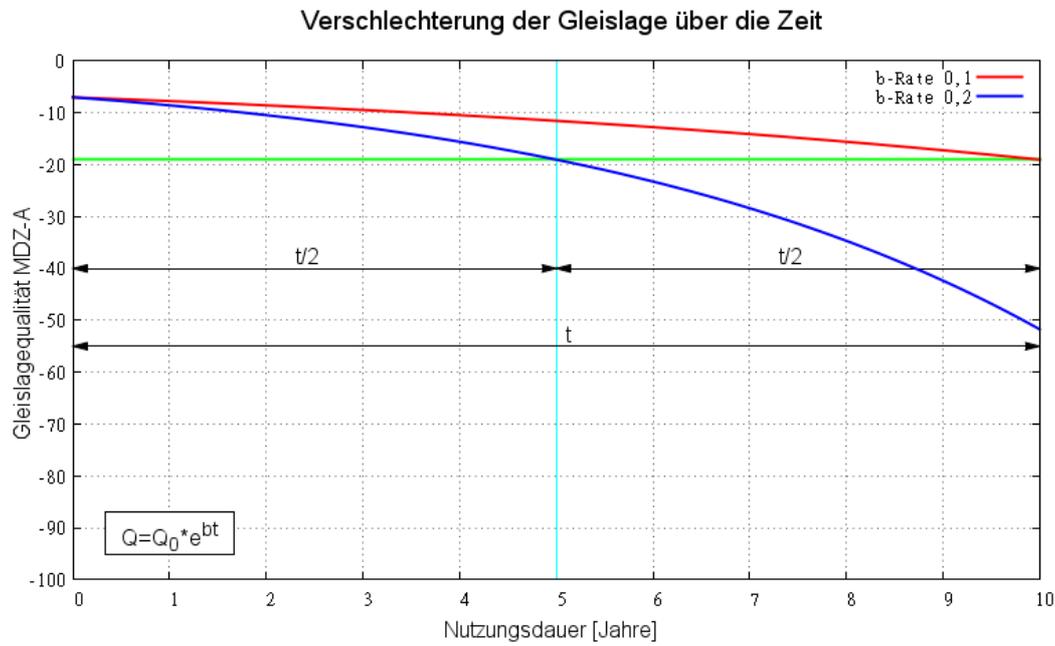
zugeordnet. Diese vier Klassen aus dem GSB können in der weiteren Betrachtung als äquivalent gegenüber den Unterbauklassen nach Kapitel 2.2 angesehen werden.

### 2.3.2 Definition der b-Rate bei Unterbauklasse „Gut“

Anhand des GSB und dessen ebenfalls vierklassigen Gliederung kann eine Strecke somit in die jeweiligen Anteile der vier Klassen zerlegt werden.

Aus der LCC Tool Datenbank kann eine aktuelle durchschnittliche Verschlechterungsrate dieser Strecke ausgegeben werden, welche wiederum aus dem Mix der vier Klassen besteht. Ausgehend von den Definitionen der Unterbauklassen ergibt sich z.B. bei einer hundert-

prozentigen Erhöhung der Instandhaltungsintensität eine Halbierung des Stopfintervalls und somit eine Verdoppelung der Verschlechterungsrate [Abbildung 2.3] für die Unterbauklasse „U4“. Für die Unterbauklasse „U3“ ergibt sich eine fünfzigprozentige Erhöhung der b-Rate und bei der Klasse „U5“ ist die Instandhaltungsintensität auch mit einer zumindest hundertprozentigen Erhöhung definiert.



*Abbildung 2.3: Vergleich von e-Funktionen bei Verdoppelung der Verschlechterungsrate (Unterbauklasse „U4“) [Schimpfhuber, M. 2008]*

Es ergibt sich somit folgende Korrelation zwischen der Verschlechterungsrate der Unterbauklasse „Gut“ und den anderen Unterbauklassen:

Unterbauklasse	Faktor der b-Rate im Verhältnis zur Unterbauklasse „Gut“
Gut	1,0
U3	1,5
U4	2,0
U5	≥ 2,0

*Tabelle 2.1: Verhältnis der Verschlechterungsrate der jeweiligen Unterbauklasse im Vergleich zur Unterbauklasse "Gut" nach Normkilometerdefinition*

Durch diese Korrelation kann aus dem Mix der vier Unterbauklassen, welche die durchschnittliche Verschlechterungsrate für eine Strecke ergeben, die b-Rate für die Unterbauklasse „Gut“ ( $b_{\text{Gut}}$ ) ermittelt werden.

$$\emptyset b_{Strecke} = x_1 \times b_{Gut} + x_2 \times b_{U3} + x_3 \times b_{U4} + x_4 \times b_{U5}$$

$$\rightarrow \emptyset b_{Strecke} = x_1 \times b_{Gut} + x_2 \times 1,5 \times b_{Gut} + x_3 \times 2,0 \times b_{Gut} + x_4 \times 2,5 \times b_{Gut}$$

$$\rightarrow b_{Gut} = \frac{\emptyset b_{Strecke}}{(x_1 + 1,5 x_2 + 2,0 x_3 + 2,5 x_4)} \quad (\text{Formel 3})$$

wobei:

$x_{1-4}$  Prozentuale Längenverteilung der jeweiligen Unterbauklasse nach GSB für eine Strecke

Die ersten Auswertungen nach diesem Schema zeigten große Streuungen bei den einzelnen Strecken. Diese Streuung trat weniger bei der errechneten Verschlechterungsrate für  $b_{Gut}$  auf, als beim Vergleich der Verschlechterungsraten laut Datenbank für die einzelnen Abschnitte in der jeweiligen Unterbauklasse. Das heißt, dass die durchschnittlichen Verschlechterungsraten auf einer Strecke für Abschnitte mit gutem Unterbau, mit Unterbau „U3“, Unterbau „U4“ und Unterbau „U5“, zumindest den Trend zu jeweils höheren Werten haben müssten. Auch war ein Vergleich der durchschnittlichen Werte in der jeweiligen Unterbauklasse unter den Strecken nicht eindeutig gegeben.

Bei der Abfrage der Datenbank nach den Verschlechterungsraten wurde auch auf das Alter bzw. das Erstellungsdatum des geotechnischen Streckenbandes geachtet, da ein wesentlicher Parameter der geotechnischen Zustandsziffer die Daten der Messfahrten sind. Hieraus ergibt sich das Problem, dass auf manchen Strecken das GSB schon relativ früh, in den Jahren 2003-2004, angefertigt wurde und die Datenbank nur auf Messdaten von ca. 10 Jahren für die Berechnung der Verschlechterungsrate zurückgreifen kann. Da zu dieser Zeit die Messfahrten noch nicht so häufig durchgeführt wurden und für die Berechnung eines Verschlechterungsastes mind. drei Messpunkte benötigt werden, gibt es häufig für Querschnitte zum Zeitpunkt Ende 2003 noch keine gültige Verschlechterungsfunktion. Dieses Problem tritt bei Strecken, auf denen das GSB später angefertigt wurde, fast nicht mehr auf.

Um dieses Datenproblem zu berücksichtigen, wird bei der Auswertung zusätzlich überprüft, wie viele Verschlechterungsäste auf den Einzelabschnitten nach GSB vorhanden sind. Es werden in weiterer Folge nur mehr Abschnitte berücksichtigt, bei denen mindestens 50% der Querschnitte einen Verschlechterungsast haben. Diese Festlegung reduziert zwar die untersuchten Abschnitte bzw. Längen [Abbildung 2.4], verhindert aber, dass die Verschlechterungsrate eines einzelnen Astes, der eigentlich einen Querschnitt mit fünf Metern repräsentiert, plötzlich den gesamten Abschnitt mit mehreren hundert Metern darstellt.

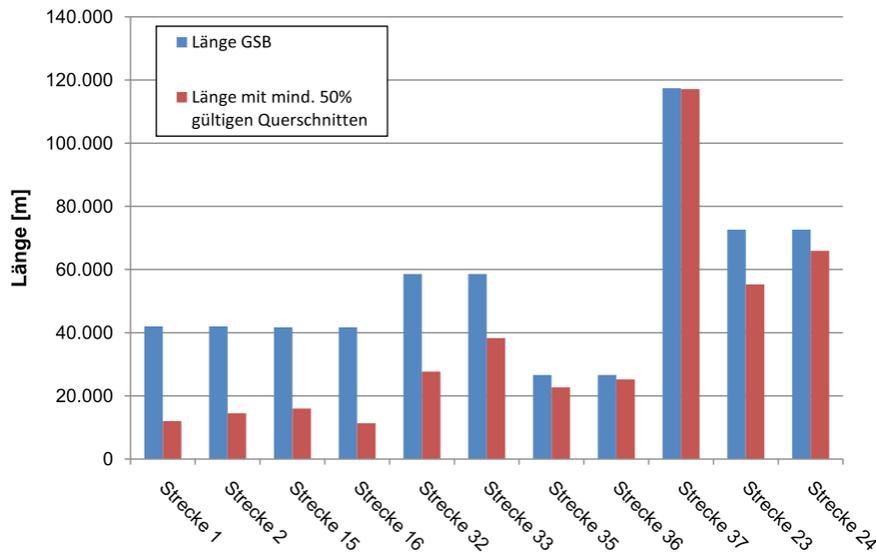


Abbildung 2.4: Reduktion der GSB Längen durch Festsetzung das auf mind. 50% der Querschnitte eine Verschlechterungsfunktion vorhanden sein muss

Die Auswertung, bei der 600,4km Streckennetz untersucht wurden, ergibt einen errechneten Wert von 0,1122 für die Verschlechterungsrate der Unterbauklasse „Gut“ ( $b_{\text{Gut}}$ ). Der hier angenommene Faktor von 2,5 bei der Unterbauklasse „U5“, hat aufgrund des geringen Vorkommen von 1,72% auf der untersuchten Länge [Abbildung 2.5] nur einen sehr geringen Einfluss. Ein Vergleich der möglichen Faktoren für die Unterbauklasse „U5“ ist nachfolgend dargestellt [Tabelle 2.2].

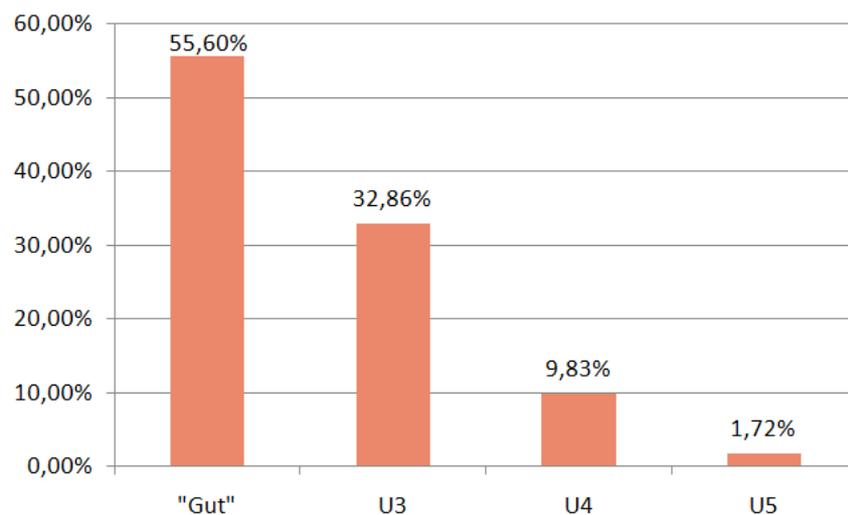


Abbildung 2.5: Verteilung der Unterbauklassen für die ausgewerteten Streckenabschnitte nach GSB

Faktor für „U5“	b-Rate für Unterbauklasse „Gut“
2,0	0,1124
2,5	0,1122
3,0	0,1120

Tabelle 2.2: Sensitivität von  $b_{Gut}$  bei unterschiedlichen Faktoren für die Unterbauklasse "U5"

Für jede der untersuchten Strecken ergibt sich jeweils ein errechneter Mittelwert für die Verschlechterungsrate  $b_{Gut}$ , der auch in Tabelle 2.3 dargestellt ist.

Strecken Nr.	$b_{Gut}$ -Rate
Strecke 1	0,1475
Strecke 2	0,1622
Strecke 15	0,1008
Strecke 16	0,1073
Strecke 23	0,0885
Strecke 24	0,1053
Strecke 32	0,0837
Strecke 33	0,0886
Strecke 35	0,1671
Strecke 36	0,1644
Strecke 37	0,1122
<b>Gew. Mittelwert</b>	<b>0,1122</b>

Tabelle 2.3: Verschlechterungsrate für  $b_{Gut}$  auf den untersuchten Strecken

Durch die Abfrage der Verschlechterungsraten einzelner Abschnitte nach dem GSB, kann auch ein spezifischer Wert jeder Unterbauklasse für jede der untersuchten Strecken angegeben werden. Diese zeigen wie erwartet Streuungen über die einzelnen Strecken. Vor allem die Strecken 1 und 2 fallen im Vergleich zu den anderen Strecken mit einem sehr schlechten Wert bei der Verschlechterungsrate  $b_{Gut}$  auf. Dies dürfte daran liegen, dass es sich hierbei um die Gleise 1 und 2 der Westbahn handelt und diese im Vergleich zu den anderen Strecken offensichtlich „strenger“ bewertet wurden.

Diese auf Basis der Formel 3 bestimmten b-Raten werden in Folgendem den b-Raten der GSB-Abschnitte gegenübergestellt.

Unterbauklasse	Gut	U3	U4	U5
Strecke 1	0,2302	0,2180	0,2725	-
Strecke 2	0,2953	0,2594	0,2841	0,3562
Strecke 15	0,1100	0,1502	0,1601	0,1639
Strecke 16	0,1304	0,1230	0,2083	0,3026
Strecke 23	0,0937	0,1254	0,1586	0,2886
Strecke 24	0,1168	0,1221	0,2595	0,1990
Strecke 32	0,1103	0,1342	0,1196	0,1320
Strecke 33	0,1152	0,1149	0,1422	0,1728
Strecke 35	0,1831	0,2316	0,2862	0,2478
Strecke 36	0,1676	0,2697	0,2673	0,2375
Strecke 37	0,1165	0,1632	0,1553	0,2196

Tabelle 2.4: Streckenspezifische Verschlechterungsrate  $b$  in der jeweiligen Unterbauklasse nach GSB Auswertung

Der sich aus den Werten der Tabelle 2.4 ergebende gewichtete Mittelwert für die einzelnen Unterbauklassen ist in Tabelle 2.5 dargestellt. Die Verschlechterungsrate  $b$  für einen guten Unterbau beträgt 0,1234. Die Steigerung bei den weiteren Unterbauklassen fällt etwas geringer aus als bei der Definition der Normkilometer. Die Spreizung zwischen der Unterbauklasse „Gut“ und „U5“ liegt mit 84% niedriger als laut Normkilometer, wonach sie dort 100% und mehr betragen sollte, bzw. mit 150% angenommen wurde. Dieses Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass bei der Bewertung durch das geotechnische Streckenband die Mindestabschnittslänge 100m beträgt, ein tatsächlicher schlechter Unterbau jedoch zumeist nur auf kürzeren Einzelabschnitten vorkommt und somit die durchschnittliche Verschlechterungsrate auf diesem Abschnitt kleiner ausfällt. Damit muss die Spreizung nach Tabelle 2.5 geringer sein als die tatsächliche. Dies bestätigt indirekt die Größenordnung der laut Normkilometer definierten Spreizung [Tabelle 2.1] mit den dazugehörigen  $b$ -Werten [Tabelle 2.6].

MITTELWERT gewichtet			
Gut	U3	U4	U5
0,1234	0,1538	0,2004	0,2269
100 %	125 %	162 %	184 %

Tabelle 2.5: Durchschnittliche Verschlechterungsrate  $b$  in der jeweiligen Unterbauklasse nach GSB Auswertung

errechneter MITTELWERT gewichtet			
Gut	U3	U4	U5
0,1122	0,1684	0,2245	0,2806
100 %	150 %	200 %	250 %

*Tabelle 2.6: Errechnete Verschlechterungsrate  $b$  für die Unterbauklasse "Gut" und die sich daraus ergebenden Werte nach Normkilometerdefinition für die Unterbauklassen U3, U4 und U5*

Da „U5“ nur in Kombination mit Dauerlangsamfahrstellen auftritt, werden alle Abschnitte mit  $b$ -Raten  $> 0,25$  ohne Dauerlangsamfahrstelle als „U4“ klassifiziert. Alle Abschnitte mit Dauerlangsamfahrstelle und einer  $b$ -Rate  $> 0,25$  als „U5“.

## 2.4 Klassifizierung des Unterbaus

Für die Klassifizierung wird jeder Querschnitt gesondert betrachtet, es werden die Normkilometerdaten für diesen Querschnitt wie Schienenprofil, Schwellentyp, Schienenalter, Schwellenalter, Belastungsklasse, Radienklasse, und die bisherigen Verschlechterungsraten und Stopfintervalle dieses Querschnittes ermittelt.

Für die Klassifizierung des Unterbaus wird auf die bereits vorher beschriebenen Kategorien zurückgegriffen, die eine Unterteilung des Unterbaus in vier Klassen vornimmt. Diese vier Unterbauklassen gehen von einem guten Unterbau (Unterbauklasse „Gut“) bis zu einem schlechten Unterbau (Unterbau „5“).

### 2.4.1 Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens

Sind für einen Querschnitt keine Daten über die bisherigen Maschineneinsätze vorhanden, wird auf das bisherige Verschlechterungsverhalten aus den Messdaten zurückgegriffen.

Die Verschlechterungsrate wird dabei mit einer Schrittweite von ca. 0,055 in sieben Klassen unterteilt [Tabelle 2.7]. Die Grenzen der Klassen untereinander werden durch die in Tabelle 2.6 ermittelten Werte definiert.

b-Rate	Klasse	Unterbauklasse
0,001 – 0,070	1	Gut
0,071 – 0,140	2	Gut
0,141 – 0,195	3	U3
0,196 – 0,250	4	U4
0,251 – 0,305	5	U4 / U5
0,306 – 0,360	6	U4 / U5
> 0,360	7	U4 / U5

*Tabelle 2.7: Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten (Basiszuteilung)*

Die Zuteilung der Unterbauklasse anhand der Verschlechterungsrate ist bei vereinzelt Querschnitten bestimmt nicht immer korrekt und wahrscheinlich auf andere noch nicht erfasste Parameter zurückzuführen. Der Parameter Unterbau steht somit in einigen Fällen für mehr als nur den Unterbau selbst und ist in diesen Fällen dann als Synonym für den Unterbau und all jene unbekannt Parameter zu verstehen, die jetzt noch nicht durch das Parameterset des Normkilometers abgedeckt sind.

Einer der großen Parameter, der zwar bekannt, allerdings nirgends in einer Datenbank erfasst ist und somit auch nicht bewertet bzw. klassifiziert werden kann, ist die Wasserableitung bzw. Drainagierung. Eine schlechte Wasserableitung über einen längeren Zeitraum macht aus einem guten Unterbau einen schlechten Unterbau und fließt somit über das Bewertungsmodell des Unterbaus, wie schon zuvor erwähnt, in die Normkilometerzuteilung ein.

Ein weiterer großer Einflussfaktor können Lärmschutzwände sein. Wenn diese z.B. auf der Außenseite mit bindigem Material oder zumindest mit Material, das einen hohen Feinkornanteil aufweist, hinterfüllt werden, funktioniert der freie Abfluss des Wassers aus dem Gleiskörper nicht bzw. nicht lange und wirkt sich nach einiger Zeit wieder negativ auf den Unterbau und damit auf die Verschlechterungsrate aus [Holzfeind 2009].



Abbildung 2.6: Unterschiedliche Hinterfüllung der Lärmschutzwand im Außenbereich [Holzfeind 2009]

Ebenfalls als Einflussfaktor gilt der Untergrund, der als Faktor gerne zusammen mit dem Unterbau gesehen wird, was jedoch nicht zulässig ist, da sich bei Neulagen mit Unterbausanierung deutliche Unterschiede im Verhalten gezeigt haben, welche auf den Untergrund zurückzuführen sind.

*Im Zuge der Gleisgebundenen Neulage mit Untergrundsanierung wird in bestimmten Abständen (ca. 200-300m) der dynamische Verformungsmodul  $E_{vd}$  gemessen [Holzfeind 2009].*

Mit diesen Daten wurde von Holzfeind [Holzfeind 2009] nachgewiesen, dass ein niedriger dynamischer Verformungsmodul  $E_{vderd}$  eines weichen Bodens zu einem schlechteren Verhalten und somit einer höheren b-Rate, führt.

Bei der Kraftabtragung über die Schiene auf die Schwelle, die beide als Faktoren in der Datenbank vorhanden sind, wäre es eigentlich logisch, dass mit dem Schotter auch die nächste Komponente bei der Kraftableitung als Faktor erfasst werden sollte. Leider gibt es über den Schotter nur die Angaben, dass er einer geforderten Sieblinie und Schotterqualität entspricht.

Die Aufgaben des Schotterbettes liegen nach [Lichtberger 2003]

- in einer möglichst gleichmäßigen Übertragung des Schwellendruckes auf den Untergrund,
- im großen Widerstand gegen Längs- und Querverschiebungen der Schwellen,
- in der leichten Wiederherstellung der Gleislage nach deren Veränderung,
- in der guten Luft- und Wasserdurchlässigkeit zwecks Erhaltung der Tragfähigkeit des Untergrundes,

- in der Gewährleistung der Gleiselastizität zur Minimierung der dynamischen Kräfte und
- in der Gewährleistung von Korrekturmaßnahmen am Gleis durch Stopf- und Richtarbeiten.

#### 2.4.2 Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei Überalterung des Gleises ohne Dauerlangsamfahrstelle

Im Falle der Überalterung eines Gleises kann eigentlich davon ausgegangen werden, dass kein Unterbauproblem vorliegt. Wenn die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Gleises aufgrund der Normkilometerdaten bereits überschritten ist, kann bei der Klassifizierung des Unterbaus um eine Stufe je 10% Nutzungsdauerüberschreitung milder bewertet werden. Das heißt im Detail, dass die Verschlechterungsrate bei einer Nutzungsdauerüberschreitung um 10% bzw. um 0,05 schlechter sein darf, um gleich bewertet zu werden wie ohne Nutzungsdauerüberschreitung. Hieraus ergibt sich für die Klassifizierung des Unterbaus anhand des Verschlechterungsverhaltens bei Überalterung des Gleises die folgende Tabelle [Tabelle 2.8].

b-Rate	Klasse	Nutzungsdauerüberschreitung				
		10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
0,001 – 0,070	1	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut
0,071 – 0,140	2	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut
0,141 – 0,195	3	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut
0,196 – 0,250	4	U3	Gut	Gut	Gut	Gut
0,251 – 0,305	5	U4	U3	Gut	Gut	Gut
0,306 – 0,360	6	U4	U4	U3	Gut	Gut
> 0,360	7	U4	U4	U4	U3	Gut

Tabelle 2.8: Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei Überalterung des Gleises

#### 2.4.3 Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei vorhandenen Dauerlangsamfahrstellen

Bei Vorhandensein einer Dauerlangsamfahrstelle innerhalb der Nutzungsdauer des Gleises muss von einem schlechten Unterbau ausgegangen werden. Je schlechter der Unterbau, desto größer wird die Geschwindigkeitsreduktion der Dauerlangsamfahrstelle ausfallen. Mit diesem Zusammenhang kommt man zu folgender Tabelle [Tabelle 2.9]. Es wird hierbei eine etwas strengere Bewertung durchgeführt, da es innerhalb der Nutzungsdauer nicht zu einer Dauerlangsamfahrstelle kommen sollte.

b-Rate	Klasse	Geschwindigkeitsreduktion		
		$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h	$\Delta V$ 60 km/h
0,001 – 0,070	1	Gut	U3	U4
0,071 – 0,140	2	U3	U4	U5
0,141 – 0,195	3	U4	U5	U5
0,196 – 0,250	4	U5	U5	U5
0,251 – 0,305	5	U5	U5	U5
0,306 – 0,360	6	U5	U5	U5
> 0,360	7	U5	U5	U5

*Tabelle 2.9: Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei vorhandener Dauerlangsamfahrstelle*

#### **2.4.4 Zuteilung der Unterbauklasse anhand des bisherigen Verschlechterungsverhaltens bei Überalterung und vorhandener Dauerlangsamfahrstelle**

Tritt bei einem Gleis, dessen Nutzungsdauer bereits überschritten ist, eine Dauerlangsamfahrstelle auf, so ergibt sich nachfolgende Tabelle [Tabelle 2.10], welche sich aus der Kombination von [Tabelle 2.8] und [Tabelle 2.9] zusammensetzt. Es wird hier die strengere Bewertung durch das Vorhandensein der Dauerlangsamfahrstelle mit der milderen Bewertung durch die Nutzungsdauerüberschreitung überlagert. Dadurch ergibt sich z.B. bei einer Dauerlangsamfahrstelle mit einer Geschwindigkeitsreduktion von 20 km/h und einer Nutzungsdauerüberschreitung um 10% einmal eine um eine Stufe strengere Bewertung und einmal eine um eine Stufe mildere Bewertung, was im Endeffekt bei dieser Kombination wieder die Ausgangstabelle [Tabelle 2.7] ergibt.

b-Rate Klasse		Dauerlangsamfahrstelle mit Geschwindigkeitsreduktion $\Delta V$														
		$\Delta V$ 20 km/h					$\Delta V$ 40 km/h					$\Delta V$ 60 km/h				
		Nutzungsdauerüberschreitung					Nutzungsdauerüberschreitung					Nutzungsdauerüberschreitung				
		10%	20%	30%	40%	50%	10%	20%	30%	40%	50%	10%	20%	30%	40%	50%
0,001 – 0,070	1	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut
0,071 – 0,140	2	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	U3	Gut	Gut	Gut	Gut	U4	U3	Gut	Gut	Gut
0,141 – 0,195	3	U3	Gut	Gut	Gut	Gut	U4	U3	Gut	Gut	Gut	U5	U4	U3	Gut	Gut
0,196 – 0,250	4	U4	U3	Gut	Gut	Gut	U5	U4	U3	Gut	Gut	U5	U5	U4	U3	Gut
0,251 – 0,305	5	U5	U4	U3	Gut	Gut	U5	U5	U4	U3	Gut	U5	U5	U5	U4	U3
0,306 – 0,360	6	U5	U5	U4	U3	Gut	U5	U5	U5	U4	U3	U5	U5	U5	U5	U4
> 0,360	7	U5	U5	U5	U4	U3	U5	U5	U5	U5	U4	U5	U5	U5	U5	U5

Tabelle 2.10: Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei vorhandener Dauerlangsamfahrstelle und Nutzungsdauerüberschreitung

### 2.4.5 Zuteilung der Unterbauklasse anhand bisheriger Maschineneinsätze

Es gibt natürlich auch Querschnitte, auf denen keine Verschlechterungsäste vorhanden sind. Dies kann einerseits durch ein sehr dichtes Stopfintervall der Fall sein, oder es sind nicht mindestens drei gültige Messfahrten, die für eine Berechnung der Verschlechterungsrate nach [Hummitzsch 2009] Voraussetzung sind, zwischen zwei Maschineneinsätzen zu Stande gekommen. Eine Klassifizierung aufgrund des Verschlechterungsverhaltens ist somit nicht möglich.

Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, über Zeitpunkte von Maschineneinsätzen eine Zuordnung zu einer Unterbauklasse zu bestimmen. Diese ist zwar nicht so „genau“ wie die Zuordnung über das bestehende Verschlechterungsverhalten, jedoch ist eine Zuordnung anhand von Maschineneinsätzen durchaus möglich, sodass damit Aussagen und Bewertungen indirekt anhand des Gleisverhaltens getroffen werden.

Derzeit ist bei etwa 9% der Querschnitte keine Zuordnung der Unterbauklasse anhand des Verschlechterungsverhalten möglich. Durch die jährliche Einspielung der Messdaten können oft neue Verschlechterungsäste errechnet werden, sodass diese Zahl weiter sinkt. Des Weiteren sind diese Querschnitte häufig Eisenbahnkreuzungen, Weichen-, Brücken- oder Bahnhofsbereiche, bei denen sich zumeist keine gültigen Verschlechterungsfunktionen errechnen lassen.

#### 2.4.5.1 Zuteilung der Unterbauklasse anhand MDZ-Einsätze

Etwaige Stopfeinsätze im ersten Jahr der Nutzungsdauer werden nicht berücksichtigt, da es sich dabei um den „4. Stopfgang“ handelt. Der 4. Stopfgang, auch als Stabilisierungsstopfen

bezeichnet, ist ein Teil der Investition. Das Gleislageverhalten nach diesem Stopfgang verhält sich anders als nach Instandhaltungsstopfungen.

### **Gleis bereits über der Nutzungsdauer**

Wenn ein Gleis bereits überaltert ist, ist eine Zuordnung sehr schwierig. Zuerst wird überprüft, ob eine Dauerlangsamfahrstelle vorhanden ist. Ist dies nicht der Fall, kann die Unterbauklasse als „Gut“ angenommen werden. Ist allerdings eine Dauerlangsamfahrstelle vorhanden, dann kann auch aufgrund vorhandener MDZ-Einsatzdaten keine Zuordnung gemacht werden, da der Unterbau eine Nutzungsdauer hinter sich hat und somit von der Unterbauklasse „Gut“ bis „U4“ alles sein kann. In diesem Fall muss die Unterbauklasse „U9“ festgesetzt werden.

### **Gleis innerhalb der Nutzungsdauer**

Eine der effektivsten Zuordnungen zu einer Unterbauklasse ohne vorhandenem Verschlechterungsverhalten ist die Zuteilung anhand der bisherigen MDZ-Einsätze. Es werden in diesem Fall die Komponenten, die Belastung, die Radienklasse sowie das tatsächliche Durcharbeitungsintervall zur Identifizierung des dazu passenden Normkilometer herangezogen. Dabei definiert die Oberbauzuteilung das tatsächliche Durcharbeitungsintervall.

#### ***2.4.5.2 Zuteilung der Unterbauklasse anhand AHM-Einsätze***

### **Gleis bereits über der Nutzungsdauer**

Auch hier wird zuerst überprüft ob das Gleis bereits überaltert ist. Ist dies der Fall, wird überprüft, ob eine Dauerlangsamfahrstelle vorhanden ist. Bei einem Nichtvorhandensein einer solchen wird die Unterbauklasse als „Gut“ angenommen. Ist allerdings eine Dauerlangsamfahrstelle vorhanden, dann kann auch hier keine Zuordnung getroffen werden, und es muss die Unterbauklasse „U9“ festgesetzt werden.

### **Gleis innerhalb der Nutzungsdauer**

Befindet sich das Gleis innerhalb seiner Nutzungsdauer, wird zuerst überprüft, ob eine Dauerlangsamfahrstelle existiert. Ist diese bereits innerhalb der Nutzungsdauer des Gleises vorhanden, wird die Unterbauklasse „U5“ festgelegt.

Erst wenn sichergestellt ist, dass das Gleis nicht überaltert und keine Langsamfahrstelle vorhanden ist, wird untersucht ob auf diesem Querschnitt ein AHM-Einsatz stattgefunden hat. Ist dies der Fall, kann davon ausgegangen werden, dass der Unterbau noch immer der Unterbauklasse „Gut“ entspricht, da nach dem Einsatz einer AHM-Maschine der Unterbau in einem gleichmäßigen guten Zustand ist und nur durch grobe Mängel, wie extrem schlechter Wasserableitung, der Unterbau in so kurzer Zeit wieder eine schlechte Beschaffenheit aufweisen kann (wovon hier aber nicht ausgegangen wird).

Bei einem AHM-Einsatz, der schon länger als eine Nutzungsdauer des Oberbaus zurückliegt, wird ohne Vorhandensein zusätzlicher Daten von einem Unterbau der Klasse „U9“ ausgegangen.

Die Annahme, dass nach einem AHM-Einsatz bei der Neulage am Ende einer Nutzungsdauerperiode des Oberbaus ein guter Unterbau nicht mehr angenommen werden kann, ist ein pessimistischer Ansatz und wird in der Praxis bei einer gepflegten Wasserableitung nicht auftreten.

#### ***2.4.5.3 Zuteilung der Unterbauklasse anhand SUZ-Einsätze***

Ist für einen Querschnitt kein Verschlechterungsverhalten mittels einer b-Rate, keine MDZ-Einsatzdaten und kein AHM-Einsatz vorhanden, so wird noch überprüft, ob ein SUZ-Einsatz stattgefunden hat. Liegt ein SUZ-Einsatz seit dem Jahr 2000 vor, befindet sich das Gleis innerhalb der Nutzungsdauer.

Ist innerhalb der Nutzungsdauer eine Dauerlangsamfahrstelle vorhanden, so wird die Unterbauklasse "U5" festgelegt.

Sind in den Jahren seit der Neulage keine Instandhaltungsmaßnahmen gesetzt worden und es ist dennoch keine Langsamfahrstelle existent, kann von gutem Unterbau ausgegangen werden. Existiert seit der Neulage ein MDZ-Einsatz, kann durch dieses Intervall zwischen Neulage und MDZ-Einsatz eine Unterbauklasse nach Normkilometer zugeordnet werden.

#### ***2.4.5.4 Zuteilung der Unterbauklasse ohne Daten***

Gibt es für einen Querschnitt weder Verschlechterungsfunktionen noch ein Stopfintervall, AHM- bzw. SUZ-Einsätze, muss von gutem Unterbau ausgegangen werden.

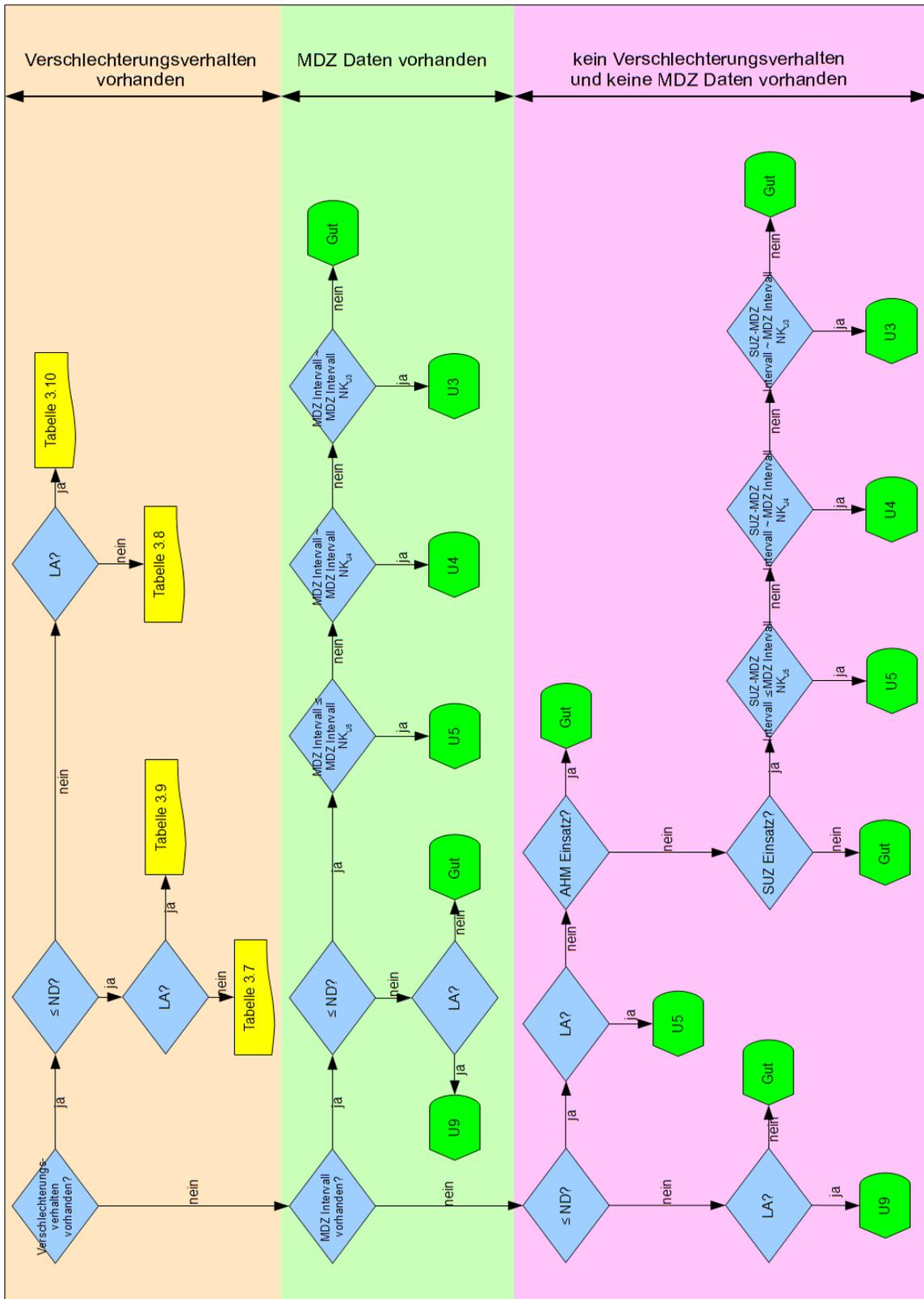


Abbildung 2.7: Flussdiagramm zur Bestimmung der Unterbauklasse

## 3 Methodik der Bewertung des wirtschaftlich optimalen Re-Investitionszeitpunktes von Gleisabschnitten

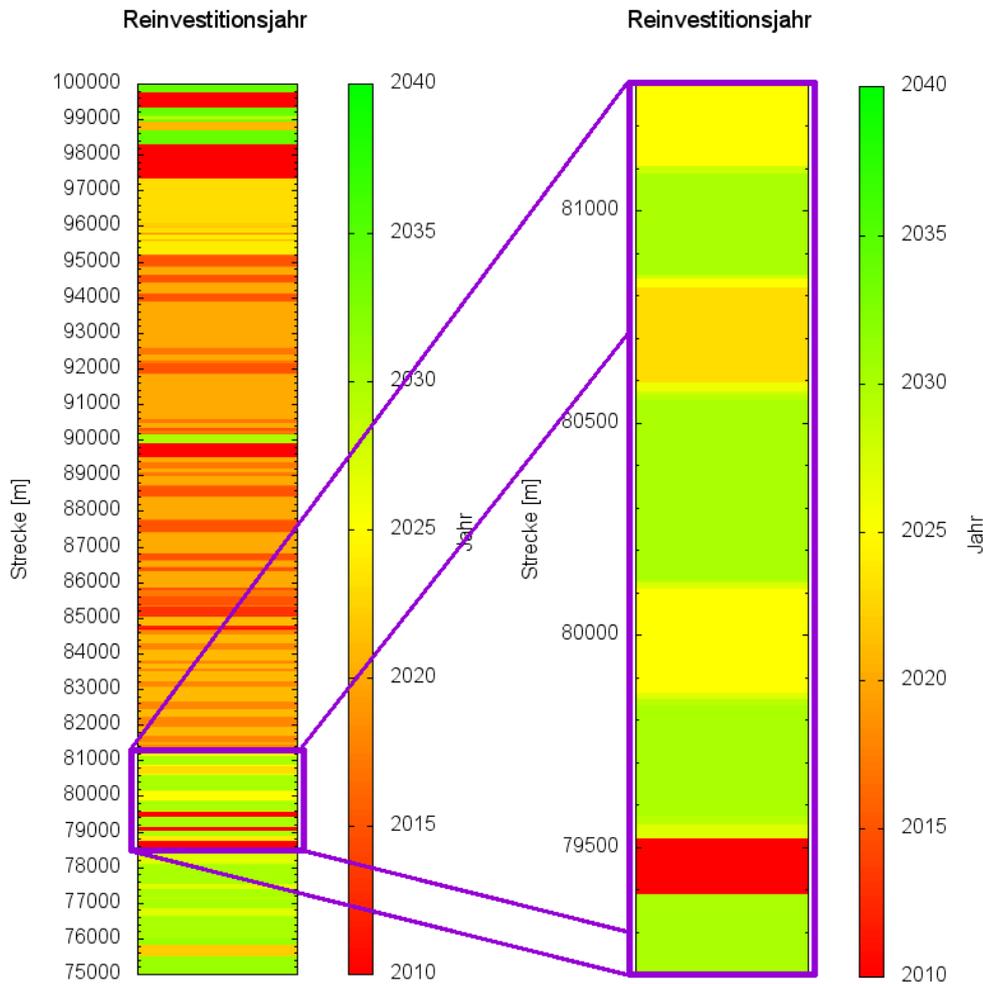
Für eine wirtschaftliche Bewertung stellt sich die Frage, welches Bewertungsverfahren das Geeignetste für die jeweilige Fragestellung ist.

Bei der Bewertung von Gleisabschnitten bzw. für die Berechnung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes werden nachfolgend [Kapitel 3.5] mehrere Verfahren untersucht, da diese Frage nicht mit einer bestimmten Rechnung bzw. einem eindeutigen Berechnungsmodell zu beantworten ist.

Sämtliche nachfolgenden Kosten sind durchschnittliche Summenkosten des Oberbaus der ÖBB (ohne Inspektion), Preisbasis 2007 normiert auf einen Kilometer Länge.

### 3.1 Berechnung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes für Gleisabschnitte (QS)

Der optimale Re-Investitionszeitpunkt für einen Querschnitt errechnet sich aus dem Schwellenalter (da Schwellen während einer Gleisnutzungsdauer normalerweise nicht gewechselt werden) und der Nutzungsdauer des entsprechenden Normkilometers. Somit ergibt sich für jeden Querschnitt im Netz (also alle 5m) ein optimaler Re-Investitionszeitpunkt. In nachfolgender Abbildung [Abbildung 3.1] sieht man für einen Gleisabschnitt die einzelnen Re-Investitionszeitpunkte der Querschnitte aufgetragen.



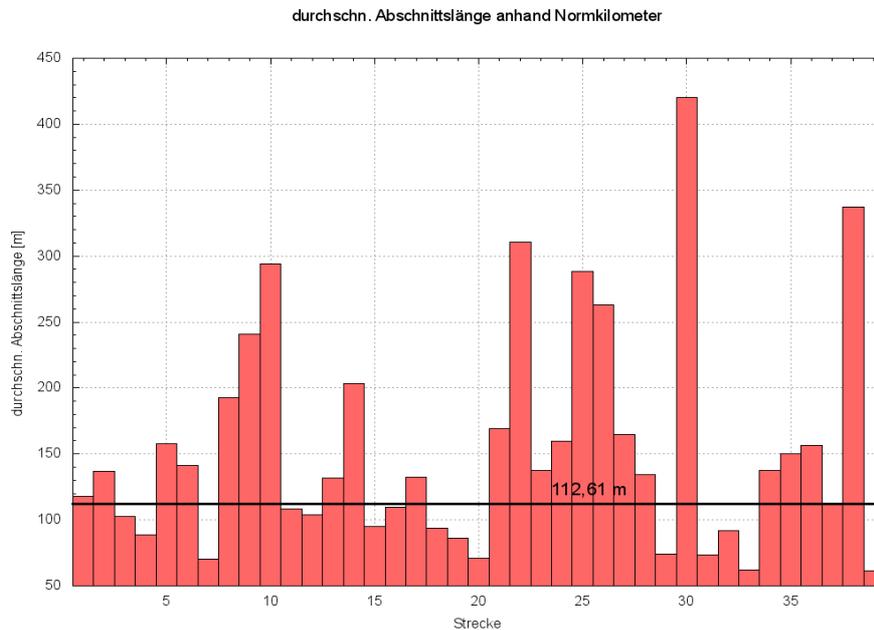
*Abbildung 3.1: Optimale Re-Investitionszeitpunkte der Querschnitte für einen Gleisabschnitt*

### 3.2 Bildung von Mindestabschnittslängen

Sind für die einzelnen Querschnitte eines Gleisabschnittes die Re-Investitionszeitpunkte errechnet, muss die Länge der einzelnen Abschnitte berücksichtigt werden. Für eine Gleisneulage müssen die Abschnitte gewisse Mindestabschnittslängen aus Sicht der Bauabwicklung erfüllen.

In vielen Fällen müssen Gleisabschnitte für die Re-Investition mit anderen Gleisabschnitten zusammengelegt werden, damit sich ein ausreichend langer Abschnitt für die Gleisneulage ergibt.

In nachfolgender Abbildung [Abbildung 3.2] sieht man die einzelnen Strecken der LCC Tool Datenbank mit den jeweils dazugehörigen durchschnittlichen Abschnittslängen gleichen Normkilometers. Hierbei kommt man auf eine Durchschnittslänge von 112m auf dem gesamten Hauptnetz.



*Abbildung 3.2: Durchschnittliche Abschnittslänge auf den einzelnen Strecken bezogen auf Normkilometer*

Bei der Definition der Unterbauklassen [2.2], die ja im jeweiligen Normkilometer als ein Parameter mitdefiniert sind, sieht man, dass die Klassen „Gut“, „U3“ und „U4“ zwar unterschiedliche Instandhaltungsintensitäten haben, allerdings kommt es dabei zu keiner Nutzungsdauerverkürzung. Somit haben Abschnitte, bei denen sich der Normkilometerparameterset nur durch die Unterbauklassen „Gut“, „U3“, „U4“ und „U9“ unterscheidet, dieselbe Nutzungsdauer und somit auch den gleichen Re-Investitionszeitpunkt. Wenn man dies berücksichtigt, ergibt sich aus der vorherigen [Abbildung 3.2] nachfolgende Grafik [Abbildung 3.3].

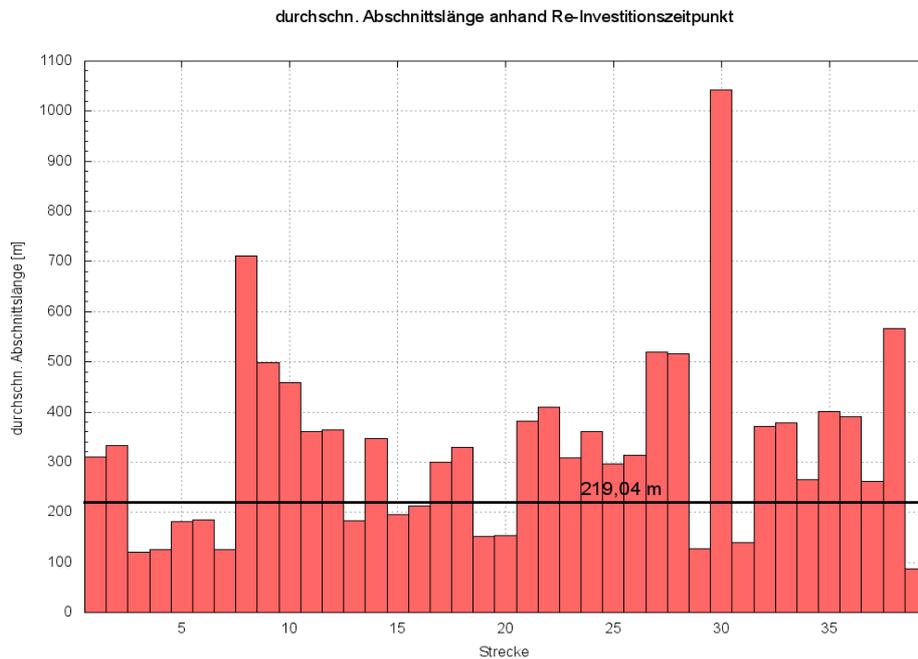


Abbildung 3.3: Durchschnittliche Abschnittslänge auf den einzelnen Strecken bezogen auf Re-Investitionszeitpunkt

Man erkennt, dass die durchschnittliche Abschnittslänge nun um mehr als das Doppelte gestiegen ist, und zwar auf ca. 219m.

Dieser Durchschnittswert entspricht ungefähr dem Mindestwert einer Abschnittslänge für eine Gleisneulage.

Weichen sind Störstellen, die zwar in der LCC Tool Datenbank eingetragen sind, allerdings durch ihre komplexes Verhalten untersucht werden müssen und nicht automatisiert in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untersucht werden können. Sie unterteilen somit auch die Abschnitte.

Des Weiteren sind es vor allem Einzelfehler, die die Abschnitte zerteilen. Einzelfehler haben verschiedenste Ursachen, treten aber sehr häufig bei Steifigkeitsänderungen wie z.B. Änderung des Schwellentyps, Brückenanfang bzw. -ende, Änderung des Schienenprofils und Tunnellein- bzw. -ausfahrten, im Gleis auf. Manchmal sind auch ein schlechter Schweißstoß oder, bedingt durch schlechte Wasserableitung, ein Spritzstoß die Ursache. Solche Einzelfehler führen meist nur bei einigen wenigen Querschnitten zu einer schlechten Unterbaubewertung, welche dann meist mit „U5“ bewertet sind und wiederum einen Abschnitt unterteilen.

Solche Störstellen oder Einzelfehler sind zu „notieren“, der Abschnitt kann dann in der weiteren Vorgehensweise als ein großer Abschnitt mit denselben Parametern bzw. Re-Investitionszeitpunkten betrachtet werden. So entstehen fast immer Abschnitte, die die Anforderungen an die Mindestabschnittslänge erfüllen. Sollte sich einmal ein Abschnitt ergeben, der die Mindestabschnittslänge nicht erreicht, kann dieser in weiterer Folge nicht automatisiert betrachtet werden.

Am Ende der Wirtschaftlichkeitsberechnung, wenn Abschnitte zusammengefasst werden, sind Störstellen bzw. Einzelfehler genauer zu analysieren, da die Ursache dieser Probleme womöglich im Zuge der Re-Investition entfernt werden kann.

### 3.3 Betriebserschwerniskosten (BEK) zufolge Dauerlangsamfahrstellen

Betriebserschwerniskosten sind Kosten, die bei der wirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen auf alle Fälle zu berücksichtigen sind, da sie eine nicht zu unterschätzende Größe der Lebenszykluskosten annehmen können, wie in der Abbildung 1.1 im ersten Kapitel zu sehen ist.

*Bei Hauptstrecken erreichen die Betriebserschwerniskosten, gesehen über die gesamte Liegedauer des Gleises und damit inklusive der (Re-)Investition, Größenordnungen, die im Extremfall über jenen der gesamten Instandhaltungskosten liegen. [Veit, Petri 2008]*

Betriebserschwerniskosten sind Kosten die entstehen, wenn es zu Störungen im Betrieb und damit zu Einschränkungen der Streckenkapazität kommt. Die Ermittlung dieser BEK ist allerdings nicht einfach, weswegen sie oft gar nicht erst berücksichtigt werden. Das Modell, das bei den ÖBB derzeit in Verwendung ist und am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz mitentwickelt wurde [Veit, Petri 2008], wird bei den nachfolgenden wirtschaftlichen Bewertungen angewandt. Es umfasst die monetäre Bewertung von:

- durchschnittlichen Einbruchsverspätungen,
- sich ändernden Energiebedarfs zufolge zusätzlichen Bremsens und anschließenden Beschleunigens,
- etwaigen Mehrkilometern zufolge Umleitungen auf Basis der variablen Zugkosten,
- etwaigen Schienenersatzverkehren auf Basis ihrer tatsächlichen Kosten,
- sämtlichen aus Folgeverspätungen resultierenden Kosten, ein in einem Netz mit sehr dichtem Verkehr bedeutender Kostenfaktor,
- Auswirkungen von Zugausfällen,
- Zusatzkosten zufolge Problemen der nachfolgenden Zugbildung bei verspätet ankommenden Zügen,
- Kosten wegen nicht realisierten Anschlüssen,
- Pönalen zufolge Verspätungen und
- den gesamten Bereich negativer Marktreaktionen zufolge betrieblicher Probleme.

Die Kostenpositionen und ihre Herkunft sind der nachfolgenden Abbildung [Abbildung 3.4] zu entnehmen. Die Kostensätze dafür basieren auf Standardzugtypen und sind Durchschnittswerte, genauso wie die hier für die Bewertung je Strecke eingesetzten Werte.

Aktuelles Kalkulationsmodell zur Bestimmung von Betriebserschwerniskosten	
berücksichtigte Positionen	Bewertung
Einbruchs- und Folgeverspätungen	variable Personalkosten variable Zugkosten
Umleitungen	variable Personalkosten variable Zugkosten
Platzzüge	Vollkosten Zugverkehr
Schienenersatzverkehr	Vollkosten Busverkehr
Verschub	variable Personalkosten
zusätzliche Betriebsführungskosten	variable Personalkosten
Ausfall von Zügen	Wegfall variable Zugkosten Abstellkosten
negative Marktreaktionen	Kundenabwanderung, Pönalen
sonstige Kosten	Spezifika des Anlassfalls

Abbildung 3.4: Berücksichtigte Kostenpositionen im Betriebserschwerniskostenmodell [Veit, Petri 2008]

Es ist zu betonen, dass die Betriebserschwerniskosten jedenfalls Kosten sind, die Ausgaben nach sich ziehen, nur treten diese Kosten nicht beim Verursacher und nicht zeitgleich mit der Verursachung auf. Diese Einschränkung gerechtfertigt jedoch keinesfalls das Negieren dieser Kosten, und zwar weder auf Seiten des Verursachers, noch auf Seiten des Kostenträgers. [Veit, Petri 2008]

In weiterer Folge werden die Kosten zufolge Dauerlangsamfahrstellen nach dem in [Veit, Marschnig 2006] angeführten Modell berechnet.

Bei einer Nutzungsdauerverlängerung entstehen zumeist bei hohen Belastungsklassen und engen Radienklassen Dauerlangsamfahrstellen. Da diese Kosten bei der Berechnung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes berücksichtigt werden, müssen sie zuerst für die verschiedenen Belastungsklassen und der jeweiligen angesetzten Geschwindigkeitsreduktion ( $\Delta V$ ) berechnet werden.

Die Betriebserschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstellen sind sehr stark vom vorhandenen Zugmix bzw. den unterschiedlichen Zuggattungen nach [Veit, Marschnig 2006], wie:

- Qualitätsgüterzug,
- Ganzzug,
- Netzwerkzug,
- Flächenbedienung,
- RoLa,
- Lokzug,
- Lok/KI 5-teilig,
- Elektrotriebwagen,
- Dieseltriebwagen,

- Tag-Zug 8 Wagen sowie
- Nacht-Zug 10 Wagen,

sowie von der Strecke abhängig.

Bei der Berechnung der gesamten Betriebserschwerungskosten zufolge einer Dauerlangsamfahrstelle werden für jede einzelne Zuggattung die Positionen

- Verspätungskosten,
- Umleitungskosten,
- Kosten von Zugausfällen,
- Kosten von Schienenersatzverkehren und
- sonstige baustellenspezifische Betriebserschwerungskosten sowie
- zusätzliche Betriebsführungskosten,
- zusätzliche Verschubkosten sowie
- sonstige zusätzliche Kosten des Netzbetriebes

errechnet.

*Die dabei angegebenen Betriebserschwerungskosten stellen immer die gesamten von der betrieblichen Behinderung verursachten Kosten dar und umfassen damit automatisch beispielsweise auch die Bewertung von Folgeverspätungen. [Veit, Marschnig 2006]*

### 3.4 Zusammenhang Abschnittslänge - Kosten

Als wesentlicher Einflussfaktor bei der Herstellung einer Neulage hat sich die Bauabschnittslänge herausgestellt. Kurze Abschnitte haben auch nur relativ kurze Sperrpausen, was in weiterer Folge eine geringe Schichtleistung mit sehr hohen Kosten pro Meter Neulage bedeutet. Den Einfluss der Sperrdauer auf die effektive Arbeitsleistung hat bereits [Lichtberger 2003] angegeben, woraus sich die Grafik [Abbildung 3.5] ergibt, welche sich hier allerdings auf eine Gleisdurcharbeitung bezieht. Man erkennt, dass von der Gesamteinsatzzeit nach Abzug der Überstellzeit zum Einsatzort, der Rüstzeiten und dem Räumen der Baustelle, nur mehr ein geringer Anteil für die effektive Arbeitsleistung bleibt.

*Die Bedeutung des Parameters Rüstzeiten mag in Einzelfällen bei Großmaschinen noch höher liegen, aber auch hier sind die Parameter Sperrpausendauer und Arbeitsgeschwindigkeit entscheidend für die Produktionsleistung [Lichtberger 2003].*

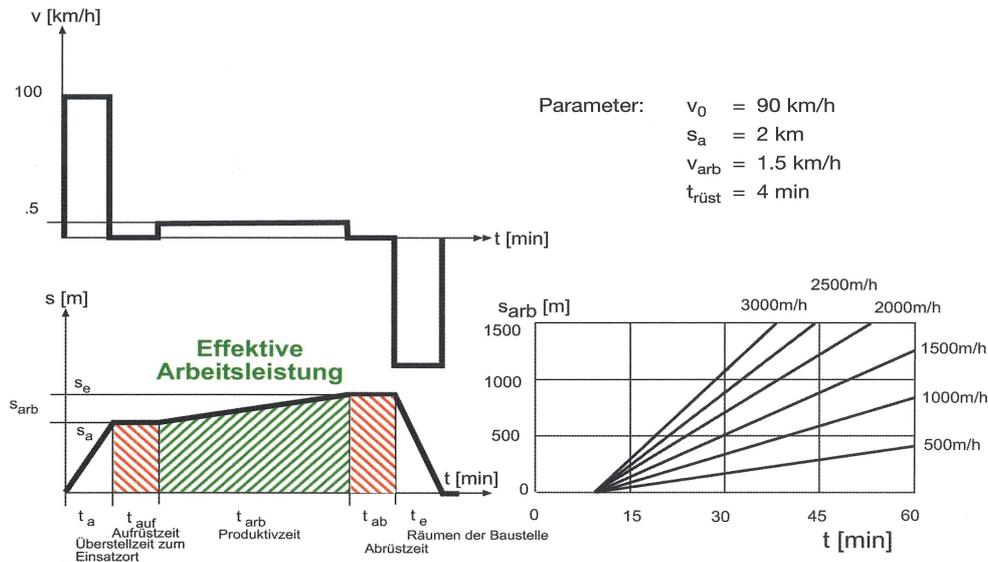


Bild 252: Arbeitslänge abhängig von Überstellzeiten, Rüstzeiten, Arbeitsgeschwindigkeit und Produktionszeit [424]

Abbildung 3.5: Arbeitsleistung in Abhängigkeit von Einsatzzeit [Lichtberger 2003]

### 3.4.1 Optimale Sperrpausendauer

Im Rahmen eines Projektes der ÖBB wurde 2008 eine Untersuchung von Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen für Standardarbeiten des Oberbaus unter Berücksichtigung der betrieblichen Folgekosten von Sperrpausen durchgeführt [Veit, Marschnig 2008b]. Dabei wird speziell der Einfluss der sinkenden Einheitskosten bei länger werdender Abschnittslängen untersucht, der den steigenden Betriebserschwerungskosten bei längeren Sperrpausen gegenübersteht [Abbildung 3.6].

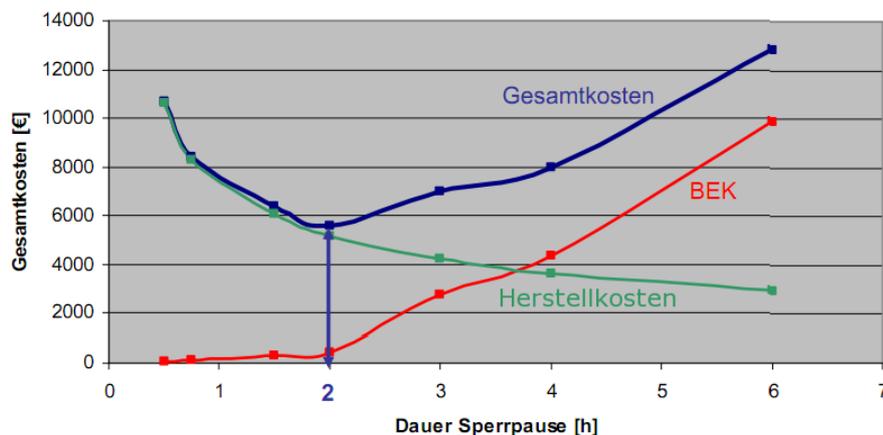


Abbildung 3.6: Bestimmung der optimalen Sperrpausendauer [Veit, Marschnig 2008b]

Auf diese Weise ergibt sich ein Gesamtkostenoptimum aus den Herstellungskosten und den Betriebserschwerungskosten bei einer bestimmten Sperrpausendauer. Dieses Optimum ist streckenabhängig, da die Betriebserschwerungskosten hauptsächlich von der Anzahl der Züge (Belastung), dem Zugmix (Güter- und Personenverkehr) und der Gleisanzahl bestimmt werden.

*Durch das Beziehen der Kosten auf eine Leistungseinheit (Laufmeter Gleis, Laufmeter Schiene, Stück Stoß...) sinken die Herstellungskosten je Leistungseinheit bei längeren Bauabschnitten. Betriebserschwerungskosten steigen zwar insgesamt mit steigender Bearbeitungslänge an, können aber bezogen auf die Leistungseinheit steigen oder sinken [Veit, Marschnig 2008b].*

Die Leistung einer Tätigkeit hängt hauptsächlich von der Sperrpausendauer ab. Insbesondere kurze Sperrpausen wirken sich stark leistungsmindernd auf zeitintensive Tätigkeiten aus. Als grafisches Beispiel ist die Leistung einer Gleisneulage mit SUZ in Abhängigkeit der Sperrpausendauer dargestellt [Abbildung 3.7].

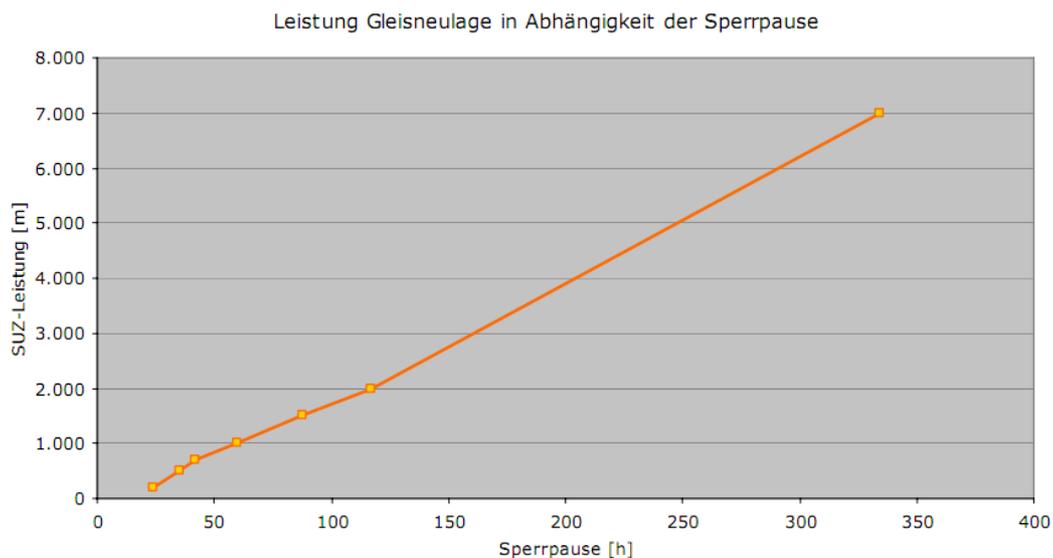


Abbildung 11 Leistung Gleisneulage in Abhängigkeit der Sperrpause

*Abbildung 3.7: Leistung der Gleisneulage in Abhängigkeit der Sperrpause [Veit, Marschnig 2008b]*

Wie man in Abbildung 3.7 sehen kann, ist die Leistung bei einer Gleisneulage insbesondere im Bereich von Sperrpausen, die kleiner als 50 Stunden sind, durch die langen Rüstzeiten und hohen Maschinenkosten relativ gering. Bestimmt man mit diesem Leistungsansatz die Baukosten für einen Gleiskilometer, so erhält man einen extremen Kostenanstieg im Bereich von Sperrpausen, die kürzer als 50 Stunden sind [Abbildung 3.8].

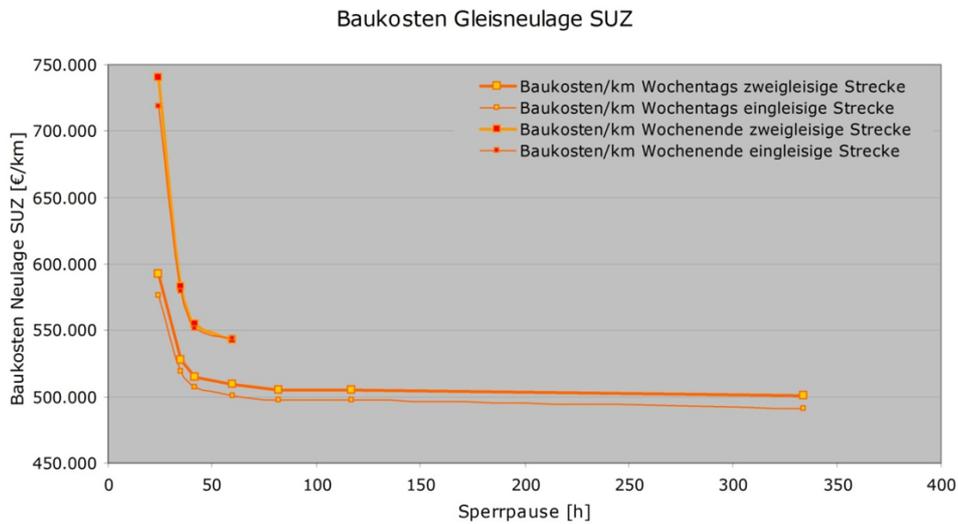


Abbildung 3.8: Verlauf der Baukosten bei einer Gleisneulage mit SUZ in Abhängigkeit der Sperrpause (Bauabschnittlänge) [Veit, Marschnig 2008b]

Zur Bestimmung der Gesamtkosten sind noch die Betriebserschwerniskosten zu ermitteln. In Abbildung 3.9 sind die Betriebserschwerniskosten für Sperrpausen kürzer als zehn Stunden für eine zweigleisige Strecke, in Abbildung 3.10 für eine eingleisige Strecke aufgetragen. Betriebserschwerniskosten für längere Sperrpausen, wie sie z.B. bei einer Gleisneulage benötigt werden, sind in der Abbildung 3.11 und Abbildung 3.12 dargestellt.

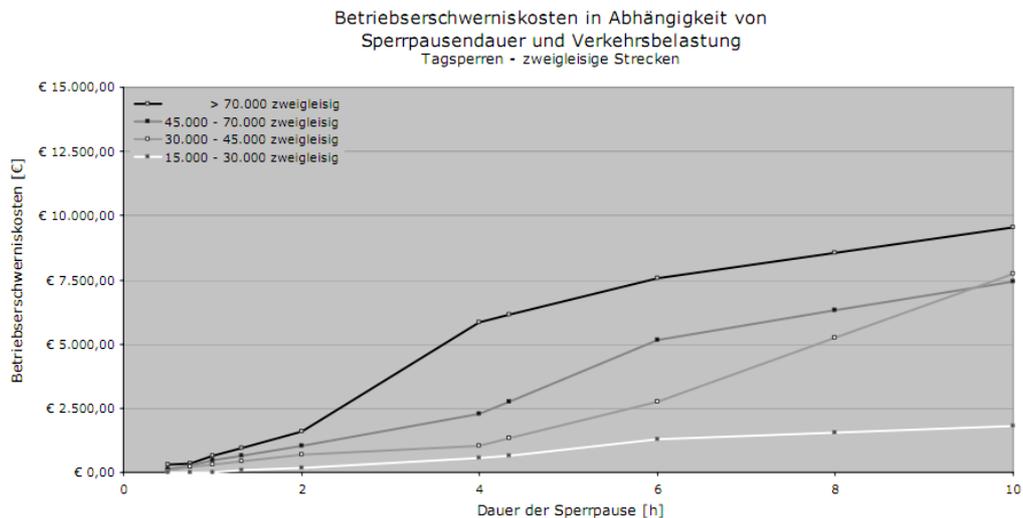


Abbildung 3.9: Abhängigkeit der Betriebserschwerniskosten von der Sperrpausendauer (kleiner 10 Stunden) und der Streckenbelastung (2-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b]

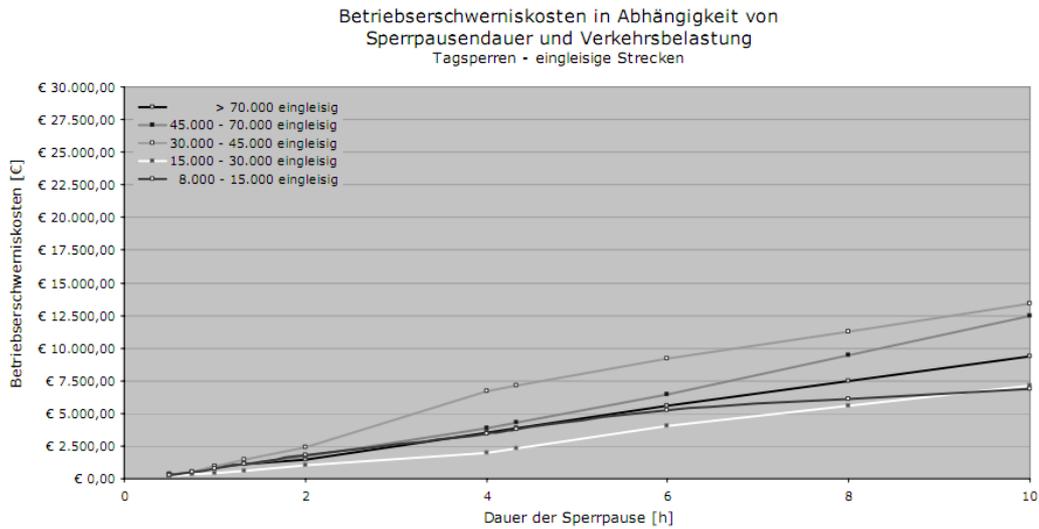


Abbildung 3.10: Abhängigkeit der Betriebserschwerternkosten von der Sperrpausendauer (kleiner 10 Stunden) und der Streckenbelastung (1-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b]

Hinweis: Bei der Strecke mit einer Belastung >70.000GesBT/Tag (eingleisig) handelt es sich um die Tauernstrecke mit starkem Verkehr in der Nacht und daher geringen BEK am Tag.

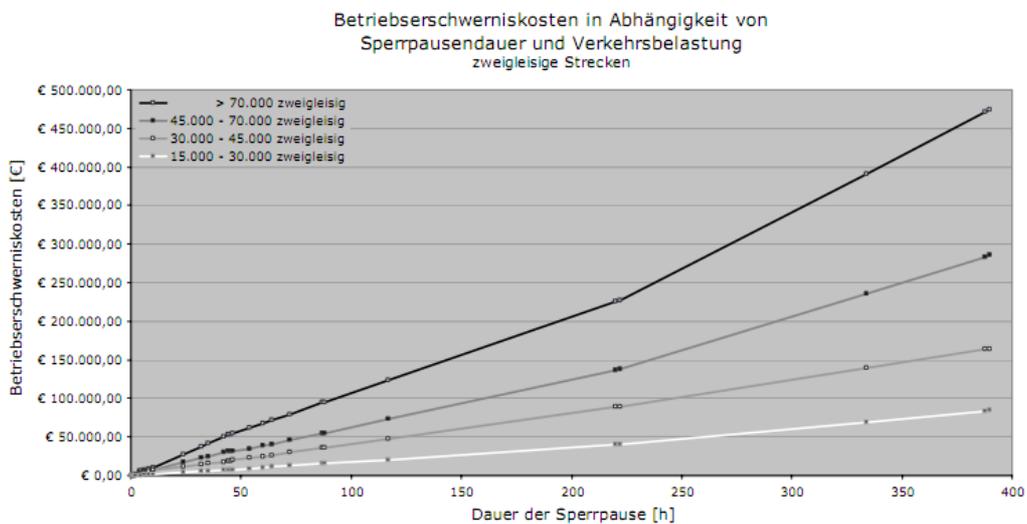


Abbildung 3.11: Abhängigkeit der Betriebserschwerternkosten von der Sperrpausendauer und der Streckenbelastung (2-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b]

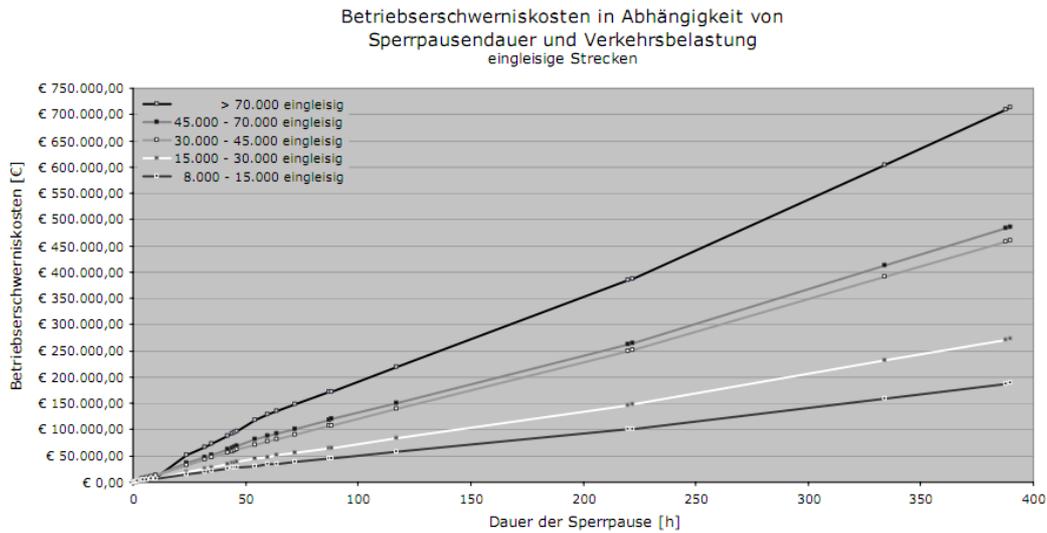


Abbildung 3.12: Abhängigkeit der Betriebschwerniskosten von der Sperrpausendauer und der Streckenbelastung (1-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b]

Die Gesamtkosten je Kilometer Neulage werden in folgender Abbildung [Abbildung 3.13] dargestellt. Die Abbildung spiegelt den Zusammenhang für eine spezielle Strecke wider, da die Gesamtkosten aufgrund der Betriebschwerniskosten bei jeder Strecke unterschiedlich sind. Die Betriebschwerniskosten hängen von der Gleisanzahl, dem Abstand der Überleitstellen und der Gleis- bzw. Streckenbelastung ab. Die Baukosten sind nur bei ein- bzw. mehrgleisigen Strecken unterschiedlich. Im Vergleich von Abbildung 3.9 zu Abbildung 3.10 und Abbildung 3.11 zu Abbildung 3.12 erkennt man, dass die Betriebschwerniskosten bei eingleisigen Strecken aufgrund fehlender Ausweichmöglichkeiten sowie erhöhtem Bedarf an Schienenersatzverkehren bzw. Umleitungsverkehren höher sind als auf zweigleisigen Strecken.

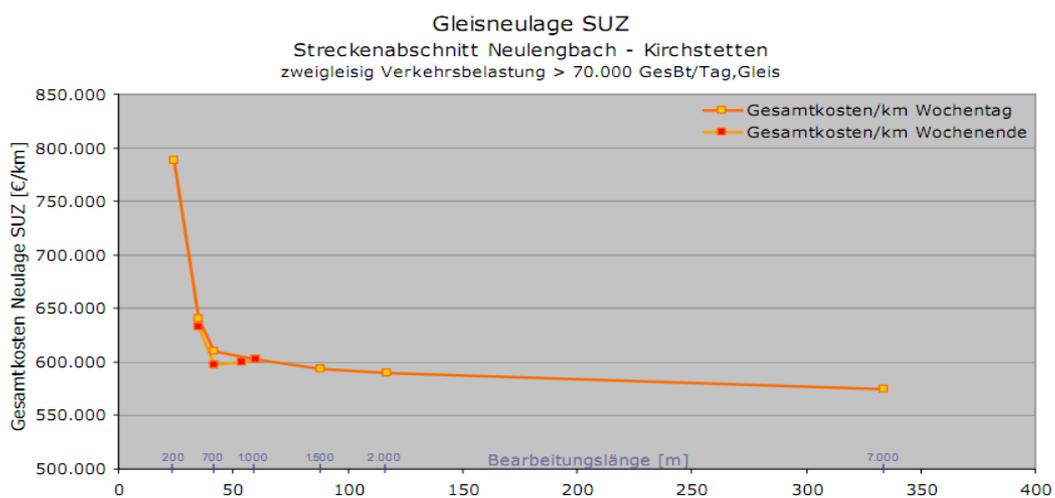


Abbildung 3.13: Verlauf der Gesamtkosten über die Sperrpausendauer [Veit, Marschnig 2008b]

An diesem Beispiel [Abbildung 3.13] der Gleisneulage auf einer zweigleisigen Strecke und sehr hohen Verkehrsbelastung sieht man, dass Sperrpausen unter 42 Stunden und somit eine Gleisneulagen unter 700m wirtschaftlich nicht akzeptabel sind. Bei einer Gleisneulage sind die Baukosten dominant und haben einen zu stark degressiven Verlauf, sodass auch bei längeren Sperrpausen durch steigende Betriebserschwerungskosten keine Trendumkehr erreicht wird.

Die Untersuchung der aktuellen Bauabschnittslängen ergab, dass derzeit zumeist zu geringe Abschnittslängen realisiert werden.

### 3.5 Wirtschaftliche Bewertung von Einzelabschnitten

Bei einer wirtschaftlichen Bewertung von Anlagen mit sehr langen Nutzungsdauern (40 Jahre und mehr) stoßen dynamische Bewertungen an ihre Grenzen.

#### 3.5.1 Der Zinssatz bei der dynamischen Bewertung

Um die unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte von Geldströmen zu berücksichtigen, werden dynamische Bewertungen durchgeführt, bei denen die Kapitalbindung berücksichtigt wird. Bei dynamischen Bewertungen werden Zeitwerte mit einem bestimmten Zinssatz auf- oder abgezinst (Diskontierung), woraus sich Barwerte ergeben. Aus der Summe dieser kann dann wiederum der Kapitalwert errechnet werden. In weiterer Folge können je nach Bewertungsmethode z.B. die durchschnittlichen dynamischen Jahreskosten (Annuität) errechnet werden.

Die große Schwierigkeit hierbei ist allerdings die Festlegung des kalkulatorischen Zinssatzes i. Die Auswirkung bei der Annahme des kalkulatorischen Zinssatzes ist in nachfolgendem Beispiel [Abbildung 3.14] dargestellt.

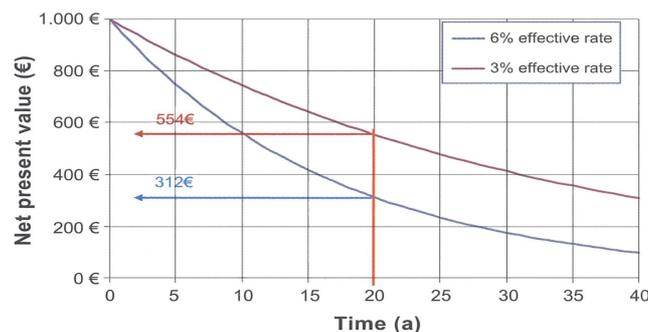


Figure 8.3-5: Discounted value of a payment of 1000 € at different periods for 3% and 6% discount rate

Abbildung 3.14: Abzinsung von € 1000 nach 20 Jahren mit 3 bzw. 6% als kalk. Zinssatz [Ekberg, Paulsson 2010]

Man sieht, dass es bei höheren Zinssätzen, bei einem späten Zahlungszeitpunkt, zu einer massiven Abzinsung kommt und damit zu einer „geringeren“ Bewertung von großen Kosten/Einsparungen in der Zukunft. Vor allem beim Vergleich von Systemen, bei dem ein System eine wertmäßig geringe Erstinvestition hat und dafür später weitere größere Beträge

investiert werden müssen, hängt das Ergebnis damit oft nur vom gewählten Zinssatz ab. Aus dem Projekt Innotrack [Ekberg, Paulsson 2010] wurde der Vorschlag [Abbildung 3.15] gemacht, den Zinssatz in Abhängigkeit der Lebensdauer der Anlage zu wählen. Für langlebige Bahninfrastrukturanlagen sollte dieser dann in einem Bereich von 4-5% real liegen.

BV	4.0 %	
DB	5.9 %	For infrastructure
NR	6.5 %	
ProRail	4.0 %	
Public investor	≅ 4.0 %	
Private investor	5.0 % ++	Depending on risk
InnoTrack	≅ 4-5 %	For comparison

Figure 8.3-7: Discount rates in LCCA for different investors and IM's

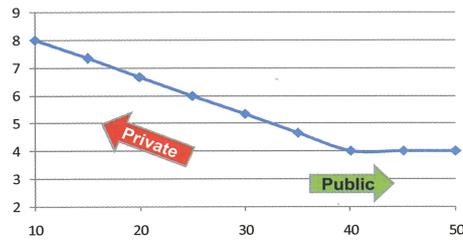


Figure 8.3-8: Proposed discount rate as a function of asset life

Abbildung 3.15: Vorgeschlagene kalkulatorische Zinssätze aus dem Projekt Innotrack [Ekberg, Paulsson 2010]

### 3.5.2 Dynamisches Bewertungsmodell

Zur Bewertung wird hier die Annuitätenmethode verwendet, wobei der kalkulatorische Zinssatz variiert wird, um die Sensitivität des Ergebnisses zu überprüfen. Als Betrachtungszeitpunkt wird die Neulage des derzeitigen Gleises festgesetzt, d.h. als Bewertungszeitraum gilt es zwei Lebenszyklen, den des jetzigen Normkilometers und jenen des laut Strategie optimalen Normkilometers, zu untersuchen. Das wiederum heißt, dass sich der Untersuchungszeitraum ändert, da die Re-Investition zuerst früher, und dann immer jeweils um ein Jahr nach hinten verschoben, durchgeführt wird.

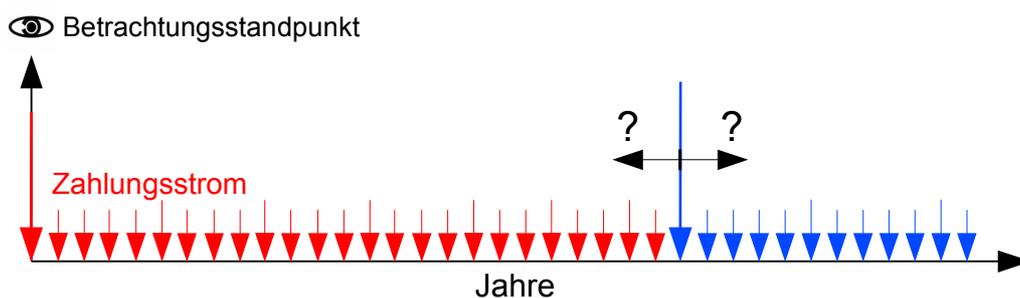


Abbildung 3.16: Dynamische Bewertung mit Betrachtungsstandpunkt am Nutzungsdaueranfang des bestehenden Gleises

Die Auswertung auf einem hoch belasteten geraden Stück Gleis hat ergeben, dass unabhängig vom kalkulatorischen Zinssatz bei einer Nutzungsdauerverlängerung die Annuitäten im Vergleich zur geplanten Nutzungsdauer praktisch immer sinken [Abbildung 3.17]. Umgekehrt steigen die Annuitäten bei einer Nutzungsdauerverkürzung [Abbildung 3.18]. In beiden Abbildungen ist einmal die Differenz der Annuitäten zu sehen, wenn der derzeitige Oberbau wie-

der investiert wird, und einmal wenn ein Oberbau nach Strategie mit optimalen Komponenten eingebaut wird. Beide haben jedoch den gleichen Trend und „steuern“ richtig.

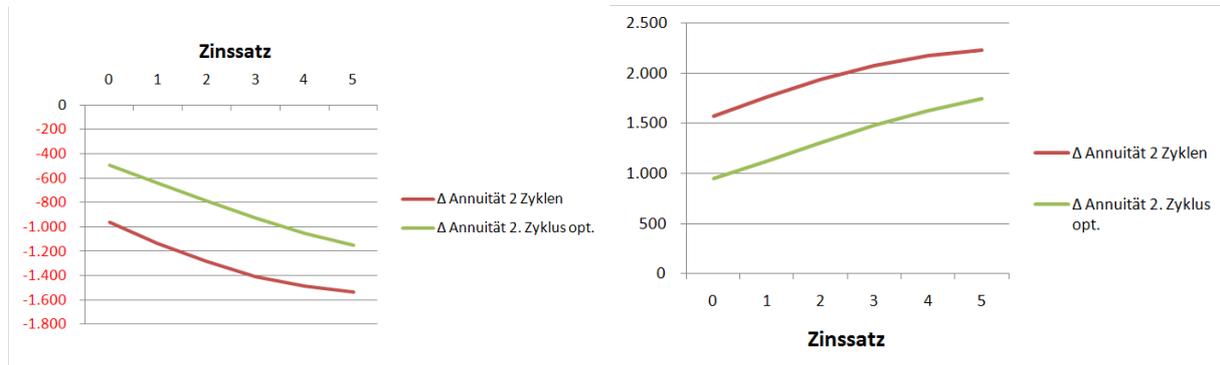


Abbildung 3.17: Delta der Annuitäten bei Nutzungsdauerverlängerung um 3 Jahre in Abhängigkeit des kalkulatorischen Zinssatzes

Abbildung 3.18: Delta der Annuitäten bei Nutzungsdauerverkürzung um 3 Jahre in Abhängigkeit des kalkulatorischen Zinssatzes

Bei einer solchen Betrachtung wird also eine Nutzungsdauerverlängerung des bestehenden Gleises fast immer als wirtschaftlich angesehen, da der dafür nötige Betrag aus einer eventuell zusätzlichen nötigen Stopfmaßnahme und einer etwas erhöhten Mängelbehebung besteht, diese allerdings erst am Ende des Zyklus auftritt und somit einen geringen Barwert bedeutet, woraus sich weiters eine sinkende Annuität ergibt.

Eine Erhöhung der Annuität (in Abhängigkeit des kalkulatorischen Zinssatzes) kommt zumeist nur zu Stande, wenn

- eine Dauerlangsamfahrstelle eingerichtet werden muss,
- ein zusätzlicher Schienenwechsel angesetzt werden muss, da der Verschleiß zu groß (zumeist in engeren Bögen) oder die Dauerfestigkeit erreicht ist

oder in seltenen Fällen auch,

- wenn eine Gleisdurcharbeitung mindestens zweimal oder öfter im Jahr nötig ist.

Die Annuitätenmethode „steuert“ zwar korrekt, allerdings hängt eine wirtschaftliche Entscheidung über die Sinnhaftigkeit zusätzlicher Investitionen bzw. verlorener Restwerte hier dominant vom gewählten kalkulatorischen Zinssatz ab. Deswegen werden auch statische Bewertungsmethoden untersucht.

### 3.5.3 Statisches Bewertungsmodell

Ziel jeder Fahrweg-Strategie ist die Minimierung der durchschnittlichen Jahreskosten. Dabei kann eine Verlängerung der Nutzungsdauer sinnvoll sein, wenn die Abschreibung stärker sinkt als die zur Verlängerung erforderlichen Maßnahmen kosten. Diese Maßnahmen können eine zusätzliche Instandhaltung oder auch zusätzliche erforderliche Dauerlangsamfahrstellen sein. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Re-Investition zu geänderten durchschnittlichen Jahreskosten führen kann. In diesem Fall ist die Änderung des Zeitpunktes dieser Effekte ebenfalls zu berücksichtigen.

Es ergibt sich daraus folgende Bedingung (Formel 4) für eine Nutzungsdauerverlängerung:

$$\frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} IH_i + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} LA_i \right)}{ND_{NKIst}} < \frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst+j}} IH_i + \sum_{i=1}^{NKIst+j} LA_i + j(JK_{Ist} - JK_{neu}) \right)}{ND_{NKIst+j}} \quad (\text{Formel 4})$$

oder einfacher:  $JK_{Ist} < JK_{Ist+j}$

Ist diese Bedingung erfüllt, sollte keine Nutzungsdauerverlängerung um j Jahre durchgeführt werden, da die durchschnittlichen jährlichen Kosten höher sind als die Re-Investition nach der geplanten Normkilometer Nutzungsdauer. Sollte die Bedingung nicht erfüllt sein, so sind die geplanten Instandhaltungsmaßnahmen wirtschaftlich und es sollte eine Nutzungsdauerverlängerung um j Jahre durchgeführt werden.

Nachfolgende Bedingung (Formel 5) ergibt sich für eine Nutzungsdauerverkürzung:

$$\frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} IH_i + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} LA_i \right)}{ND_{NKIst}} < \frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst-j}} IH_i + \sum_{i=1}^{NKIst-j} LA_i - j(JK_{Ist} - JK_{neu}) \right)}{ND_{NKIst-j}} \quad (\text{Formel 5})$$

oder einfacher:  $JK_{Ist} < JK_{Ist-j}$

Hier gilt dasselbe wie bei der Nutzungsdauerverlängerung. Es sollte keine Nutzungsdauerverkürzung um j Jahre durchgeführt werden, wenn die Bedingung erfüllt ist.

Für obige Formeln gilt:

$j$  Jahre der Nutzungsdauerverlängerung / -verkürzung

$IH_i$  Summe der jährliche Instandhaltungskosten im Jahr  $i$

$ND_{NKIst}$  Nutzungsdauer des derzeitigen Normkilometerzyklus

$LA_i$  Summe der evtl. anfallenden jährlichen LA Kosten im Jahr  $i$

$JK_{Ist}$  durchschnittliche Jahreskosten des derzeitigen Normkilometerzyklus

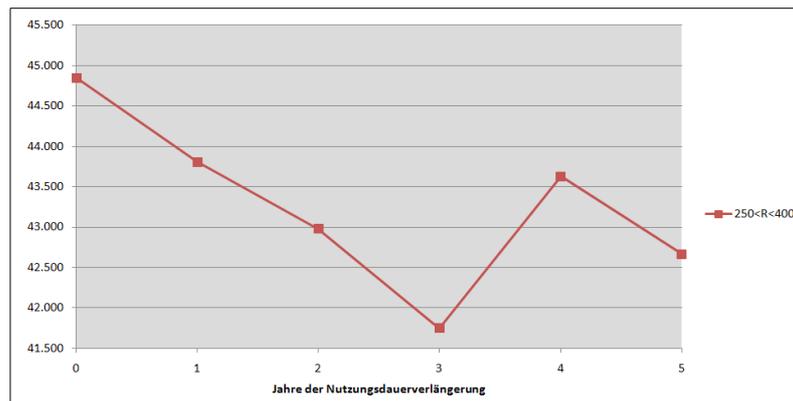
$JK_{neu}$  durchschnittliche Jahreskosten des anschließenden Normkilometerzyklus

Üblicherweise benötigt man auf Abschnitten, die einer hohen Radienklasse zugeordnet sind, nur relativ wenig Instandhaltungsaufwand, um die Nutzungsdauer zu strecken und erhält somit auch fallende durchschnittliche Jahreskosten. In diesem Fall ist es oft die technische Nutzungsdauer, die das Re-Investitionsjahr bestimmt.

In den niedrigeren Radienklassen, also engeren Bögen, ist dies meist nicht der Fall, da dort immer wieder teurere Instandhaltungstätigkeiten anfallen, welche bei größeren Bögen nicht vorhanden sind. Daher bestimmt oft ein fällig werdender Schienen- oder Zwischenlagen-

wechsel den Anstieg der durchschnittlichen Jahreskosten und somit auch den optimalen Re-Investitionszeitpunkt.

Anhand des nachfolgenden Beispiels [Abbildung 3.19], sieht man den Verlauf der durchschnittlichen Jahreskosten für die Radienklasse  $250 < R < 400$  in der Belastungsklasse 45.000 - 70.000 GesBT/Tag. Es ist zu sehen, dass bei einer Verlängerung des Normkilometerzyklus um drei Jahre die niedrigsten durchschnittlichen Jahreskosten zu erwarten sind.



*Abbildung 3.19: Verlauf der durchschnittlichen Jahreskosten bei Nutzungsdauerverlängerung in der Belastungsklasse 45.000 - 70.000 GesBT/Tag und der Radienklasse  $250 < R < 400$ , Unterbauklasse „Gut“ (ohne Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle)*

Auch wenn bei diesem Beispiel bei einer Verlängerung um fünf Jahre noch einmal ein Absinken der Kosten zu beobachten ist, führt eine weitere Verlängerung zu massiv steigenden Instandhaltungsmaßnahmen und daher auch steigenden durchschnittlichen Jahreskosten, womit das Kostenminimum bei der Nutzungsdauer plus drei Jahren identifiziert ist.

### 3.6 Bewertung von Abschnitten mit unterschiedlichem Re-Investitionszeitpunkt

Bei der Bewertung wird untersucht, ob es wirtschaftlich ist, einen Abschnitt zum Re-Investitionszeitpunkt zu erneuern oder die Gleisneulage mit einem direkt angrenzenden Abschnitt (davor oder danach) zusammen durchzuführen. Damit stellen sich zwei Fragen: Erneut die Frage nach dem optimalen Re-Investitionszeitpunkt für den Gesamtabschnitt sowie die optimale Abschnittslänge.

Diese Bewertung wird mit einer Schrittweite von einem Jahr, ausgehend vom Re-Investitionszeitpunkt des ersten Abschnittes (T1) bis zum Re-Investitionszeitpunkt vom zweiten Abschnitt (T2), durchgeführt [Abbildung 3.20]. Dies passiert nur, wenn die Re-Investitionszeitpunkte nicht mehr als fünf Jahre auseinanderliegen, da ansonsten die technische Nutzungsdauer überschritten wird [Abbildung 3.22].

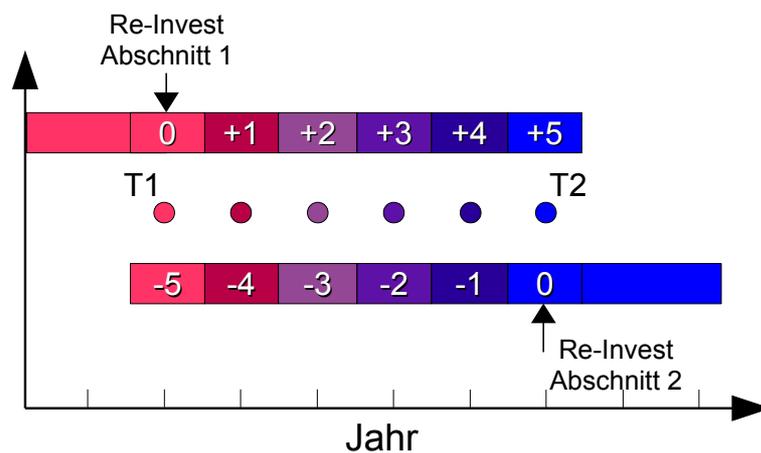


Abbildung 3.20: Mögliche gemeinsame Re-Investitionszeitpunkte für zwei Abschnitte

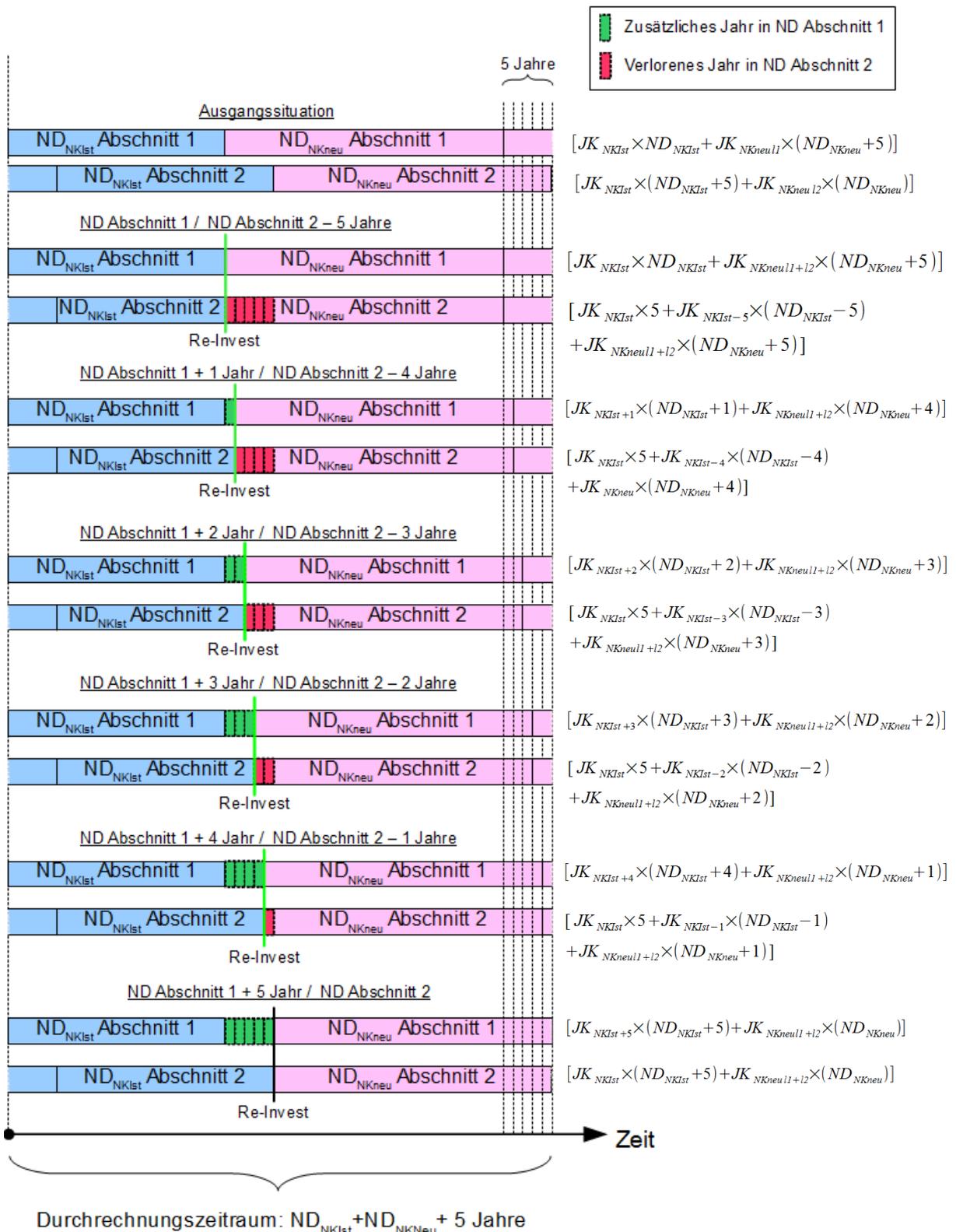


Abbildung 3.21: Bewertung von gemeinsamen Re-Investitionszeitpunkten für zwei Abschnitte die bei der Re-Investition fünf Jahre auseinanderliegen

Bei der Verschiebung des Re-Investitionszeitpunktes nach hinten muss auf alle Fälle der technische Zustand der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden, d.h. die technische Nutzungsdauer kann keinesfalls überschritten werden. Spielraum zur Verlängerung besteht daher nur zwischen der wirtschaftlichen und der technischen Nutzungsdauer [Abbildung 3.22].

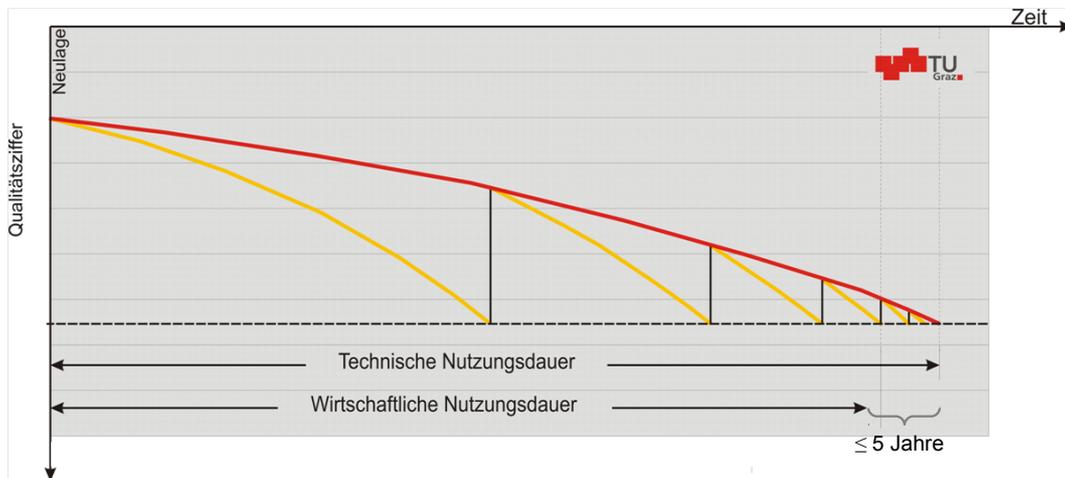


Abbildung 3.22: Definitionen Nutzungsdauer

In der Praxis spricht man von einem Ende der Nutzungsdauer, wenn man ein Stopfintervall von unter einem Jahr erreicht hat.

Für die Berechnung der unterschiedlichen Re-Investitionszeitpunkte muss der Normkilometerzyklus entweder verkürzt oder verlängert werden.

### 3.6.1 Verkürzung des Normkilometerzyklus

Der Normkilometerzyklus von einem der zu untersuchenden Abschnitte muss bei den Berechnungsschritten des optimalen Re-Investitionsjahres verkürzt werden. In diesem Fall werden die nötigen Jahre des Normkilometerzyklus einfach „abgeschnitten“ und die Nutzungsdauer um diese Jahre reduziert. Hierbei kann es dazu kommen, dass im letzten Jahr der verkürzten Nutzungsdauer Instandhaltungsarbeiten angesetzt sind, was in der Regel nicht sehr sinnvoll ist. Allerdings stellt sich die Frage einer gemeinsamen Re-investition (insbesondere beim Vorziehen dieser) meist relativ kurzfristig und entspricht damit wahrscheinlich der Realität.

### 3.6.2 Verlängerung des Normkilometerzyklus

Muss hingegen der Normkilometerzyklus während der Berechnung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes verlängert werden, ist dies etwas schwieriger zu handhaben. In diesem Fall müssen zusätzliche Instandhaltungsarbeiten für die Jahre der Verlängerung angesetzt werden. Dies passiert nach folgenden in der Praxis beobachteten Regeln.

Bei der Durcharbeitung wird das letzte angegebene Stopfintervall halbiert und dieses dann für die nächsten zwei Jahre eingetragen. Sollte eine weitere Verlängerung notwendig sein, wird das Stopfintervall wieder halbiert und für weitere zwei Jahre angehängt. Sollte sich dar-

aus ein Intervall von kleiner als einem Jahr ergeben, wird ein jährliches Stopfen angesetzt. Nach zwei Jahren mit einem jährlichen Stopfen wird zusätzlich eine Dauerlangsamfahrstelle mit einer Geschwindigkeitsreduktion von 20km/h festgelegt. Sollte eine Verlängerung für die Untersuchung weiterhin nötig sein, wird die Dauerlangsamfahrstelle nach drei Jahren wieder um zusätzliche 20km/h reduziert.

Die Mängelbehebung wird nach Ende der Nutzungsdauer des Normkilometerzyklus um jeweils 10% p.a. erhöht.

Ist das letzte tatsächliche Stopfintervall für den zu untersuchenden Abschnitt bekannt, wird dieses, anstatt des Intervalls laut Normkilometer, wie oben beschrieben angesetzt. Ein Beispiel für einen verlängerten Normkilometerzyklus ist in Abbildung 3.23 dargestellt.

Unterbau "Gut"		600-R(1000)	zweijährig																							
Geschäfts-Kreis	Preis	260	Unterbau																							
>70.000	60E1	260	gut																							
				Schwelle																						
				Beton																						
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	26,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Neurolage		1,0	1																							
Stopfen	alle x Jahre	2,6	1			1			1			1			1		1		1	1	1	1	1	1	1	1
Schließen	Anzahl in ND	1,0																								
Schließen HeadChecks	Anzahl in ND	7,0			1				1			1		1					1		1		1	1	1	
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																								
StopfHöhe	Anzahl in ND	0,0																								
Zwischenkehrenwechsel	Anzahl in ND	0,0																								
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,65	1,82	2,00	2,20	2,42	2,66	2,92
LA																										

Abbildung 3.23: Beispielhaft verlängerter Zyklus eines Normkilometers

In diesem Beispiel wird das vorhandene zwei-jährige Stopfintervall am Ende der Nutzungsdauer bei der Verlängerung auf ein ein-jähriges Intervall für zwei Jahre reduziert. Danach ist eine weitere Verdichtung nicht mehr möglich und für die nächsten drei Jahre wird daher zusätzlich eine Langsamfahrstelle mit einer Geschwindigkeitsreduktion von 20km/h angesetzt. Danach wird das VzG für weitere drei Jahre um 40km/h reduziert.

Die um fünf Jahre verlängerten Zyklen der Normkilometer, die bei den nachfolgenden Berechnungen angewendet werden, sind im Anhang [6.2] zu finden. Die Normkilometerzyklen für eine Nutzungsdauerverlängerung von einem, zwei, drei und vier Jahren werden nicht gesondert abgebildet, da diese dem um fünf Jahre verlängerten Normkilometerzyklus abzüglich vier, drei, zwei und einem Jahr entsprechen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Betriebserschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstellen

Die nachfolgend errechneten Werte sind jeweils Kosten für ein Jahr auf einer bestimmte Länge und für eine bestimmte Geschwindigkeitsreduktion. Die Höhe der Kosten zufolge einer Geschwindigkeitsreduktion hängt maßgeblich von der Ausgangsgeschwindigkeit (VzG) ab. Bei der Berechnung der Betriebserschwerniskosten wurde ein typisches VzG des jeweiligen Streckenabschnitts angesetzt, um einen realistischen Wert für die Strecke zu erhalten.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, sind die Betriebserschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstellen stark vom Zugmix bzw. den unterschiedlichen Zuggattungen abhängig. Die Kosten der Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag (Westbahn 2-gleisig) [Tabelle 4.1] sind daher mit der Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag (Tauern 1-gleisig) [Tabelle 4.4] nicht direkt vergleichbar.

#### 4.1.1 Betriebserschwerniskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

>70.000GesBT/Tag - Westbahn 2 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 1.894.616,71	€ 1.919.699,29
320	€ 1.895.990,07	€ 1.922.903,80
400	€ 1.896.905,65	€ 1.925.040,13
480	€ 1.897.821,22	€ 1.927.176,47
500	€ 1.898.050,11	€ 1.927.710,56
600	€ 1.899.194,58	€ 1.930.380,98
640	€ 1.899.652,37	€ 1.931.449,15
800	€ 1.901.483,51	€ 1.935.721,82

*Tabelle 4.1: Kosten der Dauerlangsamfahrstelle mit einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis, zweigleisig*

Die hier angegebenen sehr hohen Kosten [Tabelle 4.1] entstehen in einem Jahr bei einer Dauerlangsamfahrstelle auf einem Gleis auf der zweigleisigen Westbahn. Durch das sehr hohe Personenverkehrsaufkommen ergeben sich hier die mit Abstand höchsten Betriebserschwerniskosten.

#### 4.1.2 Betriebserschwerungskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

45.000 - 70.000 GesBT/Tag - Südbahn 2 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 590.654,00	€ 669.692,00
320	€ 595.472,00	€ 684.145,00
400	€ 598.683,00	€ 693.781,00
480	€ 601.895,00	€ 703.416,20
500	€ 602.698,00	€ 705.825,00
600	€ 606.713,00	€ 717.870,00
640	€ 608.319,00	€ 722.687,80
800	€ 614.743,00	€ 741.959,00

Tabelle 4.2: Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, Gleis, zweigleisig

Aufgrund der geringeren Belastung und des sich ändernden Zugmixes, ergeben sich in Tabelle 4.2, die der zweigleisigen Südbahn entspricht, wesentlich geringere Werte als zuvor.

#### 4.1.3 Betriebserschwerungskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

30.000 - 45.000 GesBT/Tag - Nordbahn 2 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 240.094,00	€ 245.555,00
320	€ 240.548,00	€ 246.691,00
400	€ 240.851,00	€ 247.447,00
480	€ 241.153,40	€ 248.203,80
500	€ 241.229,00	€ 248.393,00
600	€ 241.608,00	€ 249.339,00
640	€ 241.759,40	€ 249.717,40
800	€ 242.365,00	€ 251.231,00

Tabelle 4.3: Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Gleis, zweigleisig

In Tabelle 4.3 sind die Betriebserschwerungskosten zufolge einer Dauerlangsamfahrstelle auf der zweigleisigen Nordbahn zu sehen.

#### 4.1.4 Betriebserschwerungskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

>70.000GesBT/Tag – Tauern 1 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 484.644,43	€ 562.411,04
320	€ 488.979,34	€ 575.415,76
400	€ 491.869,28	€ 584.085,58
480	€ 494.759,22	€ 592.755,39
500	€ 495.481,70	€ 594.922,85
600	€ 499.094,12	€ 605.760,12
640	€ 500.539,09	€ 610.095,02
800	€ 506.318,97	€ 627.434,65

Tabelle 4.4: Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, Gleis, eingleisig

Die in Tabelle 4.4 angeführten Werte sind im Vergleich zur Tabelle 4.1 der Höhe nach nur mehr ca. ein Drittel, obwohl diese derselben Belastungsklasse, allerdings auf einer zweigleisigen Strecke, entsprechen. Dies resultiert aus der Dominierung des Güterverkehrs, der auf kleine Verspätungen relativ unsensibel ist.

#### 4.1.5 Betriebserschwerungskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

45.000 - 70.000GesBT/Tag – Westbahn 1 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 670.185,90	€ 740.796,33
320	€ 675.221,94	€ 755.904,45
400	€ 678.579,30	€ 765.976,53
480	€ 681.936,66	€ 776.048,61
500	€ 682.776,00	€ 778.566,63
600	€ 686.972,69	€ 791.156,73
640	€ 688.651,37	€ 796.192,77
800	€ 695.366,09	€ 816.336,92

Tabelle 4.5: Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis, eingleisig

Trotz der geringeren Verkehrsbelastung gegenüber zuvor sind die in Tabelle 4.5 errechneten Werte höher, da es auf der eingleisigen Westbahn wieder mehr Personenverkehr gibt.

#### 4.1.6 Betriebserschwerungskosten zufolge Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

30.000 - 45.000 GesBT/Tag – Südbahn 1 gleisig		
Länge [m]	$\Delta V$ 20 km/h	$\Delta V$ 40 km/h
200	€ 362.051,65	€ 415.455,54
320	€ 365.386,51	€ 424.348,50
400	€ 367.609,75	€ 430.277,14
480	€ 369.832,99	€ 436.205,78
500	€ 370.388,80	€ 437.687,94
600	€ 373.167,85	€ 445.098,74
640	€ 374.279,47	€ 448.063,05
800	€ 378.725,95	€ 459.920,33

Tabelle 4.6: Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Gleis, eingleisig

In der letzten Tabelle [Tabelle 4.6] sind die Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle auf der eingleisigen Südbahnstrecke eingetragen.

## 4.2 Kosten in Abhängigkeit der Abschnittslänge

### 4.2.1 Einfluss der Abschnittslänge auf die Normkilometerkosten

Durch den großen, jedoch für jede Gleisarbeit unterschiedlichen, Einfluss der Sperrpausendauer wird nachfolgend mit den ermittelten Daten aus [Veit, Marschnig 2008b] der Einfluss auf die verschiedenen Normkilometer dargestellt. Es werden dabei folgende Tätigkeiten untersucht:

- Neulage
- Durcharbeitung (Stopfen)
- Schienenoberflächenbehandlung (Schleifen)
- Schienenwechsel
- Zwischenlagenwechsel
- Mängelbehebung

Bei diesen Tätigkeiten wird davon ausgegangen, dass sich über den Lebenszyklus des Gleises auch Einsparungen bei der Instandhaltung durch eine größere Abschnittslänge ergeben. Das heißt, dass sich durch größere Abschnittslängen nicht nur bei der Neulage ein einmaliger Einsparungseffekt ergibt, sondern durch ein homogeneres Gleis ein gleichmäßigeres Verhalten erreicht wird und somit auch in der Instandhaltung Einsparungen erzielt werden.

Die Vorgang der Stoßpflege wird in der weiteren Auswertung mit einem Durchschnittskostensatz betrachtet, da diese Tätigkeit generell nur in sehr kurzen Sperrpausen (< 8 Stunden) durchgeführt wird und sich aus einer Verlängerung des Abschnittes einer Gleisneulage für die Lebenszykluskosten keine Vorteile ergeben.

In weiterer Folge werden mit den Kostenauswertungen aus [Veit, Marschnig 2008b], für ein- und mehrgleisige Strecken und für jede Verkehrsbelastung, die einzelnen Radienklassen untersucht. Um die Daten für einen kompletten Normkilometer auswerten zu können, werden die Oberbaukomponenten laut Strategie für die Belastungs- und Radienklasse nach [Veit, Marschnig 2005a] gewählt. Dazu wird immer von einem Unterbau der Klasse „Gut“ ausgegangen.

Es ist anzunehmen, dass in den Radienklassen mit einem Radius von mehr als 1000m kein Unterschied zur Radienklasse  $600 < R < 1000$  gegeben ist, da sich diese nur durch ein präventives Headchecks-Schleifprogramm mit relativ großem zeitlichem Abstand unterscheiden. Diese Annahme wird in Kapitel 4.2.1.5 auch untersucht.

Die roten Werte in den nachfolgenden Kostentabellen [Abbildung 4.1] sind immer die nach [Veit, Marschnig 2008b] ermittelten Kosten, die schwarzen Werte für Längen dazwischen wurden interpoliert.

#### 4.2.1.1 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schienentyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R350HT	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E1	R350HT	Holz

Tabelle 4.7: Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, eingleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.1] enthält die Kosten der Instandhaltungstätigkeiten für eine eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von mehr als 70.000GesBT/Tag. Diese Kosten setzen sich aus den Herstellungskosten inklusive den Betriebserschwerniskosten zusammen.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 831.804	€ 765.507	€ 721.309	€ 666.062	€ 649.264	€ 642.544	€ 632.465	€ 631.451	€ 630.437	€ 629.423	€ 621.315
MDZ		€ 9.559	€ 9.036	€ 8.688	€ 8.253	€ 7.817	€ 7.827	€ 7.841	€ 7.866	€ 7.890	€ 7.856	€ 7.760
Schleifen		€ 10.051	€ 9.412	€ 8.986	€ 8.453	€ 8.426	€ 8.416	€ 8.400	€ 8.373	€ 8.347	€ 8.320	€ 8.246
Schienenwechsel		€ 215.173	€ 206.019	€ 199.917	€ 195.640	€ 191.363	€ 189.652	€ 187.085	€ 182.808	€ 182.808	€ 182.808	€ 182.808
Zwischenlagenwechsel	€ 45.623	€ 38.505	€ 36.132	€ 35.804	€ 35.393	€ 34.982	€ 34.818	€ 34.710	€ 34.531	€ 34.352	€ 34.173	€ 33.671
Mängelbehebung	€ 1.038	€ 839	€ 773	€ 790	€ 811	€ 833	€ 841	€ 842	€ 843	€ 843	€ 844	€ 847

Abbildung 4.1: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, eingleisig

Für die Stoßpflege kommt hier ein Wert von €23.588 zum Ansatz. Diese Kostensätze werden nun in die Zyklen der Normkilometer [Abbildung 4.2], [Abbildung 4.4], [Abbildung 4.6], [Abbildung 4.8] für die einzelnen Radienklassen eingesetzt. Die gesamten Zyklen sind in Kapitel 6 (Anhang) angeführt. Aus jedem Normkilometerzyklus ergeben sich für verschiedene Ausführungslängen wieder unterschiedliche Durchschnittsjahreskosten [Abbildung 4.3], [Abbildung 4.5], [Abbildung 4.7], [Abbildung 4.9].

Tauern 1		600<R<1000		eingleisig																																		
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
> 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																		
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																			
Stopfen	Anzahl in ND	7,2	1																																			
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	5,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 4.2: Normkilometerzyklus in der Radienklasse 600<R<1000

Länge	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Jahreskosten	€ 28.706	€ 26.601	€ 25.242	€ 23.543	€ 23.011	€ 22.822	€ 22.539	€ 22.506	€ 22.473	€ 22.439	€ 22.192

Abbildung 4.3: Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 600<R<1000

Tauern 1		400<R<600		eingleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
> 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																			
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	29,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28								
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																				
Stopfen	Anzahl in ND	4,1	1																																				
Schleifen	Anzahl in ND	5,0																																					
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,6																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Mängelbehebung	Anzahl in ND	29,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	

Abbildung 4.4: Normkilometerzyklus in der Radienklasse 400<R<600

Länge	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Jahreskosten	€ 37.971	€ 35.265	€ 33.506	€ 31.341	€ 30.607	€ 30.356	€ 29.978	€ 29.893	€ 29.853	€ 29.812	€ 29.504

Abbildung 4.5: Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 400<R<600

Tauern 1		250<R<400		zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
> 70.000	60E1	350 HT	gut	Beton besohlt																																			
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	26,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25											
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																				
Stopfen	Anzahl in ND	1,9	1																																				
Schleifen	Anzahl in ND	18,0																																					
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	11,0																																					
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	

Abbildung 4.6: Normkilometerzyklus in der Radienklasse 250<R<400

Länge	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Jahreskosten	€ 71.551	€ 66.855	€ 64.299	€ 61.233	€ 59.995	€ 59.594	€ 59.051	€ 58.754	€ 58.620	€ 58.487	€ 57.881

Abbildung 4.7: Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 250<R<400

Tauern 1		R<250		eingleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
> 70.000	60E1	350 HT	gut	Holz																																			
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	18,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																			
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																				
Stopfen	Anzahl in ND	8,0																																					
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																					
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	18,0																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	18,0																																					
Mängelbehebung	Anzahl in ND	18,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5		

Abbildung 4.8: Normkilometerzyklus in der Radienklasse R<250

Länge	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Jahreskosten	€ 122.866	€ 116.784	€ 112.774	€ 108.320	€ 106.226	€ 105.563	€ 104.568	€ 103.787	€ 103.719	€ 103.651	€ 103.111

Abbildung 4.9: Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse  $R < 250$

Aus diesen Auswertungen ergibt sich dann gesammelt nachfolgende Kostentabelle [Abbildung 4.10] für die unterschiedlichen Radienklassen. Für nachfolgende Auswertungen wird nur mehr diese Zusammenfassung angegeben.

Typ	Abschnittslänge											
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280	
600 < R < 1000	€ 28.706	€ 26.601	€ 25.242	€ 23.543	€ 23.011	€ 22.822	€ 22.539	€ 22.506	€ 22.473	€ 22.439	€ 22.192	
400 < R < 600	€ 37.971	€ 35.265	€ 33.506	€ 31.341	€ 30.607	€ 30.356	€ 29.978	€ 29.893	€ 29.853	€ 29.812	€ 29.504	
400 < R < 250	€ 71.551	€ 66.855	€ 64.299	€ 61.233	€ 59.995	€ 59.594	€ 59.051	€ 58.754	€ 58.620	€ 58.487	€ 57.881	
R < 250	€ 122.866	€ 116.784	€ 112.774	€ 108.320	€ 106.226	€ 105.563	€ 104.568	€ 103.787	€ 103.719	€ 103.651	€ 103.111	

Abbildung 4.10: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von  $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.11] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.12] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

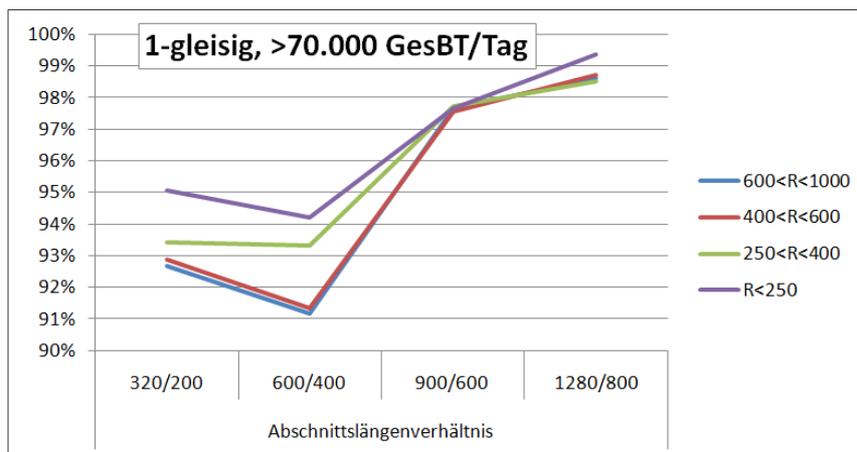


Abbildung 4.11: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von  $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig

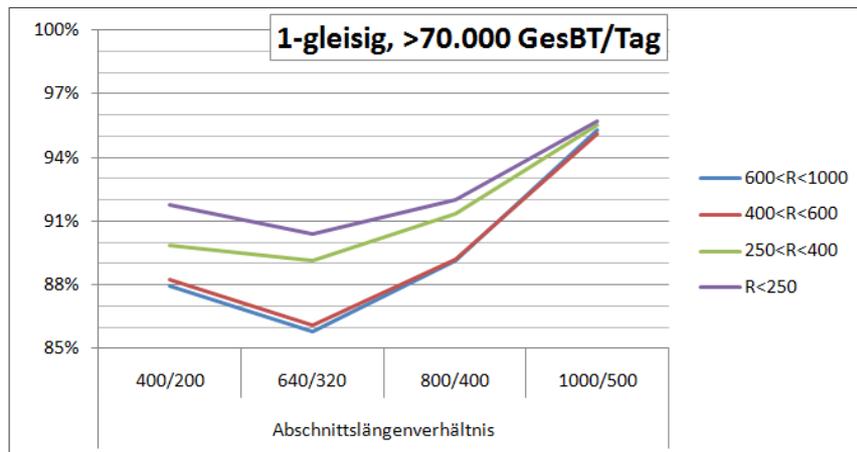


Abbildung 4.12: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, eingleisig

Die Kostenreduktion bei einer Erhöhung der Abschnittslänge um 50% bzw. 100% ergibt in den Radienklassen  $600 < R < 1000$  und  $400 < R < 600$  fast idente Werte, da die Kosten dieser Zyklen hauptsächlich durch die Neulage getrieben werden. Ein Unterschied ergibt sich erst bei kleineren Radienklassen, wobei die prozentuale Kostenreduktion in der Radienklasse  $R < 250$  zwar die geringste ist, der Absolutwert allerdings der größte, da in diesem Fall die durchschnittlichen Jahreskosten ca. 4-mal so hoch sind wie in der Radienklasse  $600 < R < 1000$ .

Das Einsparungspotential bei einer Abschnittslängenverdoppelung ist bei einer Ausgangslänge von 320m etwas größer als bei einer Ausgangslänge von 200m. Dies ergibt sich aus den noch immer relativ hohen Kosten bei einer Abschnittslänge von 400m, die im Vergleich zu den Kosten bei einer Abschnittslänge von 640m (entsprechen der Verdoppelung von 320m) um einiges höher sind. Es ergibt sich somit für die Ausgangslänge 320m ein höheres Einsparungspotential. Bei den Grundlängen ab 400m sind die Kosten wieder niedriger bzw. sinken für größere Längen nicht mehr so stark. Somit sinkt auch das sich ergebende Einsparungspotential.

Wie zu erwarten ergibt sich bei einer Abschnittslängenerhöhung um 100% eine größere Einsparung als bei einer Erhöhung um 50%.

#### 4.2.1.2 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schientyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R350HT	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E1	R350HT	Holz

Tabelle 4.8: Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, eingleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.13] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 759.454	€ 704.559	€ 667.962	€ 622.216	€ 608.294	€ 602.725	€ 594.371	€ 592.910	€ 591.448	€ 589.987	€ 583.719
MDZ		€ 9.559	€ 9.036	€ 8.688	€ 8.253	€ 7.817	€ 7.827	€ 7.841	€ 7.866	€ 7.890	€ 7.856	€ 7.760
Schleifen		€ 10.091	€ 9.474	€ 9.062	€ 8.548	€ 8.526	€ 8.518	€ 8.505	€ 8.483	€ 8.462	€ 8.440	€ 8.380
Schienenwechsel		€ 218.493	€ 209.900	€ 204.172	€ 200.079	€ 195.985	€ 194.348	€ 191.892	€ 187.798	€ 187.798	€ 187.798	€ 187.798
Zwischenlagenwechsel	€ 44.673	€ 39.669	€ 38.001	€ 37.465	€ 36.794	€ 36.123	€ 35.855	€ 35.943	€ 36.089	€ 36.235	€ 36.381	€ 36.790
Mängelbehebung	€ 982	€ 907	€ 882	€ 887	€ 893	€ 900	€ 902	€ 914	€ 934	€ 954	€ 974	€ 1.030

Abbildung 4.13: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, eingleisig

Für die Stoßpflege kommt hier ein Wert von €24.555 zum Ansatz. Die Normkilometerzyklen für die Auswertung sind im Anhang dargestellt. Mit diesen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.14].

Radienklasse	Abschnittslänge										
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
600<R<1000	€ 22.824	€ 21.344	€ 20.373	€ 19.161	€ 18.765	€ 18.631	€ 18.431	€ 18.393	€ 18.356	€ 18.318	€ 18.154
400<R<600	€ 26.630	€ 24.895	€ 23.754	€ 22.328	€ 21.854	€ 21.694	€ 21.454	€ 21.411	€ 21.367	€ 21.323	€ 21.129
400<R<250	€ 57.539	€ 54.367	€ 52.510	€ 50.288	€ 49.331	€ 48.982	€ 48.627	€ 48.437	€ 48.380	€ 48.322	€ 48.080
R<250	€ 99.872	€ 95.703	€ 92.941	€ 89.888	€ 88.454	€ 87.995	€ 87.305	€ 86.697	€ 86.623	€ 86.549	€ 86.211

Abbildung 4.14: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, eingleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.15] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.16] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

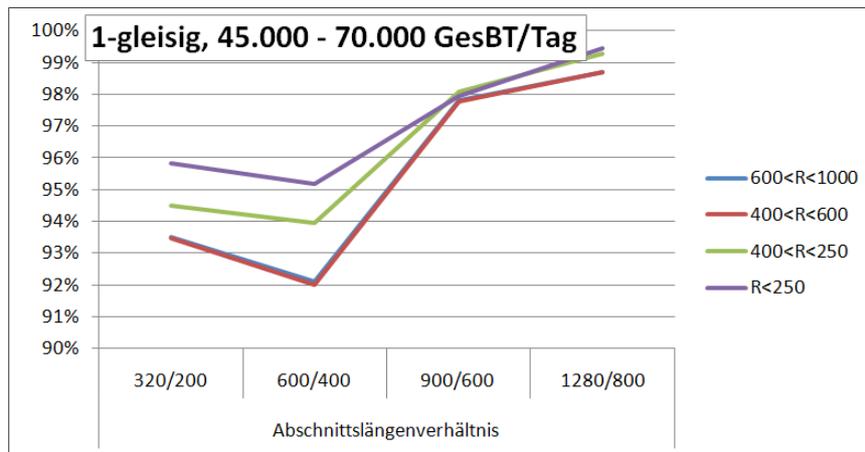


Abbildung 4.15: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, eingleisig

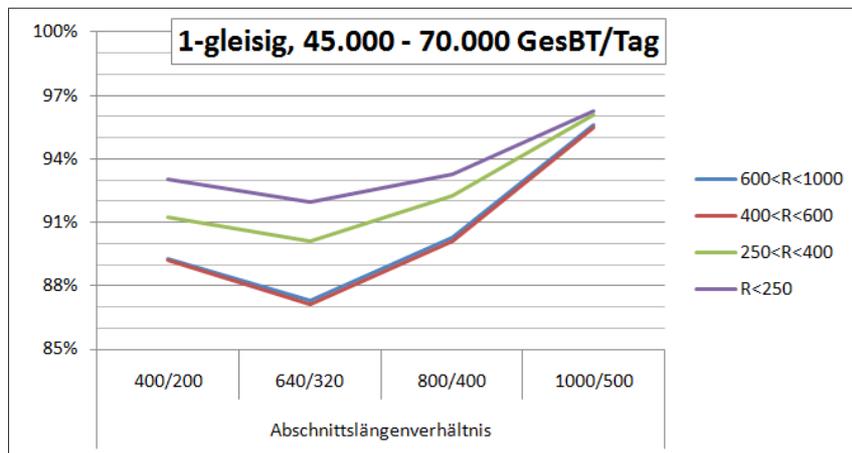


Abbildung 4.16: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, eingleisig

Die Einsparungen sind in dieser Belastungsklasse etwas geringer als zuvor, wobei sich wieder in den Radienklassen 600<R<1000 und 400<R<600 praktisch das gleiche prozentuale Einsparungspotential ergibt.

#### 4.2.1.3 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schientyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R260	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E1	R350HT	Holz

Tabelle 4.9: Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, eingleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.17] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 739.874	€ 689.066	€ 655.194	€ 612.854	€ 599.921	€ 594.748	€ 586.988	€ 584.476	€ 581.964	€ 579.452	€ 574.963
MDZ		€ 8.919	€ 8.628	€ 8.434	€ 8.192	€ 7.949	€ 7.963	€ 7.983	€ 8.017	€ 8.051	€ 8.036	€ 7.994
Schleifen		€ 10.486	€ 9.969	€ 9.624	€ 9.193	€ 9.205	€ 9.210	€ 9.217	€ 9.229	€ 9.241	€ 9.253	€ 9.287
Schienenwechsel		€ 246.623	€ 229.405	€ 217.927	€ 211.527	€ 205.127	€ 202.566	€ 198.726	€ 192.326	€ 192.326	€ 192.326	€ 192.326
Zwischenlagenwechsel	€ 46.486	€ 43.324	€ 42.270	€ 42.864	€ 43.607	€ 44.349	€ 44.646	€ 44.175	€ 43.390	€ 42.604	€ 41.819	€ 39.620
Mängelbehebung	€ 1.088	€ 1.122	€ 1.133	€ 1.204	€ 1.293	€ 1.382	€ 1.418	€ 1.397	€ 1.363	€ 1.328	€ 1.293	€ 1.196

Abbildung 4.17: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, eingleisig

Für die Stoßpflege kommt hier ein Wert von €21.504 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.18].

Radienklasse	Abschnittslänge											
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280	
600<R<1000	€ 18.867	€ 17.755	€ 17.014	€ 16.087	€ 15.809	€ 15.706	€ 15.551	€ 15.500	€ 15.450	€ 15.400	€ 15.310	
400<R<600	€ 20.964	€ 19.731	€ 18.909	€ 17.882	€ 17.559	€ 17.438	€ 17.258	€ 17.199	€ 17.141	€ 17.083	€ 16.978	
400<R<250	€ 41.859	€ 39.569	€ 38.166	€ 36.646	€ 36.042	€ 35.814	€ 35.473	€ 35.211	€ 35.137	€ 34.984	€ 34.463	
R<250	€ 79.685	€ 76.035	€ 73.602	€ 71.195	€ 70.069	€ 69.657	€ 69.040	€ 68.427	€ 68.327	€ 68.226	€ 68.047	

Abbildung 4.18: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, eingleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.19] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.20] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

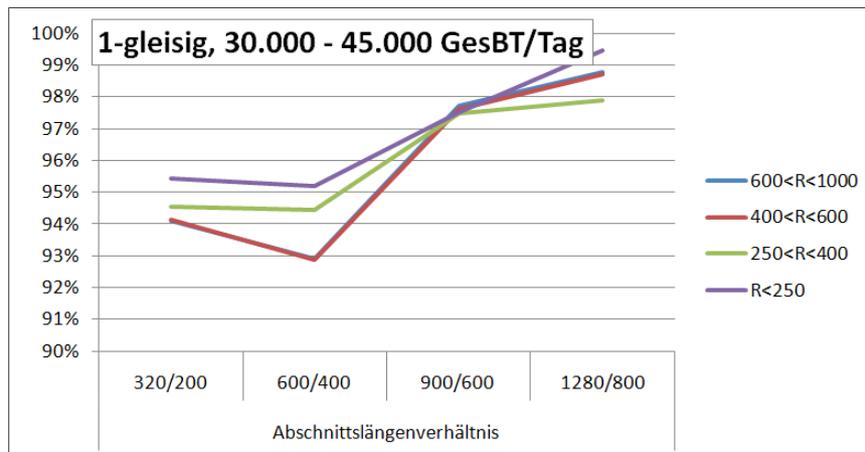


Abbildung 4.19: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, eingleisig

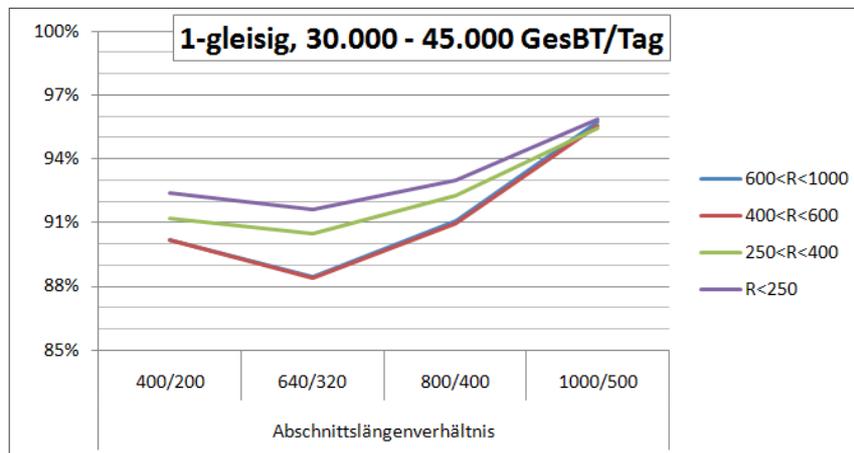


Abbildung 4.20: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, eingleisig

Auch hier sind die Einsparungen in den Radienklassen 600<R<1000 und 400<R<600 prozentual gleich. Gegenüber der Belastungsklasse vorher ist das Einsparungspotential aufgrund der etwas niedrigeren Betriebserschwerungskosten auch etwas geringer, zusätzlich nimmt die Spreizung der einzelnen Radienklassen auch ab.

#### 4.2.1.4 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schienenotyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R260	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R260	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	54E2	R350HT	Holz

Tabelle 4.10: Oberbaukomponenten nach Strategie bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, eingleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.21] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 673.144	€ 634.303	€ 608.409	€ 576.042	€ 566.068	€ 562.078	€ 556.094	€ 553.845	€ 551.595	€ 549.346	€ 545.549
MDZ		€ 8.839	€ 8.469	€ 8.223	€ 7.915	€ 7.607	€ 7.580	€ 7.538	€ 7.470	€ 7.401	€ 7.387	€ 7.348
Schleifen		€ 9.461	€ 8.685	€ 8.168	€ 7.522	€ 7.502	€ 7.494	€ 7.483	€ 7.463	€ 7.443	€ 7.424	€ 7.369
Schienenwechsel		€ 199.743	€ 195.089	€ 191.987	€ 188.506	€ 185.024	€ 183.631	€ 181.543	€ 178.061	€ 178.061	€ 178.061	€ 178.061
Zwischenlagenwechsel	€ 39.173	€ 35.196	€ 33.870	€ 32.902	€ 31.691	€ 30.480	€ 29.996	€ 30.062	€ 30.173	€ 30.284	€ 30.394	€ 30.704
Mängelbehebung	€ 659	€ 645	€ 640	€ 620	€ 594	€ 569	€ 559	€ 570	€ 588	€ 605	€ 623	€ 673

Abbildung 4.21: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, eingleisig

Für die Stoßpflege kommen Kosten von €15.803 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.22].

Radienklasse	Abschnittslänge											
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280	
600<R<1000	€ 16.573	€ 15.676	€ 15.062	€ 14.293	€ 14.047	€ 13.955	€ 13.831	€ 13.780	€ 13.728	€ 13.680	€ 13.595	
400<R<600	€ 17.411	€ 16.497	€ 15.870	€ 15.088	€ 14.822	€ 14.722	€ 14.587	€ 14.526	€ 14.472	€ 14.423	€ 14.336	
400<R<250	€ 28.037	€ 26.694	€ 25.775	€ 24.631	€ 24.144	€ 23.960	€ 23.759	€ 23.640	€ 23.569	€ 23.503	€ 23.391	
R<250	€ 49.590	€ 47.872	€ 46.709	€ 45.264	€ 44.707	€ 44.519	€ 44.251	€ 44.081	€ 43.974	€ 43.886	€ 43.728	

Abbildung 4.22: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, eingleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.23] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.24] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

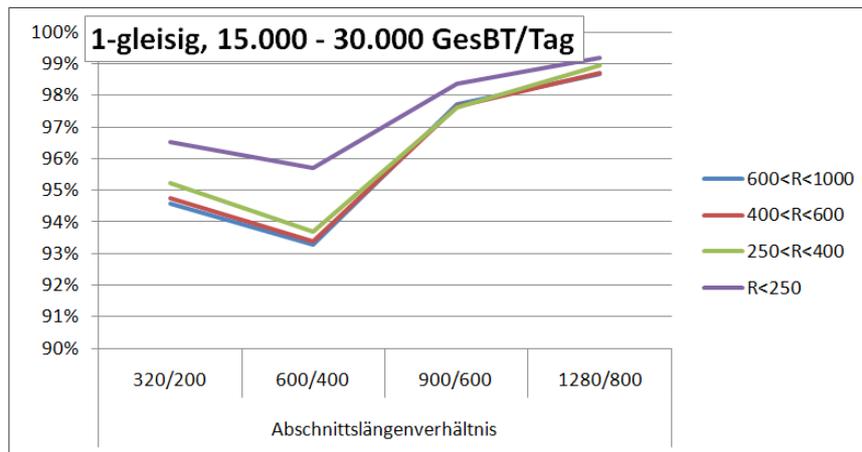


Abbildung 4.23: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, eingleisig

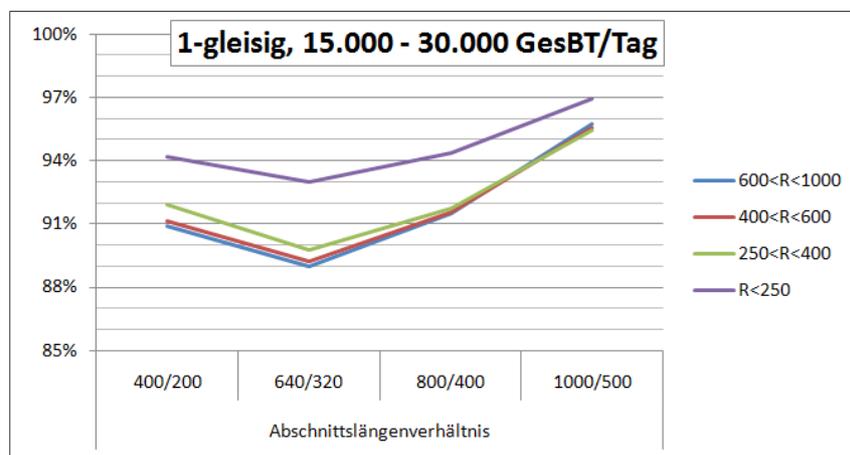


Abbildung 4.24: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, eingleisig

In der geringsten eingleisigen Belastungsklasse ist neben den fast identen Radienklassen 600<R<1000 und 400<R<600 auch nur mehr eine geringe Abweichung zur Radienklasse 250<R<400 erkennbar. In der Radienklasse R<250 bleibt das prozentuale Einsparungspotential weiterhin am geringsten.

#### 4.2.1.5 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Bei dieser Verkehrsbelastung werden als Normkilometertyp auch die Radienklassen 1000>R>3000 und R>3000 mit untersucht, um den Kostenverlauf bei größeren Abschnittslängen auch in den Radienklassen von über 1000m Radius zu erfassen. Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schienentyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
R>3000	60E1	R260	Beton besohlt
1000<R<3000	60E1	R350HT	Beton besohlt
600<R<1000	60E1	R350HT	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E2	R350HT	Holz

Tabelle 4.11: Oberbaukomponenten nach Strategie bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.21] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 787.765	€ 728.915	€ 689.681	€ 640.639	€ 625.007	€ 618.754	€ 609.375	€ 607.015	€ 604.654	€ 602.294	€ 597.041
MDZ		€ 9.722	€ 9.158	€ 8.782	€ 8.311	€ 7.841	€ 7.836	€ 7.828	€ 7.816	€ 7.803	€ 7.781	€ 7.719
Schleifen		€ 10.350	€ 9.617	€ 9.128	€ 8.517	€ 8.548	€ 8.561	€ 8.580	€ 8.611	€ 8.643	€ 8.674	€ 8.762
Schienenwechsel		€ 241.219	€ 223.601	€ 211.856	€ 205.632	€ 199.408	€ 196.918	€ 193.183	€ 186.959	€ 186.959	€ 186.959	€ 186.959
Zwischenlagenwechsel	€ 44.998	€ 40.479	€ 38.973	€ 40.086	€ 41.477	€ 42.868	€ 43.424	€ 42.775	€ 41.693	€ 40.611	€ 39.529	€ 36.499
Mängelbehebung	€ 837	€ 832	€ 830	€ 939	€ 1.074	€ 1.210	€ 1.264	€ 1.234	€ 1.184	€ 1.134	€ 1.085	€ 945

Abbildung 4.25: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von > 70.000GesBT/Tag, zweigleisig

Für die Stoßpflege kommen Kosten von €23.588 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.26].

Radienklasse	Abschnittslänge										
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
R>3000	€ 25.751	€ 23.995	€ 22.826	€ 21.364	€ 20.865	€ 20.690	€ 20.429	€ 20.361	€ 20.294	€ 20.225	€ 20.071
1000<R<3000	€ 26.693	€ 24.897	€ 23.701	€ 22.205	€ 21.706	€ 21.531	€ 21.270	€ 21.202	€ 21.135	€ 21.066	€ 20.912
600<R<1000	€ 27.556	€ 25.698	€ 24.461	€ 22.915	€ 22.415	€ 22.241	€ 21.979	€ 21.912	€ 21.845	€ 21.776	€ 21.622
400<R<600	€ 36.815	€ 34.314	€ 32.648	€ 30.652	€ 29.935	€ 29.693	€ 29.329	€ 29.180	€ 29.096	€ 29.009	€ 28.813
250<R<400	€ 73.539	€ 69.089	€ 66.588	€ 63.786	€ 62.692	€ 62.353	€ 61.844	€ 61.507	€ 61.410	€ 61.307	€ 59.930
R<250	€ 125.049	€ 117.951	€ 113.221	€ 108.717	€ 106.341	€ 105.573	€ 104.422	€ 103.241	€ 103.097	€ 102.944	€ 102.591

Abbildung 4.26: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von > 70.000GesBT/Tag, zweigleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.27] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.28] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

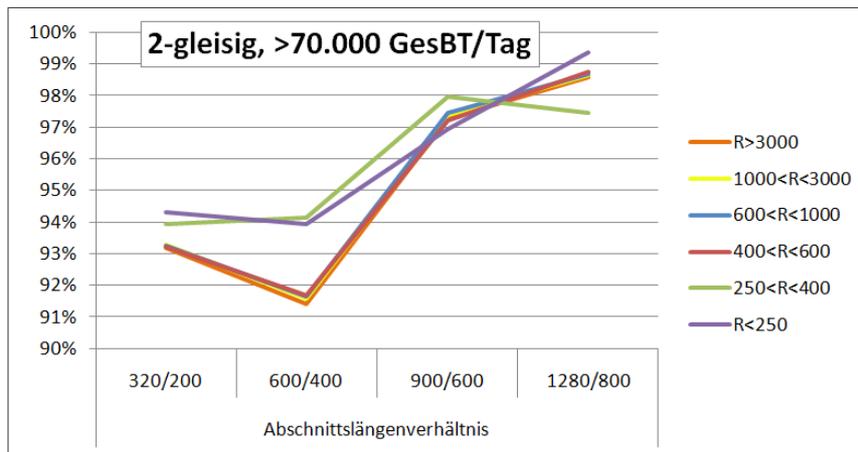


Abbildung 4.27: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig

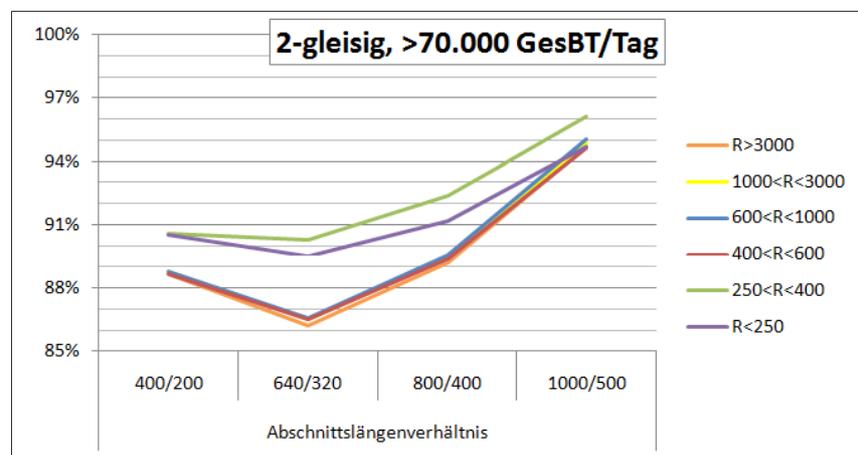


Abbildung 4.28: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig

Wie bereits angenommen und in Abbildung 4.27 und Abbildung 4.28 ersichtlich, gibt es in den Radienklassen „1000<R<3000“ und „R>3000“ nur minimale Abweichungen gegenüber der Radienklasse „600<R<1000“. Dadurch werden diese Radienklassen bei den anderen untersuchten Verkehrsbelastungen nicht mehr extra berücksichtigt, da sich auch bei diesen praktisch keine Abweichung zur Radienklasse „600<R<1000“ ergeben würde.

Auch bei den zweigleisigen Strecken ist der Unterschied in den Radienklassen 400<R<600 und 600<R<1000 so gut wie nicht gegeben. Erstmals ergibt sich jedoch in der Radienklasse 250<R<400 nur ein geringerer prozentualer Einsparungseffekt als in der Radienklasse R<250.

#### 4.2.1.6 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schientyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R350HT	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E2	R350HT	Holz

Tabelle 4.12: Oberbaukomponenten nach Strategie bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, zweigleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.29] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 708.240	€ 662.635	€ 632.231	€ 594.227	€ 582.598	€ 577.946	€ 570.968	€ 566.511	€ 562.054	€ 557.597	€ 554.722
MDZ		€ 8.897	€ 8.521	€ 8.270	€ 7.957	€ 7.643	€ 7.638	€ 7.630	€ 7.616	€ 7.603	€ 7.574	€ 7.492
Schleifen		€ 9.755	€ 9.018	€ 8.526	€ 7.912	€ 7.895	€ 7.888	€ 7.878	€ 7.862	€ 7.845	€ 7.828	€ 7.781
Schienenwechsel		€ 205.469	€ 202.116	€ 199.881	€ 195.246	€ 190.611	€ 188.757	€ 185.976	€ 181.341	€ 181.341	€ 181.341	€ 181.341
Zwischenlagenwechsel	€ 42.748	€ 37.335	€ 35.530	€ 34.711	€ 33.686	€ 32.662	€ 32.252	€ 32.321	€ 32.436	€ 32.551	€ 32.666	€ 32.988
Mängelbehebung	€ 705	€ 647	€ 628	€ 623	€ 617	€ 611	€ 609	€ 621	€ 642	€ 662	€ 682	€ 739

Abbildung 4.29: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, zweigleisig

Für die Stoßpflege kommen Kosten von €14.670 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.30].

Radienklasse	Abschnittslänge											
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280	
600<R<1000	€ 21.187	€ 19.941	€ 19.118	€ 18.090	€ 17.760	€ 17.646	€ 17.477	€ 17.367	€ 17.257	€ 17.145	€ 17.059	
400<R<600	€ 24.765	€ 23.315	€ 22.357	€ 21.158	€ 20.765	€ 20.628	€ 20.427	€ 20.296	€ 20.165	€ 20.031	€ 19.931	
250<R<400	€ 53.938	€ 51.153	€ 49.465	€ 47.296	€ 46.267	€ 45.879	€ 45.558	€ 45.254	€ 45.099	€ 44.942	€ 44.810	
R<250	€ 85.209	€ 82.172	€ 80.155	€ 77.394	€ 76.065	€ 75.612	€ 74.936	€ 74.121	€ 73.910	€ 73.690	€ 73.489	

Abbildung 4.30: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000 GesBT/Tag, zweigleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.31] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.32] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

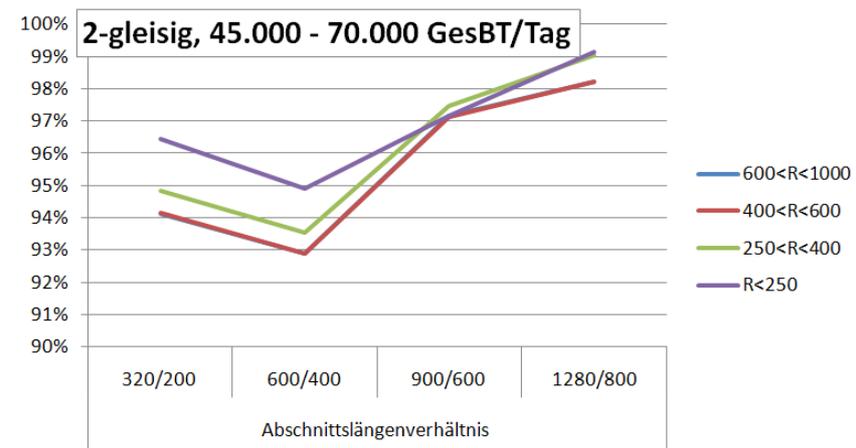


Abbildung 4.31: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig

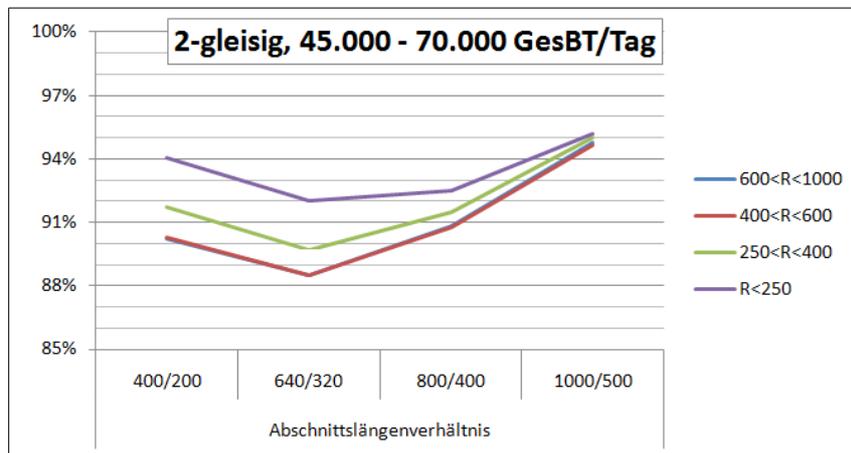


Abbildung 4.32: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig

In dieser Belastungsklasse ist das geringste Einsparungspotential wieder in der Radienklasse  $R < 250$  gegeben und die beiden größten Radienklasse sind wieder identisch.

#### 4.2.1.7 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schientyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R260	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R350HT	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	60E2	R350HT	Holz

Tabelle 4.13: Oberbaukomponenten nach Strategie bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.33] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 706.240	€ 657.480	€ 624.973	€ 584.339	€ 572.057	€ 567.144	€ 559.774	€ 556.312	€ 552.851	€ 549.389	€ 549.021
MDZ		€ 8.357	€ 8.128	€ 7.975	€ 7.784	€ 7.593	€ 7.567	€ 7.528	€ 7.463	€ 7.398	€ 7.373	€ 7.302
Schleifen		€ 9.605	€ 8.735	€ 8.154	€ 7.429	€ 7.402	€ 7.391	€ 7.374	€ 7.347	€ 7.320	€ 7.292	€ 7.216
Schienenwechsel		€ 192.979	€ 189.926	€ 187.891	€ 185.600	€ 183.309	€ 182.392	€ 181.017	€ 178.726	€ 178.726	€ 178.726	€ 178.726
Zwischenlagenwechsel	€ 40.448	€ 35.077	€ 33.286	€ 32.052	€ 30.509	€ 28.966	€ 28.349	€ 28.631	€ 29.100	€ 29.569	€ 30.039	€ 31.353
Mängelbehebung	€ 570	€ 515	€ 496	€ 467	€ 431	€ 395	€ 380	€ 405	€ 446	€ 487	€ 528	€ 643

Abbildung 4.33: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig

Für die Stoßpflege kommen Kosten von €13.003 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.34].

Radienklasse	Abschnittslänge										
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
600<R<1000	€ 17.453	€ 16.319	€ 15.546	€ 14.580	€ 14.279	€ 14.163	€ 14.010	€ 13.932	€ 13.854	€ 13.779	€ 13.755
400<R<600	€ 19.455	€ 18.239	€ 17.409	€ 16.373	€ 16.028	€ 15.895	€ 15.719	€ 15.631	€ 15.544	€ 15.459	€ 15.441
250<R<400	€ 37.077	€ 35.082	€ 33.729	€ 32.044	€ 31.276	€ 30.976	€ 30.711	€ 30.529	€ 30.415	€ 30.306	€ 30.276
R<250	€ 64.537	€ 62.024	€ 60.331	€ 58.236	€ 57.442	€ 57.145	€ 56.720	€ 56.366	€ 56.195	€ 56.040	€ 55.979

Abbildung 4.34: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.35] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 4.36] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

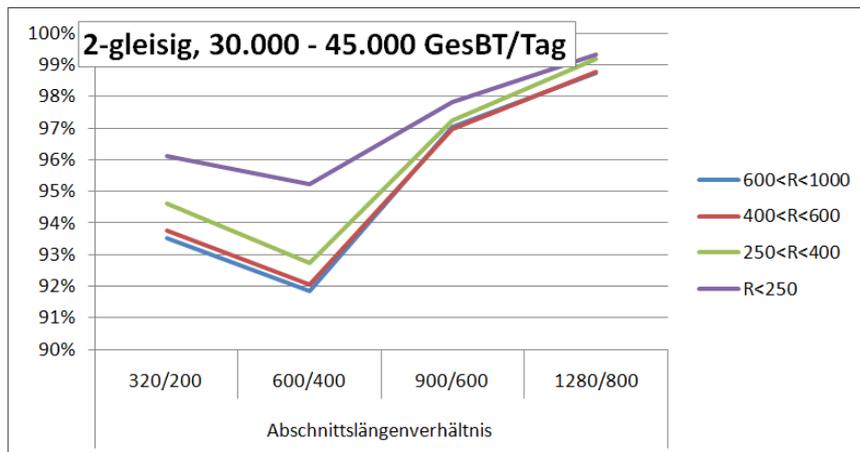


Abbildung 4.35: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig

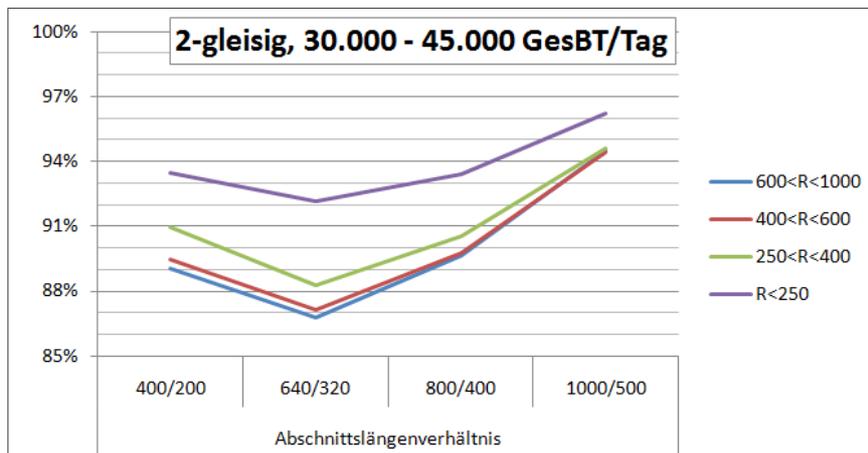


Abbildung 4.36: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig

Interessant in dieser Belastungsklasse ist, dass sich zum Teil ein etwas höheres Einsparungspotential gegenüber der höheren Belastungsklasse zuvor ergibt.

#### 4.2.1.8 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Als Strategie sind in dieser Belastungsklasse folgende Oberbaukomponenten angesetzt:

Radienklasse	Schienentyp	Schienenstahlgüte	Schwellentyp
600<R<1000	60E1	R260	Beton besohlt
400<R<600	60E1	R260	Beton besohlt
250<R<400	60E1	R350HT	Beton besohlt
R<250	54E2	R350HT	Holz

Tabelle 4.14: Oberbaukomponenten nach Strategie bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig

Nachfolgende Tabelle [Abbildung 4.37] enthält die Kosten der Instandhaltungsarbeiten für ein eingleisige Strecke mit einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag.

Abschnittslänge [m]	160	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
Neulage mit SUZ		€ 628.545	€ 596.651	€ 575.388	€ 548.809	€ 540.591	€ 537.303	€ 532.372	€ 530.963	€ 529.555	€ 528.146	€ 525.622
MDZ		€ 8.267	€ 7.965	€ 7.764	€ 7.512	€ 7.260	€ 7.240	€ 7.210	€ 7.159	€ 7.109	€ 7.089	€ 7.033
Schleifen		€ 8.605	€ 7.859	€ 7.362	€ 6.741	€ 6.730	€ 6.725	€ 6.719	€ 6.707	€ 6.696	€ 6.685	€ 6.654
Schienenwechsel		€ 188.099	€ 183.531	€ 180.486	€ 177.719	€ 174.953	€ 173.846	€ 172.186	€ 169.419	€ 169.419	€ 169.419	€ 169.419
Zwischenlagenwechsel	€ 37.198	€ 31.854	€ 30.073	€ 29.261	€ 28.245	€ 27.230	€ 26.824	€ 26.703	€ 26.502	€ 26.301	€ 26.100	€ 25.536
Mängelbehebung	€ 379	€ 326	€ 308	€ 304	€ 298	€ 292	€ 290	€ 291	€ 293	€ 294	€ 296	€ 301

Abbildung 4.37: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig

Für die Stoßpflege kommen Kosten von €10.635 zum Ansatz. Mit den im Anhang dargestellten Normkilometerzyklen ergibt sich folgende Kostentabelle für die unterschiedlichen Radienklassen [Abbildung 4.38].

Radienklasse	Abschnittslänge										
	200	320	400	500	600	640	700	800	900	1000	1280
600<R<1000	€ 15.225	€ 14.462	€ 13.961	€ 13.334	€ 13.147	€ 13.077	€ 12.976	€ 12.944	€ 12.911	€ 12.880	€ 12.823
400<R<600	€ 16.027	€ 15.254	€ 14.746	€ 14.114	€ 13.910	€ 13.834	€ 13.724	€ 13.684	€ 13.650	€ 13.618	€ 13.559
250<R<400	€ 25.928	€ 24.737	€ 23.982	€ 23.053	€ 22.667	€ 22.522	€ 22.348	€ 22.247	€ 22.185	€ 22.127	€ 22.002
R<250	€ 42.129	€ 40.663	€ 39.693	€ 38.499	€ 38.058	€ 37.911	€ 37.693	€ 37.574	€ 37.504	€ 37.445	€ 37.329

Abbildung 4.38: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig

In nachfolgenden Abbildungen ist die Kostenreduktion des jeweiligen Normkilometers, bei einer ca. 50-prozentigen [Abbildung 4.39] bzw. ca. 100-prozentigen [Abbildung 3.20] Erhöhung der Abschnittslänge in jeder Radienklasse zu sehen.

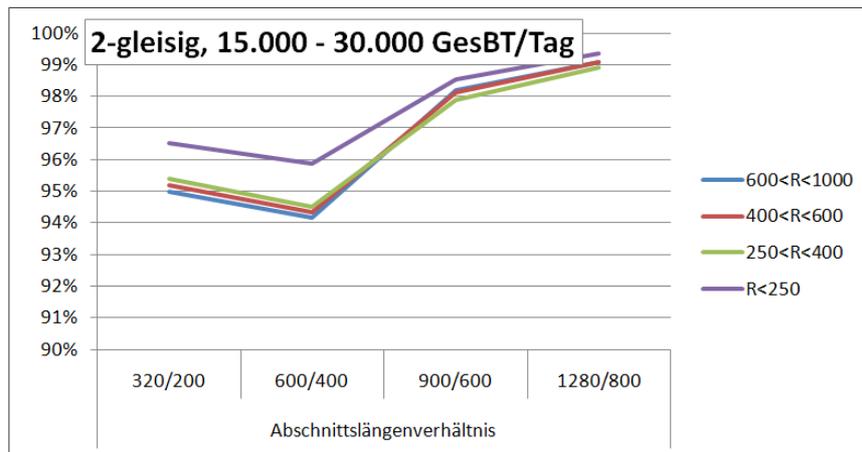


Abbildung 4.39: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, zweigleisig

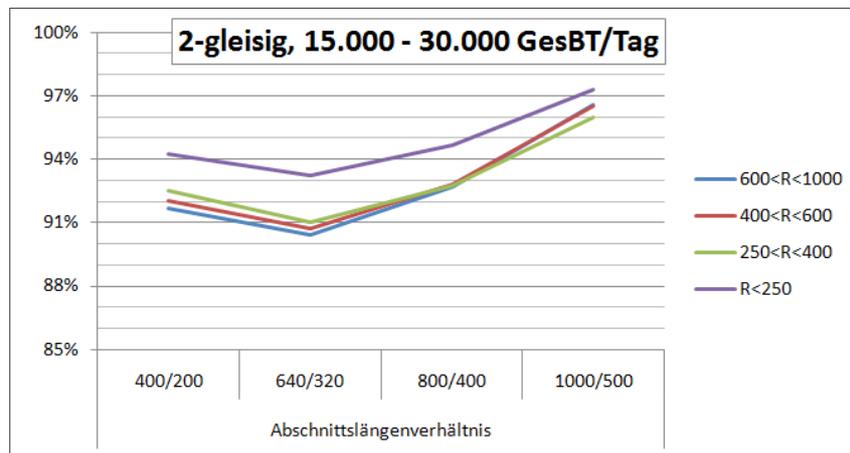


Abbildung 4.40: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000 GesBT/Tag, zweigleisig

Wie schon zuvor bei den eingleisigen Strecken in dieser Belastungsklasse ist wieder, bis auf die Radienklasse  $R < 250$ , nur ein geringer Unterschied bei kurzen Abschnittslängen zu sehen.

#### 4.2.2 Parameteruntersuchung zur Kosteneffizienz der Bauabschnittslängen

Im Rahmen einer Analyse der Kosteneffizienz der Verlängerung der Bauabschnittslängen wurden die Parameter

- Ein- oder zweigleisige Strecken
- Verkehrsbelastung
- Radienklassen

für Verlängerungen der Bauabschnittslänge um 50% bzw. 100% detailliert untersucht. Dabei zeigen sich Einsparungspotentiale bei einer 50-prozentigen Verlängerung der Bauabschnitte von einem bis 8%, bei einer 100-prozentigen Verlängerung der Bauabschnitte von 3 bis 11%.

Durch die Einflüsse der Streckenauslastung (insgesamt, Verteilung Personenverkehr-Güterverkehr, Verteilung Tag-Nacht) und Streckencharakteristika (Überleitstellenabstand, Gleiszahl) sowie der Instandhaltungsintensität und der Nutzungsdauer (Belastungsklasse, Radienklasse) bildet sich keine generelle Kostenfunktion aus [Abbildung 6.83, 6.84, 6.85, 6.86].

#### 4.2.2.1 Abschnittslängenverhältnisse über Belastungsklassen für die einzelnen Radienklassen

In den nachfolgenden Abbildungen werden immer die Grundlänge mit jeweils einmal 50 und einmal 100% Erhöhung der Abschnittslänge, über die verschiedenen Belastungsklassen für die einzelnen Radienklassen aufgetragen. Als Grundlänge sind hier 200m, 400m und 500 bzw. 600m angesetzt. Die Grundlänge von 800m wird hier nicht gezeigt, da dafür nur eine Auswertung mit 50% und nicht mit 100% Abschnittslängenerhöhung existiert.

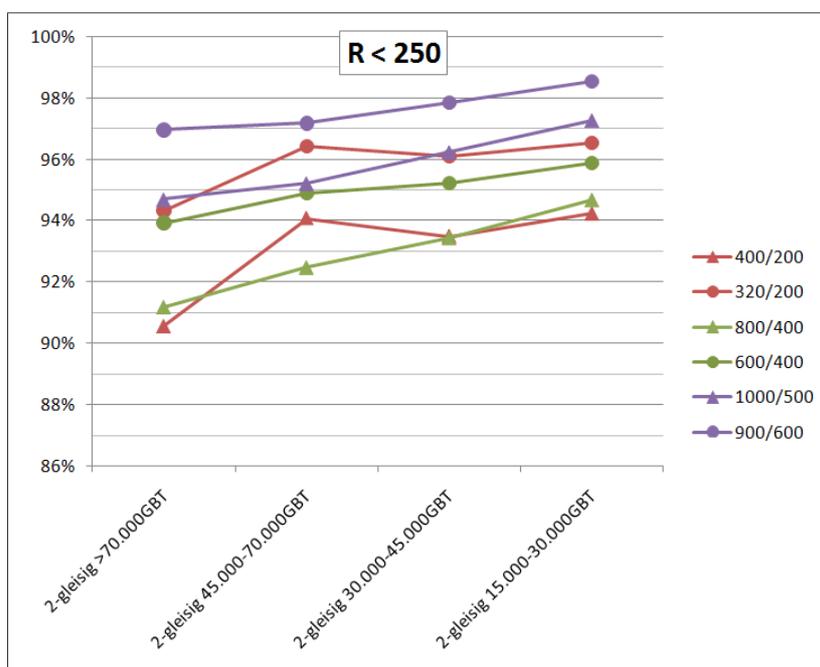


Abbildung 4.41: Kostenverhältnisse in der Radienklasse R<250 bei verschiedenen Grundlängen

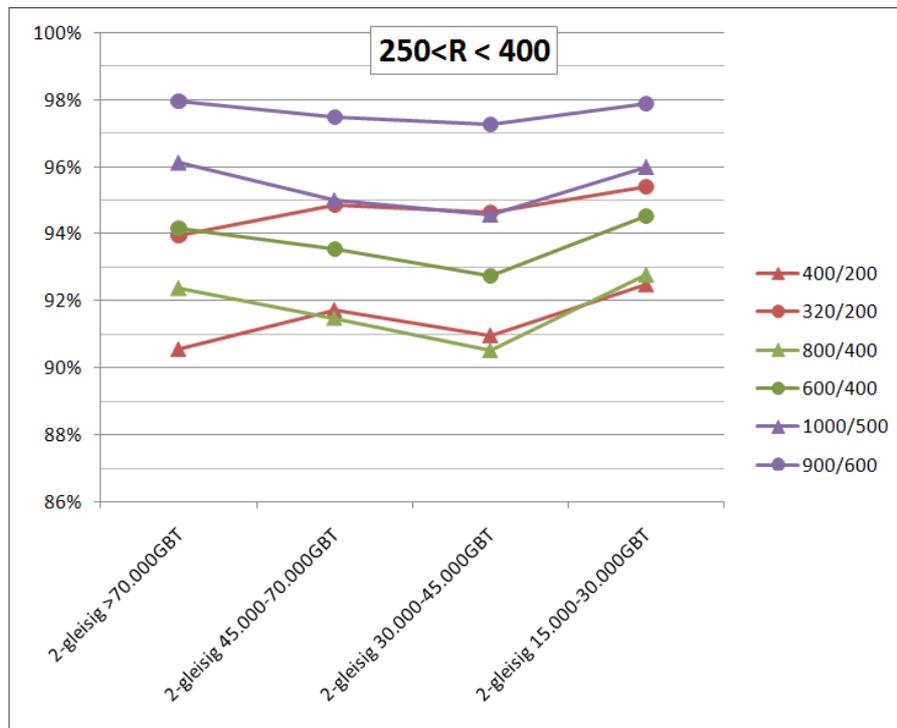


Abbildung 4.42: Kostenverhältnisse in der Radienklasse  $250 < R < 400$  bei verschiedenen Grundlängen

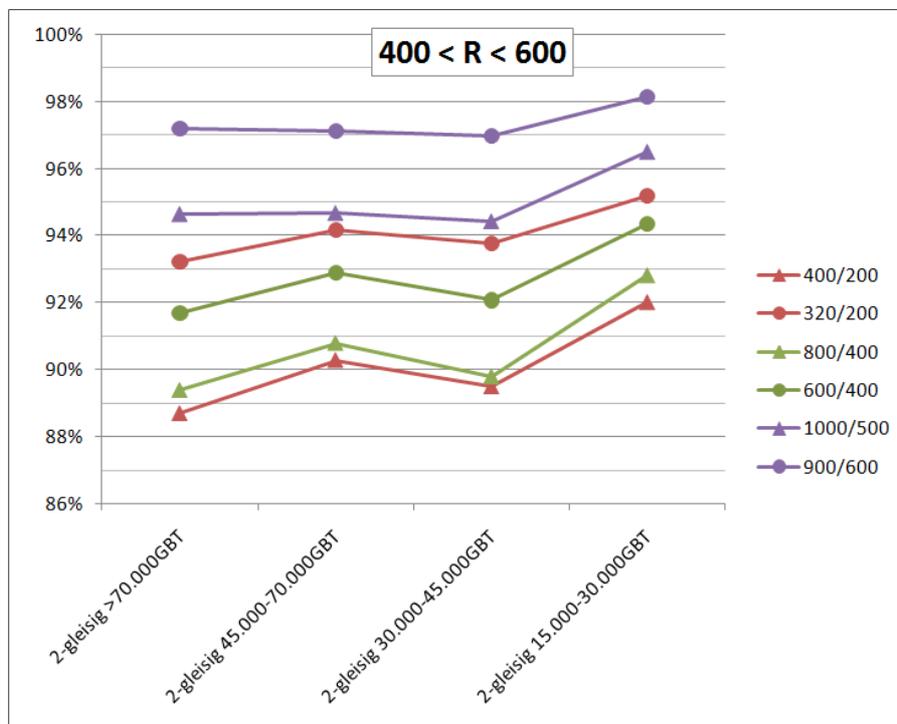


Abbildung 4.43: Kostenverhältnisse in der Radienklasse  $400 < R < 600$  bei verschiedenen Grundlängen

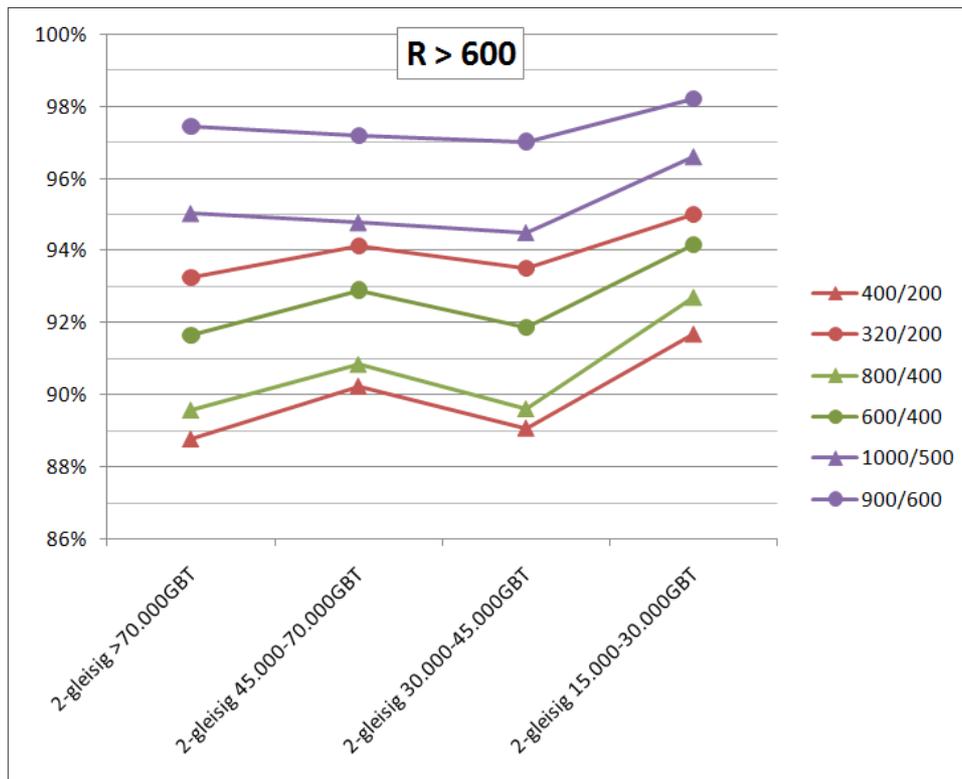


Abbildung 4.44: Kostenverhältnisse in der Radienklasse  $600 < R < 1000$  bei verschiedenen Grundlängen

Eine parameterspezifische Darstellung der Kostenreduktion ist im Anhang [Kapitel 6.7] dargestellt und untermauert die Heterogenität der erzielbaren Einsparungen. Aus diesem Grund wird der Kosteneffekt der Verlängerung der Bauabschnittslänge mit den vorliegenden Kostenkalkulationen abgebildet.

### 4.3 Durchschnittliche Jahreskosten bei Verlängerung bzw. Verkürzung der Nutzungsdauer

In Abbildung 4.45 sind die Auswertungsergebnisse der durchschnittlichen Jahreskosten für verschiedene Nutzungsdauerverlängerungen bzw. -verkürzungen angegeben.

Abbildung 4.46 zeigt beispielhafte Jahreskosten für derzeit nicht strategiekonforme Abschnitte. Dabei wurde ein Oberbau mit einer Schiene 54E2 auf Betonschwelle in der Belastungsklasse 35.000 - 45.000 GesBT/Gleis statt einer Schiene 60E1 auf beschlachten Betonschwellen angesetzt, da dieser im Netz noch häufig anzutreffen ist.

Abbildung 4.47 zeigt beispielhaft die obige Oberbauform (54E2 - Betonschwelle) auf schlechtem Unterbau (Unterbauklasse „U4“).

Radienklasse	Nutzungsdauer N <sub>kt</sub>	Ø Jahreskosten bei ND Verlängerung					Ø Jahreskosten bei ND Verkürzung					
		0	1	2	3	4	5	-1	-2	-3	-4	-5
>70.000 2-gleisig	600<R<1000	21.776	21.435	20.910	20.417	20.359	19.912	22.363	22.984	23.384	24.076	24.813
	400<R<600	29.009	28.347	28.007	27.183	26.909	26.405	30.001	31.066	32.212	33.451	34.114
	250<R<400	61.307	64.597	64.317	62.719	62.531	61.104	63.058	64.954	65.659	67.847	68.757
	R<250	102.944	99.249	95.917	92.909	94.429	91.760	107.081	111.736	108.468	114.303	114.303
45.000-70.000 2-gleisig	600<R<1000	17.167	16.791	16.438	16.275	16.275	15.960	18.437	17.979	18.471	18.678	19.158
	400<R<600	20.031	19.502	18.537	18.457	18.457	18.065	21.823	21.189	21.823	22.498	22.965
	250<R<400	44.689	43.805	42.978	41.750	43.626	42.665	46.148	47.088	47.948	49.690	49.733
	R<250	73.690	71.588	70.285	68.785	70.759	69.358	75.986	78.129	80.878	73.960	76.782
30.000-45.000 2-gleisig	600<R<1000	13.779	13.664	13.414	13.175	13.218	12.995	14.048	14.329	14.622	14.927	15.082
	400<R<600	15.459	15.122	15.122	14.815	14.518	14.234	15.814	16.186	16.576	16.987	17.419
	250<R<400	30.306	29.458	31.549	30.716	29.930	29.186	31.207	32.164	33.184	34.271	34.455
	R<250	56.040	54.409	53.717	52.553	51.724	50.710	57.502	59.095	60.829	63.079	60.718
15.000-30.000 2-gleisig	600<R<1000	12.880	12.637	12.404	12.181	11.967	11.763	13.134	13.260	13.533	13.817	14.115
	400<R<600	13.618	13.492	13.277	12.974	12.863	12.630	13.904	14.204	14.517	14.844	15.187
	250<R<400	22.127	21.542	20.989	20.465	20.966	20.472	22.746	23.403	24.099	24.838	25.625
	R<250	37.445	36.781	36.163	35.587	35.258	34.748	38.421	39.201	40.326	40.971	42.271
>70.000 1-gleisig	600<R<1000	22.439	21.867	21.753	21.235	20.942	20.477	23.047	23.691	24.122	24.839	25.603
	400<R<600	29.812	29.399	28.748	27.898	27.593	27.066	30.836	31.935	33.119	34.397	35.109
	250<R<400	58.487	58.232	62.484	60.939	60.641	59.266	60.135	61.920	64.200	66.332	67.412
	R<250	103.651	100.354	101.546	98.676	96.074	93.705	107.833	112.537	105.126	109.715	115.650
45.000-70.000 1-gleisig	600<R<1000	18.318	17.976	17.595	17.204	17.226	17.071	18.733	19.168	19.626	19.902	20.404
	400<R<600	21.323	20.772	20.465	19.972	19.726	19.482	21.912	22.536	23.198	23.904	24.396
	250<R<400	48.050	48.222	51.234	49.779	49.901	49.026	49.608	51.273	51.474	53.332	53.328
	R<250	86.549	84.353	86.431	84.420	82.876	81.149	88.952	91.181	94.056	86.904	89.860
30.000-45.000 1-gleisig	600<R<1000	15.400	15.313	15.057	14.814	14.584	14.366	15.681	15.974	16.279	16.597	16.753
	400<R<600	17.083	16.735	16.407	16.098	16.002	15.723	17.451	17.836	18.241	18.667	19.116
	250<R<400	34.984	34.298	34.783	33.901	33.281	32.495	37.068	38.211	37.068	39.430	39.292
	R<250	68.236	66.804	65.494	64.284	64.847	63.494	69.774	71.402	73.235	75.620	73.039
15.000-30.000 2-gleisig	600<R<1000	13.680	13.347	13.109	12.883	12.667	12.462	13.942	14.060	14.342	14.635	14.942
	400<R<600	14.423	14.442	14.176	13.914	13.642	13.379	14.718	15.026	15.349	15.686	16.040
	250<R<400	23.503	22.893	22.317	21.774	22.195	21.686	24.151	24.837	25.564	26.337	27.159
	R<250	43.886	42.949	42.324	41.743	41.434	40.922	44.895	45.697	46.859	47.501	48.843

Abbildung 4.45: Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Belastungs- und Radienklasse (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle)

Radienklasse	Nutzungsdauer N <sub>Kit</sub>	Ø Jahreskosten bei ND Verlängerung					Ø Jahreskosten bei ND Verkürzung					
		0	1	2	3	4	5	-1	-2	-3	-4	-5
600<R<1000	32	24.669	24.750	24.102	24.009	23.434	23.381	25.392	26.164	26.989	27.235	28.160
400<R<600	31	28.062	27.858	27.138	26.997	26.877	26.777	28.884	29.149	28.884	31.058	31.436
250<R<400	26	53.155	52.309	55.359	54.292	53.553	52.885	55.083	56.136	56.894	59.255	53.362
R<250	22	82.854	81.259	79.539	84.682	83.306	82.073	85.822	84.188	87.538	89.878	93.957

Abbildung 4.46: Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Radienklassen, Oberbaukomponenten nicht nach Strategie (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle)

Radienklasse	Nutzungsdauer N <sub>Kit</sub>	Ø Jahreskosten bei ND Verlängerung					Ø Jahreskosten bei ND Verkürzung					
		0	1	2	3	4	5	-1	-2	-3	-4	-5
600<R<1000	32	29.351	29.290	29.034	28.800	28.587	28.395	30.225	30.563	31.539	31.948	33.048
400<R<600	31	33.697	33.537	33.185	33.073	32.779	32.515	34.707	35.172	35.670	36.867	34.707
250<R<400	26	61.077	59.678	61.509	60.473	59.528	58.667	63.042	64.426	64.768	63.042	61.652
R<250	22	106.377	104.325	103.591	108.292	106.508	104.898	108.661	107.520	110.104	113.366	116.599

Abbildung 4.47: Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Radienklassen, Oberbaukomponenten nicht nach Strategie, Unterbauklasse "U4" (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle)

## 4.4 Ergebnisse der Bewertung von zwei Gleisabschnitten

### 4.4.1 Berechnung zweier Abschnitte

Die Gesamtkosten für die Re-Investition von zwei Abschnitten werden nach folgendem Prinzip errechnet:

$$\sum \text{Gesamtkosten} = \sum \text{Kosten Abschnitt 1} + \sum \text{Kosten Abschnitt 2}$$

Diese Gesamtkosten des Durchrechnungszeitraums (Nutzungsdauer des derzeitigen Normkilometers plus Nutzungsdauer des zukünftigen Normkilometers nach Strategie plus die Differenz der Re-Investitionsjahre, die die beiden Abschnitte auseinanderliegen [Abbildung 3.21]), werden einmal für eine getrennte Neulage von Abschnitt 1 und Abschnitt 2 und einmal für eine gemeinsame Re-Investition (geringere Kosten der längeren Neulage) berechnet.

Aus der Formel 4 (durchschnittliche jährliche Kosten) in Kapitel 3.5.3

$$JK_{Ist} = \frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} IH_i + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} LA \right)}{ND_{NKIst}} \quad (\text{Formel 6})$$

werden die durchschnittlichen Jahreskosten (Formel 6) für jeden Normkilometerzyklus und für jeden Abschnittes errechnet. Da die durchschnittlichen Jahreskosten immer auf einen Kilometer bezogen angegeben werden, multipliziert man diese für den jeweiligen Abschnitt mit dem Faktor  $l/1000$ .

#### Gesamtkosten bei getrennter Re-Investition Abschnitt 1:

$$\frac{l_1}{1000} \times [JK_{NKIst} \times ND_{NKIst} + JK_{NKneu1} \times (ND_{NKneu} + (x + y))] \quad (\text{Formel 7})$$

#### Gesamtkosten bei getrennter Re-Investition Abschnitt 2:

$$\frac{l_2}{1000} \times [JK_{NKIst} \times (ND_{NKIst} + (x + y)) + JK_{NKneu2} \times (ND_{NKneu})] \quad (\text{Formel 8})$$

Auch bei der getrennten Re-Investition muss der gesamte Durchrechnungszeitraum betrachtet werden, um diese Gesamtkosten mit den Gesamtkosten einer gemeinsamen Re-Investition vergleichen zu können.

Nachfolgend die Formeln für eine gemeinsame Re-Investition:

Gesamtkosten bei gemeinsamer Re-Investition Abschnitt 1 (Nutzungsdauerverlängerung):

$$\frac{l_1}{1000} \times [JK_{NKIst+x} \times ND_{NKIst+x} + JK_{NKneu(1+12)} \times (ND_{NKneu} + y)]$$

$$\rightarrow \frac{l_1}{1000} \times [I_{NKIst} + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst+x}} IH_i + \sum_{i=1}^{NKIst+x} LA_i + I_{NKneu(1+12)} + \sum_{i=1}^{ND_{NKneu}} IH_i] \quad (\text{Formel 9})$$

Gesamtkosten bei gemeinsamer Re-Investition Abschnitt 2 (Nutzungsdauerverkürzung):

$$\frac{l_2}{1000} \times [JK_{NKIst} \times (x+y) + JK_{NKIst-y} \times ND_{NKIst-y} + JK_{NKneu(1+12)} \times (ND_{NKneu} + y)]$$

$$\rightarrow \frac{l_2}{1000} \times \left[ \frac{\left( I + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst}} IH_i \right)}{ND_{NKIst}} \times (x+y) + I_{NKIst} + \sum_{i=1}^{ND_{NKIst-y}} IH_i + \sum_{i=1}^{NKIst-y} LA_i + I_{NKneu(1+12)} + \sum_{i=1}^{ND_{NKneu}} IH_i \right]$$

(Formel 10)

wobei:

$l_1$  Länge des Abschnittes 1

$l_2$  Länge des Abschnittes 2

$JK_{NKneu(x)}$  durchschnittliche Jahreskosten des Normkilometerzyklus bei der Neulängelänge  $x$

$ND_{NKneu}$  Nutzungsdauer des zukünftigen Normkilometerzyklus

$ND_{NKIst}$  Nutzungsdauer des derzeitigen Normkilometerzyklus

$x$  Nutzungsdauerverlängerung des Abschnittes 1

$y$  Nutzungsdauerverkürzung des Abschnittes 2

$x+y$  Differenz der Re-Investitionszeitpunkte der beiden Abschnitte in Jahren

$LA_i$  Summe der evtl. anfallenden jährlichen Kosten für Dauerlangsamfahrstellen

$JK_{Ist}$  durchschnittliche Jahreskosten des derzeitigen Normkilometerzyklus

$JK_{neu}$  durchschnittliche Jahreskosten des zukünftigen Normkilometerzyklus

Gegenüber einer getrennten Re-Investition ergeben sich folgende Einsparungen bzw. Zusatzkosten:

- Einsparungen durch Verlängerung der jeweiligen Abschnittslänge zur gemeinsamen Abschnittslänge (Abschnitt 1 + Abschnitt 2)
- Einsparungen / Zusatzkosten aus geänderten durchschnittlichen Jahreskosten durch Nutzungsdauerverlängerung bzw. Nutzungsdauerverkürzung der Abschnitte
- Einsparungen / Zusatzkosten durch eine evtl. vorzeitige Entfernung bzw. länger vorhandene Dauerlangsamfahrstelle
- Einsparungen / Zusatzkosten durch optimale Oberbaukomponenten (Strategie)

Nachfolgend sind die obigen Formeln 9+10 jeweils für Belastungsklassen und Radienklassen ausgewertet. Des Weiteren werden verschiedene Abschnittslängenvariationen durchgerechnet. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten wurden anhand der Normkilometer errechnet, eine Ergebnistabelle dieser Kosten ist in Abbildung 4.45 dargestellt. Die Kosten für eine evtl. vorhandene Dauerlangsamfahrstelle zufolge Nutzungsdauerverlängerung werden aus den Tabellen in Kapitel 4.1 entnommen. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten in Abhängigkeit der Neulagenlänge sind dem Kapitel 4.2 zu entnehmen.

Es wird bei 4.4.2 bis 4.4.9 die Annahme getroffen, dass die Oberbaukomponenten bereits nach Strategie eingebaut sind und sich somit kein zusätzlicher Einsparungseffekt durch zukünftige niedrigere durchschnittliche Jahreskosten ergibt. Zusätzlich wird angenommen, dass der Re-Investitionszeitpunkt der beiden Abschnitte fünf Jahre auseinanderliegt. Diese Annahme wird auch getroffen, da eine Verlängerung eines Abschnittes für mehr als fünf Jahre wirtschaftlich evtl. noch Vorteile bringen kann, technisch dies allerdings aufgrund von Versagen von Einzelkomponenten meist auszuschließen ist. Wie in der Kopfzeile der nachfolgenden Abbildungen ersichtlich, wurde der Abschnitt 1 immer als der früher zu re-investierende Abschnitt angenommen.

Rot eingefärbte Zellen signalisieren ein negatives Ergebnis, welches wiederum bedeutet, dass ein gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt nicht wirtschaftlich ist. Grüne Zellen stellen ein positives Ergebnis dar, wobei der am dunkelsten eingefärbte Wert den optimalen Re-Investitionszeitpunkt darstellt.

Die errechneten Werte sind Gesamtkosten des Durchrechnungszeitraumes (Nutzungsdauer des derzeitigen Normkilometers plus Nutzungsdauer des zukünftigen Normkilometers nach Strategie plus fünf Jahre [Abbildung 3.21]) und beziehen sich auf die Länge beider Abschnitte zusammen.

Bei den Punkten 4.4.2 bis 4.4.10 wird immer von der Unterbauklasse „Gut“ ausgegangen. Zusätzliche Einsparungen aufgrund eines schlechten Unterbaus werden im Punkt 4.4.11 berechnet.

### 4.4.2 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis - eingleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	884.139	852.428	842.955	837.642	830.365	823.000	813.677						
	400<R<600	956.864	928.525	923.964	913.206	900.492	891.928	881.288						
	250<R<400	1.631.370	1.587.298	1.584.880	1.606.771	2.072.341	2.548.222	3.015.784						
	R<250	2.015.004	1.959.138	2.416.113	2.894.788	3.397.139	3.931.981	4.466.863						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.219.527	1.180.375	1.167.416	1.158.619	1.149.472	1.138.622	1.125.815						
	400<R<600	1.322.781	1.290.436	1.284.283	1.268.788	1.251.338	1.238.038	1.222.662						
	250<R<400	2.281.704	2.239.108	2.234.929	2.249.915	2.707.057	3.176.035	3.636.694						
	R<250	2.856.997	2.788.099	3.232.900	3.701.050	4.229.095	4.751.763	5.274.471						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.505.184	1.502.267	1.485.302	1.472.498	1.460.721	1.445.864	1.429.050						
	400<R<600	1.635.381	1.644.205	1.635.380	1.614.528	1.591.721	1.573.064	1.552.330						
	250<R<400	2.867.530	2.880.436	2.872.922	2.879.942	3.327.744	3.788.756	4.241.448						
	R<250	3.620.667	3.595.163	4.026.522	4.482.724	5.031.673	5.540.898	6.050.164						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.828.440	1.853.564	1.832.381	1.815.360	1.800.922	1.781.847	1.760.816						
	400<R<600	1.985.059	2.029.360	2.017.857	1.991.324	1.962.834	1.938.495	1.912.080						
	250<R<400	3.494.854	3.557.863	3.547.078	3.545.869	3.983.970	4.436.753	4.881.215						
	R<250	4.411.724	4.445.778	4.862.577	5.305.769	5.875.736	6.370.402	6.865.108						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.310.902	1.248.956	1.235.274	1.227.761	1.217.336	1.206.779	1.193.321						
	400<R<600	1.421.900	1.363.183	1.356.894	1.341.395	1.322.991	1.310.753	1.295.430						
	250<R<400	2.438.882	2.363.378	2.360.074	2.393.110	2.853.884	3.330.073	3.793.825						
	R<250	3.064.422	2.955.484	3.403.426	3.884.370	4.401.320	4.935.851	5.470.444						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.718.566	1.711.250	1.691.779	1.678.477	1.664.227	1.647.881	1.628.634						
	400<R<600	1.867.899	1.871.683	1.861.471	1.838.218	1.812.060	1.792.068	1.768.990						
	250<R<400	3.271.286	3.278.610	3.270.439	3.292.028	3.739.403	4.204.145	4.656.449						
	R<250	4.145.377	4.110.245	4.538.622	5.002.117	5.548.116	6.063.082	6.578.109						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.219.527	1.161.337	1.148.401	1.142.783	1.132.096	1.122.867	1.110.197						
	400<R<600	1.322.781	1.265.668	1.259.538	1.245.614	1.228.238	1.218.187	1.204.472						
	250<R<400	2.281.704	2.202.548	2.199.916	2.246.114	2.712.080	3.195.054	3.663.076						
	R<250	2.856.997	2.757.194	3.210.891	3.702.775	4.201.901	4.747.999	5.294.170						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.554.916	1.509.303	1.492.394	1.482.803	1.469.758	1.456.556	1.439.913						
	400<R<600	1.688.698	1.647.589	1.639.278	1.620.029	1.597.329	1.581.954	1.562.914						
	250<R<400	2.932.039	2.876.929	2.871.806	2.910.372	3.367.182	3.842.525	4.302.914						
	R<250	3.698.990	3.601.518	4.042.373	4.523.064	5.047.216	5.580.472	6.113.801						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	2.269.092	2.304.193	2.277.369	2.258.855	2.238.844	2.216.230	2.189.709						
	400<R<600	2.467.479	2.521.805	2.506.823	2.474.705	2.438.660	2.410.949	2.379.069						
	250<R<400	4.371.275	4.441.244	4.428.420	4.458.219	4.895.483	5.356.452	5.800.162						
	R<250	5.553.486	5.598.642	6.008.241	6.466.589	7.029.428	7.537.237	8.045.132						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.812.844	1.819.029	1.797.867	1.785.237	1.768.580	1.751.741	1.730.889						
	400<R<600	1.974.499	1.989.344	1.977.776	1.953.419	1.925.027	1.905.199	1.881.086						
	250<R<400	3.490.264	3.503.261	3.494.627	3.538.000	3.989.212	4.462.485	4.917.959						
	R<250	4.441.107	4.415.231	4.845.501	5.323.598	5.853.877	6.383.809	6.913.829						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.505.184	1.467.014	1.450.090	1.443.174	1.428.544	1.416.690	1.400.131						
	400<R<600	1.635.381	1.598.279	1.589.496	1.571.556	1.548.887	1.536.254	1.518.600						
	250<R<400	2.867.530	2.810.943	2.806.370	2.872.716	3.338.008	3.826.341	4.293.745						
	R<250	3.620.667	3.536.227	3.985.223	4.487.359	4.981.832	5.537.753	6.093.779						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.718.566	1.688.110	1.668.665	1.659.229	1.643.106	1.628.731	1.609.651						
	400<R<600	1.867.899	1.841.495	1.831.311	1.809.972	1.783.904	1.767.872	1.746.819						
	250<R<400	3.271.286	3.231.815	3.225.625	3.287.162	3.746.699	4.230.223	4.692.819						
	R<250	4.145.377	4.070.569	4.511.206	5.006.011	5.515.724	6.063.287	6.610.955						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.828.440	1.799.961	1.778.842	1.770.773	1.751.997	1.737.489	1.716.845						
	400<R<600	1.985.059	1.959.765	1.948.326	1.926.205	1.897.926	1.882.715	1.860.966						
	250<R<400	3.494.854	3.453.103	3.446.753	3.534.976	3.999.335	4.493.195	4.959.727						
	R<250	4.411.724	4.357.806	4.801.038	5.312.899	5.801.658	6.366.343	6.931.165						

Abbildung 4.48: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung >70.000 GesBT/Tag - eingleisig

Auf einer eingleisigen Strecke mit der höchsten Verkehrsbelastung sieht man [Abbildung 4.48], dass eine Nutzungsdauerverlängerung des Abschnittes 1 in den beiden engeren Radienklassen meistens eine Dauerlangsamfahrstelle nach sich zieht und die Ergebnisse dann eindeutig gegen ein Verschieben der Re-Investition sprechen. In diesen Radienklassen ist zu meist nur eine Nutzungsdauerverkürzung des Abschnittes 2, sofern die Abschnittslänge nicht zu groß ist, wirtschaftlich.

Eine Zusammenlegung der beiden Abschnitte ist in den beiden höheren Radienklassen fast immer wirtschaftlich. Ist der Abschnitt 2 im Vergleich zu Abschnitt 1 sehr lange, spricht dies gegen eine Verkürzung der Nutzungsdauer von Abschnitt 2.

### 4.4.3 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	812.525	785.687	778.230	772.757	765.377	762.091	756.750						
	400<R<600	798.914	775.915	769.060	762.241	753.510	746.930	740.244						
	250<R<400	1.533.331	1.494.069	1.498.664	1.513.245	1.503.641	1.495.940	1.479.747						
	R<250	2.037.384	1.973.512	2.622.104	3.339.638	3.988.301	4.711.512	5.430.871						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.131.558	1.097.481	1.087.173	1.080.380	1.070.148	1.064.012	1.055.821						
	400<R<600	1.112.074	1.084.538	1.075.861	1.065.691	1.053.608	1.043.677	1.033.639						
	250<R<400	2.166.105	2.121.489	2.128.041	2.134.335	2.125.151	2.109.164	2.084.684						
	R<250	2.914.687	2.826.098	3.465.492	4.212.829	4.852.293	5.567.982	6.278.141						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.408.290	1.403.593	1.390.054	1.381.356	1.367.893	1.358.526	1.347.103						
	400<R<600	1.382.880	1.387.171	1.376.027	1.362.064	1.346.189	1.332.466	1.318.636						
	250<R<400	2.738.716	2.738.341	2.745.300	2.742.732	2.732.564	2.707.715	2.674.374						
	R<250	3.725.397	3.658.639	4.287.936	5.061.220	5.690.587	6.397.730	7.097.793						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.715.855	1.732.676	1.715.783	1.705.206	1.688.389	1.675.667	1.660.890						
	400<R<600	1.684.094	1.712.898	1.699.279	1.681.371	1.661.550	1.643.882	1.626.106						
	250<R<400	3.348.239	3.389.025	3.396.581	3.384.745	3.373.696	3.339.578	3.296.968						
	R<250	4.555.933	4.525.777	5.144.222	5.943.578	6.562.094	7.259.972	7.949.184						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.215.730	1.162.903	1.152.015	1.144.096	1.133.322	1.128.675	1.120.954						
	400<R<600	1.194.938	1.147.444	1.137.518	1.127.646	1.114.914	1.105.401	1.095.728						
	250<R<400	2.318.156	2.244.199	2.251.551	2.274.000	2.259.886	2.248.649	2.224.573						
	R<250	3.123.754	3.006.702	3.649.500	4.397.999	5.040.905	5.770.529	6.494.248						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.609.893	1.600.530	1.585.005	1.574.339	1.558.929	1.549.645	1.537.287						
	400<R<600	1.580.892	1.580.422	1.566.937	1.551.619	1.533.441	1.518.482	1.503.362						
	250<R<400	3.131.128	3.125.712	3.133.483	3.143.191	3.127.522	3.103.544	3.066.727						
	R<250	4.268.582	4.192.625	4.820.798	5.605.570	6.233.852	6.951.041	7.660.136						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.131.558	1.082.382	1.072.100	1.063.831	1.053.686	1.050.851	1.044.347						
	400<R<600	1.112.074	1.066.486	1.056.305	1.047.720	1.035.723	1.027.565	1.019.216						
	250<R<400	2.166.105	2.094.517	2.101.094	2.136.142	2.118.338	2.112.714	2.091.589						
	R<250	2.914.687	2.814.254	3.462.067	4.199.190	4.847.135	5.588.125	6.323.626						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.450.591	1.410.458	1.396.979	1.387.043	1.373.700	1.367.669	1.357.968						
	400<R<600	1.425.235	1.391.327	1.378.919	1.366.577	1.350.823	1.338.908	1.326.801						
	250<R<400	2.798.880	2.741.770	2.749.753	2.775.964	2.758.029	2.743.568	2.713.605						
	R<250	3.791.989	3.677.725	4.315.950	5.082.489	5.720.845	6.453.925	7.179.837						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	2.138.504	2.163.301	2.141.867	2.126.785	2.105.506	2.092.583	2.075.466						
	400<R<600	2.098.716	2.135.277	2.116.314	2.095.125	2.070.039	2.049.338	2.028.419						
	250<R<400	4.204.158	4.258.312	4.266.964	4.281.227	4.257.499	4.224.605	4.173.738						
	R<250	5.752.646	5.731.889	6.347.455	7.171.718	7.787.438	8.508.358	9.218.376						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.705.314	1.706.076	1.689.211	1.676.510	1.659.804	1.651.693	1.639.269						
	400<R<600	1.674.611	1.682.686	1.666.910	1.651.210	1.631.502	1.616.304	1.600.881						
	250<R<400	3.350.830	3.351.598	3.359.235	3.388.694	3.365.301	3.346.068	3.308.276						
	R<250	4.584.288	4.521.754	5.153.044	5.939.457	6.570.906	7.307.003	8.034.434						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.408.290	1.375.397	1.361.906	1.350.453	1.337.151	1.333.948	1.325.677						
	400<R<600	1.382.880	1.353.510	1.339.559	1.328.552	1.312.837	1.302.420	1.291.739						
	250<R<400	2.738.716	2.686.961	2.693.969	2.746.174	2.719.586	2.714.478	2.687.526						
	R<250	3.725.397	3.635.849	4.281.984	5.036.252	5.682.573	6.440.311	7.191.044						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.609.893	1.581.875	1.566.383	1.553.894	1.538.589	1.533.384	1.523.111						
	400<R<600	1.580.892	1.558.175	1.542.835	1.529.471	1.511.398	1.498.624	1.485.586						
	250<R<400	3.131.128	3.091.059	3.098.863	3.145.513	3.118.768	3.108.105	3.075.598						
	R<250	4.268.582	4.177.168	4.817.127	5.589.368	6.229.514	6.982.115	7.726.672						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.715.855	1.689.924	1.673.104	1.658.349	1.641.775	1.638.401	1.628.403						
	400<R<600	1.684.094	1.661.874	1.644.002	1.630.574	1.610.996	1.598.339	1.585.336						
	250<R<400	3.348.239	3.311.663	3.319.294	3.389.929	3.354.154	3.349.761	3.316.772						
	R<250	4.555.933	4.491.774	5.135.475	5.906.592	6.550.538	7.324.308	8.089.521						

Abbildung 4.49: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

In Abbildung 4.49 erkennt man, dass in der Radienklasse 250<R<400, bei der nun etwas geringeren Verkehrsbelastung, sich eine Nutzungsdauerverlängerung des Abschnittes 1 um vier bis fünf Jahre bzw. eine Nutzungsdauerverkürzung des Abschnittes 2 um ein bis zwei Jahre rechnet. Hier kommt der Faktor zu tragen, dass sich eine Nutzungsdauerverkürzung des Abschnittes 2 in dieser Radienklasse durch die zumeist schon kurze Nutzungsdauer stark auf die Erhöhung der durchschnittlichen Jahreskosten auswirkt und somit nicht rentabel ist.

#### 4.4.4 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	792.416	766.568	764.802	758.880	753.007	747.187	741.425						
	400<R<600	763.081	742.595	735.873	729.194	722.564	718.244	711.726						
	250<R<400	1.222.288	1.194.571	1.192.332	1.189.839	1.175.483	1.163.081	1.148.834						
	R<250	1.753.076	1.702.554	1.710.137	1.693.442	2.040.701	2.435.375	2.782.741						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.110.794	1.077.567	1.075.008	1.066.728	1.058.496	1.050.317	1.042.196						
	400<R<600	1.069.837	1.045.423	1.036.051	1.026.723	1.017.444	1.010.474	1.001.306						
	250<R<400	1.725.587	1.701.594	1.701.560	1.693.030	1.672.637	1.654.198	1.633.914						
	R<250	2.495.772	2.437.218	2.457.385	2.432.669	2.773.480	3.161.952	3.502.869						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.392.198	1.382.477	1.378.671	1.367.759	1.356.896	1.346.087	1.335.336						
	400<R<600	1.340.244	1.341.406	1.329.694	1.316.825	1.304.605	1.294.695	1.282.587						
	250<R<400	2.189.769	2.195.703	2.197.023	2.182.246	2.155.606	2.130.920	2.104.389						
	R<250	3.188.819	3.151.027	3.181.995	3.148.851	3.482.703	3.864.446	4.198.404						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.698.246	1.704.718	1.699.725	1.686.123	1.672.570	1.659.069	1.645.628						
	400<R<600	1.633.663	1.654.143	1.638.816	1.623.532	1.608.297	1.595.372	1.580.249						
	250<R<400	2.667.461	2.707.338	2.709.970	2.688.683	2.655.534	2.624.338	2.591.298						
	R<250	3.887.338	3.890.987	3.932.159	3.889.837	4.215.991	4.590.267	4.916.527						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.193.149	1.143.479	1.141.016	1.132.295	1.123.646	1.115.078	1.106.598						
	400<R<600	1.149.137	1.107.259	1.097.365	1.087.538	1.077.783	1.071.507	1.061.921						
	250<R<400	1.848.654	1.800.160	1.796.943	1.793.825	1.771.796	1.753.207	1.731.828						
	R<250	2.676.433	2.588.307	2.600.250	2.575.128	2.918.298	3.333.855	3.677.188						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.592.564	1.577.142	1.572.893	1.560.422	1.548.023	1.535.705	1.523.475						
	400<R<600	1.533.272	1.528.590	1.514.501	1.500.479	1.486.529	1.476.058	1.462.276						
	250<R<400	2.502.952	2.503.175	2.501.699	2.489.123	2.458.606	2.431.044	2.400.692						
	R<250	3.650.497	3.603.891	3.630.604	3.593.226	3.926.203	4.331.892	4.665.032						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.110.794	1.065.578	1.063.296	1.055.083	1.046.957	1.038.928	1.031.003						
	400<R<600	1.069.837	1.030.178	1.020.839	1.011.578	1.002.405	997.399	988.428						
	250<R<400	1.725.587	1.676.972	1.670.540	1.671.885	1.651.599	1.634.876	1.614.788						
	R<250	2.495.772	2.418.169	2.419.335	2.396.260	2.742.736	3.176.554	3.523.227						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.429.173	1.389.488	1.386.177	1.375.371	1.364.652	1.354.028	1.343.511						
	400<R<600	1.376.594	1.345.144	1.332.902	1.320.739	1.308.664	1.300.756	1.288.882						
	250<R<400	2.228.886	2.191.213	2.186.801	2.181.924	2.155.416	2.132.471	2.106.161						
	R<250	3.238.467	3.155.818	3.169.469	3.138.272	3.478.201	3.905.718	4.245.843						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	2.122.184	2.137.433	2.131.124	2.113.842	2.096.661	2.079.590	2.062.640						
	400<R<600	2.042.183	2.070.357	2.050.852	2.031.438	2.012.124	1.997.593	1.978.511						
	250<R<400	3.351.043	3.381.777	3.378.221	3.361.654	3.319.956	3.282.399	3.240.932						
	R<250	4.903.064	4.918.887	4.949.643	4.896.955	5.220.577	5.646.928	5.970.780						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.689.179	1.683.174	1.678.518	1.665.002	1.651.589	1.638.290	1.625.115						
	400<R<600	1.627.262	1.629.327	1.614.038	1.598.844	1.583.752	1.573.586	1.558.733						
	250<R<400	2.675.154	2.675.758	2.669.288	2.662.260	2.629.268	2.600.555	2.567.802						
	R<250	3.915.750	3.876.895	3.891.365	3.851.608	4.186.490	4.627.279	4.962.399						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.392.198	1.359.891	1.356.607	1.345.823	1.335.160	1.324.631	1.314.250						
	400<R<600	1.340.244	1.312.724	1.300.472	1.288.330	1.276.311	1.270.095	1.258.357						
	250<R<400	2.189.769	2.148.372	2.137.393	2.141.600	2.115.164	2.093.777	2.067.623						
	R<250	3.188.819	3.114.201	3.108.438	3.078.467	3.423.642	3.893.418	4.238.874						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.592.564	1.562.102	1.558.200	1.545.813	1.533.548	1.521.417	1.509.433						
	400<R<600	1.533.272	1.509.501	1.495.452	1.481.514	1.467.698	1.459.685	1.446.150						
	250<R<400	2.502.952	2.471.165	2.461.372	2.461.635	2.431.256	2.405.924	2.375.827						
	R<250	3.650.497	3.578.907	3.580.700	3.545.474	3.886.373	4.352.027	4.693.207						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.698.246	1.670.608	1.666.403	1.652.993	1.639.742	1.626.666	1.613.782						
	400<R<600	1.633.663	1.610.879	1.595.643	1.580.551	1.565.619	1.558.266	1.543.701						
	250<R<400	2.667.461	2.636.636	2.620.898	2.627.968	2.595.124	2.568.856	2.536.379						
	R<250	3.887.338	3.836.244	3.822.814	3.785.209	4.128.344	4.633.634	4.977.136						

Abbildung 4.50: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 – 45.000GesBT/Tag ergibt sich das in Abbildung 4.50 dargestellte Ergebnis. Es sind nun fast nur mehr jene Abschnittslängenkombinationen unwirtschaftlich, bei denen der Abschnitt 2 in Relation zum Abschnitt 1 sehr lange ist, oder sich durch die Nutzungsdauerverlängerung des Abschnittes 1 eine Dauerlangsamfahrstelle ergibt. In diesem Falle tritt das nur mehr in der Radienklasse R<250 und bei einer Verlängerung von drei oder mehr Jahren auf.

Wie auch schon zuvor ergibt sich in den beiden höheren Radienklassen und jetzt auch in der Radienklasse 250<R<400 der optimale Re-Investitionszeitpunkt für die zusammengelegten Abschnitte zum Re-Investitionszeitpunkt des Abschnittes 2. Es ist noch einmal zu betonen, dass dies aufgrund des technischen Komponentenzustandes nicht immer möglich ist. In die-

sem Fall sollte jener Zeitpunkt gewählt werden, der die höchsten Einsparungen ohne Überschreiten der technischen Nutzungsdauer erlaubt.

#### 4.4.5 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis - eingleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	696.078	676.578	669.952	664.376	658.825	655.100	649.606						
	400<R<600	689.479	673.832	671.396	665.585	659.708	653.563	647.417						
	250<R<400	863.539	853.474	843.584	833.716	823.872	822.974	813.187						
	R<250	1.209.984	1.197.735	1.186.592	1.180.487	1.171.057	1.164.999	1.155.622						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	980.623	955.528	946.664	938.851	931.062	926.570	918.838						
	400<R<600	973.209	954.379	949.564	941.374	933.119	924.595	916.071						
	250<R<400	1.225.629	1.216.672	1.202.774	1.188.897	1.175.045	1.170.138	1.156.342						
	R<250	1.744.701	1.734.591	1.718.631	1.710.668	1.696.421	1.687.023	1.672.830						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.233.012	1.228.437	1.217.125	1.206.864	1.196.627	1.190.991	1.180.811						
	400<R<600	1.225.183	1.227.816	1.220.422	1.209.652	1.198.818	1.187.714	1.176.610						
	250<R<400	1.547.220	1.568.608	1.550.433	1.532.280	1.514.151	1.504.968	1.486.895						
	R<250	2.241.272	2.262.224	2.240.911	2.230.341	2.210.740	2.197.358	2.177.811						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.505.528	1.515.076	1.501.266	1.488.508	1.475.774	1.469.049	1.456.372						
	400<R<600	1.495.199	1.514.538	1.504.501	1.491.088	1.477.610	1.463.863	1.450.116						
	250<R<400	1.887.980	1.937.519	1.914.911	1.892.324	1.869.761	1.856.144	1.833.638						
	R<250	2.756.166	2.804.978	2.778.244	2.765.103	2.740.083	2.722.702	2.697.735						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.053.459	1.013.675	1.003.833	995.582	987.367	981.916	973.788						
	400<R<600	1.045.247	1.011.039	1.007.547	998.938	990.232	981.117	972.001						
	250<R<400	1.315.483	1.284.923	1.270.229	1.255.568	1.240.944	1.239.948	1.225.409						
	R<250	1.868.911	1.837.897	1.821.052	1.811.988	1.797.790	1.788.800	1.774.683						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.411.702	1.401.382	1.388.059	1.376.327	1.364.632	1.357.551	1.345.942						
	400<R<600	1.403.067	1.399.870	1.392.705	1.380.423	1.368.043	1.355.255	1.342.466						
	250<R<400	1.773.192	1.787.388	1.766.569	1.745.783	1.725.034	1.717.913	1.697.249						
	R<250	2.570.735	2.584.212	2.559.783	2.547.017	2.525.233	2.510.595	2.488.894						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	980.623	944.279	934.591	926.813	919.079	913.193	905.563						
	400<R<600	973.209	940.882	938.954	930.872	922.673	913.982	905.291						
	250<R<400	1.225.629	1.193.999	1.180.117	1.166.276	1.152.479	1.155.130	1.141.436						
	R<250	1.744.701	1.711.816	1.695.873	1.686.462	1.673.746	1.665.908	1.653.293						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.265.167	1.233.772	1.221.655	1.211.447	1.201.284	1.194.440	1.184.380						
	400<R<600	1.256.938	1.230.905	1.226.416	1.215.773	1.205.013	1.193.761	1.182.509						
	250<R<400	1.587.718	1.567.404	1.549.265	1.531.166	1.513.112	1.511.504	1.493.553						
	R<250	2.279.419	2.258.584	2.237.524	2.225.954	2.208.122	2.196.643	2.178.911						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.885.596	1.900.756	1.882.347	1.866.135	1.849.975	1.839.853	1.823.811						
	400<R<600	1.874.882	1.899.007	1.889.128	1.872.156	1.855.048	1.837.374	1.819.700						
	250<R<400	2.375.022	2.429.125	2.400.328	2.371.577	2.342.879	2.333.216	2.304.636						
	R<250	3.484.958	3.538.364	3.504.097	3.485.459	3.454.969	3.434.170	3.403.797						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.500.746	1.496.704	1.481.727	1.469.015	1.456.356	1.447.634	1.435.097						
	400<R<600	1.493.725	1.494.640	1.488.692	1.475.432	1.462.032	1.448.048	1.434.064						
	250<R<400	1.896.577	1.909.733	1.887.152	1.864.620	1.842.141	1.839.308	1.816.952						
	R<250	2.761.080	2.774.410	2.747.731	2.732.548	2.709.779	2.694.705	2.672.057						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.233.012	1.207.211	1.194.344	1.184.149	1.174.016	1.165.750	1.155.762						
	400<R<600	1.225.183	1.202.333	1.200.389	1.189.823	1.179.093	1.167.675	1.156.257						
	250<R<400	1.547.220	1.525.797	1.507.654	1.489.567	1.471.543	1.476.629	1.458.750						
	R<250	2.241.272	2.218.299	2.197.017	2.183.655	2.167.007	2.156.635	2.140.131						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.411.702	1.387.220	1.372.860	1.361.171	1.349.545	1.340.710	1.329.229						
	400<R<600	1.403.067	1.382.849	1.379.325	1.367.179	1.354.869	1.341.870	1.328.871						
	250<R<400	1.773.192	1.758.727	1.737.929	1.717.188	1.696.509	1.698.941	1.678.407						
	R<250	2.570.735	2.554.319	2.529.912	2.515.246	2.495.472	2.482.882	2.463.251						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.505.528	1.483.076	1.466.923	1.454.264	1.441.686	1.430.997	1.418.609						
	400<R<600	1.495.199	1.476.211	1.474.370	1.461.265	1.447.944	1.433.724	1.419.504						
	250<R<400	1.887.980	1.873.370	1.850.809	1.828.322	1.805.917	1.813.681	1.791.464						
	R<250	2.756.166	2.739.121	2.712.436	2.695.109	2.674.515	2.661.647	2.641.242						

Abbildung 4.51: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

In Abbildung 4.51 sind nun nur mehr sehr wenige rote und somit unwirtschaftliche Bereiche zu sehen. Diese sind jetzt ausschließlich jene Kombinationen, bei denen der Abschnitt 2 mindestens 500m lang ist und sich bei einer Nutzungsdauerverkürzung um drei oder mehr Jahre zu große verlorene Restwerte ergeben.

Wenn technisch möglich ist auch hier immer die Nutzungsdauerverlängerung um fünf Jahre von Abschnitt 1 die wirtschaftlich beste Lösung.

### 4.4.6 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

Abschnitt	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt													
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre		
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	848.717	821.791	814.638	805.550	798.655	793.772	784.810	400<R<600	927.746	902.166	895.882	887.658	875.336	867.192	856.933
	250<R<400	1.676.684	1.628.019	1.649.089	1.640.284	3.524.265	5.410.152	7.286.733	R<250	2.050.803	1.977.855	3.843.061	5.710.305	7.623.001	9.536.033	11.426.391
	600<R<1000	1.177.764	1.144.357	1.133.783	1.121.275	1.112.631	1.104.328	1.091.945	400<R<600	1.286.597	1.258.082	1.250.341	1.237.459	1.220.479	1.207.677	1.192.761
	250<R<400	2.356.539	2.308.946	2.328.518	2.312.146	4.194.628	6.072.948	7.941.962	R<250	2.882.220	2.797.828	4.650.942	6.507.772	8.446.882	10.347.822	12.226.088
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.459.944	1.459.425	1.444.980	1.428.601	1.417.520	1.405.345	1.389.092	400<R<600	1.595.432	1.603.965	1.593.805	1.575.751	1.553.599	1.535.625	1.515.536
	250<R<400	2.982.405	2.981.762	2.998.472	2.973.651	4.853.270	6.723.142	8.583.707	R<250	3.641.387	3.589.814	5.430.005	7.275.445	9.236.792	11.124.810	12.990.154
	600<R<1000	1.774.136	1.798.064	1.779.066	1.759.213	1.745.715	1.729.527	1.709.261	400<R<600	1.934.550	1.975.408	1.962.838	1.939.350	1.911.764	1.888.356	1.862.833
	250<R<400	3.643.082	3.687.839	3.701.662	3.668.056	5.544.788	7.405.875	9.257.655	R<250	4.411.713	4.423.035	6.248.828	8.081.423	10.064.048	11.937.666	13.788.612
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.266.413	1.211.240	1.200.932	1.187.737	1.177.815	1.170.894	1.157.887	400<R<600	1.383.544	1.329.363	1.320.463	1.308.670	1.290.766	1.279.093	1.264.265
	250<R<400	2.520.377	2.443.142	2.474.947	2.461.842	4.341.976	6.224.142	8.093.987	R<250	3.095.042	2.966.979	4.819.363	6.674.825	8.598.881	10.512.503	12.391.907
	600<R<1000	1.668.793	1.661.818	1.645.958	1.627.212	1.613.782	1.601.310	1.582.751	400<R<600	1.823.331	1.824.742	1.812.315	1.797.073	1.748.597	1.726.320	
	250<R<400	3.404.251	3.399.622	3.427.182	3.401.942	5.277.831	7.148.695	9.005.571	R<250	4.163.506	4.100.292	5.933.678	7.772.297	9.726.839	11.621.463	13.481.869
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.177.764	1.125.883	1.116.861	1.104.404	1.094.170	1.089.178	1.076.945	400<R<600	1.286.597	1.234.024	1.224.635	1.215.005	1.198.106	1.188.618	1.175.378
	250<R<400	2.356.539	2.278.511	2.317.808	2.309.068	4.187.851	6.076.155	7.947.606	R<250	2.882.220	2.768.742	4.624.169	6.481.610	8.384.528	10.309.274	12.192.962
	600<R<1000	1.506.810	1.465.494	1.452.635	1.436.342	1.423.943	1.415.115	1.399.046	400<R<600	1.645.448	1.606.283	1.594.956	1.580.187	1.558.150	1.543.524	1.525.146
	250<R<400	3.036.394	2.978.371	3.015.558	2.998.641	4.875.314	6.755.440	8.618.713	R<250	3.713.638	3.594.975	5.438.038	7.284.793	9.213.852	11.126.235	12.997.559
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	2.208.140	2.242.857	2.220.868	2.194.966	2.175.997	2.158.600	2.132.953	400<R<600	2.409.673	2.461.750	2.443.688	2.416.957	2.381.930	2.355.362	2.324.511
	250<R<400	4.565.250	4.585.983	4.624.017	4.589.991	6.459.262	8.323.216	10.167.628	R<250	5.543.587	5.572.512	7.381.916	9.198.091	11.164.327	13.050.936	14.889.843
	600<R<1000	1.764.441	1.767.281	1.750.974	1.730.646	1.714.878	1.703.291	1.683.225	400<R<600	1.931.098	1.939.954	1.925.048	1.906.103	1.878.628	1.859.850	1.836.669
	250<R<400	3.635.787	3.640.334	3.682.474	3.659.829	5.531.265	7.406.835	9.262.226	R<250	4.457.394	4.402.592	6.232.206	8.066.252	9.999.086	11.907.794	13.767.220
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.459.944	1.425.109	1.413.546	1.397.262	1.383.226	1.377.203	1.361.227	400<R<600	1.595.432	1.559.203	1.545.977	1.533.973	1.511.971	1.500.162	1.483.193
	250<R<400	2.982.405	2.923.310	2.977.902	2.967.740	4.840.437	6.729.664	8.595.091	R<250	3.641.387	3.534.168	5.378.985	7.225.793	9.118.099	11.052.125	12.928.306
	600<R<1000	1.668.793	1.639.227	1.625.265	1.606.581	1.591.206	1.582.783	1.564.408	400<R<600	1.823.331	1.795.258	1.780.812	1.765.555	1.740.300	1.725.239	1.705.018
	250<R<400	3.404.251	3.360.054	3.413.257	3.397.941	5.269.249	7.153.322	9.013.594	R<250	4.163.506	4.062.912	5.899.535	7.739.202	9.647.496	11.573.328	13.441.315
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.774.136	1.746.108	1.732.013	1.711.765	1.693.794	1.686.920	1.667.073	400<R<600	1.934.550	1.907.910	1.890.718	1.876.352	1.848.993	1.834.882	1.814.064
	250<R<400	3.643.082	3.599.810	3.670.683	3.659.155	5.525.434	7.415.643	9.274.718	R<250	4.411.713	4.340.441	6.173.170	8.007.868	9.888.087	11.830.163	13.697.362

Abbildung 4.52: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

In der höchsten zweigleisigen Belastungsklasse unterscheidet sich das Ergebnis [Abbildung 4.52] kaum von den Auswirkungen für entsprechende eingleisige Abschnitte.

Aber auch hier sieht man, dass eine Zusammenlegung der Abschnitte in den beiden oberen Radienklassen, bei einer Nutzungsdauerverlängerung des Abschnittes 1 von zumindest drei Jahren, immer wirtschaftlich ist.

Man sieht auch hier, dass für eine Abschnittsverlängerung Dauerlangsamfahrstellen keinesfalls akzeptiert werden sollten.

Nachfolgend wird versucht, die Zusammensetzung eines solchen Ergebnisses zu erläutern.

Das Ergebnis der einzelnen Terme,

- Einsparungseffekt in Abschnitt 1 durch die längere Bauabschnittslänge,
- Einsparungseffekt in Abschnitt 1 durch die Verlängerung der Nutzungsdauer,
- Einsparungseffekt in Abschnitt 2 durch die längere Bauabschnittslänge
- und Zusatzkosten in Abschnitt 2 durch die Verkürzung der Nutzungsdauer,

ist für die Zeile im Bereich der Abschnittslängenerhöhung von 400m auf 600m (Abschnitt 1: 400m und Abschnitt 2: 200m) in der Radienklasse  $600 < R < 1000$  in nachfolgender Grafik [Abbildung 4.53] für die möglichen Re-Investitionszeitpunkte (A-F) dargestellt.

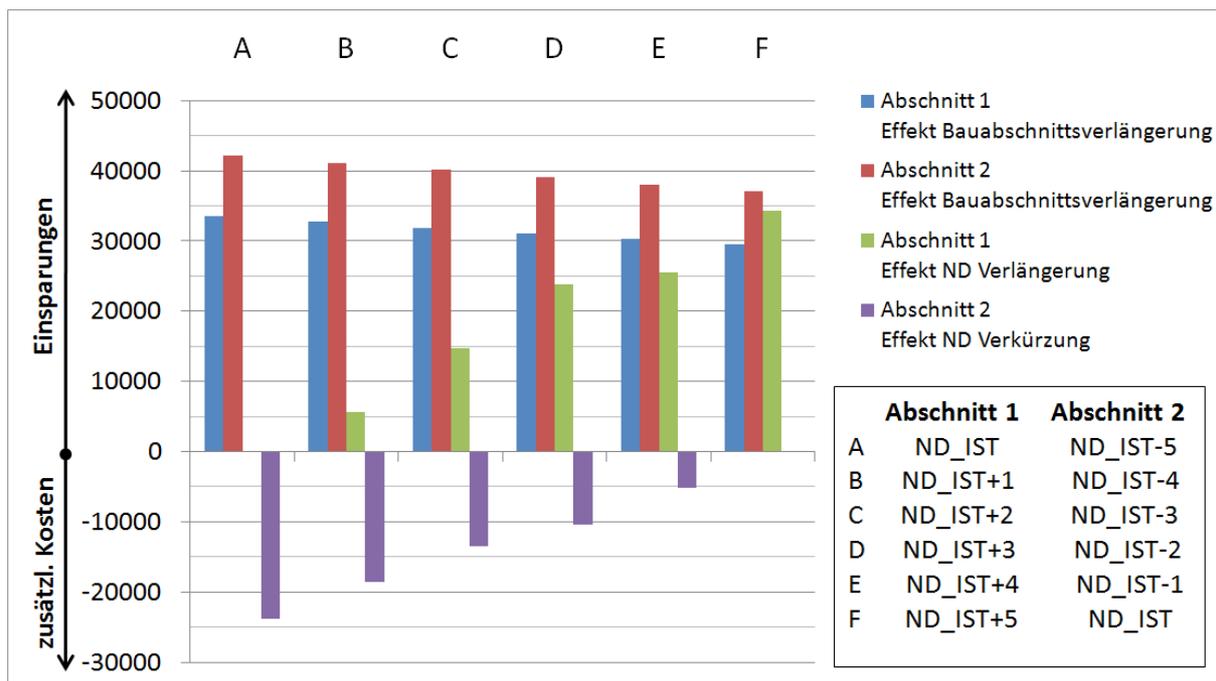


Abbildung 4.53: Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer Gleisbelastung  $>70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , Gleis – zweigleisig und einer Erhöhung der Abschnittslänge von 400m auf 600m in der Radienklasse  $600 < R < 1000$

Beim ersten möglichen Re-Investitionszeitpunkt ergibt das Ergebnis €1.125.883. Die Differenz zum getrennten re-investieren (Gesamtkosten €1.177.764) ergibt sich aus dem Effekt der Abschnittsverlängerung von Abschnitt 1, also von 400m auf 600m, mit einem Wert von €33.553. Der erste mögliche Re-Investitionszeitpunkt ist der Ist-Re-Investitionszeitpunkt von Abschnitt 1 laut Normkilometer, woraus sich kein Effekt für eine Nutzungsdauerverlängerung ergibt. Der Effekt der Abschnittsverlängerung von 200m auf 600m bei Abschnitt 2 ist etwas größer als bei Abschnitt 1 und beträgt hier €42.152. Der Abschnitt 2 muss zum Erreichen dieses Zeitpunktes allerdings fünf Jahre vor seiner geplanten Re-Investition erneuert werden, womit sich Zusatzkosten von €-23.825 ergeben.

Bei den weiteren errechneten Re-Investitionszeitpunkte sieht man den positiven Effekt bei der Nutzungsdauerverlängerung von Abschnitt 1 und die Abnahme der Zusatzkosten bei Abschnitt 2 durch die Nutzungsdauerverkürzung bis hin zum Wert Null.

Der positive Effekt durch die Abschnittsverlängerung für Abschnitt 1 und Abschnitt 2 sinkt jedes Jahr leicht, da der gemeinsame Re-Investitionszeitpunkt für Abschnitt 1 und Abschnitt 2 immer um ein Jahr nach hinten verschoben wird.

Diese Auswirkung zeigt auch, dass, falls kein Komponentenversagen zu erwarten ist, die Nutzungsdauer des Normkilometer aus Sicht der Gleislagequalität verlängert werden könnte. Dies kann jedoch nur abschnittsspezifisch vor Ort festgestellt werden.

#### 4.4.7 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	755.076	734.378	727.196	725.716	718.586	713.358	706.291						
	400<R<600	742.954	726.181	719.586	711.142	702.726	698.149	689.796						
	250<R<400	1.437.097	1.404.737	1.400.654	1.385.158	1.375.611	1.381.931	1.364.645						
	R<250	1.738.267	1.694.534	2.263.858	2.880.574	3.451.757	4.124.786	4.775.066						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.058.938	1.034.045	1.024.031	1.021.226	1.011.265	1.003.205	993.307						
	400<R<600	1.042.177	1.024.004	1.015.583	1.003.805	992.054	984.142	972.455						
	250<R<400	2.036.847	1.994.037	1.991.750	1.968.506	1.959.240	1.957.811	1.932.776						
	R<250	2.504.296	2.431.504	2.991.971	3.638.389	4.200.715	4.866.483	5.507.906						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.327.102	1.325.896	1.312.801	1.308.244	1.295.201	1.284.060	1.271.080						
	400<R<600	1.305.906	1.313.627	1.302.918	1.287.523	1.272.155	1.260.626	1.245.322						
	250<R<400	2.568.259	2.565.322	2.563.263	2.531.788	2.521.404	2.511.745	2.478.480						
	R<250	3.196.731	3.136.446	3.687.522	4.359.403	4.912.339	5.570.157	6.202.190						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.615.628	1.628.978	1.612.800	1.606.590	1.590.464	1.576.240	1.560.177						
	400<R<600	1.589.216	1.614.207	1.601.305	1.582.288	1.563.298	1.548.147	1.529.220						
	250<R<400	3.130.559	3.162.927	3.161.299	3.121.307	3.109.933	3.091.756	3.049.973						
	R<250	3.893.266	3.863.886	4.404.861	5.101.702	5.644.536	6.293.705	6.915.636						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.137.116	1.095.476	1.084.882	1.082.877	1.072.362	1.064.711	1.054.291						
	400<R<600	1.119.130	1.083.127	1.073.461	1.061.011	1.048.602	1.041.975	1.029.661						
	250<R<400	2.180.963	2.108.055	2.102.519	2.079.664	2.065.837	2.076.088	2.050.516						
	R<250	2.682.089	2.584.402	3.148.041	3.784.805	4.351.313	5.041.685	5.696.958						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.518.122	1.508.385	1.493.451	1.488.993	1.474.137	1.462.145	1.447.385						
	400<R<600	1.493.994	1.493.013	1.480.139	1.462.592	1.445.087	1.433.363	1.415.952						
	250<R<400	2.940.192	2.925.673	2.920.422	2.885.768	2.870.306	2.868.759	2.831.388						
	R<250	3.668.642	3.591.754	4.141.908	4.814.844	5.367.866	6.046.807	6.688.593						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.058.938	1.019.389	1.009.393	1.008.183	998.282	991.813	982.025						
	400<R<600	1.042.177	1.006.474	996.563	984.823	973.133	968.373	956.796						
	250<R<400	2.036.847	1.967.768	1.959.040	1.938.919	1.921.684	1.941.587	1.918.181						
	R<250	2.504.296	2.420.158	2.988.673	3.607.791	4.179.804	4.888.228	5.555.450						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.362.799	1.329.808	1.316.752	1.313.988	1.301.027	1.291.497	1.278.650						
	400<R<600	1.341.400	1.314.740	1.302.741	1.287.406	1.272.120	1.263.765	1.248.593						
	250<R<400	2.636.597	2.573.665	2.566.272	2.537.942	2.520.526	2.532.219	2.500.604						
	R<250	3.270.325	3.159.380	3.718.957	4.367.697	4.930.772	5.631.854	6.290.138						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	2.020.612	2.040.849	2.020.241	2.013.710	1.993.209	1.976.650	1.956.280						
	400<R<600	1.988.071	2.019.556	2.001.439	1.977.235	1.953.088	1.936.901	1.912.884						
	250<R<400	3.938.677	3.981.319	3.971.773	3.923.889	3.900.496	3.898.961	3.847.273						
	R<250	4.932.254	4.902.980	5.441.247	6.139.736	6.682.085	7.378.357	8.022.352						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.611.943	1.606.397	1.590.242	1.586.261	1.570.217	1.558.234	1.542.325						
	400<R<600	1.586.886	1.588.263	1.573.245	1.554.281	1.535.374	1.524.667	1.505.896						
	250<R<400	3.151.756	3.136.112	3.125.619	3.090.099	3.067.625	3.079.948	3.040.500						
	R<250	3.947.089	3.872.598	4.425.976	5.086.967	5.644.567	6.357.082	7.017.943						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.327.102	1.298.306	1.285.245	1.283.690	1.270.761	1.262.614	1.249.843						
	400<R<600	1.305.906	1.280.647	1.267.134	1.251.811	1.236.556	1.230.957	1.215.862						
	250<R<400	2.568.259	2.515.777	2.501.568	2.475.984	2.450.573	2.481.147	2.450.953						
	R<250	3.196.731	3.114.844	3.682.015	4.302.692	4.874.842	5.616.191	6.299.655						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.518.122	1.490.008	1.475.097	1.472.639	1.457.859	1.447.861	1.433.239						
	400<R<600	1.493.994	1.471.051	1.456.311	1.438.812	1.421.381	1.413.607	1.396.335						
	250<R<400	2.940.192	2.892.419	2.879.013	2.848.313	2.822.765	2.848.222	2.812.913						
	R<250	3.668.642	3.577.142	4.138.560	4.777.240	5.343.637	6.080.216	6.757.928						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.615.628	1.587.471	1.571.344	1.569.652	1.553.696	1.543.977	1.528.228						
	400<R<600	1.589.216	1.564.629	1.547.512	1.528.603	1.509.783	1.503.547	1.484.934						
	250<R<400	3.130.559	3.088.753	3.068.936	3.037.764	3.003.892	3.045.947	3.008.764						
	R<250	3.893.266	3.831.967	4.397.084	5.018.628	5.590.213	6.363.884	7.062.891						

Abbildung 4.54: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

Das Ergebnis für die Belastungsklasse 45.000 – 70.000GesBT/Tag auf einer zweigleisigen Strecke [Abbildung 4.54] verhält sich zur eingleisigen Strecke gleich wie in der höchsten Belas-

tungsklasse. Auch hier sind einige Werte bereits grün und somit wirtschaftlich gegenüber der eingleisigen Strecke, was hauptsächlich auf die unterschiedlichen Betriebserschwerungskosten zurückzuführen ist.

#### 4.4.8 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 1		Abschnitt 2	
			+0 Jahre	-5 Jahre	+1 Jahr	-4 Jahre	+2 Jahre	-3 Jahre	+3 Jahre	-2 Jahre	+4 Jahre	-1 Jahr	+5 Jahre	+0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	733.008	705.927	703.727	697.828	691.946	689.799	683.957						
	400<R<600	708.154	687.620	680.957	678.002	671.372	664.762	658.173						
	250<R<400	1.082.646	1.059.860	1.053.598	1.065.869	1.052.702	1.039.554	1.026.427						
	R<250	1.419.821	1.390.896	1.395.310	1.382.533	1.608.187	1.835.519	2.061.209						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.019.438	983.142	980.166	972.030	963.912	959.528	951.450						
	400<R<600	987.778	961.897	952.695	947.200	938.030	928.880	919.751						
	250<R<400	1.526.208	1.496.264	1.490.526	1.497.637	1.479.311	1.461.003	1.442.716						
	R<250	2.037.195	2.000.243	2.016.419	1.996.028	2.215.545	2.436.723	2.656.277						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.266.100	1.252.388	1.248.188	1.237.571	1.226.973	1.220.108	1.209.549						
	400<R<600	1.229.213	1.227.392	1.215.399	1.207.113	1.195.154	1.183.213	1.171.294						
	250<R<400	1.911.214	1.917.176	1.910.813	1.912.365	1.888.481	1.864.614	1.840.769						
	R<250	2.605.494	2.594.640	2.620.527	2.592.011	2.804.762	3.019.160	3.231.948						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.536.781	1.537.078	1.531.730	1.518.588	1.505.462	1.496.072	1.482.987						
	400<R<600	1.492.038	1.492.300	1.492.459	1.481.326	1.466.518	1.451.730	1.436.963						
	250<R<400	2.324.231	2.361.423	2.354.577	2.350.353	2.320.692	2.291.050	2.261.428						
	R<250	3.190.011	3.206.485	3.242.345	3.205.456	3.411.232	3.618.640	3.824.452						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.096.614	1.042.968	1.039.915	1.031.328	1.022.768	1.019.794	1.011.293						
	400<R<600	1.062.215	1.018.324	1.008.603	1.004.442	994.771	985.129	975.518						
	250<R<400	1.639.051	1.581.131	1.572.251	1.591.429	1.572.096	1.552.792	1.533.518						
	R<250	2.183.230	2.122.690	2.130.012	2.110.901	2.329.780	2.551.240	2.770.175						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.447.903	1.426.192	1.421.400	1.409.285	1.397.195	1.390.692	1.378.663						
	400<R<600	1.406.243	1.396.459	1.382.765	1.374.632	1.360.989	1.347.374	1.333.790						
	250<R<400	2.189.416	2.184.735	2.174.913	2.186.095	2.158.768	2.131.468	2.104.200						
	R<250	2.987.198	2.965.483	2.986.480	2.955.811	3.165.055	3.376.859	3.586.160						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.019.438	971.527	968.545	960.433	952.353	950.925	942.916						
	400<R<600	987.778	947.100	937.909	935.352	926.220	917.123	908.063						
	250<R<400	1.526.208	1.472.139	1.460.728	1.488.720	1.470.432	1.452.177	1.433.960						
	R<250	2.037.195	1.981.502	1.978.313	1.962.361	2.182.672	2.406.137	2.626.517						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.305.869	1.261.323	1.257.336	1.246.759	1.236.213	1.232.320	1.221.846						
	400<R<600	1.267.402	1.232.660	1.220.695	1.215.363	1.203.456	1.191.584	1.179.749						
	250<R<400	1.969.769	1.923.508	1.912.238	1.934.686	1.910.855	1.887.056	1.863.295						
	R<250	2.654.569	2.599.695	2.607.974	2.584.113	2.797.992	3.015.009	3.228.956						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.914.859	1.927.635	1.920.530	1.903.740	1.886.985	1.877.817	1.861.145						
	400<R<600	1.862.182	1.888.830	1.869.850	1.858.452	1.839.539	1.820.666	1.801.833						
	250<R<400	2.917.552	2.967.198	2.952.073	2.967.486	2.929.581	2.891.716	2.853.893						
	R<250	4.028.588	4.056.038	4.079.993	4.037.213	4.234.185	4.434.794	4.631.847						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.530.933	1.517.877	1.512.491	1.499.379	1.486.303	1.481.027	1.468.036						
	400<R<600	1.489.930	1.485.507	1.470.681	1.464.655	1.448.899	1.434.183	1.419.512						
	250<R<400	2.339.248	2.335.061	2.320.375	2.345.733	2.316.130	2.286.567	2.257.047						
	R<250	3.202.965	3.185.702	3.194.059	3.163.637	3.370.690	3.581.530	3.788.667						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.266.100	1.230.770	1.226.561	1.215.988	1.205.459	1.204.096	1.193.665						
	400<R<600	1.229.213	1.199.818	1.187.846	1.185.036	1.173.147	1.161.304	1.149.514						
	250<R<400	1.911.214	1.872.110	1.855.151	1.895.709	1.871.894	1.848.127	1.824.412						
	R<250	2.605.494	2.558.648	2.547.344	2.527.352	2.741.689	2.960.540	3.174.975						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.447.903	1.411.946	1.407.149	1.395.062	1.383.019	1.380.141	1.368.196						
	400<R<600	1.406.243	1.378.253	1.364.574	1.360.056	1.346.459	1.332.908	1.319.410						
	250<R<400	2.189.416	2.154.800	2.137.940	2.175.031	2.147.751	2.120.517	2.093.335						
	R<250	2.987.198	2.941.078	2.936.857	2.911.968	3.122.321	3.337.177	3.547.628						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.536.781	1.504.482	1.499.122	1.486.046	1.473.025	1.471.929	1.459.037						
	400<R<600	1.492.038	1.465.817	1.451.009	1.448.113	1.433.411	1.418.770	1.404.197						
	250<R<400	2.324.231	2.293.893	2.271.168	2.325.393	2.295.838	2.266.344	2.236.918						
	R<250	3.190.011	3.152.749	3.133.084	3.108.921	3.317.076	3.531.141	3.739.425						

Abbildung 4.55: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

Der optimale Re-Investitionszeitpunkt liegt hier [Abbildung 4.55] in der Radienklasse R<250m immer bei der Nutzungsdauerverlängerung von zwei Jahren bei Abschnitt 1 bzw. bei der Verkürzung um drei Jahren bei Abschnitt 2, bevor eine Dauerlangsamfahrstelle erforderlich wird. In manchen Fällen ist der Unterschied zum Re-Investitionszeitpunkt von Abschnitt 1 bzw. der Nutzungsdauerverkürzung von Abschnitt 2 um 5 Jahre jedoch gering.

Eine Nutzungsdauerverkürzung bei einem sehr langen Abschnitt 2 ist meist nicht argumentierbar.

#### 4.4.9 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	639.461	624.768	619.400	614.043	608.698	604.948	599.632	624.768	619.400	614.043	608.698	604.948	599.632
	400<R<600	634.679	623.552	619.537	613.865	608.205	604.132	598.501	623.552	619.537	613.865	608.205	604.132	598.501
	250<R<400	798.577	792.085	782.707	773.339	763.984	763.987	754.660	792.085	782.707	773.339	763.984	763.987	754.660
	R<250	1.027.944	1.020.766	1.011.475	1.005.295	996.028	989.873	980.633	1.020.766	1.011.475	1.005.295	996.028	989.873	980.633
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	906.073	889.402	881.816	874.240	866.677	862.026	854.492	889.402	881.816	874.240	866.677	862.026	854.492
	400<R<600	901.295	890.444	884.067	876.033	868.012	861.578	853.585	890.444	884.067	876.033	868.012	861.578	853.585
	250<R<400	1.137.938	1.136.656	1.123.356	1.110.068	1.096.792	1.092.874	1.079.626	1.136.656	1.123.356	1.110.068	1.096.792	1.092.874	1.079.626
	R<250	1.482.473	1.481.104	1.467.059	1.458.865	1.444.843	1.435.343	1.421.348	1.481.104	1.467.059	1.458.865	1.444.843	1.435.343	1.421.348
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.148.007	1.150.209	1.140.233	1.130.269	1.120.318	1.114.474	1.104.551	1.150.209	1.140.233	1.130.269	1.120.318	1.114.474	1.104.551
	400<R<600	1.143.620	1.152.572	1.143.673	1.133.117	1.122.573	1.113.616	1.103.100	1.143.620	1.143.673	1.133.117	1.122.573	1.113.616	1.103.100
	250<R<400	1.446.510	1.472.673	1.455.254	1.437.847	1.420.452	1.412.415	1.395.049	1.446.510	1.455.254	1.437.847	1.420.452	1.412.415	1.395.049
	R<250	1.906.908	1.934.951	1.915.738	1.904.937	1.885.747	1.872.398	1.853.235	1.934.951	1.915.738	1.904.937	1.885.747	1.872.398	1.853.235
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.407.003	1.423.079	1.410.661	1.398.255	1.385.861	1.378.855	1.366.490	1.407.003	1.423.079	1.410.661	1.398.255	1.385.861	1.378.855
	400<R<600	1.401.091	1.426.280	1.414.793	1.401.649	1.388.517	1.376.973	1.363.869	1.401.091	1.426.280	1.414.793	1.401.649	1.388.517	1.376.973
	250<R<400	1.769.734	1.821.841	1.800.176	1.778.523	1.756.882	1.744.599	1.722.987	1.769.734	1.821.841	1.800.176	1.778.523	1.756.882	1.744.599
	R<250	2.347.579	2.402.363	2.377.901	2.364.507	2.340.067	2.322.836	2.298.424	2.402.363	2.377.901	2.364.507	2.340.067	2.322.836	2.298.424
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	971.849	943.069	935.027	927.003	918.998	913.415	905.454	943.069	935.027	927.003	918.998	913.415	905.454
	400<R<600	966.513	942.883	936.898	928.388	919.898	913.824	905.378	942.883	936.898	928.388	919.898	913.824	905.378
	250<R<400	1.219.051	1.199.721	1.185.634	1.171.564	1.157.513	1.157.747	1.143.739	1.219.051	1.199.721	1.185.634	1.171.564	1.157.513	1.143.739
	R<250	1.587.473	1.567.933	1.553.842	1.544.555	1.530.499	1.521.250	1.507.236	1.567.933	1.553.842	1.544.555	1.530.499	1.521.250	1.507.236
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.314.200	1.312.820	1.301.386	1.289.969	1.278.570	1.271.287	1.259.932	1.314.200	1.312.820	1.301.386	1.289.969	1.278.570	1.271.287
	400<R<600	1.309.537	1.314.800	1.305.227	1.293.130	1.281.053	1.271.397	1.259.358	1.309.537	1.314.800	1.305.227	1.293.130	1.281.053	1.271.397
	250<R<400	1.656.747	1.677.637	1.657.676	1.637.732	1.617.807	1.612.167	1.592.285	1.656.747	1.677.637	1.657.676	1.637.732	1.617.807	1.612.167
	R<250	2.186.672	2.209.672	2.188.256	2.175.256	2.153.875	2.139.160	2.117.821	2.209.672	2.188.256	2.175.256	2.153.875	2.139.160	2.117.821
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	906.073	878.453	870.875	863.318	855.783	849.854	842.372	878.453	870.875	863.318	855.783	849.854	842.372
	400<R<600	901.295	877.409	872.443	864.427	856.434	851.361	843.421	877.409	872.443	864.427	856.434	851.361	843.421
	250<R<400	1.137.938	1.115.052	1.101.762	1.088.491	1.075.244	1.070.309	1.066.114	1.115.052	1.101.762	1.088.491	1.075.244	1.070.309	1.066.114
	R<250	1.482.473	1.459.014	1.446.388	1.436.882	1.426.299	1.416.170	1.403.638	1.459.014	1.446.388	1.436.882	1.426.299	1.416.170	1.403.638
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.172.686	1.152.025	1.142.066	1.132.128	1.122.213	1.115.221	1.105.358	1.152.025	1.142.066	1.132.128	1.122.213	1.115.221	1.105.358
	400<R<600	1.167.911	1.152.256	1.144.776	1.134.245	1.123.737	1.116.150	1.105.695	1.167.911	1.152.256	1.144.776	1.134.245	1.123.737	1.116.150
	250<R<400	1.477.299	1.467.425	1.450.023	1.432.641	1.415.283	1.415.237	1.397.931	1.477.299	1.467.425	1.450.023	1.432.641	1.415.283	1.415.237
	R<250	1.937.001	1.928.136	1.910.489	1.898.703	1.881.098	1.869.359	1.851.806	1.928.136	1.910.489	1.898.703	1.881.098	1.869.359	1.851.806
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.765.608	1.788.146	1.772.323	1.756.523	1.740.750	1.730.380	1.714.668	1.765.608	1.788.146	1.772.323	1.756.523	1.740.750	1.730.380
	400<R<600	1.760.444	1.791.212	1.778.005	1.761.264	1.744.549	1.731.219	1.714.565	1.760.444	1.791.212	1.778.005	1.761.264	1.744.549	1.731.219
	250<R<400	2.229.343	2.284.174	2.256.604	2.229.057	2.201.536	2.194.147	2.166.688	2.229.343	2.284.174	2.256.604	2.229.057	2.201.536	2.194.147
	R<250	2.967.838	3.028.194	2.998.338	2.979.563	2.949.756	2.928.989	2.899.243	3.028.194	2.998.338	2.979.563	2.949.756	2.928.989	2.899.243
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.400.036	1.403.858	1.391.450	1.379.067	1.366.711	1.357.846	1.345.553	1.400.036	1.403.858	1.391.450	1.379.067	1.366.711	1.357.846
	400<R<600	1.397.247	1.405.625	1.396.155	1.383.035	1.369.942	1.360.344	1.347.315	1.397.247	1.405.625	1.396.155	1.383.035	1.369.942	1.360.344
	250<R<400	1.775.056	1.793.587	1.771.937	1.750.311	1.728.712	1.727.915	1.706.380	1.775.056	1.793.587	1.771.937	1.750.311	1.728.712	1.727.915
	R<250	2.348.415	2.370.699	2.348.303	2.333.012	2.310.667	2.295.433	2.273.151	2.348.415	2.370.699	2.348.303	2.333.012	2.310.667	2.295.433
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.148.007	1.129.324	1.119.365	1.109.435	1.099.537	1.091.256	1.081.433	1.148.007	1.129.324	1.119.365	1.109.435	1.099.537	1.091.256
	400<R<600	1.143.620	1.127.689	1.121.483	1.110.961	1.100.471	1.094.114	1.083.699	1.143.620	1.127.689	1.121.483	1.110.961	1.100.471	1.094.114
	250<R<400	1.446.510	1.431.426	1.414.024	1.396.652	1.379.312	1.386.516	1.369.250	1.446.510	1.431.426	1.414.024	1.396.652	1.379.312	1.386.516
	R<250	1.906.908	1.892.233	1.875.765	1.862.426	1.846.020	1.835.320	1.818.988	1.892.233	1.875.765	1.862.426	1.846.020	1.835.320	1.818.988
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.314.200	1.298.760	1.287.337	1.275.943	1.264.581	1.255.657	1.244.370	1.314.200	1.298.760	1.287.337	1.275.943	1.264.581	1.255.657
	400<R<600	1.309.537	1.298.029	1.290.271	1.278.197	1.266.156	1.258.248	1.246.281	1.309.537	1.298.029	1.290.271	1.278.197	1.266.156	1.258.248
	250<R<400	1.656.747	1.649.774	1.629.824	1.609.903	1.590.015	1.594.671	1.574.857	1.656.747	1.649.774	1.629.824	1.609.903	1.590.015	1.594.671
	R<250	2.186.672	2.180.551	2.161.006	2.146.276	2.126.792	2.113.884	2.094.474	2.186.672	2.180.551	2.161.006	2.146.276	2.126.792	2.113.884
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.407.003	1.391.557	1.379.164	1.366.810	1.354.498	1.343.812	1.331.598	1.407.003	1.391.557	1.379.164	1.366.810	1.354.498	1.343.812
	400<R<600	1.401.091	1.388.809	1.381.377	1.368.285	1.355.235	1.347.605	1.334.653	1.401.091	1.388.809	1.381.377	1.368.285	1.355.235	1.347.605
	250<R<400	1.769.734	1.760.019	1.738.379	1.716.777	1.695.218	1.705.779	1.684.318	1.769.734	1.760.019	1.738.379	1.716.777	1.695.218	1.705.779
	R<250	2.347.579	2.338.227	2.317.886	2.300.683	2.280.422	2.267.170	2.247.006	2.347.579	2.338.227	2.317.886	2.300.683	2.280.422	2.267.170

Abbildung 4.56: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

Bei der geringsten Verkehrsbelastung auf zweigleisigen Strecken [Abbildung 4.56] ergeben sich fast überall für eine Verlängerung der Bauabschnitte sprechende Ergebnisse. Nur bei Abschnittskombinationen, bei den wieder ein sehr langer Abschnitt 2 vorhanden ist, ergibt sich bei zu großer Nutzungsdauerverkürzung ein nicht wirtschaftliches Ergebnis.

In nachfolgender Abbildung 4.57 wird noch einmal die Zusammensetzung eines solchen Wertes aus dem Endergebnis [Abbildung 4.56] dargelegt.

Das Ergebnis der einzelnen Terme gilt für die Zeile im Bereich der Abschnittslängenerhöhung von 200m auf 800m (Abschnitt 1: 200m und Abschnitt 2: 600m) in der Radienklasse  $250 < R < 400$ .

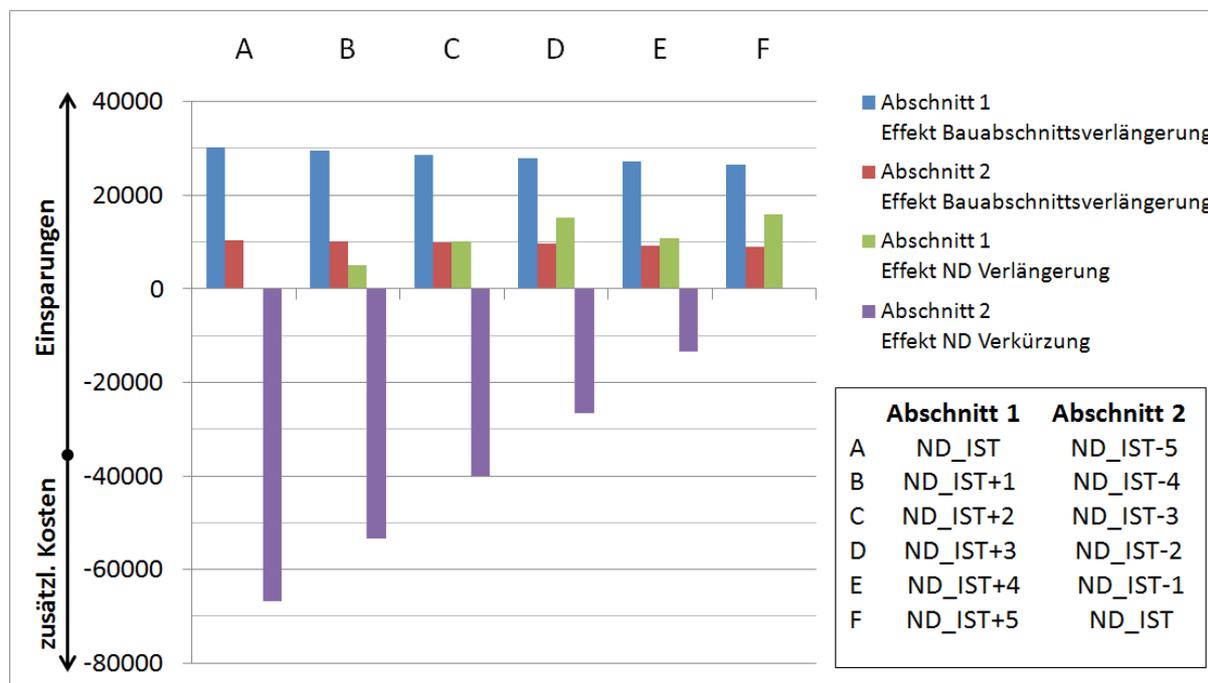


Abbildung 4.57: Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer für eine Gleisbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig und Erhöhung der Abschnittslänge von 200m auf 800m in der Radienklasse  $250 < R < 400$

Der Wert zum erst möglichen Re-Investitionszeitpunkt von €1.472.673 ergibt sich hier wieder gegenüber der getrennten Neulage (Gesamtkosten €1.446.510) aus dem Effekt der Abschnittslängenerhöhung von Abschnitt 1, der in diesem Fall €30.179 beträgt. Der Effekt der Nutzungsdauerverlängerung für Abschnitt 1 entfällt beim ersten Re-Investitionszeitpunkt wieder. Der Einsparungseffekt der Abschnittslängenerhöhung von Abschnitt 2 ist relativ gering, da dieser selbst bereits 600m lang ist und sich durch die Erhöhung auf 800m nur mehr €10.323 als jährliches Einsparungspotential ergeben. Die zusätzlichen Kosten durch die Nutzungsdauerreduktion von Abschnitt 2 um fünf Jahre sind aufgrund seiner Länge sehr hoch und ergeben einen Wert von €-66.665.

Der starke Effekt durch die Nutzungsdauerverkürzung von Abschnitt 2 sinkt bei den weiteren untersuchten Re-Investitionszeitpunkten und bereits beim Untersuchungszeitpunkt C (Nutzungsdauerverlängerung von Abschnitt 1 um zwei Jahre und Nutzungsdauerreduktion von Abschnitt 2 um 3 Jahre) ergeben sich niedrigere Gesamtkosten (€1.437.847) als bei einer getrennten Re-Investition der beiden Abschnitte (€1.472.673).

#### 4.4.10 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei nicht strategiekonformen Oberbau

Die nachfolgenden Ergebnisse sind für eine zweigleisige Strecke mit einer Streckenbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag. Hierbei wird angenommen, dass auf den zu re-investierenden

Abschnitten noch keine Oberbaukomponenten laut Strategie vorhanden sind. Es entstehen dadurch bei der Berechnung nach 4.4.1 für jeden Abschnitt ein zusätzlicher Kosten- bzw. Einsparungsblock aufgrund der Differenz der durchschnittlichen Jahreskosten des derzeitigen Normkilometerzyklus zu den durchschnittlichen Jahreskosten des zukünftigen Normkilometerzyklus.

Es wird die Annahme getroffen, dass in den drei höheren Radienklassen beim Oberbau derzeit Schienen vom Typ 54E2 mit einer Stahlgüte R260 und Betonschwellen vorherrschen. In der Radienklasse  $R < 250$  wird auch von Schienen des Typs 54E2 und der Stahlgüte R260 ausgegangen, jedoch werden hier Holzschwellen angesetzt und das Gleis ist nicht verschweißt. Nach Strategie sollten in der Radienklasse  $600 < R < 1000$  Schienen vom Typ 60E1 mit der Stahlgüte R260 und beschlachte Betonschwellen zum Einsatz kommen. In den beiden mittleren Radienklassen sollten Schienen vom Typ 60E1 mit der Stahlgüte R350HT und beschlachte Betonschwellen verwendet werden und im engen Bogen sind Schienen vom Typ 60E1 mit der Stahlgüte R350HT und Holzschwellen als Strategie vorgesehen.

Die Normkilometerzyklen für diese Berechnungen mit den oben genannten Parametern sind im Anhang [6.3 und 6.4] dargestellt, die Kostensätze in Abbildung 4.46 aufgelistet.

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	797.717	765.854	767.133	766.696	766.329	761.515	761.306						
	400<R<600	827.283	794.233	798.039	784.604	792.461	796.576	796.322						
	250<R<400	1.282.678	1.203.558	1.242.263	1.263.675	1.505.727	1.747.484	1.983.333						
	R<250	1.645.004	1.607.123	1.598.354	1.593.888	1.862.514	2.117.032	2.349.244						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.114.824	1.070.008	1.069.383	1.070.577	1.068.305	1.061.588	1.059.476						
	400<R<600	1.160.209	1.111.929	1.117.300	1.095.290	1.107.758	1.113.439	1.111.203						
	250<R<400	1.819.645	1.687.209	1.757.332	1.774.462	2.018.999	2.261.461	2.493.029						
	R<250	2.373.722	2.320.024	2.305.037	2.299.333	2.561.741	2.829.661	3.055.654						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.387.902	1.362.453	1.359.633	1.361.676	1.357.210	1.348.298	1.343.992						
	400<R<600	1.447.666	1.414.911	1.421.037	1.391.026	1.406.877	1.413.312	1.408.767						
	250<R<400	2.285.727	2.149.130	2.245.443	2.257.777	2.503.392	2.745.385	2.972.157						
	R<250	3.044.513	3.009.743	2.987.916	2.979.957	3.235.524	3.514.665	3.733.818						
Abschnitt 1: 200m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	1.687.573	1.672.600	1.667.568	1.670.739	1.664.061	1.652.937	1.646.418						
	400<R<600	1.760.590	1.735.629	1.742.766	1.704.235	1.723.958	1.731.405	1.724.536						
	250<R<400	2.785.718	2.637.370	2.761.966	2.769.341	3.016.299	3.257.977	3.479.790						
	R<250	3.734.448	3.719.632	3.690.752	3.680.458	3.928.974	4.219.639	4.431.740						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.193.422	1.132.621	1.134.773	1.134.359	1.134.047	1.127.084	1.127.011						
	400<R<600	1.240.905	1.178.241	1.184.222	1.164.343	1.176.402	1.182.847	1.182.739						
	250<R<400	1.941.885	1.798.680	1.857.877	1.890.893	2.135.006	2.378.673	2.613.395						
	R<250	2.529.491	2.455.178	2.442.229	2.435.897	2.720.853	2.984.117	3.213.080						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	1.582.334	1.548.884	1.547.915	1.548.714	1.545.281	1.535.198	1.532.004						
	400<R<600	1.650.512	1.609.795	1.616.854	1.585.578	1.602.461	1.609.984	1.606.590						
	250<R<400	2.608.147	2.460.906	2.557.494	2.583.605	2.829.209	3.072.157	3.299.974						
	R<250	3.478.454	3.432.823	3.410.134	3.400.548	3.675.764	3.954.838	4.174.060						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.104.043	1.051.349	1.055.692	1.053.445	1.054.855	1.048.345	1.050.038						
	400<R<600	1.147.684	1.094.491	1.099.929	1.084.653	1.094.298	1.100.290	1.102.012						
	250<R<400	1.796.740	1.686.337	1.725.846	1.769.591	2.012.026	2.255.705	2.493.622						
	R<250	2.346.866	2.282.217	2.272.362	2.265.570	2.566.306	2.821.045	3.053.698						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	1.421.150	1.368.084	1.370.295	1.369.450	1.368.727	1.360.084	1.359.645						
	400<R<600	1.480.610	1.423.469	1.430.238	1.406.152	1.420.172	1.427.495	1.426.999						
	250<R<400	2.333.708	2.184.953	2.255.496	2.294.575	2.539.112	2.783.112	3.016.364						
	R<250	3.075.584	3.003.964	2.987.596	2.979.272	3.273.494	3.541.341	3.767.480						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	2.091.912	2.089.419	2.087.705	2.087.760	2.082.702	2.068.611	2.063.877						
	400<R<600	2.184.712	2.171.137	2.179.643	2.137.881	2.159.179	2.168.317	2.163.270						
	250<R<400	3.473.342	3.337.448	3.461.727	3.497.584	3.743.708	3.986.611	4.209.844						
	R<250	4.687.785	4.683.944	4.652.011	4.636.980	4.927.564	5.216.983	5.428.137						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	1.666.082	1.643.038	1.644.918	1.643.215	1.641.656	1.630.810	1.629.584						
	400<R<600	1.740.572	1.709.817	1.717.016	1.687.942	1.703.665	1.711.515	1.710.173						
	250<R<400	2.771.452	2.645.546	2.728.020	2.773.128	3.017.433	3.261.101	3.492.003						
	R<250	3.710.956	3.673.487	3.652.106	3.640.430	3.944.425	4.216.595	4.438.442						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.367.837	1.327.725	1.334.152	1.329.972	1.332.178	1.323.651	1.326.428						
	400<R<600	1.424.327	1.382.417	1.388.667	1.371.204	1.381.795	1.388.810	1.391.640						
	250<R<400	2.242.939	2.147.502	2.186.628	2.248.678	2.490.465	2.734.833	2.973.564						
	R<250	2.992.937	2.937.135	2.925.164	2.915.114	3.244.351	3.498.238	3.730.241						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.569.112	1.526.000	1.531.124	1.527.703	1.528.786	1.518.956	1.520.430						
	400<R<600	1.635.103	1.588.340	1.595.482	1.572.490	1.585.901	1.593.807	1.595.282						
	250<R<400	2.579.726	2.459.825	2.518.427	2.577.561	2.820.677	3.065.256	3.301.072						
	R<250	3.443.483	3.383.589	3.367.584	3.356.580	3.681.783	3.943.764	4.171.735						
Abschnitt 1: 800m Abschnitt 2: 200m	600<R<1000	1.657.320	1.620.239	1.629.150	1.622.665	1.626.318	1.615.775	1.619.936						
	400<R<600	1.725.480	1.686.744	1.694.069	1.674.414	1.686.225	1.694.544	1.698.770						
	250<R<400	2.721.602	2.634.930	2.673.834	2.755.707	2.996.931	3.242.169	3.481.906						
	R<250	3.657.447	3.611.228	3.597.065	3.583.649	3.942.163	4.195.134	4.426.432						

Abbildung 4.58: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei noch nicht strategiekonformen Oberbau

In Abbildung 4.58 sieht man nun das Ergebnis der Abschnittszusammenlegung, wobei es sofort ersichtlich ist, dass es in den Radienklassen 250<R<400 und R<250 ab dem dritten Jahr der Nutzungsdauerverlängerung von Abschnitt 1 zu einer Dauerlangsamfahrstelle aufgrund des schwächeren Oberbaus kommt und somit das Ergebnis nicht mehr wirtschaftlich ist.

In fast allen anderen Fällen rechnet sich im Vergleich zu der in 4.4.8 dargestellten Abbildung die Abschnittszusammenlegung, da hier bereits zu Beginn bei der Nutzungsdauerverkürzung von Abschnitt 2 der positive Effekt der neuen Komponenten zu tragen kommt, da diese für diesen Bereich früher eingesetzt werden.

In nachfolgender Abbildung 4.59 wird nun wieder die Zusammensetzung eines Wertes aus dem Endergebnis [Abbildung 4.58] dargestellt. Wie schon erwähnt kommt jetzt für jeden Ab-

schnitt ein zusätzlicher Term, der die sich ändernden durchschnittlichen Jahreskosten vom derzeitigen zum zukünftigen Normkilometerzyklus darstellt.

Das Ergebnis der einzelnen Terme ist für die Zeile im Bereich der Abschnittslängenerhöhung von 200m auf 800m (Abschnitt 1: 200m und Abschnitt 2: 600m), in der Radienklasse  $400 < R < 600$ .

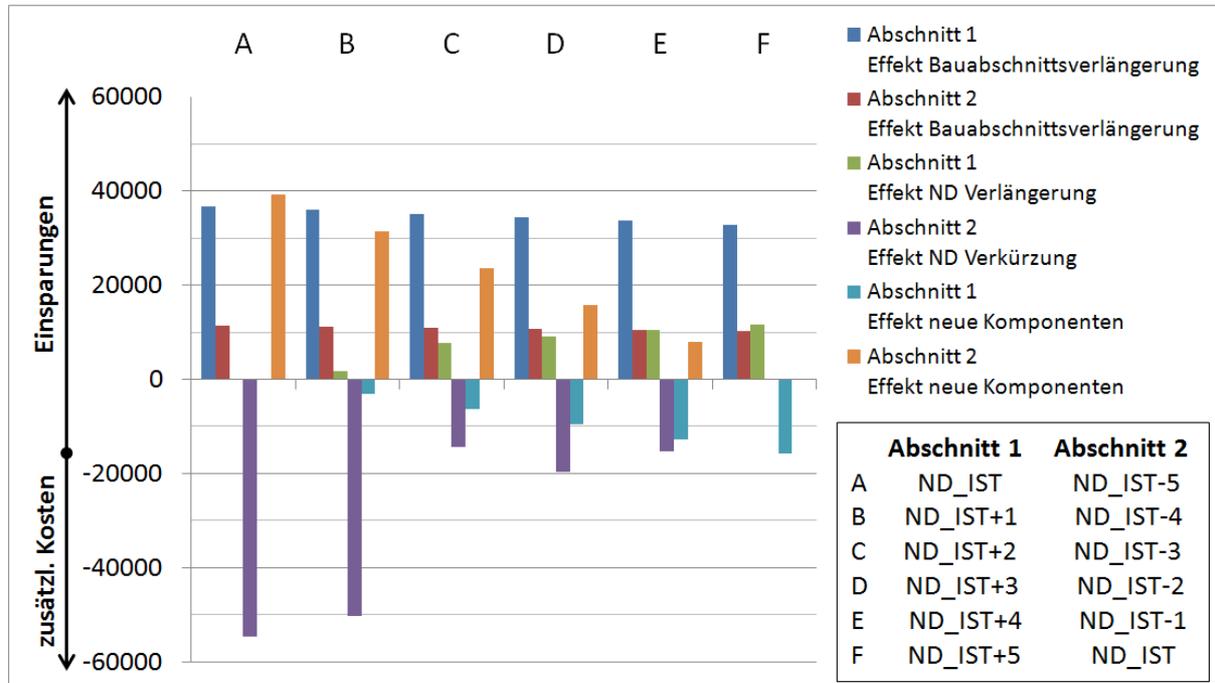


Abbildung 4.59: Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer Gleisbelastung 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei noch nicht strategiekonformen Oberbau und Erhöhung der Abschnittslänge von 200m auf 800m in der Radienklasse  $400 < R < 600$

Der Wert zum ersten möglichen Re-Investitionszeitpunkte A in Abbildung 4.58 ergibt €1.414.911. Die Differenz von €32.754 gegenüber der getrennten Neulage besteht aus €36.705 bei Abschnitt 1 für die Abschnittslängenverlängerung, €11.428 für denselben Effekt bei Abschnitt 2, €-54.576 für die Nutzungsdauerverkürzung von Abschnitt 2 und Einsparungen im Wert von €39.754 entstehen durch die vorzeitig eingesetzten strategiekonformen Oberbaukomponenten. Effekte durch eine Nutzungsdauerverlängerung und den Einsatz neuer Komponenten kommen bei Abschnitt 1 am Anfang noch nicht zum Tragen, da hier der reale Re-Investitionszeitpunkt von Abschnitt 1 ist.

In weiterer Folge erkennt man in Abbildung 4.59 jedoch, dass der Effekt der neuen Oberbaukomponenten für Abschnitt 1 einen immer größer werdenden Kostenblock darstellt, da durch die Nutzungsdauerverlängerung der Einsatz der strategiekonformen Oberbaustoffe erst später stattfindet.

#### 4.4.11 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei noch nicht strategiekonformem Oberbau und einer Unterbauklasse „U4“

Die nachfolgenden Ergebnisse ergeben sich für eine zweigleisige Strecke mit einer Streckenbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag und einem Unterbau in der Klasse „U4“. Das heißt, dass der zu re-investierende Abschnitt noch nicht die Oberbaukomponenten nach Strategie besitzt und zusätzlich auch noch den in der Instandhaltung kostenintensiveren Unterbau „U4“. Wie in Kapitel 2.2.3 bereits definiert, bedeutet die Unterbauklasse „U4“ eine in etwa 100-prozentige Erhöhung der Instandhaltungskosten.

Die anfallende Unterbausanierung wird bei der Berechnung immer angesetzt, unabhängig davon, ob die Abschnitte zusammen oder getrennt re-investiert werden. Für eine Unterbausanierung sind Mindestabschnittslängen von 320m angesetzt, deshalb sind nachfolgend weniger Abschnittslängenkombinationen vorhanden.

	Radienklasse	Re-Invest getrennt	gemeinsamer Re-Investitionszeitpunkt											
			Abschnitt 1 +0 Jahre	Abschnitt 2 -5 Jahre	Abschnitt 1 +1 Jahr	Abschnitt 2 -4 Jahre	Abschnitt 1 +2 Jahre	Abschnitt 2 -3 Jahre	Abschnitt 1 +3 Jahre	Abschnitt 2 -2 Jahre	Abschnitt 1 +4 Jahre	Abschnitt 2 -1 Jahr	Abschnitt 1 +5 Jahre	Abschnitt 2 +0 Jahre
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	1.658.114	1.629.728	1.622.515	1.619.091	1.850.203	2.087.522	2.318.850						
	400<R<600	1.720.434	1.670.130	1.691.746	1.680.578	1.918.565	2.154.315	2.384.155						
	250<R<400	2.444.520	2.344.737	2.352.517	2.394.096	2.632.955	2.862.839	3.086.828						
	R<250	3.289.866	3.233.340	3.460.504	3.694.609	3.976.488	4.235.415	4.470.022						
Abschnitt 1: 320m Abschnitt 2: 600m	600<R<1000	2.297.475	2.312.629	2.298.561	2.292.976	2.517.234	2.752.392	2.976.865						
	400<R<600	2.390.013	2.361.481	2.399.169	2.380.385	2.615.474	2.848.326	3.070.551						
	250<R<400	3.384.449	3.299.014	3.317.314	3.372.179	3.612.191	3.836.209	4.049.645						
	R<250	4.612.383	4.587.648	4.807.826	5.033.062	5.307.956	5.579.506	5.807.128						
Abschnitt 1: 400m Abschnitt 2: 400m	600<R<1000	2.023.865	2.013.537	2.004.291	1.999.669	2.228.561	2.465.029	2.694.184						
	400<R<600	2.103.342	2.064.317	2.090.275	2.076.153	2.313.405	2.547.922	2.775.213						
	250<R<400	2.986.232	2.892.537	2.901.318	2.951.389	3.189.453	3.416.553	3.636.452						
	R<250	4.041.322	3.994.617	4.218.269	4.450.447	4.741.313	5.003.032	5.234.877						
Abschnitt 1: 480m Abschnitt 2: 800m	600<R<1000	3.134.045	3.177.052	3.157.977	3.149.927	3.368.828	3.602.211	3.821.421						
	400<R<600	3.264.402	3.247.455	3.296.977	3.271.284	3.504.706	3.734.919	3.951.040						
	250<R<400	4.608.404	4.532.412	4.554.670	4.628.590	4.867.402	5.085.089	5.288.810						
	R<250	6.307.106	6.310.051	6.522.082	6.741.971	7.033.256	7.312.308	7.533.273						
Abschnitt 1: 500m Abschnitt 2: 500m	600<R<1000	2.453.616	2.480.186	2.468.266	2.461.952	2.687.972	2.923.176	3.149.514						
	400<R<600	2.555.427	2.544.094	2.574.881	2.556.972	2.793.076	3.025.858	3.249.861						
	250<R<400	3.624.858	3.561.420	3.570.789	3.630.278	3.866.835	4.090.083	4.304.590						
	R<250	4.941.894	4.931.815	5.150.445	5.379.501	5.680.321	5.944.599	6.172.346						
Abschnitt 1: 600m Abschnitt 2: 320m	600<R<1000	2.294.244	2.286.377	2.278.910	2.273.449	2.503.658	2.740.151	2.970.740						
	400<R<600	2.386.067	2.354.536	2.375.198	2.361.319	2.599.619	2.833.945	3.062.492						
	250<R<400	3.369.373	3.295.845	3.296.046	3.353.066	3.587.550	3.813.231	4.033.207						
	R<250	4.580.044	4.541.025	4.762.466	4.998.243	5.317.852	5.573.379	5.804.883						

Abbildung 4.60: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig mit nicht strategiekonformen Oberbau und Unterbauklasse "U4"

Durch den schlechten Unterbau kommt es in allen vier Radienklassen zu einer Dauerlangsamfahrstelle aufgrund der Nutzungsdauerverlängerung von Abschnitt 1. In der Radienklasse R<250 tritt diese bereits ab dem ersten Jahr der Verlängerung auf, wobei es hingegen in den restlichen Klassen erst ab dem dritten Jahr der Verlängerung zu einer Dauerlangsamfahrstelle kommt. In diesen Fällen ist es wie zuvor niemals wirtschaftlich, die Abschnitte gemeinsam zu re-investieren.

In Abbildung 4.60 ist zudem ersichtlich, dass es auch in Fällen ohne Langsamfahrstelle eine gemeinsame Re-Investition nicht immer wirtschaftlich ist. Dies liegt zum einen daran, dass bei der Nutzungsdauerverlängerung von Abschnitt 1 sehr hohe Zusatzkosten durch die intensiven Instandhaltungsmaßnahmen entstehen und es dabei zu praktisch keiner Reduktion des durchschnittlichen Jahreskosten kommt, und zum anderen daran, dass es auch bei der Nut-

zungsdauerverkürzung von Abschnitt 2 zu massiv steigenden jährlichen Durchschnittskosten kommt.

## 4.5 Zusammenfassung

Die Auswertungen in [4.4.2-4.4.11] haben gezeigt, dass sich ein Zusammenlegen von Abschnitten bei der Re-Investition in sehr vielen Fällen als wirtschaftlich erweist. Insbesondere in dem untersuchten Bereich mit Abschnittslängen von unter 1000m sind die erzielbaren Einsparungen beachtlich. Die optimale Re-Investitionslänge wird durch Elemente limitiert, zu deren Bearbeitung ein anderer Maschinenpool erforderlich ist.

Ein K.O.-Kriterium im Hauptnetz sind dabei allerdings Dauerlangsamfahrstellen. Falls bei einer Nutzungsdauerverlängerung eine Dauerlangsamfahrstelle erforderlich wird, ist der Einsparungseffekt durch die größere Abschnittslänge kleiner als die Kosten zufolge der Dauerlangsamfahrstelle.

In den Auswertungen [4.4.2-4.4.9] sind zumeist jene Fälle unwirtschaftlich, bei denen ein zweiter, im Vergleich zum ersten, langer Abschnitt vorhanden ist. Hierbei wird allerdings immer von gutem Unterbau und bereits strategiekonformen Komponenten ausgegangen.

Wie allerdings in 4.4.10 gezeigt wird, ist beim Vorhandensein eines nicht optimalen Oberbaus eine gemeinsame Re-Investition sogar noch sinnvoll, wenn der zweite Abschnitt (jener mit Nutzungsdauerverkürzung) um ein Vielfaches länger ist.

Die Nutzungsdauer von Abschnitten mit einer Radienklasse von mehr als 400m, könnte aus wirtschaftlicher Sicht verlängert werden, falls kein Komponentenversagen zu erwarten ist.

Nicht strategiekonforme Normkilometer früher zu ersetzen ist sinnvoll, insbesondere bei einem Wechsel von Betonschwellen auf besohlte Betonschwellen, da ein derartiger Oberbau deutlich reduzierte Jahreskosten aufweist.

Das Einsparungspotential durch längere Bauabschnitte nimmt mit sinkender Verkehrsbelastung ab.

Mit diesem Modell der wirtschaftlichen Bewertung wird in der LCC Tool Datenbank eine automatisierte Bewertung von Abschnitten mit verschiedenen Re-Investitionszeitpunkten durchgeführt. Mit EDV-Unterstützung können hierbei automatisiert Abschnitte den Normkilometern zugeteilt werden, wobei das reale Verhalten des betrachteten Abschnitts berücksichtigt wird. Zudem erfolgen die Auswertungen für Mindestabschnittslängen. Eine wirtschaftliche Bewertung der Verlängerung der Abschnittslängen liegt für zwei benachbarte Abschnitte vor. Die vorliegende Arbeit erlaubt damit für das Hauptnetz der ÖBB abschnittsspezifisch den optimalen Re-Investitionszeitpunkt zu ermitteln.

Zusätzlich erlaubt die exakte Zuteilung aller Streckenquerschnitte auf Normkilometer weitere Auswertungen.

### 4.5.1 Auswertung des Re-Investitionsbedarfs

Aufgrund des Schwellenalters und der Normkilometerzuteilung kann ein Re-Investitionszeitpunkt für jeden einzelnen Gleisquerschnitt errechnet werden. Führt man diese Berechnung für das in der Datenbank vorhandene Netz aus, so lässt sich der Erneuerungsbedarf für die kommenden Jahre darstellen. Hierbei ist zu beachten, dass noch keine Rücksicht auf Abschnittslängen genommen wird und die dargestellten Längen sich somit aus der Summe der

Einzelquerschnittlängen von fünf Meter ergeben. Wie in der Darstellung [Abbildung 4.61] ersichtlich, gibt es einen vorhandenen nachzuholenden Re-Investitionsbedarf bis ins Jahr 1990 und sogar noch weiter zurück (der Bedarf in den Jahren davor wurde dem Jahr 1990 hinzu gerechnet), d.h. es gibt Bereiche mit einer Überalterung von 20 Jahren und mehr im Hauptnetz. In folgender Tabelle [Tabelle 4.15] ist der „angestaute“ Re-Investitionsbedarf, von in Summe 381,88km, ersichtlich.

Des Weiteren sieht man, dass von nun an bis zum Jahr 2036 ein erhöhter Re-Investitionsbedarf besteht, wobei die Spitze mit 179 Kilometer Gleisneulage im Hauptnetz im Jahren 2027 liegt.

Überalterung	11 – 20 Jahre	≤ 10 Jahre
Kumulierte Länge	66,72 km	315,17 km
SUMME	381,88 km	

Tabelle 4.15: Nachzuholender Re-Investitionsbedarf

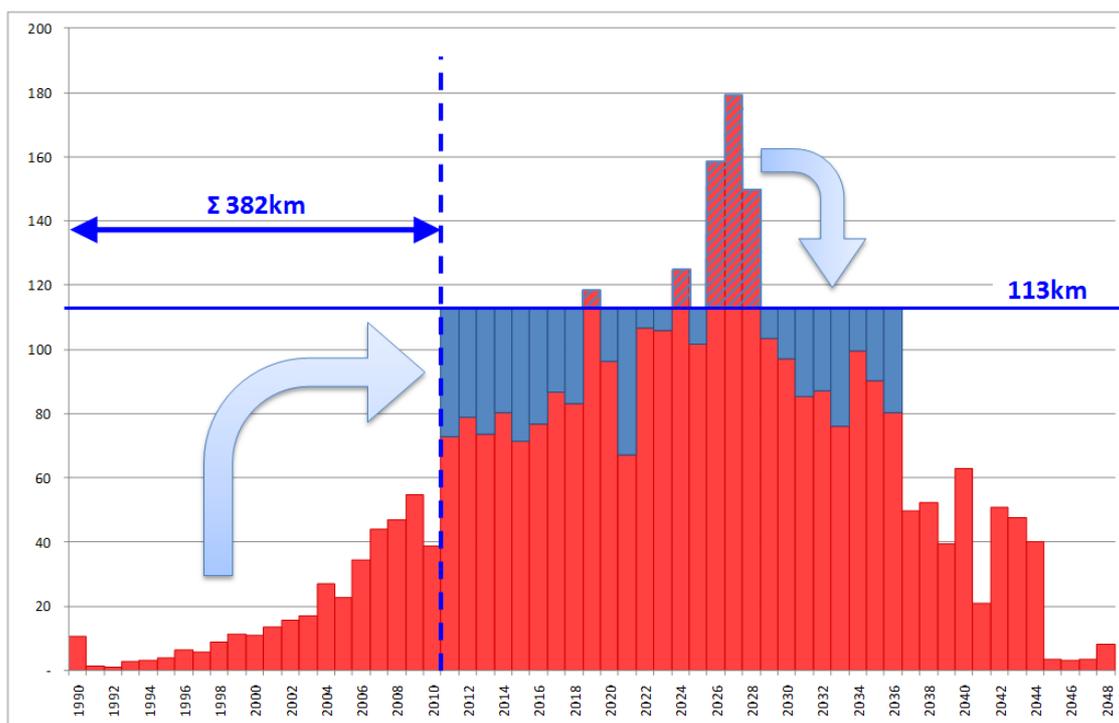


Abbildung 4.61: Re-Investitionsbedarf im Hauptnetz (ca. 3500km)

Soll der nachzuholenden Re-Investitionsbedarf bis zum Jahr 2036 abgebaut, und zusätzlich die Re-Investitionsspitzen geglättet werden, so gilt es ab nun jährlich 113km auf dem Hauptnetz (Strecken der LCC Tool Datenbank) zu re-investieren. In diesen Jahren kommt es zu einer weiteren Überalterung des Nebennetzes, ab dem Jahr 2037 kann diese allerdings wieder durch eine erhöhte Re-Investition im Nebennetz bekämpft werden.

In Abbildung 4.61 ist allerdings nur ein Zyklus zur Re-Investition berücksichtigt, dadurch kommt es ca. ab dem Jahr 2040 bereits wieder zu ersten Re-Investitionen von Abschnitten die im Jahr 2011 erneuert werden und führt dadurch wieder zu einem erhöhten Re-Investitionsbedarf in diesen Jahren.

#### 4.5.2 Netzweite Altersstruktur aufgrund Normkilometer-Zuteilung

Fasst man die Querschnitte zusammen, die ein- und demselben Normkilometer zugeordnet sind, ermittelt deren durchschnittliches Alter und bildet mit der Nutzungsdauer als Quotient eine Division, so erhält man die durchschnittliche verbrauchte Nutzungsdauer für diesen Normkilometer. Führt man dies für alle auftretenden Normkilometer durch, erhält man folgende Abbildung [Abbildung 4.62].

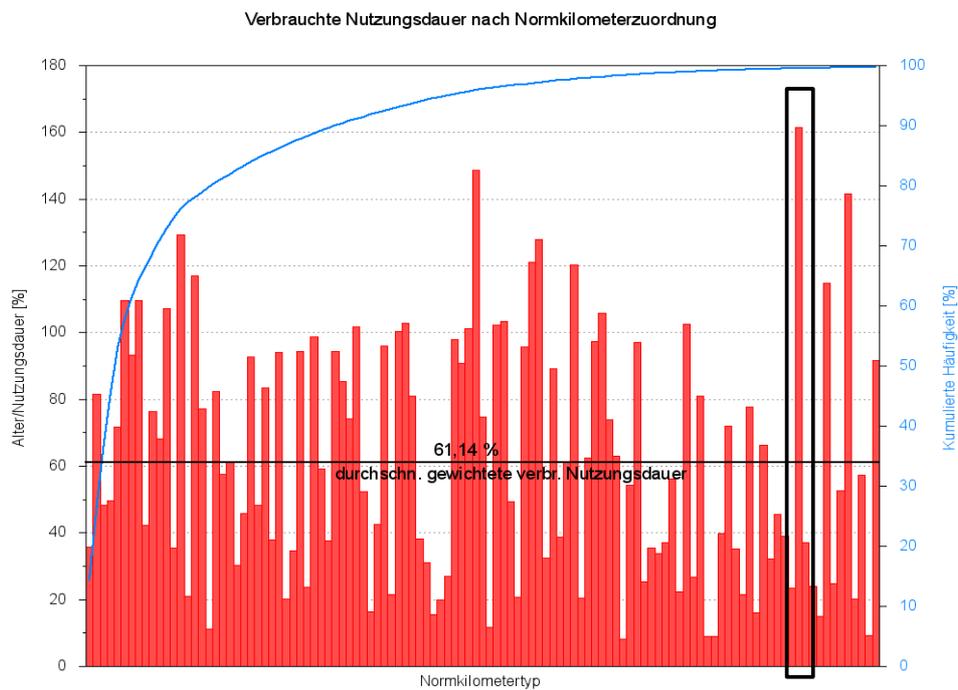


Abbildung 4.62: Durchschnittliche verbrauchte Nutzungsdauer je Normkilometer

Bei diese Darstellung wurden Normkilometer, bei denen unter 100 Querschnitte (< 500m) im Netz vorhanden sind, nicht berücksichtigt. Man erkennt sehr gut, dass einzelne Normkilometer bis zu 60% überaltert sind, deren Auftreten im Netz (anhand der kumulierten Häufigkeitskurve ersichtlich) allerdings nicht sehr häufig ist. Der markierte Balken in der Abbildung tritt beispielsweise im Netz auf einer Länge von 785m auf und entspricht dem Normkilometer mit den folgenden Parametern: Schienenprofil 49E1, Schwellentyp Holz, Radienklasse  $400 < R < 600\text{m}$ , Belastungsklasse  $>70.000 \text{ Bt/Tag}$  und Unterbauklasse Gut.

Die durchschnittliche verbrauchte Nutzungsdauer von mehr als 50% bestätigt den in der vorausgegangenen Auswertung dargestellten Nachholbedarf.

### 4.5.3 Soll-Stopfen aufgrund der Normkilometer-Zuteilung

Eine der wohl umstrittensten Fragen im Rahmen der Gleisinstandhaltung ist die anzustrebende jährliche Stopfleistung. Auch diese Frage lässt sich mit der LCC Tool Datenbank beantworten, da jedem Normkilometer ein durchschnittliches Stopfintervall zugeordnet ist, woraus sich der jährliche Anteil für einen Kilometer berechnen lässt. Auf Basis der Häufigkeit des Normkilometers im Netz kann die jährliche Stopflänge für jeden Normkilometer berechnet werden, welche in der nachfolgenden Abbildung [Abbildung 4.63] dargestellt ist.

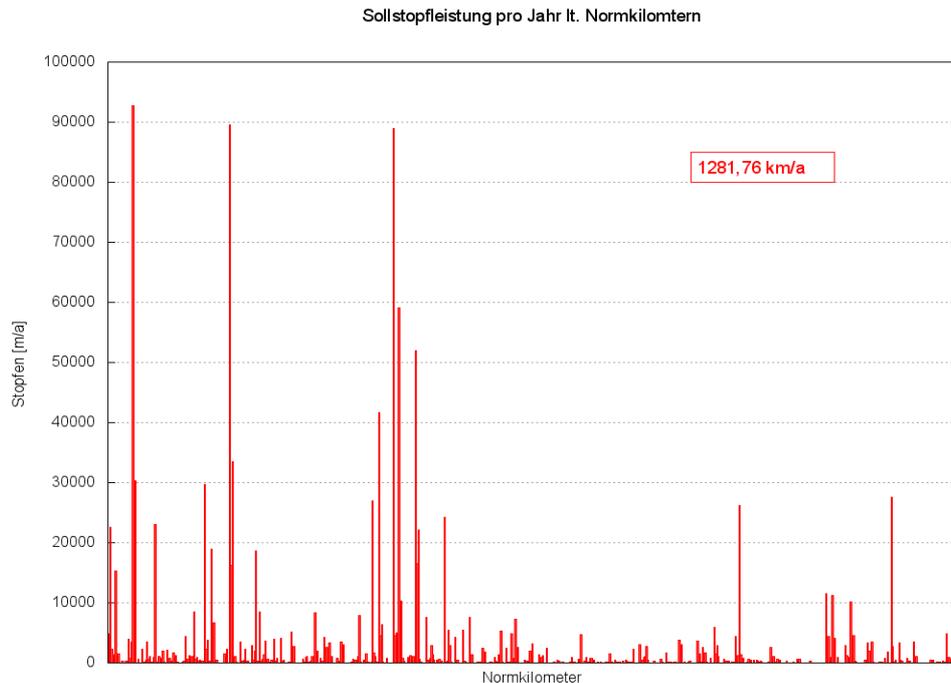


Abbildung 4.63: Jährlicher Stopfbedarf je Normkilometer

Summiert man den Stopfbedarf der jeweiligen Normkilometer, ergibt sich eine Soll-Stopflänge von 1281,76km pro Jahr, auf dem von der Datenbank abgebildeten Netz.

## 5 Ausblick

### Prognosemodell

Ausgehend von dieser Arbeit sollte als nächster Schritt über die Normkilometerzuteilung hinaus ein abschnittsspezifisches Prognosemodell verstärkt verwendet werden. Dies sollte vom bisherigen tatsächlichen Gleisverhalten bzw. eventuell in Kombination mit einer Normkilometerzuteilung auf das weitere Verhalten schließen und daraus die Bestimmung eines abschnittsspezifischen Zeitpunkts für die Neulage erlauben.

### Weichen

Um einen größeren Abschnitt (z.B. Bahnhof – Bahnhof) untersuchen zu können, reicht es nicht, nur die Gleise zu bewerten. Es müssen auch die Weichen berücksichtigt werden, da diese zumindest den Kostenfaktor 10 im Vergleich zu einem normalen Gleis aufweisen. Bei den ÖBB gibt es bereits seit 2005 auch eine Strategie Weichen [Veit, Marschnig 2005b], allerdings ist eine automatisierte Auswertung für eine wirtschaftliche Betrachtung nicht möglich, da die Daten noch nicht in geeigneter Form für eine Erfassung und Verknüpfung mit der LCC Tool Datenbank vorliegen. Hierzu müsste neben der bisher vorhandenen Stationierung zusätzlich noch der Weichentyp, Herzstücktyp usw. vorhanden sein. Auch ist ein aktueller Qualitätszustand, so wie er beim Gleis schon vorhanden ist, nicht automatisch durch den Messwagen bestimmbar. Somit liegt die Bestimmung eines möglichen Re-Investitionszeitpunkts aufgrund des tatsächlichen Verhaltens noch nicht vor.

### Einzelfehler

Einzelfehler treten bei einer Auswertung als Abschnitt immer wieder als Störstelle auf, d.h. aufgrund eines lokalen Fehlers kommt an diesem Querschnitt eine andere Bewertung zustande als auf den Querschnitten davor und danach. Bei einer genaueren Betrachtung dieser Punkte müsste man versuchen, die Ursache zu erkennen, die nötigen Maßnahmen zu definieren und bei der Bewertung zu berücksichtigen. Dabei könnte man den Einzelfehler im Abschnitt mit einem „Label“ versehen und hätte nicht mehr drei Abschnitte, sondern einen langen Abschnitt mit einem Teilbereich, der dieses „Label“ trägt. Dafür können dann in weiterer Folge auch bestimmte zusätzliche Kosten zur Beseitigung eingestellt werden.

### Weitere Gewerke

Bei der wirtschaftlichen Bewertung werden die Vorteile in Rechnung gestellt, welche sich aus baubetrieblicher Sicht bei größeren Abschnittslängen ergeben. Diesen Ansatz kann man natürlich noch weiter verfolgen und sich weitere Gewerke einer Baustelle ansehen und diese dann optimal in den Bauablauf einbinden. Mögliche Gewerke wären hier z.B. Oberleitung, Brückenbau oder Signaltechnik. Ein derartiges Pilotprojekt bei den ÖBB ist derzeit für die Inspektion in Ausarbeitung.

## 6 Anhang

## 6.1 Standard Normkilometerzyklen nach Strategie

### 6.1.1 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Tauern 1		600<R<1000		eingleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
> 70.000	60E1	350HT	gut	Beton beschlbt																																			
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Neulage		1,0	1																																				
Stopfen	alle x Jahre	7,2	1							1							1							1															
Schleifen	Anzahl in ND	2,0															1																						
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	5,0					1						1									1					1												
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.1: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig

Tauern 1		400<R<600		eingleisig																																				
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																				
> 70.000	60E1	350HT	gut	Beton beschlbt																																				
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	29,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28									
Neulage		1,0	1																																					
Stopfen	alle x Jahre	4,1	1				1				1							1					1					1												
Schleifen	Anzahl in ND	5,0									1																													
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0					1								1																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,6																	0,3																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																						
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																						
Mängelbehebung	Anzahl in ND	29,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.2: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig

Tauern 1		250<R<400	zweigleisig																											
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																										
> 70.000	60E1	350 HT	gut	Beton besohlt																										
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	26,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
Neulage	1,0	1																												
Stopfen	alle x Jahre	1,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Schleifen	Anzahl in ND	18,0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																												
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0						0,5								0,5														
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																												
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	11,0		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		

Abbildung 6.3: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig

Tauern 1		R<250	eingleisig																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																		
> 70.000	60E1	350 HT	gut	Holz																		
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	18,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Neulage	1,0	1																				
Stopfen	alle x Jahre	1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Schleifen	Anzahl in ND	8,0		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0				0,5				1				0,5					1			
Stoßpflege	Anzahl in ND	18,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	18,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	

Abbildung 6.4: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig

### 6.1.2 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Westbahn 1		600<R<1000																																											
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																									
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																									
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	42,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
Neulage	1,0	1																																											
Stopfen	alle x Jahre	7,0	1								1										1																								
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																					1																						
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0								1						1																													
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																											
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																											
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																											
Mängelbehebung	Anzahl in ND	42,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.5: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig

Westbahn 1		400<R<600	zweigleisig																																				
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
45.000 - 70.000	60E1	350 HT	gut	Beton besohlt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	35,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Neulage		1,0	1																																				
Stopfen	alle x Jahre	5,8	1						1						1																								
Schleifen	Anzahl in ND	1,0																																					
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	2,0											1																										
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Mangelbehebung	Anzahl in ND	35,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.6: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig

Westbahn 1		250<R<400	zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
45.000 - 70.000	60E1	350 HT	gut	Beton besohlt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Neulage		1,0	1																																			
Stopfen	alle x Jahre	5,2	1						1						1																							
Schleifen	Anzahl in ND	15,0		1		1		1		1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0											0,5																									
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	13,0				1		1					1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
Mangelbehebung	Anzahl in ND	31,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.7: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig

Westbahn 1		R<250	zweigleisig																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																							
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Holz	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	23,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
Neulage		1,0	1																								
Stopfen	alle x Jahre	1,5	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Schleifen	Anzahl in ND	11,0			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0						0,5																			
Stoßpflege	Anzahl in ND	23,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																									
Mangelbehebung	Anzahl in ND	23,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.8: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig



Südbahn 1		R<250	eingleisig																										
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																									
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Holz																									
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	25,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																										
Stopfen	Anzahl in ND	2,5	1				1		1		1			1		1		1		1		1		1		1			
Schleifen	Anzahl in ND	6,0			1						1			1		1		1		1		1		1		1			
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																											
Schienenwechsel	Anzahl in ND	2,0							0,5							1						0,5							
Stoßpflege	Anzahl in ND	25,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																											
Mängelbehebung	Anzahl in ND	25,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.12: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig

### 6.1.4 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis - eingleisig

Ennstalbahnhof 1		600<R<1000	eingleisig																																																	
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																
15.000 - 30.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																																
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	50,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																																	
Stopfen	Anzahl in ND	16,7	1																																																	
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	5,0									1																																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Mängelbehebung	Anzahl in ND	50,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.13: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig

Ennstalbahnhof 1		400<R<600	eingleisig																																															
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																														
15.000 - 30.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	47,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																															
Stopfen	Anzahl in ND	15,7	1																																															
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,1																																																
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Mängelbehebung	Anzahl in ND	47,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.14: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig

Ennstalbbahn 1		250<R<400	eingleisig																																					
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																				
15.000 - 30.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																				
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																					
Stopfen	Anzahl in ND	9,0	1							1										1																				
Schleifen	Anzahl in ND	2,0								1																														
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																						
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																		0,5																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																						
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	3,0								1																														
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Abbildung 6.15: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig

Ennstalbbahn 1		R<250	eingleisig																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																					
15.000 - 30.000	54E2	350 HT	gut	Holz																																					
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	28,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27											
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																						
Stopfen	Anzahl in ND	2,8	1			1				1																															
Schleifen	Anzahl in ND	4,0				1																																			
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																							
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																																							
Stoßpflege	Anzahl in ND	28,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																							
Mängelbehebung	Anzahl in ND	28,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Abbildung 6.16: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig

### 6.1.5 Verkehrsbelastung >70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Westbahn 2		R>3000	zweigleisig																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																					
>70.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																					
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35			
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																						
Stopfen	Anzahl in ND	7,2	1																																						
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																							
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																							
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																							
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																							
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																							
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Abbildung 6.17: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R>3000, zweigleisig

Westbahn 2		1000<R<3000	zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
>70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																		
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Neulage		1,0	1																																			
Stopfen	alle x Jahre	7,2	1							1							1							1														
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	2,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.18: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 1000<R<3000, zweigleisig

Westbahn 2		600<R<1000	zweigleisig																																				
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																			
>70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																			
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Neulage		1,0	1																																				
Stopfen	alle x Jahre	7,2	1							1								1						1															
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																					
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	4,0																																					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																					
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																					
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.19: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig

Westbahn 2		400<R<600	zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
>70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																		
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	29,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28							
Neulage		1,0	1																																			
Stopfen	alle x Jahre	4,1	1																																			
Schleifen	Anzahl in ND	5,0																																				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,6																																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	29,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.20: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig

Westbahn 2		250<R<400		zweigleisig																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																								
>70.000	60E1	350 HT	gut	Beton besohlt																								
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	26,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Neulage		1,0	1																									
Stopfen	alle x Jahre	1,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schleifen	Anzahl in ND	18,0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																										
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0						0,5								0,5												
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																										
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	11,0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.21: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000 GesBt/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig

Südbahn 2		R<250		zweigleisig																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																								
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Holz																								
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	23,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17								
Neulage		1,0	1																									
Stopfen	alle x Jahre	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schleifen	Anzahl in ND	11,0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																										
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0					0,5					1					0,5											
Stoßpflege	Anzahl in ND	23,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																										
Mängelbehebung	Anzahl in ND	23,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.22: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig

### 6.1.6 Verkehrsbelastung 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig

Südbahn 2		600<R<1000		zweigleisig																																													
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																													
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																													
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	42,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41					
Neulage		1,0	1																																														
Stopfen	alle x Jahre	7,0	1								1								1																														
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																															
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																															
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0							1																																								
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																															
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																															
Mängelbehebung	Anzahl in ND	42,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.23: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig

Südbahn 2		400<R<600		zweigleisig																																														
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																														
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	35,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34													
Neulage		1,0	1																																															
Stopfen	alle x Jahre	5,8	1							1																																								
Schleifen	Anzahl in ND	1,0																																																
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	2,0																																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Mängelbehebung	Anzahl in ND	35,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.24: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig

Südbahn 2		250<R<400		zweigleisig																																														
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																														
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																	
Neulage		1,0	1																																															
Stopfen	alle x Jahre	5,2	1							1																																								
Schleifen	Anzahl in ND	15,0		1				1																																										
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0																																																
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	13,0																																																
Mängelbehebung	Anzahl in ND	31,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.25: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig

Südbahn 2		R<250		zweigleisig																	
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																	
45.000 - 70.000	60E1	350HT	gut	Holz																	
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	23,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Neulage		1,0	1																		
Stopfen	alle x Jahre	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Schleifen	Anzahl in ND	11,0		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																			
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0					0,5				1					0,5				1	
Stoßpflege	Anzahl in ND	23,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																			
Mangelbehebung	Anzahl in ND	23,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.26: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig

### 6.1.7 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Nordbahn 2		600<R<1000		zweigleisig																																																
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																
30.000 - 45.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																																
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	50,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Neulage		1,0	1																																																	
Stopfen	alle x Jahre	12,5	1															1																																		
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	7,0																																																		
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Mangelbehebung	Anzahl in ND	50,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.27: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig

Nordbahn 2		400<R<600		zweigleisig																																														
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																														
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	43,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42					
Neulage		1,0	1																																															
Stopfen	alle x Jahre	10,8	1																																															
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	2,0																																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Mangelbehebung	Anzahl in ND	47,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.28: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig

Nordbahn 2		250<R<400	zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																		
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	34,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																			
Stopfen	Anzahl in ND	6,8	1																																			
Schleifen	Anzahl in ND	4,0					1																															
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0									0,5																											
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	6,0						1																														
Mangelbehebung	Anzahl in ND	34,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.29: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBt/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig

Südbahn 1		R<250	eingleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																		
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Holz																																		
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	25,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24											
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																			
Stopfen	Anzahl in ND	2,5	1																																			
Schleifen	Anzahl in ND	6,0			1																																	
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	2,0									0,5																											
Stoßpflege	Anzahl in ND	25,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Mangelbehebung	Anzahl in ND	25,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.30: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBt/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig

### 6.1.8 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Scheiber 2		600<R<1000																																																		
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																
15.000 - 30.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																																
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	50,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Neulage	alle x Jahre	16,7	1																																																	
Stopfen	Anzahl in ND	0,0																																																		
Schleifen	Anzahl in ND	5,0																																																		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																																		
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																		
Mangelbehebung	Anzahl in ND	50,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.31: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig

Schober 2		400<R<600	zweigleisig																																																		
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																	
15.000 - 30.000	60E1	260	gut	Beton besohlt																																																	
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	47,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46				
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																																		
Stopfen	Anzahl in ND	15,7	1																																																		
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																			
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0																																																			
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,1																																																			
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																			
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																			
Mängelbehebung	Anzahl in ND	47,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.32: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig

Schober 2		250<R<400	zweigleisig																																																		
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																	
15.000 - 30.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																																	
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35															
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																																		
Stopfen	Anzahl in ND	9,0	1																																																		
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																																			
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																																			
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																																																			
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																			
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	3,0																																																			
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.33: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig

Schober 2		R<250	zweigleisig																																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																		
15.000 - 30.000	54E2	350 HT	gut	Holz																																																		
Instandhaltungsarbeit	Anzahl in ND	28,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27																								
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																																			
Stopfen	Anzahl in ND	2,8	1																																																			
Schleifen	Anzahl in ND	4,0																																																				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,5																																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																																																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	28,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	28,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.34: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig

## 6.2 In der Nutzungsdauer verlängerte Normkilometerzyklen nach Strategie

### 6.2.1 Verkehrsbelastung > 70.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Westbahn 2		600<R<1000		zweigleisig																																												
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																												
>70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																												
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	41,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
Neulage		1,0	1																																													
Stopfen	alle x Jahre	7,2	1							1							1																															
Schleifen	Anzahl in ND	2,0															1																															
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	4,0					1																																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																														
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																														
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																														
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Abbildung 6.35: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

Westbahn 2		400<R<600		zweigleisig																																													
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																													
>70.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt																																													
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	34,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33													
Neulage		1,0	1																																														
Stopfen	alle x Jahre	4,1	1				1																																										
Schleifen	Anzahl in ND	5,0																																															
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	3,0					1																																										
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,6																																															
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																															
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																															
Mängelbehebung	Anzahl in ND	29,0		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.36: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig, 5 Jahre verlängert









Schober 2		400 < R < 250	zweigleisig																																													
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																											
15.000 - 30.000	60E1	350HT	gut		Beton besohlt																																											
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	41,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
Neulage		1,0	1																																													
Stopfen	alle x Jahre	8,2	1							1											1																								1			
Schleifen	Anzahl in ND	3,0								1																																				1		
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																														
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																			0,5																											
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																														
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	4,0																																														
Mängelbehebung	Anzahl in ND	46,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.49: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Radienklasse 250 < R < 400, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

Schober 2		R < 250	zweigleisig																																															
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																													
15.000 - 30.000	54E2	350 HT	gut		Holz																																													
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	33,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32															
Neulage		1,0	1																																															
Stopfen	alle x Jahre	2,2	1				1			1																																								
Schleifen	Anzahl in ND	5,0					1																																											
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,5																																																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,5																			0,5																													
Stoßpflege	Anzahl in ND	33,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																
Mängelbehebung	Anzahl in ND	38,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.50: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBT/Tag, Radienklasse R < 250, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

### 6.2.5 Verkehrsbelastung > 70.000 GesBT/Tag, Gleis - eingleisig

Tauern 1		600 < R < 1000	eingleisig																																																
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																														
> 70.000	60E1	350HT	gut		Beton besohlt																																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	41,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40								
Neulage		1,0	1																																																
Stopfen	alle x Jahre	7,2	1							1																																									
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																																	
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	5,0																																																	
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																	
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																	
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			

Abbildung 6.51: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse > 70.000 GesBT/Tag, Radienklasse 600 < R < 1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert

Tauern 1		400<R<600	eingleisig																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																				
> 70.000	60E1	350HT	gut		Beton besohlt		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	34,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33					
Neulage		1,0	1																																						
Stopfen	alle x Jahre	4,1	1				1				1				1						1							1					1			1		1			
Schleifen	Anzahl in ND	5,0									1										1							1									1				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	4,0					1								1													1													
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,6																																							
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																							
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																							
Mängelbehebung	Anzahl in ND	29,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,8	2	2,2	2,4

Abbildung 6.52: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig, 5 Jahre verlängert

Tauern 1		400<R<250	eingleisig																																					
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																			
> 70.000	60E1	350 HT	gut		Beton besohlt		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
Neulage		1,0	1																																					
Stopfen	alle x Jahre	1,9	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
Schleifen	Anzahl in ND	18,0		1		1	1	1			1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																						
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0								0,5												0,5																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																						
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	11,0		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,8	2	2,2	2,4
LA	ΔV																																					20	20	20

Abbildung 6.53: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert

Tauern 1		R<250	eingleisig																																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																						
> 70.000	60E1	350 HT	gut		Holz		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	23,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22																		
Neulage		1,0	1																																								
Stopfen	alle x Jahre	1,0	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Schleifen	Anzahl in ND	8,0			1		1		1	1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1				
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0					0,5					1										1																					
Stoßpflege	Anzahl in ND	18,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																									
Mängelbehebung	Anzahl in ND	18,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,8	2	2,2	2,4	
LA	ΔV																																							20	20	40	40

Abbildung 6.54: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert





Südbahn 1		400<R<250	eingleisig																																												
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																											
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Beton besohlt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38				
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	39,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38						
Neulage		1,0	1																																												
Stopfen	alle x Jahre	5,6	1							1																																					
Schleifen	Anzahl in ND	5,0						1																																							
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																													
Schienenwechsel	Anzahl in ND	1,0										0,5																																			
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																													
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	7,0																																													
Mängelbehebung	Anzahl in ND	44,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.61: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert

Südbahn 1		R<250	eingleisig																																														
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																													
30.000 - 45.000	60E1	350HT	gut	Holz	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29															
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	30,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29																	
Neulage		1,0	1																																														
Stopfen	alle x Jahre	2,0	1																																														
Schleifen	Anzahl in ND	7,0																																															
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	0,0																																															
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,0																																															
Stoßpflege	Anzahl in ND	30,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																															
Mängelbehebung	Anzahl in ND	35,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
LA	ΔV																																																

Abbildung 6.62: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert

### 6.2.8 Verkehrsbelastung 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Gleis – eingleisig

Ennstalbahnhof 1		600<R<1000	eingleisig																																																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																																							
15.000 - 30.000	60E1	260	gut	Beton besohlt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	55,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Neulage		1,0	1																																																								
Stopfen	alle x Jahre	18,3	1																																																								
Schleifen	Anzahl in ND	0,0																																																									
Schleifen HeadChecks	Anzahl in ND	5,0																																																									
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																									
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																																									
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																																									
Mängelbehebung	Anzahl in ND	50,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5				

Abbildung 6.63: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert



## 6.3 Beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform)

### 6.3.1 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Nordbahn 2		R>600	zweigleisig																																		
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																
30.000 - 45.000	54E2	260	gut		Beton																																
Instandhaltungsarbeit	0,0	32,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																		
Stopfen	alle x Jahre	4,0	1				1				1				1								1														
Schleifen	Anzahl in ND	1,0																		1																	
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																			
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																			
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																			
Mängelbehebung	Anzahl in ND	32,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Abbildung 6.67: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig

Nordbahn 2		400<R<600	zweigleisig																																			
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau		Schwelle																																	
30.000 - 45.000	54E2	260	gut		Beton																																	
Instandhaltungsarbeit	alle x Jahre	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																			
Stopfen	alle x Jahre	3,1	1				1				1				1						1				1													
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																																				
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,1																																				
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																			0,1																	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																				
Mängelbehebung	Anzahl in ND	31,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		

Abbildung 6.68: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig

Nordbahn 2		250<R<400	zweigleisig																									
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau							Schwelle																		
30.000 - 45.000	54E2	260	gut							Beton																		
Instandhaltungsarbeit	alle x Jahre	26,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Neulage		1,0	1																									
Stopfen	alle x Jahre	2,9	1			1			1			1			1			1			1			1			1	
Schleifen	Anzahl in ND	9,0				1			1					1	1		1			1			1			1	1	
Schienenwechsel	Anzahl in ND	2,0									0,5							0,5					1					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																										
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	6,0				1				1				1							1						1	
Mängelbehebung	Anzahl in ND	26,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.69: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig

Nordbahn 2		R<250	zweigleisig																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau							Schwelle																	
30.000 - 45.000	54E2	260	gut							Holz																	
Instandhaltungsarbeit	alle x Jahre	22,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
Neulage		1,0	1																								
Stopfen	alle x Jahre	2,0	1			1			1		1			1		1			1			1			1		
Schleifen	Anzahl in ND	6,0				1			1				1				1			1			1			1	
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,5						0,5			1					0,5				1				0,5			
Stoßpflege	Anzahl in ND	22,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																									
Mängelbehebung	Anzahl in ND	22,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Abbildung 6.70: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig

## 6.4 In der Nutzungsdauer verlängerte, beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform)

### 6.4.1 Verkehrsbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig

Nordbahn 2		600<R<1000	zweigleisig																																							
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																						
30.000 - 45.000	54E2	260	gut	Beton																																						
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	37,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
Neulage		1,0	1																																							
Stopfen	alle x Jahre	3,4	1			1				1				1					1				1				1								1			1		1		
Schleifen	Anzahl in ND	2,0																	1																		1					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																								
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																								
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																								
Mängelbehebung	Anzahl in ND	42,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Abbildung 6.71: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		400<R<600	zweigleisig																																							
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																						
30.000 - 45.000	54E2	260	gut	Beton																																						
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
Neulage		1,0	1																																							
Stopfen	alle x Jahre	2,6	1				1				1								1				1				1								1			1		1		
Schleifen	Anzahl in ND	2,0												1												1																
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,1																		0																						
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																								
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																								
Mängelbehebung	Anzahl in ND	41,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Abbildung 6.72: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		400<R<250	zweigleisig																																
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau			Schwelle																													
30.000 - 45.000	54E2	260	gut			Beton																													
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																
Stopfen	Anzahl in ND	2,2	1			1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Schleifen	Anzahl in ND	13,0				1			1				1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Schienenwechsel	Anzahl in ND	2,5									1						1						1							1					
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	7,0				1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1,5	2	2	2	1,7	2	2	2		
LA																																	20	20	20

Abbildung 6.73: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		R<250	zweigleisig																																	
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau			Schwelle																														
30.000 - 45.000	54E2	260	gut			Holz																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	27,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26							
Neulage	alle x Jahre	1,0	1																																	
Stopfen	Anzahl in ND	1,7	1			1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1			
Schleifen	Anzahl in ND	10,0				1			1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1			
Schienenwechsel	Anzahl in ND	4,5									1						1						1							1						
Stoßpflege	Anzahl in ND	27,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																		
Mängelbehebung	Anzahl in ND	32,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
LA																																		20	20	20

Abbildung 6.74: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, 5 Jahre verlängert



Nordbahn 2		R<250	zweigleisig																								
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau							Schwelle																	
30.000 - 45.000	54E2	260	U4							Holz																	
Instandhaltungsarbeit	alle x Jahre	22,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
Neulage		1,0	1																								
Stopfen	alle x Jahre	1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Schleifen	Anzahl in ND	11,0		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1					
Schienenwechsel	Anzahl in ND	3,5					0,5				1				0,5				1				0,5				
Stoßpflege	Anzahl in ND	44,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																									
Mängelbehebung	Anzahl in ND	22,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5			

Abbildung 6.78: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, Unterbauklasse "U4"

## 6.6 In der Nutzungsdauer verlängerte, beispielhafte Normkilometerzyklen (nicht strategiekonform und Unterbauklasse „U4“)

Nordbahn 2		600<R<1000																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau							Schwelle																														
30.000 - 45.000	54E2	260	U4							Beton																														
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	37,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Neulage		1,0	1																																					
Stopfen	alle x Jahre	1,8	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1			
Schleifen	Anzahl in ND	3,0											1																											
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																						
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																						
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																						
Mängelbehebung	Anzahl in ND	42,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
LA																																								

Abbildung 6.79: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		400<R<600	zweigleisig																																					
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																				
30.000 - 45.000	54E2	260	U4	Beton																																				
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	36,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
Neulage		1,0	1																																					
Stopfen	alle x Jahre	1,5	1		1		1		1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	
Schleifen	Anzahl in ND	6,0							1						1							1					1													
Schienenwechsel	Anzahl in ND	0,1																				0,1																		
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																						
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	0,0																																						
Mängelbehebung	Anzahl in ND	41,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
LA																																								

Abbildung 6.80: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		400<R<250	zweigleisig																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																					
30.000 - 45.000	54E2	260	U4	Beton																																					
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	31,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
Neulage		1,0	1																																						
Stopfen	alle x Jahre	1,4	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		
Schleifen	Anzahl in ND	22,0		1	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		
Schienenwechsel	Anzahl in ND	2,5																	0,5																						
Stoßpflege	Anzahl in ND	0,0																																							
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	6,0																																							
Mängelbehebung	Anzahl in ND	36,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
LA																																									

Abbildung 6.81: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert

Nordbahn 2		R<250	zweigleisig																																						
GesBT/Tag, Gleis	Profil	Güte	Unterbau	Schwelle																																					
30.000 - 45.000	54E2	260	U4	Holz																																					
Instandhaltungsarbeit	ND in Jahren	27,0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26												
Neulage		1,0	1																																						
Stopfen	alle x Jahre	1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Schleifen	Anzahl in ND	16,0		1	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		
Schienenwechsel	Anzahl in ND	4,5						0,5																																	
Stoßpflege	Anzahl in ND	54,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Zwischenlagenwechsel	Anzahl in ND	1,0																																							
Mängelbehebung	Anzahl in ND	32,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
LA																																									

Abbildung 6.82: Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert

## 6.7 Weitere Parameteruntersuchungen zur Kosteneffizienz der Bauabschnittslängen

### 6.7.1 Radienklassen über Belastungsklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 50%

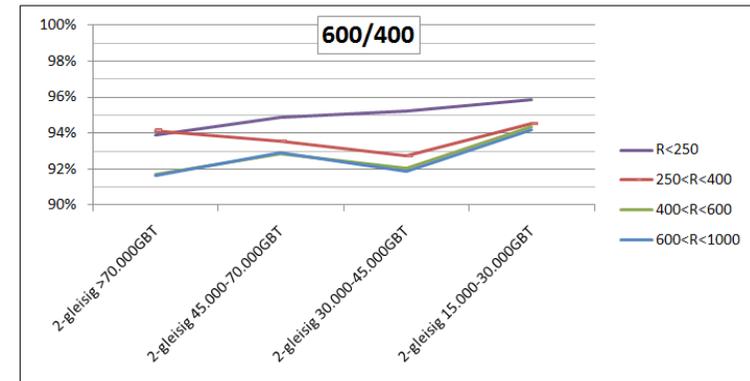
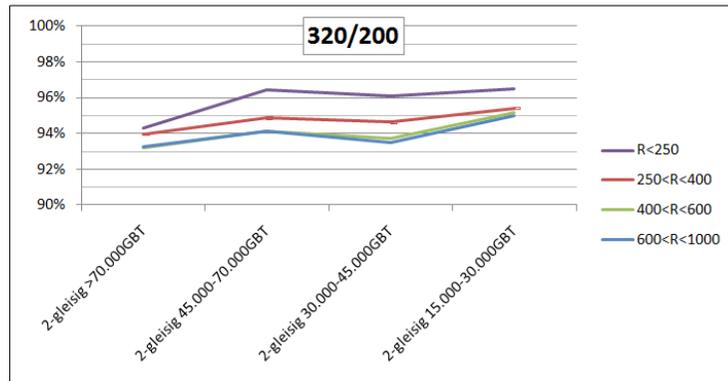


Abbildung 6.83: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 320m

Abbildung 6.84: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 600m

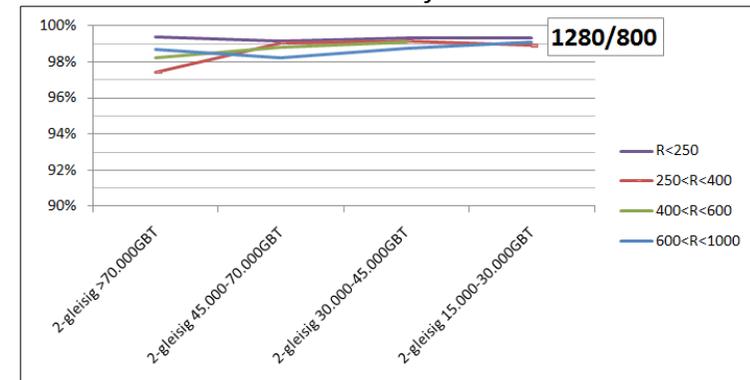
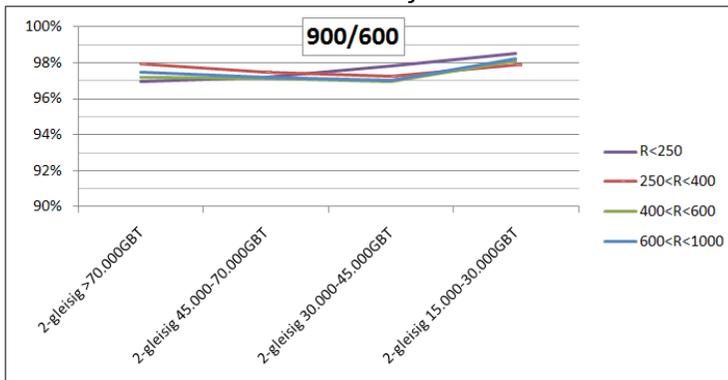


Abbildung 6.85: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 600m auf 900m

Abbildung 6.86: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 800m auf 1280m

**6.7.2 Radienklassen über Belastungsklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 100%**

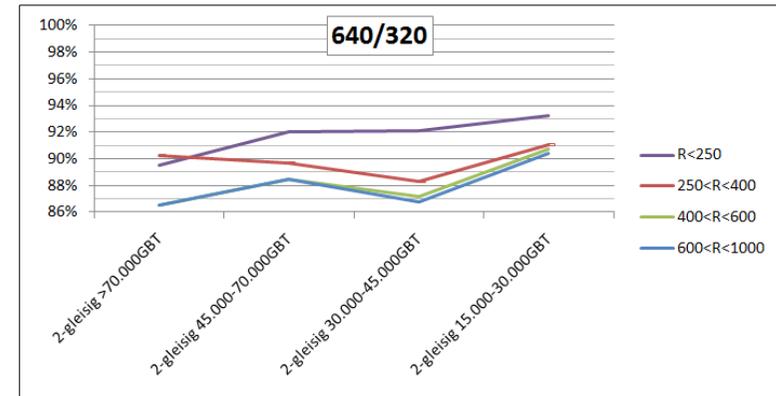
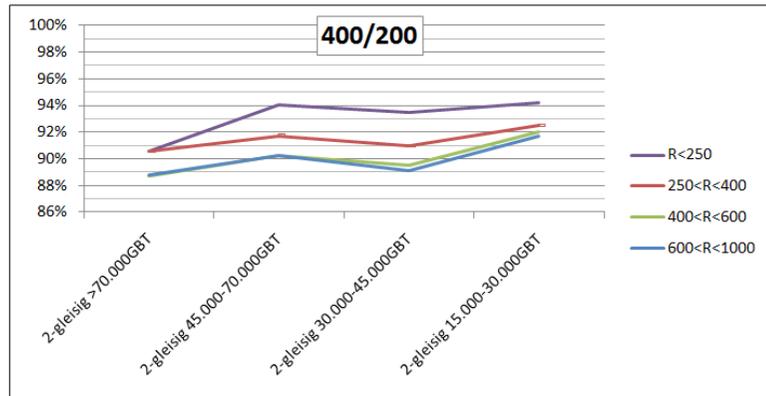


Abbildung 6.87: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 400m  
Abbildung 6.88: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 320m auf 640m

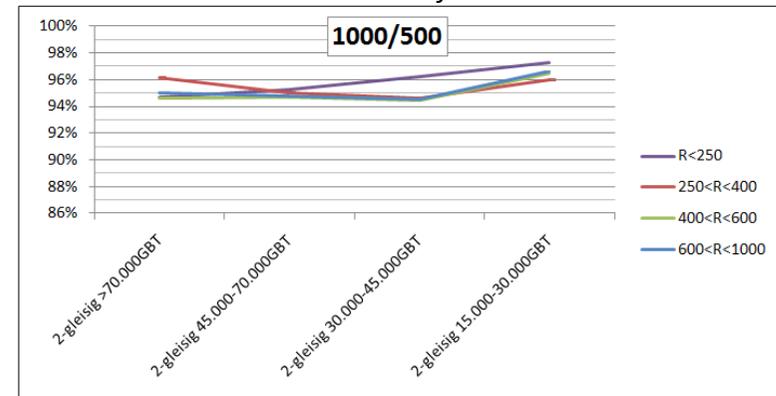
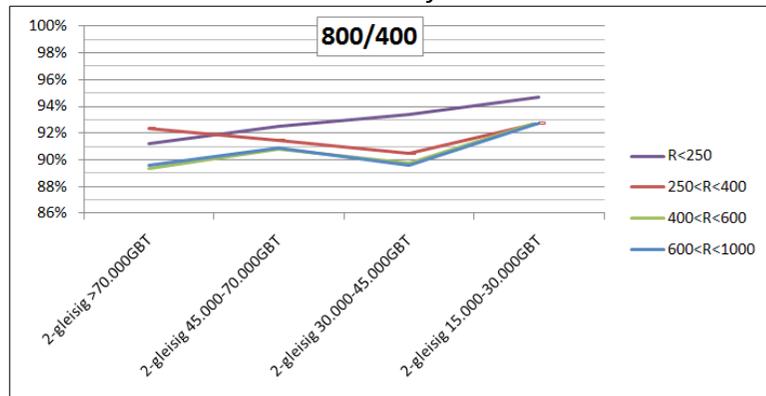


Abbildung 6.89: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 800m  
Abbildung 6.90: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 500m auf 1000m

**6.7.3 Belastungsklassen über Radienklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 50%**

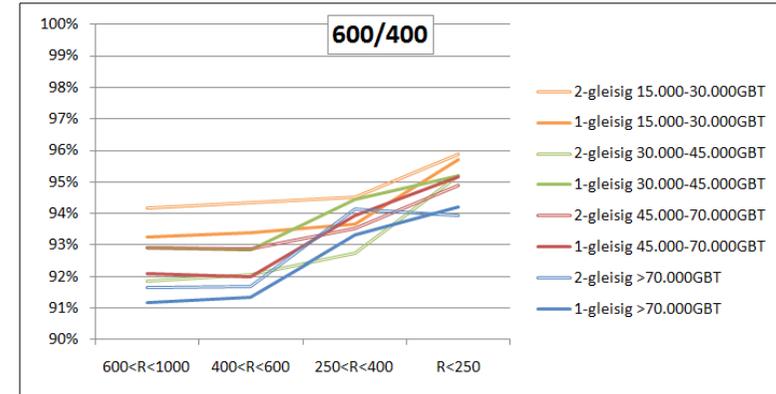
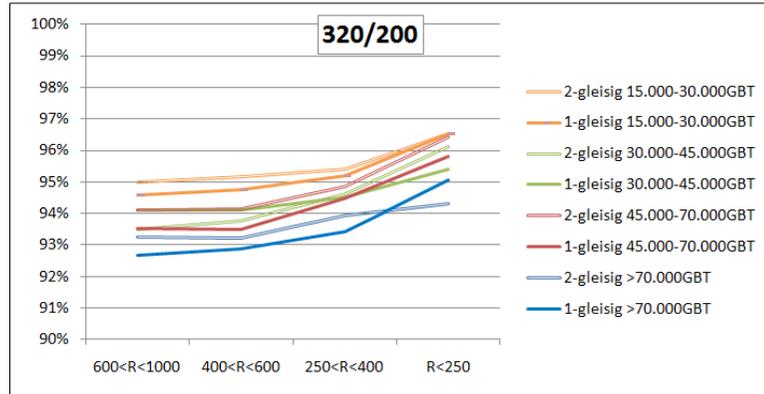


Abbildung 6.91: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 320m

Abbildung 6.92: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 600m

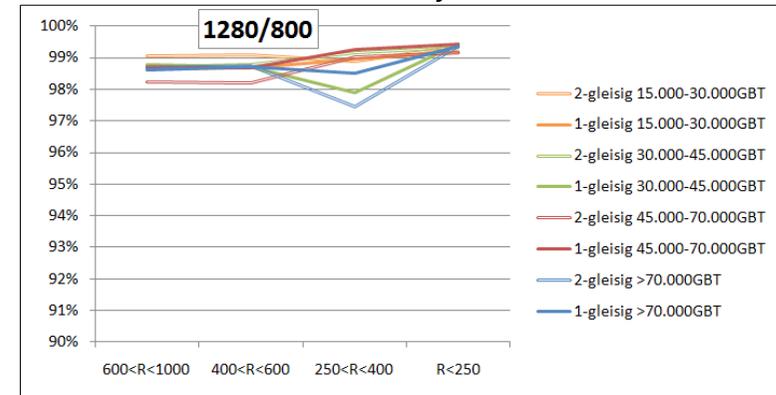
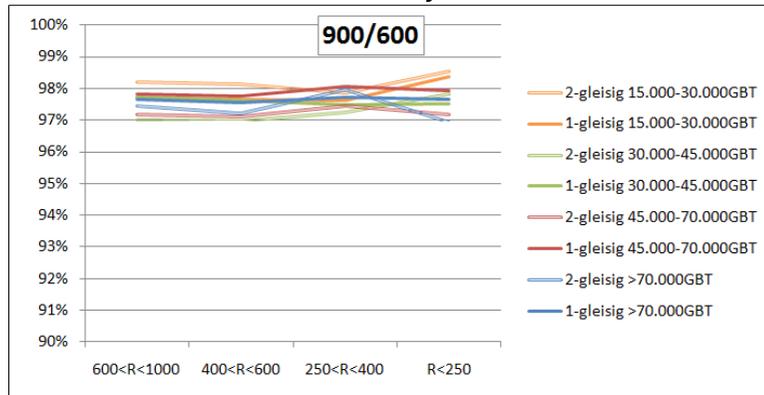


Abbildung 6.93: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 600m auf 900m

Abbildung 6.94: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 800m auf 1280m

### 6.7.4 Belastungsklassen über Radienklassen für die verschiedenen Abschnittslängenverhältnisse - Erhöhung der Abschnittslänge um 100%

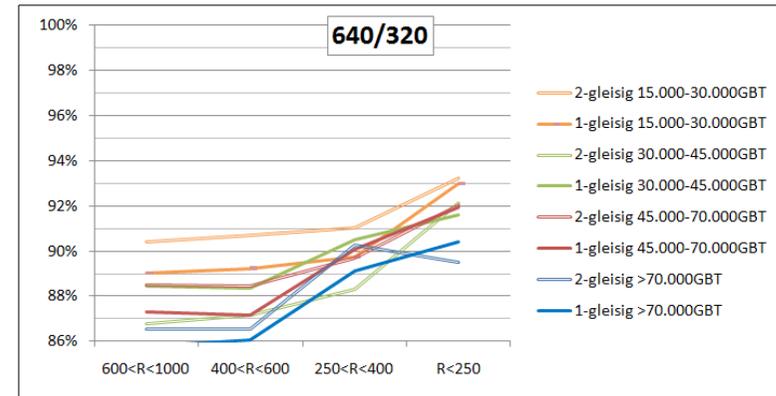
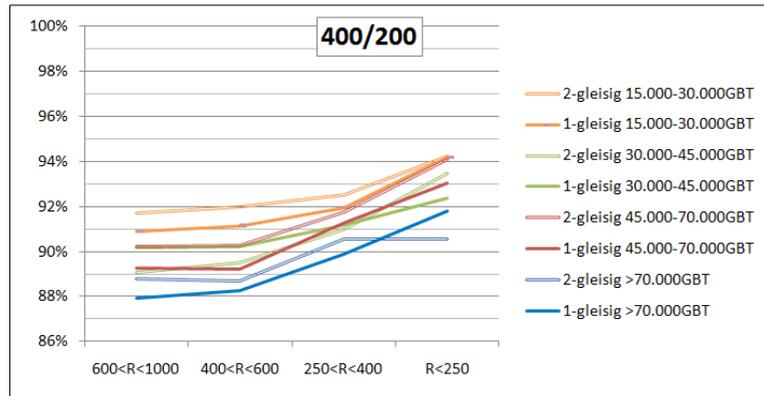


Abbildung 6.95: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 400m

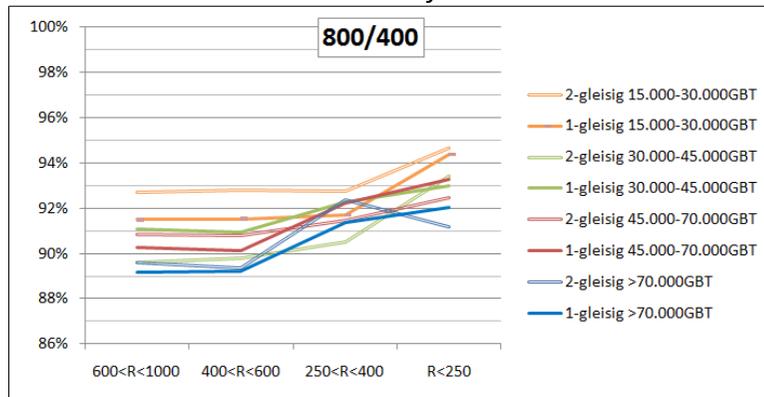
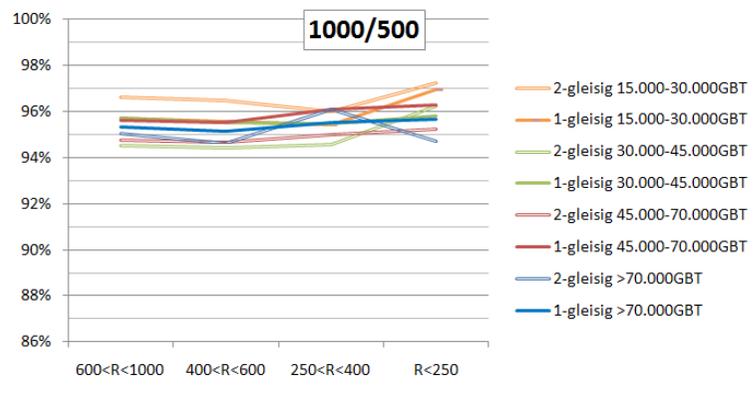


Abbildung 6.96: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 320m auf 640m

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Verteilung der durchschnittlichen Jahreskosten des Oberbaus bei einer 2-gleisigen Strecke mit einer Belastung von über 70.000GesBT/Tag, Gleis.....	1
Abbildung 1.2:	Errechnung des Qualitätssignals über eine 100m Einflusslänge.....	4
Abbildung 1.3:	ADA II - Prinzipskizze zur Bewegung des Wagenschwerpunktes [Hummitzsch 2009].....	4
Abbildung 1.4:	Beispiel eines Lebenszyklus´ für einen Normkilometer.....	8
Abbildung 1.5:	Strecken der TUG Datenbank [Hummitzsch 2009].....	9
Abbildung 1.6:	Struktur der TUG Datenbank [Hummitzsch 2009].....	9
Abbildung 1.7:	Querschnitt mit drei Verschlechterungsästen [Hummitzsch 2009].....	11
Abbildung 1.8:	Definition eines "Homogenen Bereiches" [Hummitzsch 2009].....	12
Abbildung 1.9:	Definition einer "Gültigen Länge" [Hummitzsch 2009].....	12
Abbildung 1.10:	Einflussbereich einer Störstelle auf die Qualitätswerte [Hummitzsch 2009]....	13
Abbildung 1.11:	Struktur des LCC Tool Datenbank.....	14
Abbildung 2.1:	Übersicht eines Gleisaufbaus [vgl. Holzfeind 2009].....	16
Abbildung 2.2:	Einflussparameter für das Geotechnische Streckenband [Auer et al. 2007]....	19
Abbildung 2.3:	Vergleich von e-Funktionen bei Verdoppelung der Verschlechterungsrate (Unterbauklasse „U4“) [Schimpfhuber, M. 2008].....	20
Abbildung 2.4:	Reduktion der GSB Längen durch Festsetzung das auf mind. 50% der Querschnitte eine Verschlechterungsfunktion vorhanden sein muss.....	22
Abbildung 2.5:	Verteilung der Unterbauklassen für die ausgewerteten Streckenabschnitte nach GSB.....	22
Abbildung 2.6:	Unterschiedliche Hinterfüllung der Lärmschutzwand im Außenbereich [Holzfeind 2009].....	27
Abbildung 2.7:	Flussdiagramm zur Bestimmung der Unterbauklasse .....	33
Abbildung 3.1:	Optimale Re-Investitionszeitpunkte der Querschnitte für einen Gleisabschnitt.....	35
Abbildung 3.2:	Durchschnittliche Abschnittslänge auf den einzelnen Strecken bezogen auf Normkilometer.....	36
Abbildung 3.3:	Durchschnittliche Abschnittslänge auf den einzelnen Strecken bezogen auf Re-Investitionszeitpunkt.....	37
Abbildung 3.4:	Berücksichtigte Kostenpositionen im Betriebserschwerniskostenmodell [Veit, Petri 2008].....	39
Abbildung 3.5:	Arbeitsleistung in Abhängigkeit von Einsatzzeit [Lichtberger 2003].....	41
Abbildung 3.6:	Bestimmung der optimalen Sperrpausendauer [Veit, Marschnig 2008b].....	41
Abbildung 3.7:	Leistung der Gleisneulage in Abhängigkeit der Sperrpause [Veit, Marschnig 2008b].....	42
Abbildung 3.8:	Verlauf der Baukosten bei einer Gleisneulage mit SUZ in Abhängigkeit der Sperrpause (Bauabschnittslänge) [Veit, Marschnig 2008b].....	43
Abbildung 3.9:	Abhängigkeit der Betriebserschwerniskosten von der Sperrpausendauer (kleiner 10 Stunden) und der Streckenbelastung (2-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b].....	43

Abbildung 3.10:	Abhängigkeit der Betriebserschwerungskosten von der Sperrpausendauer (kleiner 10 Stunden) und der Streckenbelastung (1-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b].....	44
Abbildung 3.11:	Abhängigkeit der Betriebserschwerungskosten von der Sperrpausendauer und der Streckenbelastung (2-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b].....	44
Abbildung 3.12:	Abhängigkeit der Betriebserschwerungskosten von der Sperrpausendauer und der Streckenbelastung (1-gleisige Strecken, Tag) [Veit, Marschnig 2008b].....	45
Abbildung 3.13:	Verlauf der Gesamtkosten über die Sperrpausendauer [Veit, Marschnig 2008b].....	45
Abbildung 3.14:	Abzinsung von € 1000 nach 20 Jahren mit 3 bzw. 6% als kalk. Zinssatz [Ekberg, Paulsson 2010].....	46
Abbildung 3.15:	Vorgeschlagene kalk. Zinssätze aus dem Projekt Innotrack [Ekberg, Paulsson 2010].....	47
Abbildung 3.16:	Dynamische Bewertung mit Betrachtungsstandpunkt am Nutzungsdaueranfang des bestehenden Gleises.....	47
Abbildung 3.17:	Delta der Annuitäten bei Nutzungsdauerverlängerung um 3 Jahre in Abhängigkeit des kalk. Zinssatzes.....	48
Abbildung 3.18:	Delta der Annuitäten bei Nutzungsdauerverkürzung um 3 Jahre in Abhängigkeit des kalk. Zinssatzes.....	48
Abbildung 3.19:	Verlauf der durchschnittlichen Jahreskosten bei Nutzungsdauer- verlängerung in der Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag und der Radienklasse 250<R<400, Unterbauklasse „Gut“ (ohne Kosten einer Dauerlangsamfahrrampe).....	50
Abbildung 3.20:	Mögliche gemeinsame Re-Investitionszeitpunkte für zwei Abschnitte.....	51
Abbildung 3.21:	Bewertung von gemeinsamen Re-Investitionszeitpunkten für zwei Abschnitte die bei der Re-Investition fünf Jahre auseinanderliegen.....	52
Abbildung 3.22:	Definitionen Nutzungsdauer.....	53
Abbildung 3.23:	Beispielhaft verlängerter Zyklus eines Normkilometers.....	54
Abbildung 4.1:	Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, eingleisig.....	59
Abbildung 4.2:	Normkilometerzyklus in der Radienklasse 600<R<1000.....	60
Abbildung 4.3:	Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 600<R<1000.....	60
Abbildung 4.4:	Normkilometerzyklus in der Radienklasse 400<R<600.....	60
Abbildung 4.5:	Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 400<R<600.....	60
Abbildung 4.6:	Normkilometerzyklus in der Radienklasse 250<R<400.....	60
Abbildung 4.7:	Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse 250<R<400.....	60
Abbildung 4.8:	Normkilometerzyklus in der Radienklasse R<250.....	60

Abbildung 4.9:	Durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge für die Radienklasse $R < 250$ .....	61
Abbildung 4.10:	Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	61
Abbildung 4.11:	Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	61
Abbildung 4.12:	Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	62
Abbildung 4.13:	Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	63
Abbildung 4.14:	Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	63
Abbildung 4.15:	Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	64
Abbildung 4.16:	Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	64
Abbildung 4.17:	Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	65
Abbildung 4.18:	Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	65
Abbildung 4.19:	Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	66
Abbildung 4.20:	Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	66
Abbildung 4.21:	Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von $15.000 - 30.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	67
Abbildung 4.22:	Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von $15.000 - 30.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	67
Abbildung 4.23:	Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $15.000 - 30.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	68
Abbildung 4.24:	Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von $15.000 - 30.000 \text{ GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	68
Abbildung 4.25:	Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von $> 70.000 \text{ GesBT/Tag}$ , zweigleisig.....	69

Abbildung 4.26: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	69
Abbildung 4.27: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	70
Abbildung 4.28: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von >70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	70
Abbildung 4.29: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	71
Abbildung 4.30: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	71
Abbildung 4.31: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	72
Abbildung 4.32: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	72
Abbildung 4.33: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	73
Abbildung 4.34: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	73
Abbildung 4.35: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	74
Abbildung 4.36: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	74
Abbildung 4.37: Gesamtkosten inkl. BEK je Kilometer in Abhängigkeit der Abschnittslänge bzw. Sperrpause, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	75
Abbildung 4.38: Zusammenfassung der durchschnittliche Jahreskosten pro Kilometer in Abhängigkeit der Länge, bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	75
Abbildung 4.39: Kostenverhältnis bei ca. 50% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	76
Abbildung 4.40: Kostenverhältnis bei ca. 100% Erhöhung der Abschnittslänge bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	76
Abbildung 4.41: Kostenverhältnisse in der Radienklasse $R < 250$ bei verschiedenen Grundlängen.....	77
Abbildung 4.42: Kostenverhältnisse in der Radienklasse $250 < R < 400$ bei verschiedenen Grundlängen.....	78
Abbildung 4.43: Kostenverhältnisse in der Radienklasse $400 < R < 600$ bei verschiedenen Grundlängen.....	78

Abbildung 4.44:	Kostenverhältnisse in der Radienklasse $600 < R < 1000$ bei verschiedenen Grundlängen.....	79
Abbildung 4.45:	Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Belastungs- und Radienklasse (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle).....	80
Abbildung 4.46:	Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Radienklassen, Oberbaukomponenten nicht nach Strategie (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle).....	81
Abbildung 4.47:	Durchschnittliche jährliche Kosten pro Kilometer bei Nutzungsdauerverlängerung bzw. -verkürzung, in Abhängigkeit der Radienklassen, Oberbaukomponenten nicht nach Strategie, Unterbauklasse "U4" (ohne Kosten einer evtl. auftretenden Dauerlangsamfahrstelle).....	81
Abbildung 4.48:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $>70.000$ GesBT/Tag - eingleisig.....	85
Abbildung 4.49:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $45.000 - 70.000$ GesBT/Tag, Gleis – eingleisig.....	86
Abbildung 4.50:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $30.000 - 45.000$ GesBT/Tag, Gleis – eingleisig.....	87
Abbildung 4.51:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $15.000 - 30.000$ GesBT/Tag, Gleis – eingleisig.....	88
Abbildung 4.52:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $>70.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig.....	89
Abbildung 4.53:	Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer Gleisbelastung $>70.000$ GesBT/Tag, Gleis – zweigleisig und einer Erhöhung der Abschnittslänge von $400\text{m}$ auf $600\text{m}$ in der Radienklasse $600 < R < 1000$ .....	90
Abbildung 4.54:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $45.000 - 70.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig.....	91
Abbildung 4.55:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $30.000 - 45.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig.....	92
Abbildung 4.56:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $15.000 - 30.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig.....	93
Abbildung 4.57:	Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer für eine Gleisbelastung $15.000 - 30.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig und Erhöhung der Abschnittslänge von $200\text{m}$ auf $800\text{m}$ in der Radienklasse $250 < R < 400$ .....	94
Abbildung 4.58:	Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung $30.000 - 45.000$ GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei noch nicht strategiekonformen Oberbau.....	96

Abbildung 4.59: Zusammensetzung des Ergebnisses bei einer Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig bei noch nicht strategiekonformen Oberbau und Erhöhung der Abschnittlänge von 200m auf 800m in der Radienklasse $400 < R < 600$ .....	97
Abbildung 4.60: Ergebnisse der Kostenberechnung für eine Gleisbelastung 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Gleis - zweigleisig mit nicht strategiekonformen Oberbau und Unterbauklasse "U4" .....	98
Abbildung 4.61: Re-Investitionsbedarf im Hauptnetz (ca. 3500km).....	101
Abbildung 4.62: Durchschnittliche verbrauchte Nutzungsdauer je Normkilometer.....	102
Abbildung 4.63: Jährlicher Stopfbedarf je Normkilometer.....	103
Abbildung 6.1: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , eingeleisig.....	106
Abbildung 6.2: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , eingeleisig.....	106
Abbildung 6.3: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , eingeleisig.....	107
Abbildung 6.4: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , eingeleisig.....	107
Abbildung 6.5: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , eingeleisig.....	107
Abbildung 6.6: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , eingeleisig.....	108
Abbildung 6.7: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , eingeleisig.....	108
Abbildung 6.8: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , eingeleisig.....	108
Abbildung 6.9: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , eingeleisig.....	109
Abbildung 6.10: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , eingeleisig.....	109
Abbildung 6.11: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , eingeleisig.....	109
Abbildung 6.12: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , eingeleisig.....	110
Abbildung 6.13: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , eingeleisig.....	110
Abbildung 6.14: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , eingeleisig.....	110
Abbildung 6.15: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , eingeleisig.....	111
Abbildung 6.16: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , eingeleisig.....	111

Abbildung 6.17: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $R > 3000$ , zweigleisig.....	111
Abbildung 6.18: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $1000 < R < 3000$ , zweigleisig.....	112
Abbildung 6.19: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , zweigleisig.....	112
Abbildung 6.20: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , zweigleisig.....	112
Abbildung 6.21: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000 GesBt/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , zweigleisig.....	113
Abbildung 6.22: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , zweigleisig.....	113
Abbildung 6.23: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , zweigleisig.....	114
Abbildung 6.24: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , zweigleisig.....	114
Abbildung 6.25: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , zweigleisig.....	114
Abbildung 6.26: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , zweigleisig.....	115
Abbildung 6.27: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , zweigleisig.....	115
Abbildung 6.28: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , zweigleisig.....	115
Abbildung 6.29: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBt/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , zweigleisig.....	116
Abbildung 6.30: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000 GesBt/Tag, Radienklasse $R < 250$ , zweigleisig.....	116
Abbildung 6.31: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , zweigleisig.....	116
Abbildung 6.32: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , zweigleisig.....	117
Abbildung 6.33: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , zweigleisig.....	117
Abbildung 6.34: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , zweigleisig.....	117
Abbildung 6.35: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	118
Abbildung 6.36: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	118

Abbildung 6.37: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	119
Abbildung 6.38: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	119
Abbildung 6.39: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	119
Abbildung 6.40: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	120
Abbildung 6.41: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	120
Abbildung 6.42: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	120
Abbildung 6.43: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	121
Abbildung 6.44: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	121
Abbildung 6.45: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	121
Abbildung 6.46: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	122
Abbildung 6.47: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	122
Abbildung 6.48: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	122
Abbildung 6.49: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	123
Abbildung 6.50: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	123

Abbildung 6.51: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	123
Abbildung 6.52: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	124
Abbildung 6.53: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	124
Abbildung 6.54: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse >70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	124
Abbildung 6.55: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	125
Abbildung 6.56: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	125
Abbildung 6.57: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	125
Abbildung 6.58: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 45.000 - 70.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	12
Abbildung 6.59: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	126
Abbildung 6.60: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	126
Abbildung 6.61: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	127
Abbildung 6.62: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	127
Abbildung 6.63: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	127
Abbildung 6.64: Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	128

Abbildung 6.65:	Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	128
Abbildung 6.66:	Normkilometerzyklus nach Strategie für Belastungsklasse 15.000 - 30.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, eingleisig, 5 Jahre verlängert.....	128
Abbildung 6.67:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig.....	129
Abbildung 6.68:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig.....	129
Abbildung 6.69:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig.....	130
Abbildung 6.70:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig.....	130
Abbildung 6.71:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	131
Abbildung 6.72:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	131
Abbildung 6.73:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	132
Abbildung 6.74:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, 5 Jahre verlängert.....	132
Abbildung 6.75:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 600<R<1000, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4".....	133
Abbildung 6.76:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 400<R<600, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4".....	133
Abbildung 6.77:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse 250<R<400, Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4".....	133
Abbildung 6.78:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse R<250, Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, Unterbauklasse "U4".....	134

Abbildung 6.79:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $600 < R < 1000$ , Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert.....	134
Abbildung 6.80:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $400 < R < 600$ , Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert.....	135
Abbildung 6.81:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $250 < R < 400$ , Schiene 54E2, Schwelle Beton, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert.....	135
Abbildung 6.82:	Nicht strategiekonformer Normkilometerzyklus für Belastungsklasse 30.000 - 45.000GesBT/Tag, Radienklasse $R < 250$ , Schiene 54E2, Schwelle Holz, zweigleisig, Unterbauklasse "U4", 5 Jahre verlängert.....	135
Abbildung 6.83:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 320m.....	136
Abbildung 6.84:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 600m.....	136
Abbildung 6.85:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 600m auf 900m.....	136
Abbildung 6.86:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 800m auf 1280m.....	136
Abbildung 6.87:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 400m.....	137
Abbildung 6.88:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 320m auf 640m.....	137
Abbildung 6.89:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 800m.....	137
Abbildung 6.90:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 500m auf 1000m.....	137
Abbildung 6.91:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 320m.....	138
Abbildung 6.92:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 600m.....	138
Abbildung 6.93:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 600m auf 900m.....	138
Abbildung 6.94:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 800m auf 1280m.....	138
Abbildung 6.95:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 200m auf 400m.....	139
Abbildung 6.96:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 320m auf 640m.....	139
Abbildung 6.97:	Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von 400m auf 800m.....	139

Abbildung 6.98: Kostenverhältnisse bei Verlängerung der Abschnittslänge von  
500m auf 1000m.....139

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Verhältnis der Verschlechterungsrate der jeweiligen Unterbauklasse im Vergleich zur Unterbauklasse "Gut" nach Normkilometerdefinition.....	20
Tabelle 2.2:	Sensitivität von $b_{\text{Gut}}$ bei unterschiedlichen Faktoren für die Unterbauklasse "U5".....	23
Tabelle 2.3:	Verschlechterungsrate für $b_{\text{Gut}}$ auf den untersuchten Strecken.....	23
Tabelle 2.4:	Streckenspezifische Verschlechterungsrate $b$ in der jeweiligen Unterbauklasse nach GSB Auswertung.....	24
Tabelle 2.5:	Durchschnittliche Verschlechterungsrate $b$ in der jeweiligen Unterbauklasse nach GSB Auswertung.....	24
Tabelle 2.6:	Errechnete Verschlechterungsrate $b$ für die Unterbauklasse "Gut" und die sich daraus ergebenden Werte nach Normkilometerdefinition für die Unterbauklassen U3, U4 und U5.....	25
Tabelle 2.7:	Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten (Basiszuteilung).....	26
Tabelle 2.8:	Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei Überalterung des Gleises.....	28
Tabelle 2.9:	Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei vorhandener Dauerlangsamfahrstelle.....	29
Tabelle 2.10:	Zuteilung der Unterbauklasse nach Verschlechterungsverhalten bei vorhandener Dauerlangsamfahrstelle und Nutzungsdauerüberschreitung.....	30
Tabelle 4.1:	Kosten der Dauerlangsamfahrstelle mit einer Verkehrsbelastung von $>70.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, zweigleisig.....	55
Tabelle 4.2:	Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, zweigleisig.....	56
Tabelle 4.3:	Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, zweigleisig.....	56
Tabelle 4.4:	Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von $>70.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, eingleisig.....	57
Tabelle 4.5:	Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, eingleisig.....	57
Tabelle 4.6:	Jährliche Kosten einer Dauerlangsamfahrstelle bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000\text{GesBT/Tag}$ , Gleis, eingleisig.....	58
Tabelle 4.7:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von $>70.000\text{GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	59
Tabelle 4.8:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von $45.000 - 70.000\text{GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	63
Tabelle 4.9:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von $30.000 - 45.000\text{GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	65
Tabelle 4.10:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von $15.000 - 30.000\text{GesBT/Tag}$ , eingleisig.....	67
Tabelle 4.11:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von $>70.000\text{GesBT/Tag}$ , zweigleisig.....	69

Tabelle 4.12:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von 45.000 - 70.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	71
Tabelle 4.13:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von 30.000 - 45.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	73
Tabelle 4.14:	Oberbaukomponenten nach Strategie bei bei einer Verkehrsbelastung von 15.000 - 30.000GesBT/Tag, zweigleisig.....	75
Tabelle 4.15:	Nachzuholender Re-Investitionsbedarf.....	101

## Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der MDZ-Ziffer nach dem ADA-II Verfahren .....	5
Formel 2: Verschlechterungsfunktion der Gleislagequalität .....	10
Formel 3: Berechnung der Verschlechterungsrate $b_{\text{Gut}}$ aus dem Verhalten der gesamten Strecke .....	21
Formel 4: Vergleich der durchschnittlichen jährlichen Kosten bei Nutzungsdauer- verlängerung .....	49
Formel 5: Vergleich der durchschnittlichen jährlichen Kosten bei Nutzungsdauer- verkürzung.....	49
Formel 6: Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Kosten .....	82
Formel 7: Gesamtkosten eines Abschnittes bei Nutzungsdauerverlängerung .....	82
Formel 8: Gesamtkosten eines Abschnittes bei Nutzungsdauerverkürzung .....	82
Formel 9: Gesamtkosten eines Abschnittes bei Nutzungsdauerverlängerung und gemeinsamer Re-Investition mit einem anderen Abschnitt .....	83
Formel 10: Gesamtkosten eines Abschnittes bei Nutzungsdauerverkürzung und gemeinsamer Re-Investition mit einem anderen Abschnitt .....	83

## Literaturverzeichnis

Auer, F., Zuzic, M., Schilder, R. & Breymann, H. 2007, "13 Jahre Erfahrung mit gleisgebundener Untergrundsanierung im Netz der ÖBB", *ETR-Eisenbahntechnische Rundschau*, no. 12, pp. 817-827.

Berghold, A. 2011, *Die Gleislagequalität in Dauerlangsamfahrstellen*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz.

Ekberg, A. & Paulsson, B. (eds) 2010, *INNOTRACK - Concluding Technical Report*, International Union of Railways (UIC), Paris.

Forschungs- und Versuchsamt des internationalen Eisenbahnverbandes 1975, *Frage D117 - Optimale Anpassung des klassischen Oberbaus an den künftigen Verkehr/ Bericht Nr. 7 - Untersuchung der Entwicklung der geometrischen Gleislage nach Massgabe der Verkehrsbelastung*, Forschungs- und Versuchsamt des internationalen Eisenbahnverbandes, Utrecht.

Hanreich, W. 2004, "Moderne Fahrweginspektion mit dem Oberbautechnischen Messwagen EM 250", *ZEV Sonderheft ÖVG*, vol. 128, no. 9, pp. 18-27.

Holzfeind, J. 2009, *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen - Analyse des Gleisverhaltens am Einzelquerschnitt*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft.

Hummitzsch, R. 2009, *Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen - Statistische Analyse des Gleisverhaltens zur Erstellung eines Prognosemodells*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft.

Klotzinger, E. 2001, "Weiterentwicklung der maschinellen Bettungsreinigung", *ETR-Eisenbahntechnische Rundschau*, vol. 50, no. 10, pp. 602-611.

Landgraf, M. 2011, *Unterbau, Untergrund und Wasserwegigkeit im Zusammenhang mit Gleislagequalität*, Masterarbeit edn, Graz.

Lichtberger, B. 2003, *Handbuch Gleis*, Tetzlaff.

Riessberger, K. 2004, *Short Description of the Track Geometry Analysing Programme ADA II*, Graz.

Schilder, R. & Piereder, F. 2000, "Planumsverbesserung mit der Aushubmaschine AHM 800-R", *Eisenbahntechnische Rundschau*, vol. 49, no. 9, pp. 577-586.

Veit, P. 2004, "Das Projekt "Strategie Fahrweg" der ÖBB", *ZEVrail Glasers Annalen*, vol. 128, no. 9, pp. 4-12.

- Veit, P. 1999, *Rechenmodell zur wirtschaftlichen Bewertung von Strategien im Bereich Fahrweg*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft.
- Veit, P. & Marschnig, S. 2008a, *Baustellenlogistik - Betriebserschwerniskosten Katalog*, Forschungsbericht edn, Graz.
- Veit, P. & Marschnig, S. 2008b, *Baustellenlogistik - Sperrpausenoptimierung*, Projektbericht edn, Graz.
- Veit, P. & Marschnig, S. 2006, *Projekt Strategie LCC 2006 - Betriebserschwerniskosten*, Projektbericht edn, Graz.
- Veit, P. & Marschnig, S. 2005a, *Projekt Strategie Komponenten - Schienen*, Projektbericht edn, Graz.
- Veit, P. & Marschnig, S. 2005b, *Strategie Komponenten - Weichen*, Projektbericht edn, Graz.
- Veit, P. & Petri, K. 2008, "Betriebserschwerniskosten: ein Baustein zur Systemoptimierung= Cost of Operational Hindrances: an Option for optimising the Railway System", *ZEV Rail*, no. 5, pp. 168-175.
- Schimpfhuber, M. 2008, *Analyse der Ist-Situation der Nordbahn unter besonderer Berücksichtigung der Gleislagequalität*, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, TU Graz.