

Anwendbarkeit und Empfehlungen aus Ergebnissen zur Einteilung der Standardelemente Meterspur

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur
 Projekt: 4 Fahrbahnsteifigkeit
 Modul: 2: Dynamisches Fahrbahnmodell

Technischer Bericht



Belastungsgruppen	Bogenradius	11312111																															
N1/E1	300m ≥ R > 120m																																
Längsneigung	Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte	Unterbau	Entwässerung																												
LN ≤ 40‰	Beton	46 E1 / 49 E1	R260	gut/ausreichend	gut/funktioniert																												
Gleisarbeiten	Nutzungsdauer	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	2	
Neulage (Schotteroberbau)		0.0																															
Gleisabstufung	alle x Jahre	3.3									1					1				1			1						1				
Schienenwechseln	Anzahl während der ND	17.0	1								1				1	1	1	1				1							1		1		
Schienenwechsel (beide)	Anzahl während der ND	1.0									1								1				1						1	1	1	1	
Arbeit X	Anzahl während der ND	0.0																	1														
Arbeit Y	Anzahl während der ND	0.0																															
Arbeit Z	Anzahl während der ND	0.0																															
Kleinunterhalt	Anzahl während der ND	30	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

Belastungsgruppen	Bogenradius	11412111																															
N1/E1	120m ≥ R > 80m																																
Längsneigung	Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte	Unterbau	Entwässerung																												
LN ≤ 40‰	Beton	46 E1 / 49 E1	R260	gut/ausreichend	gut/funktioniert																												
Gleisarbeiten	Nutzungsdauer	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	2	
Neulage (Schotteroberbau)		0.0																															
Gleisabstufung	alle x Jahre	3.0									1					1					1					1				1			
Schienenwechseln	Anzahl während der ND	20.0	1								1	1	1			1	1	1	1			1			1	1	1	1	1	1	2	1	
Schienenwechsel (beide)	Anzahl während der ND	1.0									1								1										1				
Arbeit X	Anzahl während der ND	0.0																	1														
Arbeit Y	Anzahl während der ND	0.0																															
Arbeit Z	Anzahl während der ND	0.0																															
Kleinunterhalt	Anzahl während der ND	30	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

ID: RAILPlusSF-00049

Datum / Status: 02.12.2024 / Freigegeben

Seitenanzahl 36

Verfasser: Marschnig Stefan, Ehrhart Ursula, Knabl Dieter,
 Gerhold Florian / Technische Universität Graz

Geprüft: Peter Güldenapfel / KPZ Fahrbahn, Jackson
 Buckner / MGB, Karim Fischer / TPF

Freigegeben: Martin Siegen / MGBahn

Zitierweise: Marschnig Stefan, Ehrhart Ursula, Knabl Dieter, Gerhold Florian, RAILplus / Technische Universität Graz: *Anwendbarkeit und Empfehlungen aus Ergebnissen zur Einteilung der Standardelemente Meterspur*. Technischer Bericht, RAILPlusSF-00049, 20. Nov. 2024

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	15.10.2024	S. Marschnig	Erster Entwurf
0.2	11.11.2024	J. Buckner	Bereinigter Entwurf
0.3	20.11.2024	J. Buckner	Bericht redigiert und finalisiert
0.4	03.02.2024	K. Fischer	Überarbeitung des Management Summary
1.0	28.02.2025	M. Siegen	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	04.03.2025
1.0	Management Board	21.03.2025

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
AB	Appenzeller Bahnen AG
LN	Längsneigung
MGB	Matterhorn Gotthard Bahn AG
MOB	Montreux Berner Oberland Bahn AG
ND	Nutzungsdauer
QVW	Querverschiebewiderstand
R	Radius
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
RhB	Rhätische Bahn AG
StdE	Standardelement
tpf	Transports publics fribourgeois Holding (TPF) SA
ZB	Zentralbahn AG

Glossar

Wort	Beschreibung

Management Summary

Ziele

Die Standardelemente (StdE) sollten, als ein intermediäres Werkzeug betrachtet werden, das eine optimierte Gesamtverwaltung des Assets „Fahrbahn“ ermöglicht und in die Verantwortung des Infrastrukturbetreibers fällt.

Dabei handelt es sich um eine Segmentierung des Schienennetzes in Elemente, die im Durchschnitt ähnliche Instandhaltungszyklen aufweisen und eine vergleichbare Nutzungsdauer haben. Um diese Elemente zu definieren, wurden mehrere entscheidende Parameter identifiziert, die einen wesentlichen Einfluss auf den Verschleissverlauf jedes Standardelements haben. Dazu gehören die Verkehrsbelastung, der Bogenradius, der Schwellentyp, die Schienenstahlgüte, sowie Schienenprofil, Längsneigung, Unterbau und Entwässerung. Die letzteren vier Parameter wurden zwar als Parameter angeführt, jedoch wurde hier bei der Erstellung der Standardelemente im Zuge des Projektes aus Datengründen keine Unterscheidung getroffen.

Die Segmentierung eines Netzes in Standardelemente – sei es in einer Asset- oder Wartungsmanagement-Software (z. B. IRISYS, GMAO etc.) – ermöglicht anschliessend die Berechnung verschiedener Szenarien zur Optimierung des Infrastrukturmanagements, sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch hinsichtlich der eingesetzten Ressourcen.

Im Bereich der Gleisinstandhaltung könnten so effizientere Strategien zur Sicherung der Gleisqualität entwickelt werden, im Einklang mit Art. 5, Buchstabe c (KPFV). Dies würde eine gezieltere Identifikation der instandhaltungsbedürftigen Abschnitte ermöglichen, insbesondere im Hinblick auf Schleifen, Stopfen und Schienenwechsel. Darüber hinaus könnten präzisere Vorhersagen für Instandhaltungs- und Erneuerungsbedarfe auf eine einheitlichere, transparentere und vergleichbare Weise erstellt werden – basierend auf einer gemeinsamen Methodik für alle Meterspurbahnen.

Werden die StdE mit den Instandhaltungskosten kombiniert, stellen sie die Kosten der Fahrbahn dar und bilden damit die Grundlage für weitere Wirtschaftlichkeitsberechnungen, wie z.B. den Vergleich unterschiedlicher Fahrbahnaufbauten oder ermöglichen den Verschleissfaktors¹ Meterspur.

Methodik

Um Standardelemente zu definieren, muss auf historische Daten zurückgegriffen werden. Diese Daten sollten einerseits den Typ der Oberbau und Unterbau der untersuchten Netze beschreiben und andererseits eine Zusammenfassung der bisherigen Instandhaltungsmassnahmen auf diesen Netzen liefern. Die daraus resultierenden Standardelemente stellen eine Momentaufnahme dar, die auf diesen Daten sowie auf den Erfahrungen der verschiedenen Bahnen basiert. Sie sind jedoch nicht statisch, sondern unterliegen einer kontinuierlichen Weiterentwicklung – sei es durch den Fortschritt des Wissens, durch das Erscheinen neuer Produkte auf dem Markt oder durch die Anpassung von Strategien im Bereich des Gleisbaus und der Instandhaltung.

Dieser Bericht beschreibt auf wissenschaftliche Weise die Methode, die zur Definition der ersten Standardelemente für die Meterspurbahnen der Schweiz angewendet wurde. Die Erarbeitung dieser Standardelemente basiert auf Erfahrungsberichten und der Analyse von Anlagen- und Instandhaltungsdaten von fünf beteiligten Bahnen (AB, MGB, RBS, RhB und ZB).

Ergebnisse

Durch die Kombination der 4 betrachteten Kategorien (Belastungsgruppe, Bogenradius, Schwellen und Schienenstahlgüte) und für die bestehenden Zustände wurden 90 Standardelemente definiert. Diese

¹ Der Verschleissfaktor beschreibt die durch Fahrzeuge verursachte Abnutzung der Bahninfrastruktur. Er dient dazu, den Verschleiss, den unterschiedliche Fahrzeugtypen auf den Fahrweg ausüben, quantitativ zu bewerten. Er kann beispielsweise für eine verursachungsgerechte Trassenpreisgestaltung oder zur Optimierung der Fahrzeugbeschaffung in Bezug auf minimierte Infrastrukturabnutzung genutzt werden.

ermöglichen eine standardisierte Kategorisierung aller Streckenabschnitte des Schweizer Meterspurnetzes.

Beim Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich Lebensdauer und Instandhaltungsbedarf zwischen verschiedenen Standardelementen verdienen die folgenden Punkte besondere Beachtung. Dabei handelt es sich weder um Empfehlungen noch um eine qualitative Klassifizierung der Standardelemente, sondern lediglich um eine Analyse des aktuellen Zustands des Schweizer Schienennetzes unter der systematischen Betrachtung der Standardelemente:

- Die Auswertungen und Diskussionen zeigen, dass Gleise mit Beton- und Holzschwellen in Radien $R \leq 300$ m ähnliche Lebensdauern und Instandhaltungsintervalle aufweisen. Dieses Ergebnis widerspricht der Erwartung, dass Betonschwellen eine höhere Lebensdauer als Holzschwellen aufweisen. Mehrere Gründe können zu diesem Unterschied führen, wie zum Beispiel die Tatsache, dass der Einsatz von Betonschwellen bei den Schweizer Meterspurbahnen relativ neu ist und damit die Datenhistorie für Strecken mit Betonschwellen nicht bis zum Ausbau vorhanden ist. Dennoch stellt dies keine Bewertung der Qualität von Betonschwellen im Vergleich zu Holzschwellen dar.
- Stahlschwellen mit Radien $R \leq 300$ m weisen etwas längere Instandhaltungsintervalle im Vergleich zu anderen Schwellen und eine deutlich längere Nutzungsdauer von 60 bis 80 Jahren auf.
- Bei Radien über 300 m steigen die Nutzungsdauern der verschiedenen Schwellentypen unterschiedlich ausgeprägt an. Bei Radien oberhalb 300 m weisen die StdE für Betonschwellen eine höhere Nutzungsdauer auf als für Holzschwellen.
- Bei StdE mit Radien über 300 m bleiben die Nutzungsdauern und die Instandhaltungsintervalle beim Stopfen (kein Schienenschleifen oder Schienenwechsel) konstant über die beiden Radienklassen und können als «gerades Gleis» betrachtet werden.
- Erhöhte Belastungen führen zu geringfügig verkürzten Instandhaltungsintervallen, ohne die Nutzungsdauer zu beeinflussen. Dies widerspricht der Erwartung, dass die Lebensdauer bei höheren Belastungen abnimmt. Ein möglicher Grund dafür ist, dass nur ein Bruchteil der Meterspurbahnen höhere Belastungen (N1/E1) aufweist (Daten von RBS und RhB für Holz- und Betonschwellen) und somit Erfahrungen sowie die Datenhistorie mit diesen Belastungen fehlen.
- In Streckenabschnitten mit Schienen der Stahlgüte R350HT wurden die Schienen etwa halb so oft gewechselt und auch halb so oft geschliffen wie bei der Standard-Stahlgüte R260. Für die Schienenstahlgüte R400HT konnten mangels ausreichender Erfahrungen und Daten keine spezifischen Erkenntnisse abgeleitet werden.
- Die historischen Stopfzyklen gleichen sich zwischen den Bahnen teilweise. Die Diskussionen haben gezeigt, dass die Stopfstrategien zwischen den Bahnen jedoch durchaus unterschiedlich sind.
- Bei Meterspurbahnen sind Schlupfwellen die Hauptursache für Schienenschleifen.
- Die Strategien für das Schleifen und den Austausch von Schienen unterscheiden sich zwischen den Bahnen. Die Gründe dafür sind weiter zu untersuchen, aber die erste Tendenz deutet auf einen Mangel an konkreten Empfehlungen für diese Strategien hin. Die Berücksichtigung der Standardelemente in Entscheidungsunterstützungsmodellen stellt somit eine entscheidende Hilfe in diesem Bereich dar. Dies liegt jedoch ausserhalb des Umfangs dieses Berichts.

Empfehlungen

Keine konkreten Empfehlungen zu Instandhaltungs- oder Erneuerungsstrategien können ausschliesslich auf Basis der Standardelemente gegeben werden, da Instandhaltungen im Idealfall gleiszustandsbasiert (messdatenbasierend) geplant werden sollten. Dennoch lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Aufmerksamkeit der Bahnen auf die Existenz der Standardelemente im Meterspurnetz lenken.

- Die Segmentierung des Netzes in Standardelemente stellt einen notwendigen ersten Schritt hin zu integrierten, präzisen, vergleichbaren und wirtschaftlichen Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien dar.
- Die Integration dieser Segmentierung in Tools wie IRISSYS oder GMAO-Systeme kann dazu beitragen, den Zustand des Netzes besser zu verstehen, seine zukünftige Entwicklung genauer vorherzusagen und Investitionen gezielter zu priorisieren, indem verschiedene Informationsquellen zusammengeführt werden. Dies erfordert jedoch einen Entwicklungsaufwand. Die Berechnung wirtschaftlicher Zukunftsszenarien durch Variation des Standardelements eines Streckenabschnitts wird mit durchschnittlichen Standardelementen erleichtert.
- Die Bahnen dazu ermutigen, Trassierungsdaten, Oberbautypen und Instandhaltungsfrequenzen systematisch zu erfassen und zu speichern. Eine gemeinsame Zusammenarbeit ist erforderlich, um die Interoperabilität der Daten zu verbessern und eine einfachere (möglichst automatische) Aktualisierung der Standardelemente zu ermöglichen. Dies sollte auch strategische Veränderungen oder neue, bisher wenig genutzte Produkte, wie beispielsweise Schwellenbesohlung berücksichtigen.
- Die systematische Nutzung der StdE würde auch eine einfachere Erstellung des Netzzustandberichts (RTE 29900, Teil Fahrbahn, siehe A2) für die Unternehmen sowie eine flüssigere Lektüre und einen besseren Vergleich zwischen den Unternehmen ermöglichen.

Nächste Schritte

Aufgrund fehlender Daten und Erfahrungen war es nicht möglich, den Einfluss der Schwellenbesohlung und der Schienenstahlgüte R400HT in der StdE zu berücksichtigen. Die Annahmen für diese Materialien sollen möglichst zeitnah in P4 untersucht und zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus besteht Erweiterungspotenzial der StdE, um die Einflüsse grösserer Längsneigungen, unterschiedlicher Unterbauarten und (nicht) funktionierender Entwässerungssysteme zu erfassen.

Generell sind die StdE regelmässig zu aktualisieren. Zudem ist aufgrund der Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Systemführerschaft damit zu rechnen, dass sich Instandhaltungsstrategien und Anlagestrategien der Fahrbahn ändern können, was eine Aktualisierung der StdE auslösen könnte.

Inhalt

1	Ausgangslage.....	8
2	Vorgehen.....	9
2.1	Standardelemente für Gleise: Parameter, Parameterausprägung und Gleisarbeiten.....	9
2.1.1	<i>Parameter und Parameterausprägungen</i>	<i>9</i>
2.1.2	<i>Gleisarbeiten.....</i>	<i>11</i>
2.2	Arbeitszyklen.....	12
2.2.1	<i>Datenaufbereitung.....</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Interpretation der Daten und Diagramme</i>	<i>14</i>
2.2.3	<i>Diskussion und Festlegung der Arbeitszyklen</i>	<i>17</i>
3	Ergebnisse.....	19
4	Erkenntnisse und Empfehlungen	22
4.1	Arbeitszyklen im Vergleich	22
4.2	Vorhalten von Daten.....	22
4.3	Erweiterung der Standardelemente und deren Anwendungsmöglichkeiten	22
4.3.1	<i>Überarbeitung der Standardelemente</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>Erweiterung der Standardelemente.....</i>	<i>23</i>
4.3.3	<i>Anwendbarkeit</i>	<i>23</i>
4.3.4	<i>Anwendung im Verschleissmodel Meterspur.....</i>	<i>24</i>
5	Verzeichnisse	25
5.1	Referenzen	25
5.2	Abbildungen	25
5.3	Tabellen	25
6	Anhang.....	26

1 Ausgangslage

Im Rahmen des Projektes zur Erstellung und Anwendung des Verschleissmodells für die Meterspur wurden begleitend Standardelemente für Gleise erarbeitet. Die Standardelemente selbst werden für die Kostenkalibrierung des Verschleissmodells gebraucht. Die Grundprinzipien von Standardelementen wurden in [1] publiziert. Sie können aber auch zur Ableitung von Investitions- und Instandhaltungsstrategien verwendet werden. Die in diesem Bericht zusammengefassten Arbeiten können auch für diese, hier nicht verfolgten Ziele, als Basis dienen.

Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass geänderte Ausprägungen der beeinflussenden Randbedingungen zu geänderten Verschleisserscheinungen, damit anderen Instandhaltungsfrequenzen und letztlich Nutzungsdauern führen. Somit können grundsätzlich bei der Erstellung von Standardelementen die Randbedingungen (Parameter) und deren Ausprägungen diskutiert und festgelegt werden.

Bei den Meterspurbahnen sind naturgemäss die Radienbereiche zu jenen der Normalspurbahnen anders. Insbesondere die Radien, ab denen Seitenverschleiss der Aussenschiene bzw. ab denen Schlupfwellen dominant werden, wurden intensiv diskutiert. Auch die Längsneigungsverhältnisse sind bei den Meterspurbahnen gänzlich anders: Steigungen von 60‰ und mehr sind auch im Adhäsionsbetrieb der Meterspurbahnen möglich. Noch grössere Steigungen mit Zahnstangenbetrieb wurden grundsätzlich nicht betrachtet, wie wohl auch diese Randbedingungen für die betroffenen Meterspurbahnen selbst von Interesse sein könnten und sollten.

2 Vorgehen

In diesem Kapitel werden die Grundprinzipien, der Aufbau und die Parameterzusammensetzung von Standardelementen für Streckengleise erläutert (Kapitel 2.1) (Weichen wurden zu diesem Zeitpunkt nicht betrachtet). Anschliessend wird in Kapitel 2.2 auf die notwendige Datengrundlage und die Datenaufbereitung eingegangen. Abschliessend werden die festgelegten Arbeitszyklen diskutiert.

Vorab sei angemerkt, dass die erarbeiteten Standardelemente hauptsächlich auf Daten und Erfahrungen folgender fünf Bahnen basieren und ausschliesslich Adhäsion Meterspur Abschnitte betrachten:

- AB - Appenzeller Bahnen AG
- MGB - Matterhorn Gotthard Bahn AG
- RBS - Regionalverkehr Bern-Solothurn AG
- RhB - Rhätische Bahn AG
- ZB - Zentralbahn AG

Diese Bahnen konnten im Projektzeitraum die notwendigen Daten für die Erstellung der Standardelemente zur Verfügung stellen und brachten in diversen Diskussionen ihre Erfahrungen ein.

Weiterhin wurde die Erfahrung von folgenden Bahnen in der Diskussion eingeholt:

- MOB - Montreux Berner Oberland Bahn AG
- tpf - Transports publics fribourgeois Holding (TPF) SA

2.1 Standardelemente für Gleise: Parameter, Parameterausprägung und Gleisarbeiten

Ein Standardelement beschreibt im Allgemeinen den durchschnittlichen Lebenszyklus einer Anlage. Im vorliegenden Projekt wurden Standardelemente für Gleise entwickelt. Standardelemente für Gleise liefern oberbauspezifisch, radien- und belastungsabhängig durchschnittliche Instandsetzungsfrequenzen und Nutzungsdauern.

2.1.1 Parameter und Parameterausprägungen

Bei der Erstellung der Standardelemente für die Meterspurbahnen wurden in einem ersten Schritt die Parameter und deren Ausprägungen mit den Bahnen diskutiert. Hierbei sind jene Parameter und Parameterausprägungen massgebend, welche sowohl einen Einfluss auf die Instandsetzungstätigkeiten und Instandsetzungs-Frequenzen aufweisen als auch Auswirkungen auf die Nutzungsdauer eines Gleises haben. Folgende acht Parameter wurden für die Beschreibung des durchschnittlichen Lebenszyklus eines Gleises als massgebend identifiziert:

- Belastungsgruppe [Code-Stelle A]
- Längsneigung [Code-Stelle B]
- Bogenradius [Code-Stelle C]
- Schwellentyp [Code-Stelle D]
- Schienenprofil [Code-Stelle E]
- Schienenstahlgüte [Code-Stelle F]
- Unterbau [Code-Stelle G]
- Entwässerung [Code-Stelle H]

Die TU Graz identifiziert Standardelemente anhand eines 8-stelligen Codes: «ABCDEFGH», wobei sich über die Code-Stellen A bis H der Parameter und über die Nummerierung die Parameterausprägung identifizieren lassen. In Abbildung 1 sind die Parameter und ihre Parameterausprägungen zusammengefasst.

Belastungsgruppen	A	Längsneigung	B	Bogenradius	C	Schwellen	D
N1/E1	1	$LN \leq 40\text{‰}$	1	$R > 600\text{m}$	1	Beton	1
N2/E2	2	$40\text{‰} < LN \leq 60\text{‰}$	2	$600\text{m} \geq R > 300\text{m}$	2	Beton USP	2
N3/E3 & N4/E4	3	$60\text{‰} < LN$	3	$300\text{m} \geq R > 120\text{m}$	3	Holz	3
				$120\text{m} \geq R > 80\text{m}$	4	Stahl	4
				$R \leq 80\text{m}$	5	Stahl (Y-Schwelle)	5
						Feste Fahrbahn (Bahngleis)	6
						Feste Fahrbahn (Tram)	7

Schienenprofil	E	Schienenstahlgüte	F	Unterbau	G	Entwässerung	H
54 E2	1	R260	1	gut/ausreichend	1	gut/funktioniert	1
46 E1 / 49 E1	2	R350HT	2	Fels	2	schlecht	2
Ri	3	R400HT	3	PSS	3		
				AC-Rail	4		

Abbildung 1: Standardelement-Gleise mit deren Parameter und Parameterausprägungen. Notiz: Mangels genügend Erfahrung und Daten wurden die *ausgegrauten* Elemente keine Instandhaltungszyklen hinterlegt.

Die Einteilung der Parameterausprägungen begründet sich auf Überlegungen zur Nutzungsdauer von Gleisen, Instandsetzungstätigkeiten, Instandsetzungsfrequenzen und Verschleissmechanismen. Die Parameterausprägungen wurden intensiv mit den Bahnen diskutiert. Die genannten acht Parameter und deren Ausprägungen wurden in die Beschreibung der Standardelemente aufgenommen, da sie allesamt einen beträchtlichen Einfluss auf den Lebenszyklus eines Gleises haben. Im Zuge der Betrachtungen dieses Projektes wurden dennoch gewisse Parameterausprägungen ausgeklammert (in Abbildung 1 *ausgegraut*). Aus den Daten der betrachteten Streckenabschnitte konnten sich entweder die Ausprägungen nicht klar identifizieren lassen oder Informationen/Erfahrungen zu den durchgeführten Gleisarbeiten konnten im Projektzeitraum nicht geliefert werden. Das Vervollständigen der Standardelemente ist eine Folgeaufgabe von P4 bzw. der Kompetenzzentrum für Fahrbahn. Besondere Priorität liegt darauf, der Einfluss der besohlte Betonschwellen aufzunehmen.

Die Einteilung der **Bogenradien** und Festlegung ihrer Grenzzadien kann anhand der nachstehenden Überlegungen begründet werden:

- Die Vertreter der Bahnen waren sich in den Diskussionen einig, dass bei Streckenabschnitten mit Radien zwischen 80 m und 300 m Schlupfwellen auftreten².
 - o Dabei wurde festgestellt, dass Schlupfwellen im Radienbereich $80\text{ m} < R \leq 120\text{ m}$ in der Regel häufig auftreten. Zudem sind besondere Anforderungen an der Rahmensteifigkeit und an der Querverschiebewiderstand (QVW) ab einem Radius von $R \leq 120\text{ m}$ gegeben.
 - o Im Radienbereich $120\text{ m} < R \leq 300\text{ m}$ treten Schlupfwellen teilweise auf und es besteht ab einem Radius von $R > 120\text{ m}$ keine Anspruch auf an einen rahmensteifen Oberbau.
- Aus den Diskussionen konnte definiert werden, dass sich Gleisabschnitte ab einem Radius von $R > 600\text{m}$ gleich wie gerade Gleisabschnitte verhalten.
- Der Radienbereich $300\text{ m} < R \leq 600\text{ m}$ wurde als Übergangsbereich definiert, in welchem Rollkontaktermüdung (RCF) auftreten kann.
- Bögen mit Radien $R \leq 80\text{ m}$ wurden als «sehr enge Bögen» deklariert, bei welchen ein freier Bogenlauf nicht mehr gewährleistet werden kann.

Die Klassifizierung der **Längsneigung** basiert auf den nachstehenden technischen Gegebenheiten:

² Anmerkung: Naturgemäss lassen sich die Grenzen der Radienbereiche nicht derart strikt einteilen wie es vorgenommen wurde. Das durchschnittliche und mehrheitliche Verhalten von Gleisen wird dennoch anhand dieser Einteilung beschrieben.

- Eine Längsneigung $LN \leq 40\text{‰}$ wird bei Meterspurbahnen als «normales» Gefälle definiert.
- Eine Längsneigung im Bereich von $40\text{‰} < LN \leq 60\text{‰}$ stellt ein erhöhtes Gefälle dar, in welchem Fahrzeuge unter Adhäsionsbetrieb eine zusätzliche Bremsprobe aufweisen müssen.
- Längsneigungen $LN > 60\text{‰}$ werden als «sehr starke» Gefälle eingestuft, bei welchen die Traktion besonders wichtig zu betrachten ist. Ausserdem benötigen Fahrzeuge unter Adhäsionsbetrieb bei $LN > 60\text{‰}$ ein zweites autonomes Bremssystem.

Die Ausprägungen der Parameter «**Belastungsgruppe**», «**Schwellentypen**», «**Schienenprofil**» und «**Schienenstahlgüte**» ergeben sich aus den Oberbaudaten der betrachteten Streckenabschnitte.

Die Parameter «**Unterbau**» und «**Entwässerung**» sind Einflussgrössen, welche sich auf die Nutzungsdauer der Gleise und auf Instandsetzungsfrequenzen auswirken.

Ein Standardelement setzt sich somit aus den acht genannten Parametern mit spezifischen Ausprägungen zusammen. In Abbildung 2 ist exemplarisch ein Standardelement für ein Betonschwellengleis der Belastungsgruppe $<15.000 \text{ Bt/Tag}$ (N3/E3 & N4/E4) bei einer Längsneigung von $LN \leq 40\text{‰}$ und einem Bogenradius von $120 \text{ m} < R \leq 300 \text{ m}$, einem Schienenprofil 46E1 und einer Schienenstahlgüte R260 bei «gut/ausreichendem» Unterbau und «gut/funktionierender» Entwässerung dargestellt. Dieses Standardelement kann abgekürzt als Standardelement «31312111» geschrieben werden.

Belastungsgruppen	Bogenradius	31312111			
N3/E3 & N4/E4	$300\text{m} \geq R > 120\text{m}$				
Längsneigung	Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte	Unterbau	Entwässerung
$LN \leq 40\text{‰}$	Beton	46 E1 / 49 E1	R260	gut/ausreichend	gut/funktioniert

Abbildung 2: Standardelement 31312111

2.1.2 Gleisarbeiten

Gleisarbeiten, die in diesem Projekt je Standardelement betrachtet werden, sind

- Stopfen (Krampen),
- Schienenschleifen,
- Schienenwechsel beider Schienen und
- Kleinunterhalt (auch «Mängelbehebung» oder «kleinere Instandsetzungen» genannt).

Unter Kleinunterhalt werden die aus Tabelle 1 erfassten Arbeiten verstanden. Diese sind teilweise radien- und/oder schwellenabhängig.

Tabelle 1: Instandsetzungstätigkeiten, die als Kleinunterhalt zusammengefasst werden

Arbeit	Schwellentyp	Radius
Schwellenlochanierung/Schraubenlochanierung	Holz	Gerade & Bogen
Rippenplattenwechsel	Holz	Bogen
(Einzel-)Schwellenwechsel	Holz	Gerade & Bogen
Couponwechsel/ Kurzschienentausch: Schienenfehler, Schienenbrüche (Squats)	alle	Gerade & Bogen
Einzelfehlerstopfung/Maschinelles Kleinunterhalt/Handstopfung (Verwindung, Bahnübergänge, Brückenanschlüsse, Isolierstösse)	alle	Gerade & Radien
Isolierstossunterhalt	alle	Gerade & Bogen
Handschleifgerät	alle	Gerade & Bogen
Spritzstosssanieren/«Schlammbehebung»	alle	Gerade & Bogen
Kleineisentauch & -anziehen	alle	Gerade & Bogen
Zwischenlagenwechsel* - Betonschwellen - Zwischenlagenwechsel bei Holzschwellen, welche über die Jahre an Länge verlieren	Beton (Holz)	(wird i.d.R. nicht gemacht)

Anhand von Diskussionen mit den Bahnmeistern und datengestützten Auswertungen (Instandsetzungsdaten zu Stopfen, Schleifen und Schienenwechsel) wurden die Nutzungsdauer und die Arbeitszyklen der Standardelemente erarbeitet. In Abbildung 3 sind beispielhaft die Gleisarbeiten inklusive Arbeitszyklen für ein Betonschwellengleis der Belastungsklasse 3 (<15.0000 Bt/Tag) im Radienbereich $120\text{ m} < R \leq 300\text{ m}$ dargestellt.

Belastungsgruppen	Bogenradius	31312111										
N3/E3 & N4/E4	$300\text{ m} \geq R > 120\text{ m}$											
Längsneigung	Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte				Unterbau			Entwässerung		
$LN \leq 40\text{‰}$	Beton	46 E1 / 49 E1	R260				gut/ausreichend			gut/funktioniert		
Gleisarbeiten	Nutzungsdauer	30.0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Neulage (Schotteroberbau)		0.0										
Bourrer	alle x Jahre	5.0							1			
Meulage des rails	Anzahl während der ND	5.0	1							1		
Remplacement des rails	Anzahl während der ND	0.0										
Track Work X	Anzahl während der ND	0.0										
Track Work Y	Anzahl während der ND	0.0										
Track Work Z	Anzahl während der ND	0.0										
Petites réparations	Anzahl während der ND	30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

...

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
		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	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

...

Abbildung 3: Standardelement 31312111: Gleisarbeiten und Arbeitszyklen

Das dargestellte Standardelement weist eine Nutzungsdauer von 30 Jahren auf. Hierfür sind die Parameterausprägung der Belastungsklasse, des Bogenradius und jene des Schwellentyps entscheidende Faktoren. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass das niedrig belastete Betonschwellengleis im Radienbereich $120\text{ m} < R \leq 300\text{ m}$ im Schnitt nach 6 Jahren das erste Mal gestopft wird und in Summe einen Stopfzyklus von 6-6-5-5-4 Jahren aufweist. Der Schleifzyklus entspricht dem Intervall 7-7-6-6, wobei Neuschienenschleifen durchgeführt wird. Die Gleisarbeit «Kleinunterhalt» wird jährlich eingetragen, da diese einerseits mehrere Arbeiten zusammenfasst (siehe Tabelle 1) und andererseits diese Tätigkeiten häufiger auftreten. Zudem verkürzt sich das Intervall dieser Arbeiten in der Regel über die Nutzungsdauer.

Auf die technischen Überlegungen der Instandsetzungsfrequenzen bei der Erstellung der Standardelemente wird in Kapitel 2.2.3 eingegangen. Die Ergebnisse der erarbeiteten Standardelemente können in Kapitel 3 eingesehen werden.

Neben Stopfen, Schienenschleifen, Schienenwechsel und Kleinunterhalt wurden Platzhalter für weitere Gleisinstandsetzungsarbeiten in den Standardelementen vorgesehen («Arbeit X», «Arbeit Y» und «Arbeit Z»). Dies könnten beispielsweise Schotterbettreinigung, Zwischenlagenwechsel, Einzelfehlerstopfen, Schienenstosspflege, Wechsel der Aussenschiene usw. sein.

Für die Anwendung der Standardelemente im Verschleißmodell, sind die Kostenaufwände für die Neulage nicht relevant, weshalb zum Zeitpunkt 0 kein Eintrag im Standardelement erfolgt.

2.2 Arbeitszyklen

Die Arbeitszyklen Stopfen, Schienenschleifen und Schienenwechsel wurden bahnübergreifend diskutiert und erstellt. Im folgenden Kapitel wird der allgemeine Weg der Datenaufbereitung dieser Arbeiten beschrieben. Zu beachten ist, dass je nach Bahn die Daten in anderer Form geliefert wurden, weswegen teils Schritte übersprungen bzw. adaptiert werden müssen. Die verwendeten Daten stammten von den folgenden Unternehmen:

- **MGB.** Alle Informationen wurden auf Basis von individuellen Abschnitten geliefert. Die Informationsverarbeitung entspricht deshalb dem allgemeinen Vorgehen. Die Trennung der Daten anhand der einzelnen Linien ermöglicht eine simplere Zusammensetzung der Querschnitte.
- **RhB.** Die Informationen der RhB liegen bereits als 25 cm Querschnitte vor. Der Ablauf wird dementsprechend vereinfacht, da nur mehr Schwellentyp, Schienenform, Stahlgüte, Belastung, Radius und die Instandhaltungen ergänzt werden müssen.
- **AB.** Alle Informationen zum Oberbau waren bereits gemeinsam als homogene Abschnitte vorhanden, wodurch der Verschnitt dieser wegfällt, nach Erstellung der Querschnitte. Anschliessend mussten nur die Belastung, Gleisgeometrie und die Instandhaltungen je Querschnitt ergänzt werden.
- **RBS.** Alle Informationen sind wiederum als Abschnitte gegeben. Teilweise sind diese bereits verschnitten, der Ablauf entspricht im Grossen und Ganzen jedoch dem allgemein beschriebenen.
- **ZB.** Die Informationen sind alle als eigenständige Abschnitte vorhanden, weswegen der Ablauf dem allgemein beschriebenen gleicht. Der Datensatz ist leider nicht vollständig und weist einige Lücken auf.
- **TPF.** Es sind bereits zusammengesetzte Abschnitte vorhanden, jedoch müssen Informationen wie Gleisgeometrie nach der Querschnittserstellung noch zugewiesen werden.
- **MOB.** Die MOB konnte leider keine ausreichenden Daten liefern. Die Erfahrung von der MOB wurde aber angezapft, um die Daten aus dem anderen Bahnen zu bestätigen und ergänzen.

Die Bahnen konnten ihre Instandhaltungsdaten in unterschiedlichem Ausmass liefern, zu sehen in Tabelle 2. Besonders sticht dabei die lange Historie der MGB heraus.

Tabelle 2: vorhandene historische Instandhaltungsdaten

<i>Bahn</i>	<i>Stopfen von</i>	<i>Stopfen bis</i>	<i>Schleifen von</i>	<i>Schleifen bis</i>
MGB	1990	2023	2004	2023
RhB	2014	2023	2014	2022
AB	2009	2023	2009	2023
RBS	2016	2023	2016	2023
ZB	2012	2023	2012	2023
TPF	2012	2023	2012	2023

Aufgrund der oben beschriebenen unterschiedlichen Aufzeichnungsmethoden der einzelnen Bahnen ergeben sich auch unterschiedliche Auswertungszeiträume. Teilweise sind nach Zusammenlegungen von einzelnen Bahnen zu einem neuen Unternehmen alte Daten nicht mehr reproduzierbar.

2.2.1 Datenaufbereitung

Zu Beginn werden die vorhandenen Daten im Allgemeinen diskretisiert, da diese meistens als homogene Abschnitte geliefert wurden. Hierfür wurde im Bereich jedes Abschnitts ein Querschnitt alle 25 cm erstellt. Diese befinden sich immer auf denselben Punkten innerhalb eines Meters, also X.00, X.25, X.50 und X.75. Dieser Schritt wurde für alle Informationsquellen zum Oberbau durchgeführt. Die entstandenen Querschnitte werden folglich miteinander verschnitten, also die verschiedenen Informationen auf Basis der Linie, Kilometrierung und Gleisbezeichnung zusammengeführt.

Um das Problem von Duplikaten durch nicht eindeutige Zuweisungen zu umgehen, wurden alle Fehlkilometrierungsbereiche von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Ebenso wurden alle Bereiche mit Zahnstangen aus dem Datensatz herausgenommen. Folgend wird jedem Querschnitt anhand der

Randbedingungen das entsprechende Standardelement mit passendem Code zugewiesen. Hierbei erfolgt eine weitere Filterung, alle Querschnitte ohne gültigem Standardelement werden für die weitere Betrachtung ausgeschlossen.

Für die Zuweisung der Maschineneinsätze wird zwischen jedem Querschnitt und jedem Maschineneinsatz verglichen, ob der Querschnitt im Bereich des Einsatzes liegt, falls ja wird dieser inklusive des Datums notiert. Dies wurde für alle vorhandenen Instandhaltungen wie Schienenschleifen/-fräsen, Stopfen/Krampung, Schotterbettreinigung und Schienenwechsel durchgeführt.

Mit den nun zusammengesetzten Informationen werden für die in den Daten vorhandenen Standardelemente Diagramme erstellt. Für die Nutzungsdauermanalyse (Survivability-Analyse) wird das aktuelle Alter aller Querschnitte eines Standardelements als Histogramm geplottet. Für die Arbeitszyklen der unterschiedlichen Maschineneinsätze wurden je zwei Diagramme erstellt. Das Erste zeigt als Histogramm die Anzahl der Querschnitte, welche zu einem gewissen Alter des Standardelements in den Daten vorhanden sind. Das Zweite zeigt den relativen Anteil der Querschnitte eines Standardelements, welche mit einem gewissen Alter eine Instandhaltung erfahren haben.

2.2.2 Interpretation der Daten und Diagramme

Die Interpretation der Oberbaudaten und der Instandhaltungshistorie ermöglicht es, zwei entscheidende Informationen für jedes Standardelement zu gewinnen: (1) seine gesamte Nutzungsdauer; (2) die Häufigkeit jeder Instandhaltungsmassnahme (Stopfen, Schleifen, Schienenwechsel) während der Lebensdauer (Anzahl pro Jahr). Als Beispiel wird der Dateninterpretationsprozess im Folgenden für die Instandhaltungsmassnahme „Stopfen“ des Standardelements 3111XX11 (Belastung: N3/E3 & N4/E4, LN < 40‰, R > 600m, Betonschwellen, Beliebige Schienenprofil und -Stahlgüte, Unterbau bzw. Entwässerung: gut/ ausreichend/ funktionierend) dargestellt. Dieser Prozess wurde für jede Instandhaltungsmassnahme und jedes im Rahmen dieses Projekts definierte Standardelement durchgeführt.

2.2.2.1 Einleitende Bemerkungen

Um repräsentative Auswertungen zu erhalten, wurden Standardelemente, von denen grundsätzlich weniger als 1000 Querschnitte (entspricht einer Länge von 250 m) identifiziert wurden, von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Weiters wurden Zeiträume³, in denen weniger als 1000 Querschnitte eines Standardelements vorhanden sind, ebenfalls nicht weiter betrachtet und nicht zur Mittelung herangezogen.

Für die Auswertung der Instandhaltungsmassnahme Stopfen wurde die Schiene (sowohl das Schienenprofil als auch Schienenstahlgüte) nicht berücksichtigt, da diese Parameter keinen Einfluss auf die Instandhaltungszyklen haben. In den nachfolgenden Abbildungen sind daher die 5. und 6. Stelle des Standardelementcodes mit «X» gekennzeichnet.

2.2.2.2 Nutzungsdauer

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Altersverteilung von Standardelementen des Typs 3111XX11 im Netz einer Bahn. Aus diesen Darstellungen wurden Schlüsse auf die Nutzungsdauer des jeweiligen Standardelements gezogen (Survivability Analyse). An diesem Beispiel ist zu erkennen, dass kein Gleisquerschnitt älter als 25 Jahre existiert.

Hierbei muss bei der Interpretation darauf geachtet werden, ob es sich um Streckenabschnitte zugehörig eines StdE handelt, die:

- a) vor 25 Jahren das erste Mal eingebaut wurden und noch immer im Gleis liegen oder
- b) die *wirklich* durch die Nutzungsdauer begrenzt sind.

Da es sich in Abbildung 4 um Betonschwellen handelt, liegt überwiegend Fall a) vor. Nicht alle ausgewerteten StdE unterliegen Fall a). Diese Datendarstellung je StdE ermöglicht es, einen Überblick

³ Zeitraum = 1 Kalenderjahr

über die derzeitige Altersverteilung inklusive Häufigkeit/Streckenlänge der Streckenabschnitte eines StdE zu bekommen. Daraus wird in weiterer Folge eine durchschnittliche Nutzungsdauer mithilfe von Expertenwissen/Erfahrungen abgeleitet.

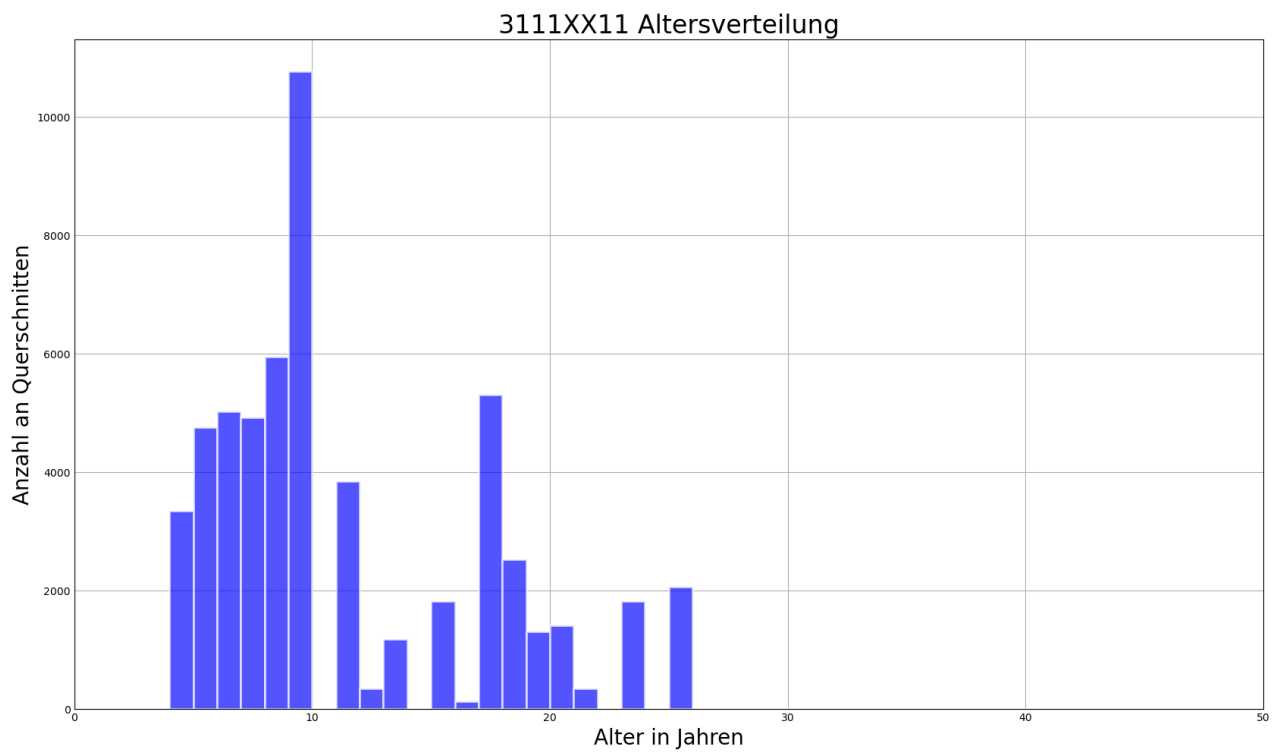


Abbildung 4: Altersverteilung der Standardelement 3111XX11 im Netz einer Bahn (als Beispiel)

2.2.2.3 Bestimmung der Häufigkeit der Instandhaltungsmassnahme „Stopfen“ für das Standardelement 3111XX11

In Abbildung 5 ist die Anzahl an relevanten Querschnitten für die Instandhaltungsmassnahme Stopfen und über den betrachteten Zeitraum aufgetragen. Ein Balken in Abbildung 5 stellt die Querschnittsanzahl für ein gewisses Alter des Gleises eines bestimmten StdE (hier 3111XX11) dar, für die Instandhaltungsinformationen vorhanden sind. Beispielsweise gibt es 33'000 Querschnitte im Alter von 9 Jahren, für welche Instandhaltungsinformationen (hier: Stopfen) vorhanden sind. Dieses Diagramm ist ein Resultat des Verschnitts zwischen Oberbau- und Instandhaltungsdaten und dient ausschliesslich der Validierung der Datendarstellung aus Abbildung 6.

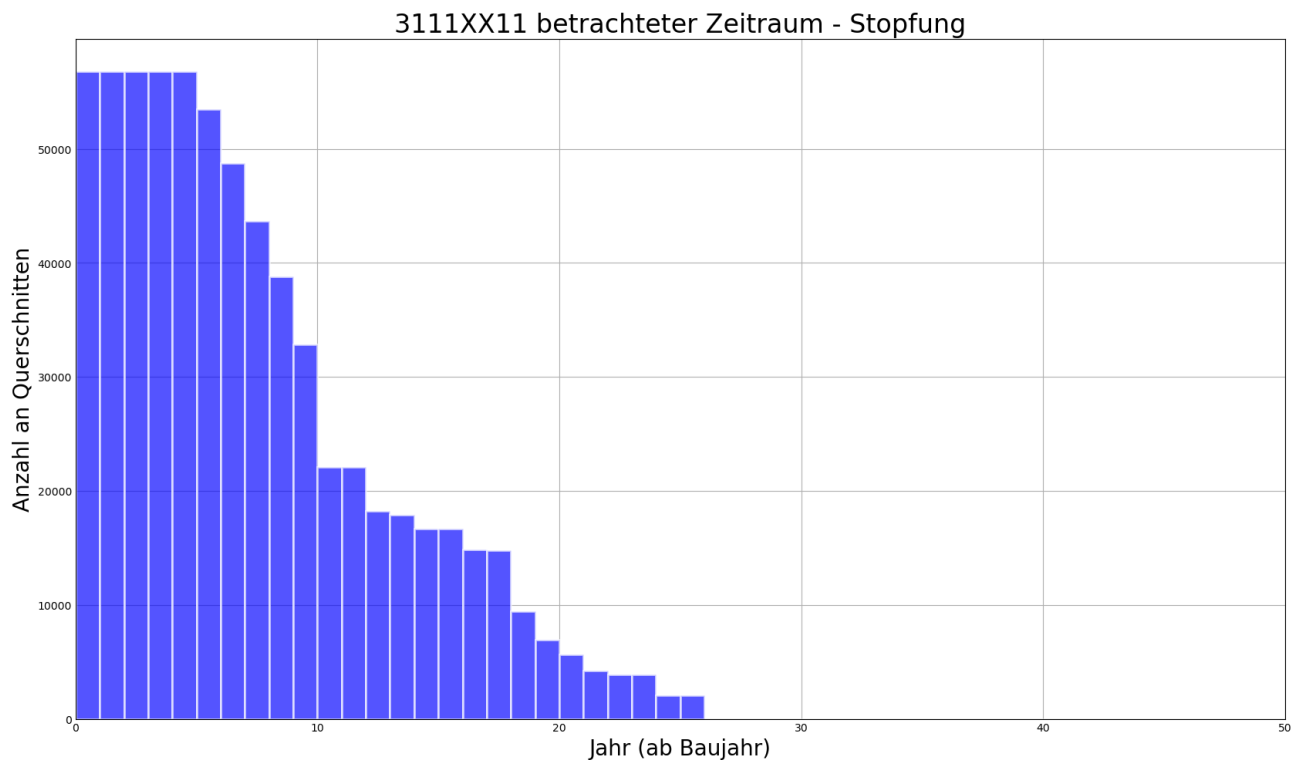


Abbildung 5: Anzahl an Querschnitten für Stopfen über Zeitraum (Standardelement 3111XX11)

Aus Abbildung 6 lassen sich die durchschnittlichen Instandhaltungszyklen (hier bspw. für Stopfen) ablesen. Jene Balken (und damit Gleisalter) sind relevant, welche in Abbildung 5 mindestens 1000 Querschnitte besitzen. Das Limit von 1000 Querschnitten wurde festgelegt, um repräsentative Auswertungen (genügend Querschnitte) zu erhalten. Im dargestellten Beispiel aus Abbildung 5 sind für alle Gleisalter genügend Querschnitte vorhanden, sodass in Abbildung 6 alle Balken relevant sind. Zur Interpretation aus Abbildung 6 sei angemerkt, dass die Summe aus allen Balken in etwa 500% entspricht (gilt für dieses Beispiel): 500% der Querschnitte werden im Betrachtungszeitraum (25 Jahren, siehe oben) gestopft, was wiederum 5x Stopfen im Betrachtungszeitraum (25 Jahre) bedeutet. Dies würde ein Stopfintervall von 5 Jahren bedeuten ($25:5=5$)

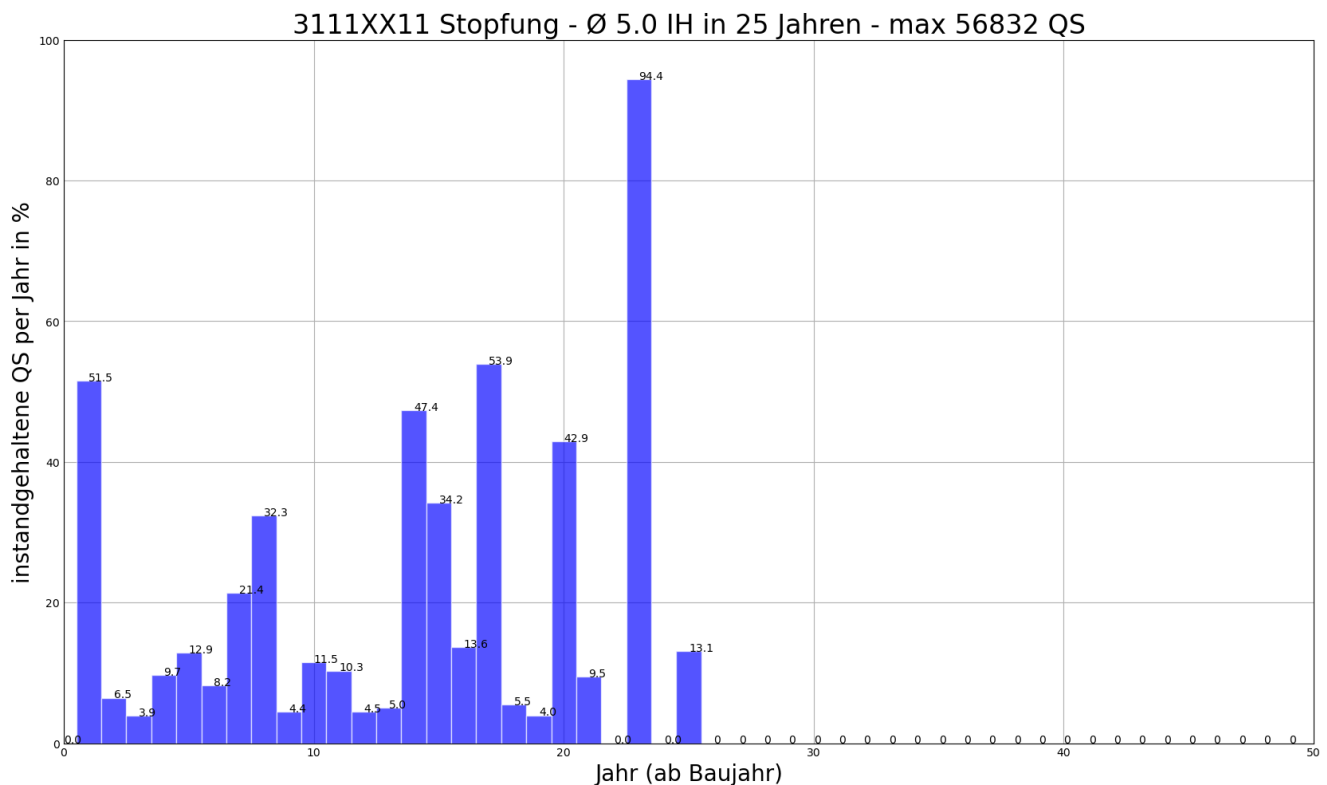


Abbildung 6: Anzahl an instandgehaltenen Querschnitten (Stopfen) über Zeit ab Einbaujahr (Standardelement 3111XX11)

2.2.2.4 Robustheit der Daten hinsichtlich der Nutzungsdauer und der Häufigkeit der Instandhaltungsmassnahmen

Derselbe Prozess wurde analog für die Instandhaltungsmassnahme des Schienenschleifens durchgeführt. Für die Instandhaltungsmassnahme Schienenwechsel konnten aufgrund fehlender Datenbasis nicht für alle Bahnen Auswertungen durchgeführt werden. Grundsätzlich wurden für vergangene Nutzungsphasen von Schienen «historische» Schieneneinbaujahre sowie -ausbaujahre betrachtet, um einen gesamten Schienenlebenszyklus abbilden zu können. Die aktuelle Nutzungsdauer einer noch eingebauten Schiene wurde für eine Survivability-Analyse herangezogen.

Wie beschrieben erfolgte die Auswertung der Instandhaltungszyklen zuerst bahnspezifisch und wurde in einem weiteren Schritt – unter Abstimmung mit den einzelnen Bahnen – zu einem Gesamtergebnis und damit zu einem durchschnittlichen Ergebnis zusammengeführt.

2.2.3 Diskussion und Festlegung der Arbeitszyklen

Nutzungsdauern und Stopfzyklen sind im erwartbaren Range, wenn man diese zu den Erfahrungen der Normalspurbahnen vergleicht. Dennoch treten Unterschiede auf, die hier auch diskutiert werden sollen:

Die Nutzungsdauer von Stahlschwellengleisen mit 80 Jahren ist hoch. Die Diskussionen zum erreichbaren Alter von Stahlschwellen waren intensiv, zusammengefasst ergaben diese eben eine Einigung auf 80 Jahre. Dennoch wurde auch darauf verwiesen, dass bei alten Stahlschwellen das Wechseln der Schienen aufgrund verrosteter bzw. verklemmter Befestigungselemente zum Teil nicht mehr möglich ist. Zwar kommen solche Schienenwechsel in den vorliegenden Standardelementen nicht vor, sie können jedoch stellenweise durchaus notwendig werden.

Das herausstechendste Merkmal ist das häufige Auftreten von Schlupfwellen und damit der extrem engen Schleifintervalle in Bögen unter 120 m Radius. Dieser Effekt ist tatsächlich bereits in den hier vorliegenden Schleiffrequenzen im Vergleich zu Normalspurgleisen extrem dominant. Die RhB berichtet zudem, dass auf Gleisen in ihrem Netz diese bereits dichte Schleiffrequenzen nicht ausreichend ist und z.T. doppelt oder sogar dreimal so hohe Schleifaufwände entstehen. Schienen der

Stahlgüte R400 dämpfen das Auftreten von Schlupfwellen zwar deutlich, bedürfen aber dennoch eines hohen Schleifaufwandes. Dem Thema Schlupfwellen ist es auch geschuldet, dass der Wechsel von Schienen im engen Bogen bei den Meterspurbahnen zum überwiegenden Teil in beiden Strängen erfolgt: im Aussenstrang aufgrund des Verschleisses bzw. hohen Schleifabtrags, im Innenstrang aufgrund der Schlupfwellen bzw. des hohen Schleifabtrags.

Dies ist auch der Grund, warum das Verschleissmodell für die Meterspurbahnen um einen Term, der spezifisch die Schlupfwellenthematik beschreibt, erweitert wird.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird auf die angesetzte Nutzungsdauer der Standardelemente mit den erarbeiteten und implementierten Instandsetzungsfrequenzen für Stopfen/Krampen, Schienenschleifen und Schienenwechsel (beider Schienen) eingegangen. Die Instandsetzungsmuster beruhen auf Datenauswertungen und Erfahrungsberichten der eingangs genannten Bahnen. Die Ergebnisse wurden anhand Erfahrung der MOB und tpf ergänzt. Im Folgenden werden die Kernaussagen in Punkte zusammengefasst. Zudem werden Interpretationsvorschläge der Arbeitsgruppe P4 der Systemführerschaft „Interaktion“ von RAILplus hinzugefügt (erkennbar an ihrem Stern).

Eine Übersicht über die angesetzten Nutzungsdauern und Instandsetzungsintervalle für die Standard Elemente X1XX2111 (Stahlgüte R260) und X1XX2211 (Stahlgüte R350 HT) ist in Abbildung 7 und Abbildung 8 gegeben.

Nutzungsdauer (ND): Dies trifft auf Abbildung 7 und Abbildung 8 zu.

- Datenauswertungen haben gezeigt, dass Holz- und Betonschwellengleise über die Belastungsklassen für Radien ≤ 300 m eine ähnliche ND aufweisen.
** Mögliche Ursache: Die Verwendung von Betonschwellen durch Meterspurbahnen ist relativ neu. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass praktisch keine von ihnen ihre tatsächliche Nutzungsdauer erreicht hat.*
- Die ND für Stahlschwellen werden über die Radienklassen mit 80 Jahren bzw. für $R \leq 80$ m mit 60 Jahren angesetzt, da diese laut Datenauswertung vor einigen Jahren eingebaut wurden und teilweise noch nicht ausgebaut wurden.

Stopfen: Dies trifft auf Abbildung 7 und Abbildung 8 zu.

- Holz- und Betonschwellengleise werden innerhalb einer Belastungsklasse sehr ähnlich bzw. bei gleicher ND ($R \leq 300$ m) gleich instandgesetzt.
- Das Stopfintervall bei Stahlschwellen ist innerhalb einer Belastungsklassen gleich zu Holz- und Betonschwellen.
- Mit steigender Belastung verkürzt sich das Stopfintervall je Schwellenart um 1-2 Jahre.
- Mit kleiner werdendem Bogenradius verkürzt sich das Stopfintervall je Schwellenart. Das Stopfintervall zwischen der grössten und der geringsten Radienklasse beträgt (abhängig von der Belastungsklasse) den Faktor 2-3.

Schleifen (Schienenstahlgüte R260): Dies trifft auf Abbildung 7 zu.

- Neulagenschleifen am Beginn der ND wird jedenfalls durchgeführt.
- Die Schleifeinsätze begründen sich sehr stark auf die Schlupfwellenbildung, weshalb ab den Radienbereichen $R \leq 300$ m regelmässig geschliffen werden muss.
- Im Schnitt sind die Schleifintervalle bei den meisten Bahnen aus Erfahrung bei Beton-, Holz- und Stahlschwellengleise innerhalb einer Belastungsklasse ähnlich.⁴
- Die Schleifintervalle werden aus Erfahrung/Datenauswertungen mit steigender Belastung kürzer.

Schienenwechsel (Schienenstahlgüte R260): Dies trifft auf Abbildung 7 zu.

- Unter «Schienenwechsel» ist der Tausch der linken und rechten bzw. inneren und äusseren Schiene zu verstehen.
- Ein Schienentausch innerhalb der dargestellten ND wird vorrangig in engeren Radienbereichen ($R \leq 120$ m) durchgeführt. In diesen Radienbereichen findet starke Schlupfwellenbildung an der

⁴ Siehe Anmerkung in Kapitel 4.3.1

Innenschiene und teilweise Seitenverschleiss an der Aussenschiene (in sehr engen Bögen und Betonschwellenoberbau auch tlw. an der Aussenschiene) statt.

- Ähnlich zum Schleifen, ist auch beim Schienenwechsel das Wechselintervall bei den meisten Bahnen aus Erfahrung bei Beton-, Holz- und Stahlschwellengleise innerhalb einer Belastungsklasse ähnlich. Siehe dazu die Anmerkung in Kapitel 4.3.1
- Mit steigender Belastung verringert sich das Intervall bzgl. Schienenwechsel (innerhalb einer Radienklasse) jeweils in etwa um den Faktor 2.
- Mit geringerem Bogenradius (innerhalb einer Belastungsklasse) verringert sich das Wechselintervall im Schnitt um den Faktor 3.

Schleifen und Schienenwechsel (Schienenstahlgüte R350HT): Dies trifft auf Abbildung 8 zu.

- Eine höhere Schienenstahlgüte (R350HT) hat laut Datenauswertungen keinen Einfluss auf die Nutzungsdauer und die Stopfintervalle.
- Datenauswertungen und der Austausch mit den Bahnmeistern haben zudem gezeigt, dass eine höhere Schienenstahlgüte das Intervall der Instandsetzungstätigkeiten Schleifen und Schienenwechsel im Schnitt um den Faktor 2 verringert. Diese Erkenntnis wurde bei der Implementierung der Standardelemente angewandt.⁵

LN≤40‰ (B=1), 46E1/49E1 (E=2), R260 (F=1)									
Nutzungsdauer	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	35	50	80	35	50	80	35	50	-*
600m ≥ R > 300m	35	50	80	35	50	80	35	50	-*
300m ≥ R > 120m	30	30	80	30	30	80	30	30	-*
120m ≥ R > 80m	30	30	80	30	30	80	30	30	-*
R ≤ 80m	25	25	60	25	25	60	-*	-*	-*

Stopfen	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	10 10 7	10 10 10 10	10 10 10 ...	10 10 7	10 10 10 7 7	10 10 10 7 7...	8 7 7 5 4	8 8 7 7 7 7	-*
600m ≥ R > 300m	10 10 7	10 10 10 10	10 10 10 ...	10 10 7	10 10 10 7 7	10 10 10 7 7...	8 7 7 5 4	8 8 7 7 7 7	-*
300m ≥ R > 120m	6 6 5 5 4	6 6 5 5 4	6 6 5 5 5 ...	5 5 5 4 4 4	5 5 5 4 4 4	5 5 5 5 4 4	4 4 4 4 3 3 3 3	4 4 4 4 3 3 3 3	-*
120m ≥ R > 80m	5 5 5 4 3	5 5 5 4 3	5 5 4 4 4 4 ...	4 4 4 4 4 4 3	4 4 4 4 4 4 3	4 4 4 4 4 4 3 3	4 4 3 3 3 3 ... 2	4 4 3 3 3 3 ... 2	-*
R ≤ 80m	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3 ...	3 3 3 3 3 3 3 2	3 3 3 3 3 3 3 2	3 3 3 3 3 3 3 2	-*	-*	-*

Schleifen	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
600m ≥ R > 300m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
300m ≥ R > 120m	7 7 6 6	7 7 6 6	7 7 6 6 6 6 5 5	4 4 4 3 ...	4 4 4 3 ...	4 4 4 3 3 ...	3 3 2 2 2 1 1 1 1 ...	3 3 2 2 2 1 1 1 1 ...	-*
120m ≥ R > 80m	5 5 5 4 4 4	5 5 5 4 4 4	5 5 ... 4 4 4	3 3 3 2 2 2 3 3 2 2 2	3 3 3 2 2 2 3 3 2 2 2	3 3 3 2 2 2 3 3 2 2 2	2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 ...	2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 ...	-*
R ≤ 80m	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 ...	2 2 ... 1 1 1 1	2 2 ... 1 1 1 1	2 2 2 2 ...	-*	-*	-*

Schienenwechsel (beide)	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
600m ≥ R > 300m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
300m ≥ R > 120m	-	-	-	-	-	-	15	15	-*
120m ≥ R > 80m	-	-	35	16	16	16 16 16 16	8 8 8	8 8 8	-*
R ≤ 80m	12	12	12 12 12 12	8 8	8 8	8 8 8 8 8 6	-*	-*	-*

StdE	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	31132111	31112111	31142111	21132111	21112111	21142111	11132111	11112111	11142111*
600m ≥ R > 300m	31232111	31212111	31242111	21232111	21212111	21242111	11232111	11212111	11242111*
300m ≥ R > 120m	31332111	31312111	31342111	21332111	21312111	21342111	11332111	11312111	11342111*
120m ≥ R > 80m	31432111	31412111	31442111	21432111	21412111	21442111	11432111	11412111	11442111*
R ≤ 80m	31532111	31512111	31542111	21532111	21512111	21542111	11532111*	11512111*	11542111*

*Infrastrukturdaten bzw. Erfahrungen zu Gleisarbeiten sind nicht vorhanden

Abbildung 7: Ergebnisse der Standardelemente mit den Eigenschaften LN≤40‰, 46E1/49E1, R260 («X1XX2111»). Zwischen Abbildung 7 und Abbildung 8 ändert sich nur die Stahlgüte.

⁵ Siehe Anmerkung in Kapitel 4.3.1

LN≤40‰ (B=1), 46E1/49E1 (E=2), R350HT (F=2)									
Nutzungsdauer	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	35	50	80	35	50	80	35	50	-*
600m ≥ R > 300m	35	50	80	35	50	80	35	50	-*
300m ≥ R > 120m	30	30	80	30	30	80	30	30	-*
120m ≥ R > 80m	30	30	80	30	30	80	30	30	-*
R ≤ 80m	25	25	60	25	25	60	-*	-*	-*

Stopfen	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	10 10 7	10 10 10 10	10 10 10 ...	10 10 7	10 10 10 7 7	10 10 10 7 7...	8 7 7 5 4	8 8 7 7 7 7	-*
600m ≥ R > 300m	10 10 7	10 10 10 10	10 10 10 ...	10 10 7	10 10 10 7 7	10 10 10 7 7...	8 7 7 5 4	8 8 7 7 7 7	-*
300m ≥ R > 120m	6 6 5 5 4	6 6 5 5 4	6 6 5 5 5 ...	5 5 5 4 4 4	5 5 5 4 4 4	5 5 5 5 4 4	4 4 4 4 3 3 3 3	4 4 4 4 3 3 3 3	-*
120m ≥ R > 80m	5 5 5 5 4 3	5 5 5 5 4 3	5 5 4 4 4 4 ...	4 4 4 4 4 4 3	4 4 4 4 4 4 3	4 4 4 4 4 4 3 3	4 4 3 3 3 3 ... 2	4 4 3 3 3 3 ... 2	-*
R ≤ 80m	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3 ...	3 3 3 3 3 3 3 2	3 3 3 3 3 3 3 2	3 3 3 3 3 3 3 2	-*	-*	-*

Schleifen	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
600m ≥ R > 300m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
300m ≥ R > 120m	12 10	12 10	12 12 12 12 12 10	7 7 6 6	7 7 6 6	7 7 6 6 ...	4 4 4 3 ...	4 4 4 3 ...	-*
120m ≥ R > 80m	9 8 7	9 8 7	9 9 9 9 9 9 9 9	6 6 5 5 5	6 6 5 5 5	6 6 5 5 5 5 6 5 5 5 ...	4 4 3 2 2 4 3 2 2 2 2	4 4 3 2 2 4 3 2 2 2 2	-*
R ≤ 80m	7 7 6	7 7 6	8 7 7 8 7 7 6 5	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 3 3	4 4 4 4 ... 3 3 3 3	-*	-*	-*

Schienenwechsel (beide)	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
600m ≥ R > 300m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
300m ≥ R > 120m	-	-	-	-	-	-	-	-	-*
120m ≥ R > 80m	-	-	-	-	-	32 32	15	15	-*
R ≤ 80m	-	-	22 22	12	12	16 16 15	-*	-*	-*

StdE	N3/E3 & N4/E4 (<15.000 Bt/Tag)			N2/E2 (15.000-30.000 Bt/Tag)			N1/E1 (>30.000 Bt/Tag)		
	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl	Holz	Beton	Stahl
R > 600m	31132211	31112211	31142211	21132211	21112211	21142211	11132211	11112211	11142211*
600m ≥ R > 300m	31232211	31212211	31242211	21232211	21212211	21242211	11232211	11212211	11242211*
300m ≥ R > 120m	31332211	31312211	31342211	21332211	21312211	21342211	11332211	11312211	11342211*
120m ≥ R > 80m	31432211	31412211	31442211	21432211	21412211	21442211	11432211	11412211	11442211*
R ≤ 80m	31532211	31512211	31542211	21532211	21512211	21542211	11532211*	11512211*	11542211*

*Infrastrukturdaten bzw. Erfahrungen zu Gleisarbeiten sind nicht vorhanden

Abbildung 8: Ergebnisse der Standardelemente mit den Eigenschaften LN≤40‰, 46E1/49E1, R350HT («X1XX2211»). Zwischen Abbildung 7 und Abbildung 8 ändert sich nur die Stahlgüte.

Die erarbeiteten Standardelemente wurden in Form eines Excelfiles («2024-10-15_RailPlus_StdE.xlsx») geliefert und diesem Projektbericht im Anhang beigefügt.

4 Erkenntnisse und Empfehlungen

4.1 Arbeitszyklen im Vergleich

Wie bereits in 2.2.2 angemerkt, sind die Arbeitszyklen der Standardelemente der Meterspurbahnen auch im Vergleich zu jenen der Normalspurbahnen plausibel. Mit Ausnahme der Schlupfwellenthematik sind die Instandhaltungsfrequenzen und Nutzungsdauern des nun vorliegenden Satzes an Standardelementen jenen vergleichbaren Belastungen, beispielsweise der SBB, ähnlich. Es ist anzumerken, dass die mittleren Achslasten der Meterspurbahnen zwar deutlich unter jenen der Normalspurbahnen liegen, aber natürlich auch die Abmessungen des Gleises eben anders sind. Zum Beispiel ist die massgebenden Auflagefläche bei den Meterspur-Betonschwellen kleiner und damit die Schotterpressung je nach Belastung grösser als in der Normalspur.

4.2 Vorhalten von Daten

Bei der Aufarbeitung der Daten haben sich bei den unterschiedlichen Bahnen verschiedenste Verbesserungsvorschläge zum Vorhalten der Daten gezeigt. Einerseits wäre eine einheitliche, bereits zusammengesetzte Datenbasis sehr von Vorteil, unabhängig ob diese auf Querschnitte oder Abschnitte basiert. Zugleich muss dies auch nicht sein, wenn die Informationen eindeutig zueinander zuweisbar sind, was leider nicht immer das einfachste Unterfangen war. Je nachdem wofür die Daten verwendet werden, zeigt sich eine andere Datenstruktur nützlich, allerdings entspringt der grösste Vorteil aus einem sauberen Datenhaushalt.

Die Historie der Instandhaltungen sollte jedenfalls langfristig aufbewahrt werden. Hier zeigt sich bei den meisten Bahnen grosses Verbesserungspotential. Auch hier ist die Datenstruktur entscheidend, zwar ist eine Auflistung der Abschnitte als Tabelle oft nicht leicht verwendbar, es sollte jedoch davon abgesehen werden, Instandhaltungen grafisch in Form eines Streckenbandes abzulegen.

4.3 Erweiterung der Standardelemente und deren Anwendungsmöglichkeiten

4.3.1 Überarbeitung der Standardelemente

Die Standardelemente stellen in der ausgearbeiteten Form Mittelwerte über jene Bahnen dar, die im Zuge des Projektes mitdiskutiert haben und Infrastruktur- und Instandsetzungsdaten liefern konnten (vorrangig AB, MGB, RBS, RhB und ZB). Im Laufe der Projektbearbeitung hat sich gezeigt, dass es zwischen den Bahnen teilweise grössere Unterschiede bzgl. Infrastrukturanlagen, die Durchführung von Instandsetzungstätigkeiten und Instandsetzungsintervalle (Regime) gibt. Dies soll darauf hinweisen, dass je nach Anwendungsgebiet die Standardelemente bzgl. Gleisarbeiten und deren Intervalle be- und überarbeitet werden können und sollen.

Beispielsweise berichtet die RhB bezüglich Schienenschleifen bei Streckenabschnitten mit mittlerer Belastung (15.000-30.000 Bt/Tag) im Radienbereich 100-120 m von grösseren Abweichungen zu den implementierten Instandsetzungsintervallen in den Standardelementen:

- Das Schienenschleifen ist laut RhB vom Schwellentyp abhängig. Das Auftreten von Schlupfwellen bei Betonschwellen sei auf deren Anlagen signifikant höher als bei Holz- oder Stahlschwellen.
- Ausserdem berichtet die RhB, dass das Schleifintervall im genannten Gleisabschnitt signifikant kürzer sei als das im Standardelement abgebildete gemittelte Schleifintervall über alle Bahnen. Die RhB berichtet von 1/2-jährlichen Schleifeinsätzen bei R260 Schienen, jährlichen Einsätzen bei R350HT und Schleifeinsätze alle 3 Jahre bei R400HT Schienen. Der in den Standardelementen angesetzte Faktor 2 für das Schienenschleifintervall zwischen R260 und R350HT Schienen ist dennoch auch hier vorzufinden.

Diese Erkenntnisse können auch durch Gleismessungen bestätigt werden.

4.3.2 Erweiterung der Standardelemente

Die vorliegenden Standardelemente decken «gängige» Gleisanlagen der AB, MGB, RBS, RhB und ZB ab. Einige Kombinationsmöglichkeiten der Standardelemente konnten jedoch aufgrund fehlender Informationen zu Instandsetzungstätigkeiten nicht erarbeitet werden. Das Repertoire an Standardelementen kann demnach «ausgebaut» werden:

- Längsneigung: Bei erhöhter Längsneigung ist mit erhöhten Aufwänden in der Schieneninstandsetzung zu rechnen. Bahnen berichten, dass ab 60‰ auch ein Einfluss auf die Stopfkosten (Bremskräfte) ersichtlich sei.
- Unterbau: Bei beispielsweise felsigem Untergrund und Betonschwellengleis ist mit höherer Schotterbeanspruchung zu rechnen.
- Entwässerung: Eine funktionierende/nicht funktionierende Entwässerung hat Einfluss auf die Instandsetzung des Schotterbetts (Reinigung).
- Schienenstahlgüte: die Schleifeinsätze bei einer Schienenstahlgüte R400HT werden sich zur R350HT und R260 Schiene unterscheiden.
- Schwellentyp: Gleisabschnitte mit anderen Schwellentypen (z.B. Y-Schwellen oder besohnten Betonschwellen) werden sich in Nutzungsdauer und Instandsetzungstätigkeiten von den vorliegenden Standardelementen deutlich unterscheiden.
- Gleisarbeiten: Werden Gleisarbeiten durchgeführt, die in dieser Fassung der Standardelemente nicht abgebildet werden konnten, können diese in den Standardelementen ergänzt werden. Einige Bahnen haben beispielsweise gemeldet, dass bis dato keine/kaum Schotterbettreinigung durchgeführt wird. Da bei Betonschwellen nicht mehr der Zustand der Schwelle sondern der Schotter für die Erneuerung massgebend ist, sind Schotterreinigungen künftig vorgesehen.
- An dieser Stelle sei ausserdem darauf hingewiesen, dass Standardelemente nicht nur für Gleise erstellbar sind, sondern auch für weitere Anlagen, wie zum Beispiel Weichen.

4.3.3 Anwendbarkeit

Werden den Standardelementen Kosten hinterlegt, und damit die Instandsetzungsfrequenzen in einem weiteren Schritt mit den entsprechenden Einheitskosten multipliziert, ergeben sich mittlere Instandsetzungskosten über den Lebenszyklus eines bestimmten Gleises. Die Kostenergänzung erlaubt wirtschaftliche Betrachtungsweisen und Analysen im Bereich des Anlagenmanagements: Instandsetzungs-, Investitions- und Reinvestitionsstrategien lassen sich aus Standardelementen ableiten. Andererseits sind unter Verwendung des Verschleissmodells Szenarioanalysen möglich. Nachstehend sind mögliche Fragestellungen formuliert.

Anlagenmanagement:

- Instandsetzungsstrategie: Wie soll ein bestimmter Gleisabschnitt instandgehalten werden? (Dazu braucht es alternative Instandsetzungszyklen)
- Investitionsstrategie: Welcher Oberbau sollte unter bestimmten Randbedingungen verwendet werden?
- Reinvestitionsstrategien: Wann sollte das Gleis erneuert werden? (Dazu braucht es alternative Instandsetzungszyklen, in diesem Fall mit nutzungsdauerverlängernden Massnahmen)

Szenarien Analysen und deren Bedeutung für die Instandsetzungsaufwände (und Kosten):

- Fahrzeugflottenwechsel: Wie ändern sich die Instandsetzungsaufwände, wenn andere Fahrzeuge eingesetzt werden?
- Betriebliche Änderungen: Wie ändern sich Instandsetzungsaufwände, wenn eine Verkehrssteigerung oder -minderung stattfindet?

4.3.4 Anwendung im Verschleissmodel Meterspur

Die Standartelemente Meterspur wurden in erste Linie definiert, da sie für die Entwicklung eines Verschleissmodells notwendig sind. Die Ergebnisse der StdE fließen in das Verschleissmodel Meterspur in folgenden Punkten ein:

- Sie werden benötigt, um im Rahmen des Verschleißfaktors die Wechselwirkungen zwischen den durch Fahrzeuge verursachten Belastungen und der Abnutzung der Infrastruktur zu modellieren.
- Standardelemente werden genutzt, um zu bewerten, wie spezifische Fahrzeugtypen oder Betriebsbedingungen die Frequenz und den Umfang von Instandhaltungsarbeiten beeinflussen. Sie dienen dabei als Basis des Verschleissverhaltens des Fahrwegs unter Belastung.
- Den im Rahmen der Standardelemente erarbeiteten Arbeitszyklen können in strukturierter Form die jeweiligen Kostensätze der einzelnen Tätigkeiten hinterlegt werden. Damit ist eine Monetarisierung des Verschleissverhaltens möglich.

5 Verzeichnisse

5.1 Referenzen

- [1] Marschnig Stefan et al: *New Research on Railway Engineering and Transportation. Assessing Average Maintenance Frequencies and Service Lives of Railway Tracks: The Standard Element Approach*. Rijeka: IntechOpen (3), 2023 // 2024.

5.2 Abbildungen

Abbildung 1: Standardelement-Gleise mit deren Parameter und Parameterausprägungen.....	10
Abbildung 2: Standardelement 31312111	11
Abbildung 3: Standardelement 31312111: Gleisarbeiten und Arbeitszyklen.....	12
Abbildung 4: Altersverteilung der Standardelement 3111XX11	15
Abbildung 5: Anzahl an Querschnitten für Stopfen über Zeitraum (Standardelement 3111XX11)	16
Abbildung 6: Anzahl an instandgehaltenen Querschnitten (Stopfen) über Zeit ab Einbaujahr (Standardelement 3111XX11).....	17
Abbildung 7: Ergebnisse der Standardelemente mit den Eigenschaften LN≤40‰, 46E1/49E1, R260 («X1XX2111»)	20
Abbildung 8: Ergebnisse der Standardelemente mit den Eigenschaften LN≤40‰, 46E1/49E1, R350HT («X1XX2211»)	21

5.3 Tabellen

Tabelle 1: Instandsetzungstätigkeiten, die als Kleinunterhalt zusammengefasst werden	11
Tabelle 2: vorhandene historische Instandhaltungsdaten.....	13

6 Anhang

Das Excelfile «2024-10-15_RailPlus_StdE.xlsx» beinhaltet nicht nur die erläuterten und erarbeiteten Standardelemente, die Berechnungsgrundlage für wirtschaftliche Betrachtungen ist des Weiteren für diese Standardelemente ab Spalte *CH* implementiert. Hierfür sind im Tabellenblatt «TrackWorkCost» die Instandsetzungskosten für die jeweiligen Arbeiten einzutragen bzw. anzupassen. Die eingetragenen Kosten für Gleisstopfung, Schienenschleifen und Schienenwechsel beider Schienen stellen jeweils eine Mittelwertbildung auf Basis von Informationen der Bahnen AB, MGB, RBS und ZB dar. Das mitgelieferte File «2024-10-15_Unterhaltskosten im Vergleich.xlsx» beinhaltet eine Gegenüberstellung der angeführten Kostenstellen zu den genannten Instandsetzungstätigkeiten zwischen diesen Bahnen.

Nachstehend sind die erarbeiteten Standardelemente dargestellt.

[illegible]

[illegible]

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

Belastungsgruppen		Bogenradius	21542111	
N2/E2		R ≤ 80m		
Längsneigung	Schwellen	Schiene	Schienenstahlgüte	
LN ≤ 40‰	Stahl	46 E1 / 49 E1	R260	
			Unterbau	
			gut/ausreichend	
			Entwässerung	
			gut/funktioniert	
Gleisarbeiten		Nutzungsdauer	60,0	
Neigepfeil (Schotteroberbau)		6,0		
Gleisprüfung		alle x Jahre	1	
Schienenschleifen		Anzahl während der ND	32	
Schienenwechsel (beide)		Anzahl während der ND	7	
Arbeit X		Anzahl während der ND	0	
Arbeit Y		Anzahl während der ND	0	
Arbeit Z		Anzahl während der ND	0	
Kleinunterhalt		Anzahl während der ND	60	

[illegible]

Belastungsgruppen	Bogenradius	21532211																									
N2/E2	R ≤ 80m																										
Längsneigung	Schwellen	Schiene(n)profil	Schiene(n)stahlgüte						Unterbau		Entwässerung																
LN ≤ 40‰	Holz	46 E1 / 49 E1	R350HT						gut/ausreichend		gut/funktioniert																
Gleisarbeiten	Nutzungsdauer	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 (Schotteroberbau)		0.0																									
Gleisaufspinnung	alle x Jahre	2.8				1			1		1				1			1		1			1		1		
Schienschleifen	Anzahl während der ND	7	1				1		1						1			1	1		1			1		1	
Schiene(n)wechsel (beide)	Anzahl während der ND	1													1												
Arbeit X	Anzahl während der ND	0																									
Arbeit Y	Anzahl während der ND	0																									
Arbeit Z	Anzahl während der ND	0																									
Kleinunterhalt	Anzahl während der ND	26	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	

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

[illegible]

Belastungsgruppen	Bogenradius	31532111																									
N3/E3 & N4/E4	R ≤ 80m																										
Längsneigung	Schwellen	Schienenprofil	Schienenstahlgüte					Unterbau		Entwässerung																	
LN ≤ 40‰	Holz	46 E1 / 49 E1	R260					gut/ausreichend		gut/funktioniert																	
Gleisarbeiten	Nutzungsdauer	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 (Schotteroberbau)		0.0																									
	alle x Jahre	3.6					1			1		1		1					1			1			1		
Schienschleifen	Anzahl während der ND	1	1				1			1				1					1			1			1		
Schienenwechsel (beide)	Anzahl während der ND	1					1			1				1					1			1			1		
Arbeit X	Anzahl während der ND	0																									
Arbeit Y	Anzahl während der ND	0																									
Arbeit Z	Anzahl während der ND	0																									
Kleinunterhalt	Anzahl während der ND	26	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	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]