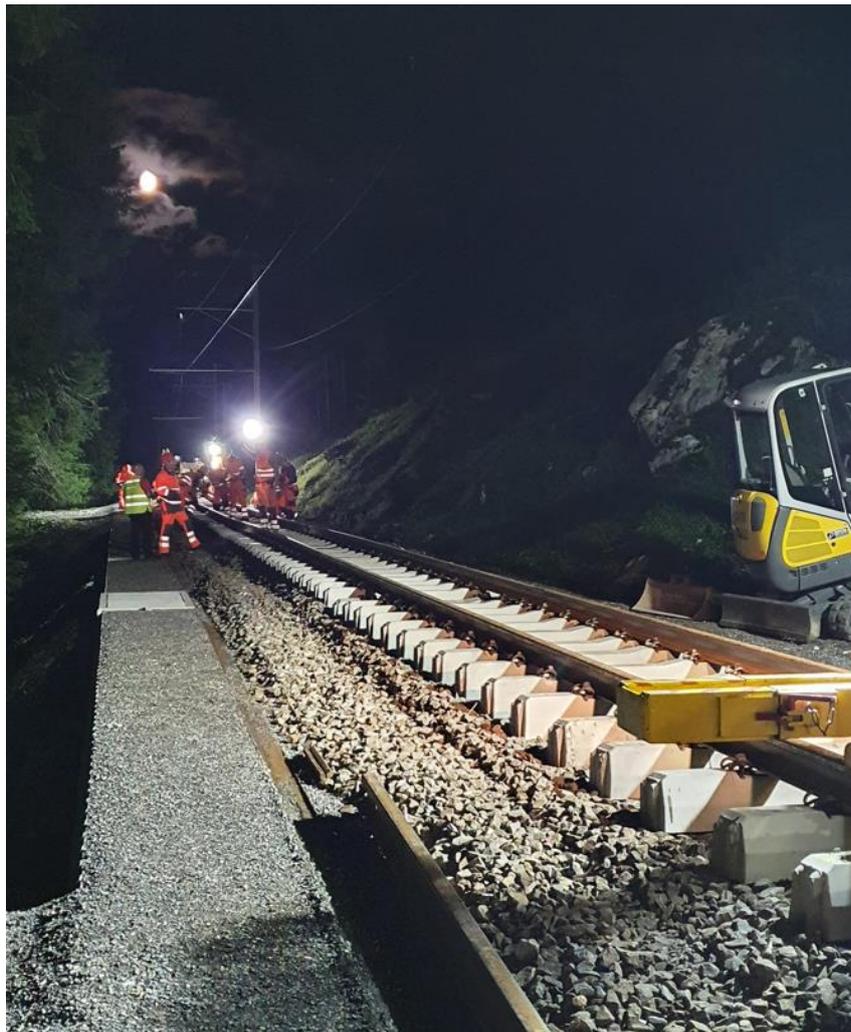


Lieferobjekt 2.2

Erstellung der zu untersuchenden Fahrbahnformen und den entsprechenden Gleislagefehler mit Bewertung

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

Technischer Bericht



ID: RAILPlusSF-00015 [öffentlich](#)

Datum / Status: 25.08.2023 / Freigegeben

Seitenanzahl 23

Verfasser: Peter Güldenapfel / KPZ Fahrbahn AG

Geprüft: Martin Siegen / MGBahn

Freigegeben: Martin Siegen / MGBahn

Zitierweise: Güldenapfel Peter, RAILplus / KPZ Fahrbahn: *Erstellung der zu untersuchenden Fahrbahnformen und den entsprechenden Gleislagefehler mit Bewertung* Technischer Bericht, RAILPlusSF-00015, 25.08.2023

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	10.08.2023	Peter Güldenapfel	Erster Entwurf
1.0	25.08.2023	Peter Güldenapfel	Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter

Freigabe durch die Systemführerschaft

Version	Verantwortlich	Datum
1.0	Technical Board	28.08.2023
1.0	Management Board	13.09.2023

Öffentlichkeitsgrad

Öffentlich

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
AB-EBV	Ausführungsbestimmungen der Eisenbahnverordnung
ORE	Office des recherches et des essais
PSS	Planumsschutzschicht
RTE	Regeln Technik Eisenbahn
ViF	Virtuelles Fahrzeug

Management Summary

Im Rahmen des Lieferobjektes 2.2 im Projekt P4 Fahrbahnsteifigkeit wurden zwei Hauptthemen bearbeitet:

- Die Aufstellung der zu betrachtenden Fahrbahnformen, die eine wesentliche Grundlage für die Erstellung eines Fahrbahnmodells bildet
- Die Ermittlung von Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen als Input für das Projekt P3 für lauftechnische Simulationen und als Grundlage für zukünftige Ausschreibungen von Fahrzeugen

Auf Basis der Resultate aus der Umfrage bei den Bahnen im Projekt P1 Grundlagenscanning und den heutigen Anforderungen an eine moderne Fahrbahn wurden für die einzelnen Komponenten (Schiene, Schwelle etc.) von Ober- und Unterbau die zu untersuchenden Ausprägungen evaluiert und die Variationen von Fahrbahnformen für die Modellierung zusammengestellt vgl. Kap. 3 und Tabelle 1.

Für die Ermittlung der Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen wurden mit Unterstützung von PROSE und SERSA die verfügbaren Gleismessdaten von fünf Meterspurbahnen ausgewertet und mit den für die Normalspur üblichen Störpegeln ORE low und ORE high verglichen. Die Arbeiten sind bei Erstellung dieses Berichtes noch nicht vollständig abgeschlossen. Es kann aber bereits gesagt werden, dass die Messdaten der Bahnen erfolgreich genutzt werden können vgl. Kap. 4. Nach Bereinigung von Detailfragen kann ein Datensatz von regellosen Gleislagefehlern für die lauftechnischen Simulationsrechnungen bei Neubeschaffungen von Meterspurfahrzeugen erzeugt und zur Verfügung gestellt werden.

Im Rahmen dieses Lieferobjektes wurden neben den Hauptthemen Aufstellung Fahrbahnformen und Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen noch weitere Themen (Ermittlung Bogenverteilung, Aufbau Fahrbahnmodell Unterbau, Einwirkende Fahrzeugkräfte, Ermittlung repräsentative reale Schienenprofile etc.) in dieses Lieferobjekt integriert und bearbeitet. Diese Themen sind bei der Erstellung dieses Berichtes noch nicht abgeschlossen. Im Kapitel 5 wird zu jedem Arbeitspaket der Stand und das weitere Vorgehen beschrieben.

Inhalt

1	Ausgangslage	6
2	Vorgehen	7
3	Aufstellung der Fahrbahnformen	8
3.1	Einleitung	8
3.2	Ergebnisse aus der Umfrage der Bahnen.....	8
3.2.1	<i>Schiene</i>	9
3.2.2	<i>Schienenstahlgüte</i>	9
3.2.3	<i>Schienenzwischenlagen</i>	9
3.2.4	<i>Schwelle und Schwellenbesohlung</i>	10
3.2.5	<i>Schotterbett</i>	10
3.2.6	<i>Unterbau und Entwässerung</i>	11
3.2.7	<i>Gleislagestabilität</i>	12
3.3	Vorgesehene Fahrbahnformen.....	13
4	Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen	17
4.1	Einleitung	17
4.2	Vorgehen	17
4.3	Diskussion der Auswertungen	18
4.4	Ausblick.....	18
5	Stand übrige Arbeitspakete zu Lieferobjekt 2.2	19
5.1	Einleitung	19
5.2	Ermittlung Bogenverteilung	19
5.3	Aufbau Fahrbahnmodell Unterbau.....	20
5.4	Einwirkende Fahrzeugkräfte.....	21
5.5	Ermittlung repräsentative reale Schienenprofile	21
5.6	Anforderungen Akustikmessungen.....	21
6	Verzeichnisse	22
6.1	Referenzen	22
6.2	Abbildungen	22
6.3	Tabellen	22
7	Anhang	23

1 Ausgangslage

Das Lieferobjekt 2.2 besteht aus zwei Hauptbestandteilen, die eine wesentliche Grundlage für die Erstellung eines Fahrbahnmodells bilden sowie als Grundlage für die lauftechnische Simulation dienen:

Teil 1: Aufstellung Fahrbahnformen

Für die Erstellung eines Fahrbahnmodells muss der Aufbau der Fahrbahn definiert werden. Die Beschreibung des Aufbaus umfasst den ganzen Querschnitt von Oberbau (Schiene, Schwelle, Schienenbefestigung, Schotter) und Unterbau. Es sollen die auf Basis der Umfrage in P1 Grundlagenscanning typischen Fahrbahnaufbauten im Querschnitt beschrieben werden. Neben den Querschnitten sind bei Bedarf auch die Einsatzbedingungen in Abhängigkeit der Gleisgeometrie und/oder der Gleisbelastung zu beschreiben.

Teil 2: Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen

Für Ausschreibungen und Entwicklungen von Eisenbahnfahrzeugen haben sich charakteristische Datensätze von Gleislageabweichungen etabliert (z.B. Störpegel «ORE high» bzw. ORE low») vgl. Dokumentation PROSE «Identifikation repräsentativer Gleislagefehler - Road Map» [3]. Auf Basis der bei SERSA verfügbaren Gleismessdaten der Meterspurbahnen soll für die Zwecke der lauftechnischen Simulation und zukünftige Ausschreibungen ein analoger Datensatz ermittelt werden. Dieses Arbeitspaket wird für das P3 benötigt.

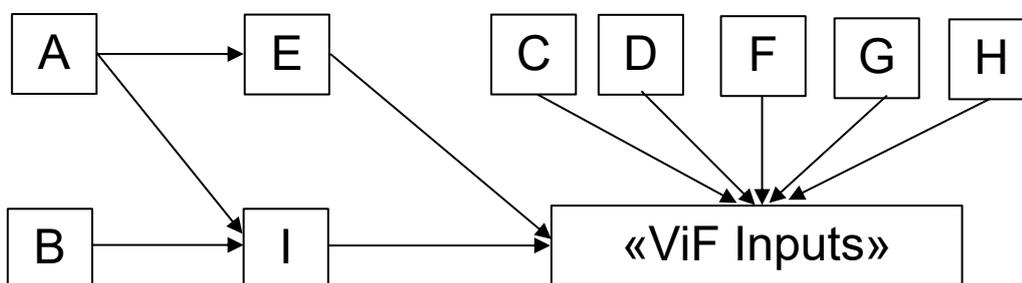
Die Ergebnisse aus den Untersuchungen und Abklärungen zum Lieferobjekt 2.2 sind in diesem Bericht zusammengefasst.

2 Vorgehen

Im Rahmen der Arbeiten im Projekt P4 wurden neben der Aufstellung über die zu untersuchenden Fahrbahnformen sowie der Leistungsdichtespektren der Gleisabweichungen noch weitere Bedürfnisse diskutiert und teilweise in das Lieferobjekt 2.2 integriert:

- Ermittlung der Bogenverteilung
- Ermittlung von charakteristischen Werten zum Unterbau
- Ermittlung der einwirkenden Fahrzeugkräfte auf die Fahrbahn
- Ermittlung der repräsentativen realen Schienenprofile
- Anforderungen an die Akustikmessungen

Die groben Abhängigkeiten zwischen diesen verschiedenen Themen sind in nachfolgendem Diagramm dargestellt (vgl. Abb. 1):



Arbeitspaket	Beschreibung
A	Aufstellung Fahrbahnformen
B	Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen
C	Ermittlung Bogenverteilung
D	Implementierung Bogenverteilung bei Bahnen
E	Aufbau Fahrbahnmodell Unterbau / Schnittstelle Fahrbahnaufbau ViF
F	Einwirkende Fahrzeugkräfte
G	Ermittlung repräsentative reale Schienenprofile (inkl. Schienenneigung)
H	Anforderungen Akustikmessungen
I	Schlussbericht mit Bewertung

Abbildung 1: Abhängigkeiten Arbeitspakete Lieferobjekt 2.2

Der vorliegende Bericht enthält die Resultate aus den Arbeitspaketen A und B. Der Stand zu den Arbeitspaketen C – H wird in diesem Bericht im Kapitel 5 beschrieben.

3 Aufstellung der Fahrbahnformen

3.1 Einleitung

Die Aufstellung der typischen Fahrbahnformen ist eine wichtige Voraussetzung für die Definition des dynamischen Fahrbahnmodells. Eine wichtige Grundlage für die in der Meterspur zu betrachtenden Fahrbahnformen bilden die Ergebnisse aus der Umfrage der Bahnen «Grundlagenscanning Umfrage Bahnen, Technischer Bericht, 14.10.2022» [1].

Daneben bilden die Anforderungen aus der AB-EBV und die Regeln der Technik (RTE und Normen) eine weitere Grundlage für die Ermittlung der typischen Fahrbahnformen.

3.2 Ergebnisse aus der Umfrage der Bahnen

Aus der Umfrage [1] werden zum Ober- und Unterbau als häufigste Schadensformen genannt:

- 17 % Verwindung
- 14 % Vertikale Gleislage
- 14 % Einzelfehler Gleislage
- 14 % Schotterreinigung und Schottertausch
- 12 % Laterale Gleislage
- 12 % Schienenbefestigung

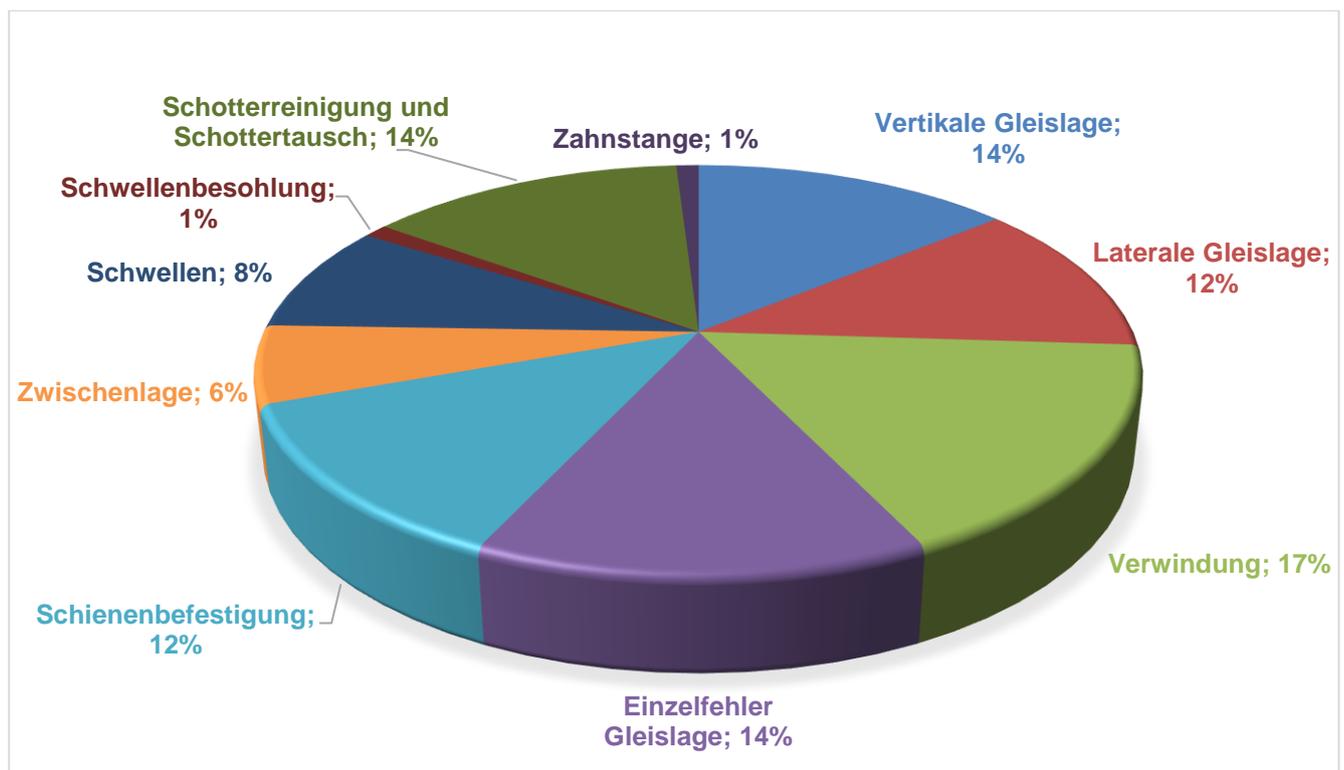


Abbildung 2: Schadensformen an Ober- und Unterbau

Wie bereits festgestellt dominieren mit insgesamt 57 % die Gleislagefehler (Verwindung, vertikale und laterale Gleislage, Einzelfehler). Daraus lässt sich schliessen, dass in der langfristigen Alterung von Ober- und Unterbau keine eindeutigen Schadensformen hervorstechen.

3.2.1 Schiene

Bei den Meterspurbahnen wird heute in der Regel das Schienenprofil 46E1 verwendet. Teilweise wird aus Stabilitätsgründen (weicher Untergrund und in Weichen) das grössere Schienenprofil 54E2 eingesetzt. Die kleineren Schienenprofile z.B. VST 36 sind Bestand und werden in der Regel durch das grössere Schienenprofil 46 E1 ersetzt.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen soll das Schienenprofile 46E1 berücksichtigt werden. Der Einfluss des 54E2 soll falls nötig und sinnvoll erst in einem zweiten Schritt untersucht werden.

3.2.2 Schienenstahlgüte

Bei fast allen Bahnen wird im Regelfall die Stahlgüte R260 eingebaut. Die Stahlgüte R200 wird heute in der Regel nicht mehr eingebaut, ist aber im Bestand noch vorhanden. Bei 29 % der Bahnen wird zusätzlich die höhere Stahlgüte R350 HT eingebaut. 5 Bahnen haben bereits die noch härtere Stahlgüte R400 HT eingebaut. Primäres Ziel der härteren Stahlgüte ist die Verschleissreduktion in engen Bögen und stark beanspruchten Gleisabschnitten. Um häufige Wechsel der Stahlgüte zu vermeiden, verfolgen einzelne Bahnen die Strategie generell nur eine Stahlgüte z.B. 350HT oder 400HT einzusetzen.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen sollen die Stahlgüten R260, 350HT und 400HT berücksichtigt werden.

3.2.3 Schienenzwischenlagen

Die meisten Bahnen setzen heute die harten Zwischenlagen mit einer Steifigkeit von 700 kN/mm ein vgl. Abb. 3.

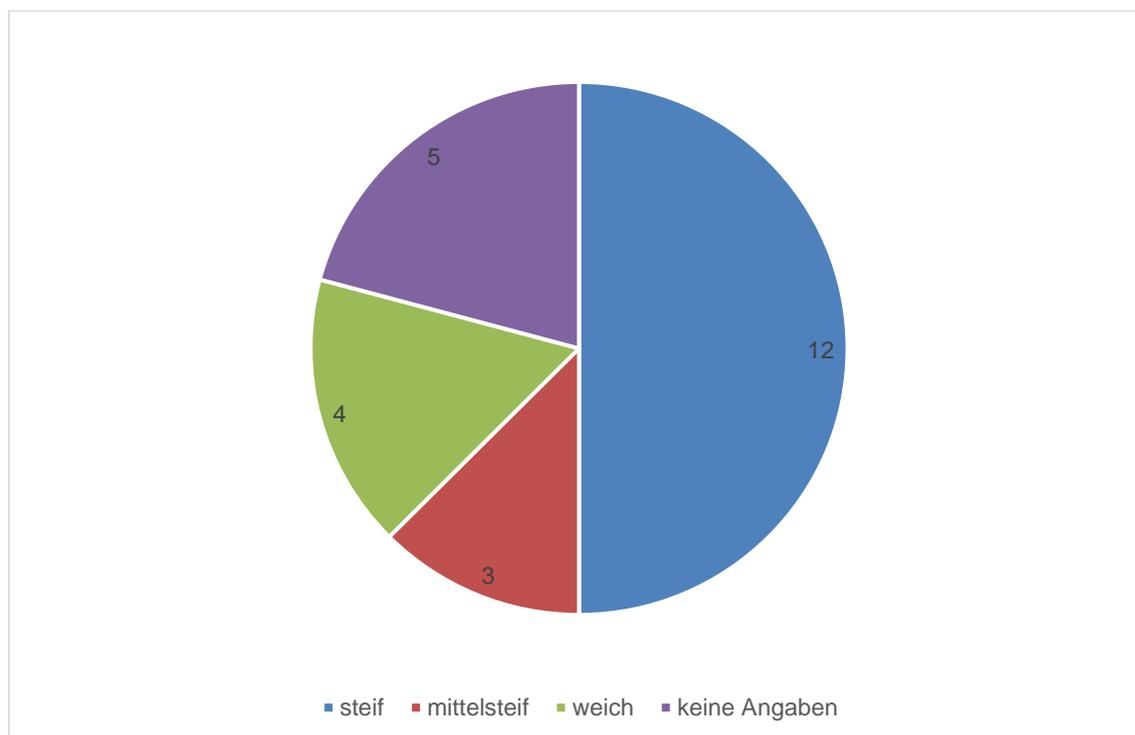


Abbildung 3: Einsatz der Schienenzwischenlagen

Vier Bahnen setzen bei Betonschwellen auf weiche Schienenzwischenlagen mit einer Steifigkeit von 85 resp. 100 kN/mm mit dem Ziel die Schlupfwellenbildung in den engen Bögen zu reduzieren. Weil beim Einsatz der weicheren Zwischenlage eine Zunahme des Lärms festgestellt wurde, sind gewisse Bahnen wie RhB und AB auf den Einbau von mittelsteifen Zwischenlagen mit einer Steifigkeit von 200 kN/mm übergegangen.

Bei verschiedenen Bahnen wird die harte Zwischenlage oft aus historischen Gründen (Standard auf Holzschwelle) eingebaut. Hier besteht Aufklärungsbedarf, welche Wirkung die Steifigkeit der Schienenzwischenlage überhaupt hat. Insbesondere die Lösung des Zielkonflikt Reduktion

Schienenverschleiss gegenüber Lärmerhöhung mit einer geeigneten Schienenzwischenlage wird ein wichtiges Resultat aus den Fahrbahnmodellrechnungen sein.

Der Verschleiss der Zwischenlage selber ist bei den befragten Bahnen in den meisten Fällen kein Problem. Diese werden erst beim nächsten Schienenwechsel oder der Oberbauerneuerung gewechselt.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen sollen die Steifigkeiten der Schienenzwischenlage zwischen 85 bis 700 kN/mm variiert werden können.

3.2.4 Schwelle und Schwellenbesohlung

Bei den Bahnen sind noch viele unterschiedliche Schwellen (Holz, Stahl, Beton, Y-Stahl) im Einsatz. Tendenziell werden bei Neubauten Betonschwellen eingebaut. Bei den Zahnradbahnen werden Stahlschwellen eingebaut. In den speziellen Fällen z.B. auf Stahlbrücken mit Direktbefestigung werden auch Kunstholzschwellen eingebaut.

Bei den Gleisen mit Y-Stahlschwellen gibt es oft Probleme mit dem Halten der Überhöhung.

Die Schwellenbesohlung wird bei den Meterspurbahnen aktuell noch wenig und wenn ja im Rahmen von Versuchen eingesetzt. Dort wo diese eingesetzt wird, kommt die steife Besohlung zum Zug.

Vielen Bahnen ist die Schwellenbesohlung und der technische Unterschied der Produkte (Querverschiebewiderstand, Kontaktfläche) nicht bekannt oder sie haben sich noch nicht wirklich damit beschäftigt. Bei den Bahnen, die sie bereits eingebaut haben, nutzen sie als Standard-Lösung bei Betonschwellen (Fokus Schotterschonung), zur Optimierung von Steifigkeitssprüngen bei Übergängen oder in engen Bögen und bei hartem Unterbau.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen sollen die vier geläufigen Schwellenarten Holz, Stahl, Beton und Y-Stahl betrachtet werden, wobei die Holzschwelle nur zu Vergleichszwecken dient. Sie wird aufgrund des zu erwartenden Kreosot-Verbotes mittelfristig nicht mehr eingebaut werden können.

Die Abhängigkeiten zwischen Gleisrost und Gleislagestabilität sind in Kap. 3.2.7 aufgeführt.

3.2.5 Schotterbett

In der Umfrage der Bahnen wurden keine Fragen zum Schotter gestellt. Im Zusammenhang mit dem Fahrbahnaufbau sind in Bezug auf den Schotter folgende Aspekte zu beachten:

- Genügende Schotterbettdicke gemäss Anforderungen R RTE 21110
- Genügender Vorkopfwiderstand durch vorschriftsgemässen Schotterbettquerschnitt zur Sicherstellung der Gleislagestabilität
- Wahl der Schotterklasse gemäss Gleisbelastungskategorie

Der Vorkopfwiderstand beeinflusst die Gleislagestabilität. Es wird vorausgesetzt, dass diese regelkonform sichergestellt wird vgl. auch Kap. 3.2.7. Seitlich gehaltene Schotterprofile z.B. durch Mauern, Rohrblock, Perron etc. werden explizit nicht betrachtet. Die Wahl der Schotterklasse und deren Einfluss auf die Lebensdauer der Fahrbahn ist bei den Belastungen der Meterspurgleise in der Regel nicht von Bedeutung. Die Wahl der Schotterklasse wird in der Regel vom Preis des Schotters und dem Transportweg zum Lieferwerk bestimmt.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen ist der Schotterbettquerschnitt mit variablen Schotterbettdicken zu berücksichtigen.

3.2.6 Unterbau und Entwässerung

Der grösste Teil der Strecken der befragten Bahnen haben noch keinen Unterbau und stammt noch aus deren Erstellungszeit. Vier Bahnen haben gar keinen Unterbau dimensioniert vgl. Abb. 4.

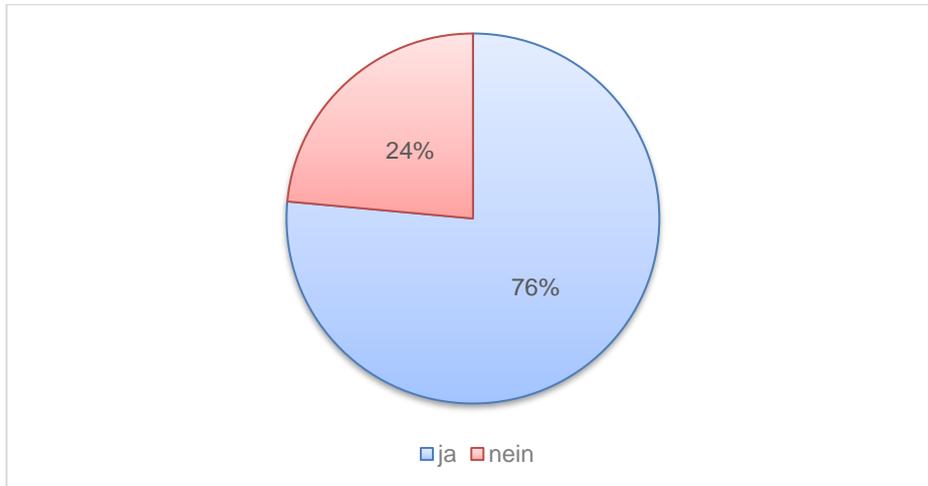


Abbildung 4: Bahnen mit Unterbau

Der prozentuale Anteil an Strecken mit Unterbau ist sehr unterschiedlich und variiert zwischen wenigen Prozenten bis zu 40 %. Interessant ist, dass z.B bei den RhB zu 90 % kein genormter Unterbau vorhanden ist, weil man bisher keine Probleme mit der Tragfähigkeit hatte und keine übermässigen Auffälligkeiten wie Schlammaufstösse und weisse Stellen festgestellt wurden.

Tendenziell wird bei Neubauten der Unterbau mit PSS realisiert, teilweise auch mit AC-Rail. Von Interesse für die Bahnen ist die Dimensionierung des Unterbaus im Hinblick auf eine optimale Fahrbahnsteifigkeit und die Frage, wann ein bestehender, undefinierter Unterbau durch einen genormten Unterbau (AC-Rail oder PSS) ersetzt werden soll.

- ➔ Für die Aufstellung der Fahrbahnformen sollen die Unterbauformen AC-Rail, PSS und bestehend/undefiniert betrachtet werden.

Bei den meisten Bahnen sind Entwässerungen in Form von Böschungen, Gräben und Sickerleitungen eingebaut . Bei rund einem Drittel der Bahnen sind ca. 60- 80 % der Strecken entwässert. Bei den meisten Bahnen gibt es kein definiertes Entwässerungssystem. Die Gleisentwässerung erfolgt über die ganze Fahrbahn, da keine Sperrschicht eingebaut ist. vgl. Abb. 5

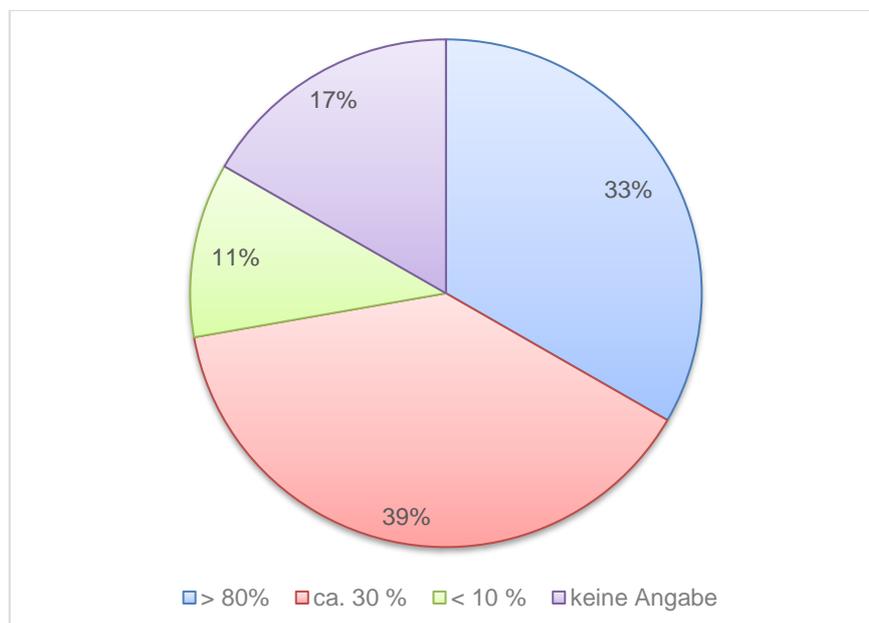


Abbildung 5: Prozentualer Anteil der Strecken mit Entwässerung

Die Entwässerung der Fahrbahn hat gemäss R RTE 21110 folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Wasser aus dem Fahrbahnbereich zur Seite führen
- Seitlich zufließendes Wasser ausserhalb des Fahrbahnbereichs abfangen
- Eindringen von Wasser in den Unterbau verhindern
- Wasser ausserhalb der Fundationsschicht und unterhalb des Planums versickern oder ableiten
- Dauerhaft funktionieren

Wasser im Unterbau verursacht Tragfähigkeitsverluste in den einzelnen Schichten und kann zusammen mit der dynamischen Verkehrsbelastung zur Zerstörung der Schichtgrenzen führen. Damit verbunden ist eine Vermischung des Unterbaumaterials bis hin zu Feinanteil-Aufstössen ins Schotterbett. Das Eindringen von Wasser in den Unterbau ist deshalb möglichst zu verhindern, wobei der Einfluss der dynamischen Verkehrslast zu berücksichtigen ist.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen wird von einer funktionierenden Entwässerung ausgegangen

3.2.7 Gleislagestabilität

Bei der Bestimmung der zu betrachtenden Fahrbahnformen ist neben dem Querschnitt mit der Gleislagestabilität auch noch ein Element in Längsrichtung zu betrachten. Der Gleisrost im Schotterbett muss die temperaturbedingten Änderungen der Schienenlängskräfte auffangen und eine unzulässige Querverschiebung in Form einer Gleisverdrückung oder Gleisverwerfung verhindern. Dabei ist bei der Meterspur zu beachten, dass eine seitliche Bogenatmung bis zu 20 mm zulässig ist, sofern diese sich gleichförmig über den ganzen Bogen entwickelt.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die gleichförmige Bogenatmung in der Realität in den engen Bögen meistens nicht gegeben ist. Eine Möglichkeit ist die Erhöhung der Rahmensteifigkeit [2]. Bei genügender Rahmensteifigkeit kann theoretisch bis in jedem Radienbereich lückenlos verschweisst werden. Es stellt sich aber die Frage, welchen Einfluss die Erhöhung der Rahmensteifigkeit auf das Zusammenwirken Fahrzeug / Fahrweg hat.

- Für die Aufstellung der Fahrbahnformen soll der Einfluss der Rahmensteifigkeit ermittelt und allenfalls berücksichtigt werden. Es werden nur lückenlos verschweisste Gleise d.h. keine verlaschten Gleise in die Untersuchungen einbezogen.

3.3 Vorgesehene Fahrbahnformen

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Umfrage der Bahnen und den Erläuterungen im Kapitel 3.2 sind folgende Variationen von Fahrbahnformen für die Modellierung möglich und sollen berücksichtigt werden:

Fahrbahnelement	Ausprägung	Fahrbahntyp										
		B1	B2	B3	S1	S2	H1	H2	Y1	Y2	Y3	
Schienenprofil	46E1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	54E2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Stahlgüte	R260	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	350HT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	400HT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zwischenlage	Steifigkeit variabel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schwelle	Holz						x	x				
	Beton	x	x	x								
	Beton besohlt variabel	x	x	x								
	Stahl				x	x						
	Y-Stahl								x	x	x	
Schotter	Schotterbettdicke variabel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AC-Rail	x							x			
Unterbau	PSS		x		x		x			x		
	undefiniert			x		x		x				x
Gleislagestabilität	Rahmensteifigkeit variabel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 1: Vorgesehene Fahrbahnformen

Die verschiedenen Fahrbahnformen sind nachfolgend im Querschnitt dargestellt:

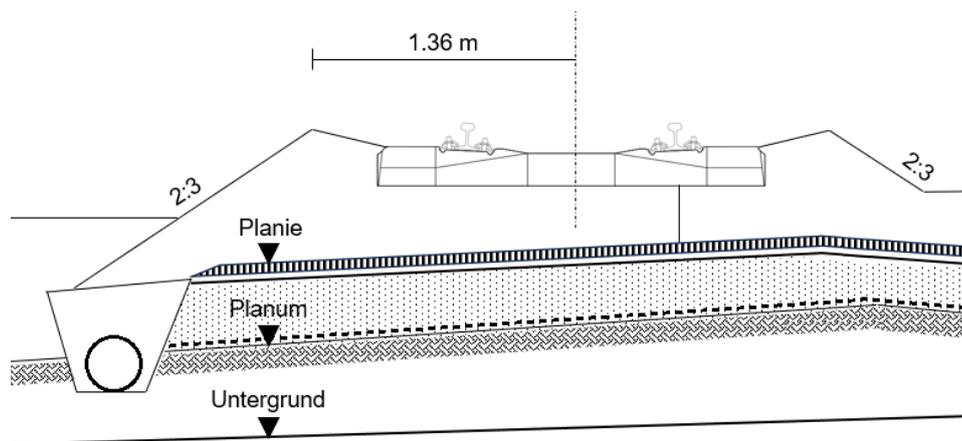
Typ B1

Abbildung 6: Fahrbahntyp B1 Betonschwellenoberbau mit Unterbau AC Rail

Für Schienenprofil und Stahlgüte werden die Ausprägungen gemäss Tabelle 1 berücksichtigt. Die Steifigkeit der Zwischenlage, der Besohlung und die Schotterbettdicke soll variabel berücksichtigt werden.

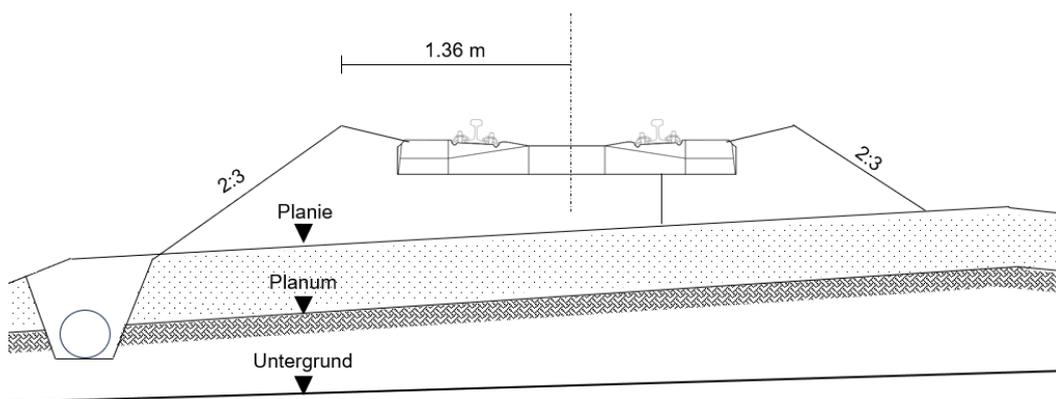
Typ B2

Abbildung 7: Fahrbahntyp B2 Betonschwellenoberbau mit Unterbau PSS

Der Typ B2 unterscheidet sich vom Typ B1 nur durch den Unterbau (PSS anstelle AC Rail). Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ B1 variiert werden können.

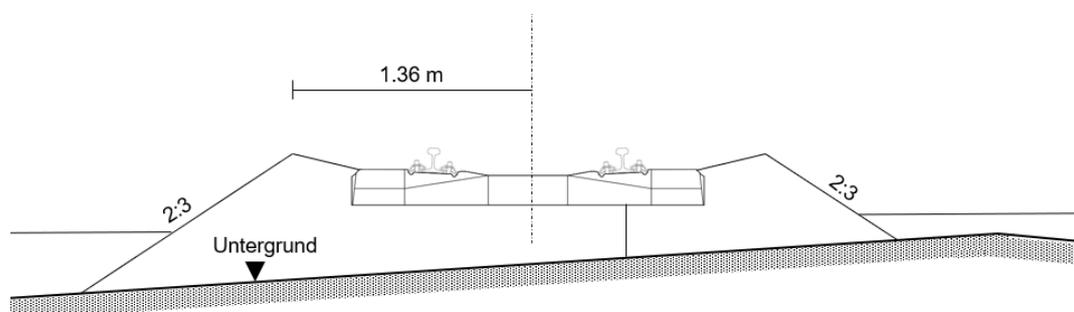
Typ B3

Abbildung 8: Fahrbahntyp B3 Betonschwellenoberbau ohne definierten Unterbau

Der Typ B2 unterscheidet sich vom Typ B1 und B2 nur durch den Unterbau (ohne definierten Unterbau). Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ B1 und B2 variiert werden können.

Typ S1

Es wird davon ausgegangen, dass die Kombination Stahl- sowie Holzschwellen auf AC Rail in der Praxis nicht eingebaut wird. Deshalb werden für diese Kombinationen nur die Varianten mit Unterbau PSS sowie nicht definierter Unterbau in die Simulation einbezogen. Bei den Stahlschwellen handelt es sich um den Typ 220 (mit langen Kappen). Einzig bei den Y-Stahlschwellen, die eine hohe Rahmensteifigkeit aufweisen und damit zu einer guten Gleislagestabilität beitragen, könnte diese Kombination allenfalls Sinn machen vgl. Typ Y1.

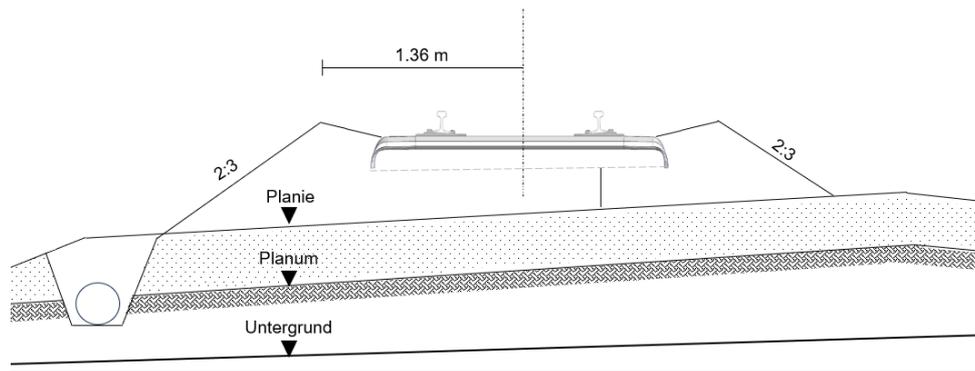


Abbildung 9: Fahrbahntyp S1 Stahlschwellenoberbau mit Unterbau PSS

Der Typ S1 unterscheidet sich vom Typ B2 nur durch die Schwellenart. Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ B2 variiert werden können.

Typ S2

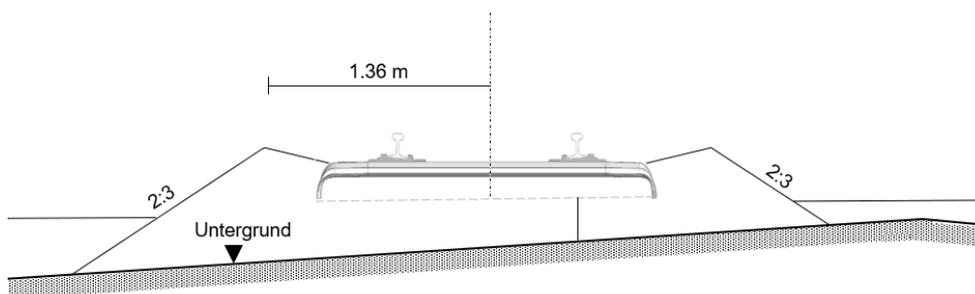


Abbildung 10: Fahrbahntyp S2 Stahlschwellenoberbau ohne definierten Unterbau

Der Typ S2 unterscheidet sich vom Typ S1 nur durch den Unterbau (ohne definierten Unterbau). Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ S1 variiert werden können.

Typ H1

Wie bereits in Kap. 3.2.4 erwähnt, sind die Holzschwellen ein Auslaufmodell. Sie sollen aber als Referenz zu den Beton- und Stahlschwellen in die Simulation einbezogen werden. Bei den Holzschwellen wird nur die steife Zwischenlage mit einer Steifigkeit von 700 kN/mm betrachtet.

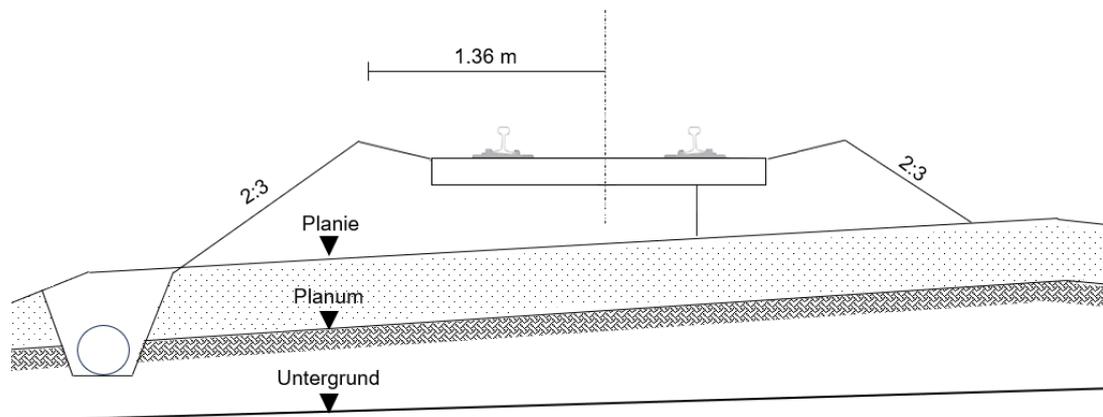


Abbildung 11: Fahrbahntyp H1 Holzschwellenoberbau mit Unterbau PSS

Der Typ H1 unterscheidet sich vom Typ S1 nur durch die Schwellenart. Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ S1 variiert werden können.

Typ H2

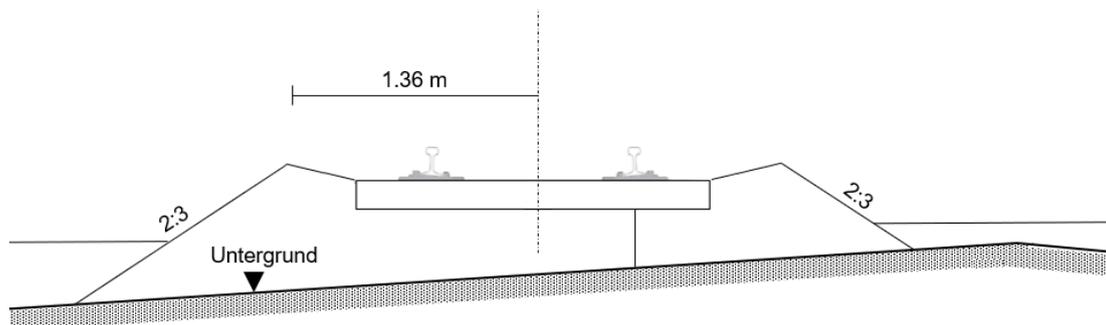


Abbildung 12: Fahrbahntyp H2 Holzschwellenoberbau ohne definierten Unterbau

Der Typ H2 unterscheidet sich vom Typ H1 nur durch den Unterbau (ohne definierten Unterbau). Die Oberbaukomponenten und der Schotter sollten wie Typ H1 variiert werden können.

Der Typ Y1 unterscheidet sich vom Typ B1 nur durch die Schwellenart. Y2 und Y3 können mit den jeweiligen Querschnitten von Typ S1 resp. S2 gleichgestellt werden. Unterschiedlich ist nur die Form der Stahlschwelle.

4 Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen

4.1 Einleitung

Örtliche Abweichungen von der theoretischen Gleislage können einen wesentlichen Einfluss auf die Rad/Schiene – Interaktion haben. Es ist heute üblich, bei der Dimensionierung von neuen Fahrzeugen für laufdynamische Simulationsrechnungen repräsentative Gleislagefehler einzubeziehen oder diese vom Fahrzeuglieferanten zu verlangen.

Derzeit ist bei den Meterspurbahnen kein charakteristischer Datensatz vorhanden, um solche Simulationsrechnungen durchzuführen. Es sollen deshalb die bei SERSA für den Fahrbahnunterhalt vorhandenen Gleismessdaten so ausgewertet und aufbereitet werden, dass sie für Simulationsrechnungen herangezogen werden können.

Ziel der Leistungsdichtespektren ist es, aus den bei SERSA verfügbaren Gleismessdaten repräsentative Gleislagefehler für die lauftechnische Simulation zu identifizieren, die für künftige Fahrzeugausschreibungen vorgegeben werden können. Die Arbeiten wurden im Projekt P4 federführend von PROSE durchgeführt [3].

4.2 Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden mögliche von SERSA im Auftrag der Bahnen gemessene Datensätze auf ihre Brauchbarkeit analysiert und probenhalber ausgewertet. Es wurden folgende Gleislage-Parameter ausgewertet:

- Richtung
- Längshöhe
- Spurweite
- Überhöhung

Es wurden die Gleislageabweichungen bezogen auf die Gleisachse ausgewertet. Nachdem die Machbarkeit bewiesen werden konnte, wurden insgesamt 17 Datensätze von AB, CJ, MGB, MOB, RhB und zb ausgewertet und mit den in der Normalspur üblichen Störpegeln ORE low und ORE high verglichen [4].

Nach Abschluss der Arbeiten soll ein Datensatz der für die Meterspur charakteristischen Gleislagefehler erzeugt werden, der als Grundlage für die lauftechnischen Simulationen verwendet werden kann.

4.3 Diskussion der Auswertungen

Die 17 ausgewählten Gleisabschnitte wurden gemäss Vorgehen in Kap. 4.2 ausgewertet. Abb. 13 zeigt die spektrale Verteilung des Überhöhungsfehlers über alle Gleisabschnitte:

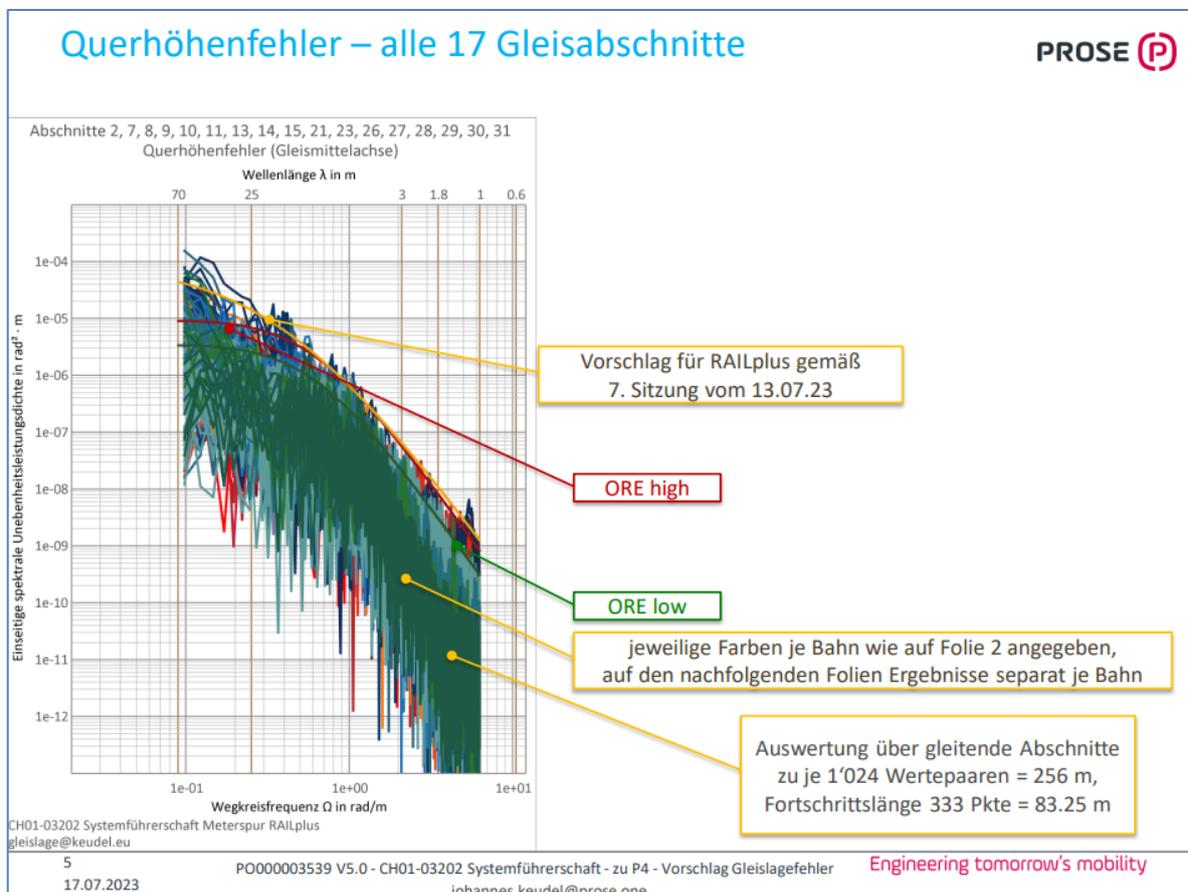


Abbildung 13: Leistungsdichtespektren Querhöhenfehler¹

Auf Basis der Auswertungen wurde jeweils pro Gleislageparameter entweder eine Kurve (Vorschlag RAILplus) ermittelt oder bei genügender Übereinstimmung die Verteilung ORE high respektive ORE low übernommen.

Die Arbeiten sind bei Erstellung dieses Berichtes noch nicht vollständig abgeschlossen. Die definitiven Ergebnisse werden von PROSE in einem Bericht als Input zu den Lieferobjekten 6.2 und 6.3 im Projekt P3 bis Ende Dezember 2023 dokumentiert.

4.4 Ausblick

Die Gleislagemessungen der Bahnen können erfolgreich für die Ermittlung der Leistungsdichtespektren genutzt werden. Nach Bereinigung von Detailfragen (Plausibilitäten von Messresultaten) kann ein Datensatz von regellosen Gleislagefehlern für die lauftechnischen Simulationsrechnungen bei Neubeschaffungen von Meterspurfahrzeugen erzeugt und zur Verfügung gestellt werden.

¹ aus Präsentation PROSE für Projekt P4 Stand 17.7.2023

5 Stand übrige Arbeitspakete zu Lieferobjekt 2.2

5.1 Einleitung

Wie in Kap. 2 beschrieben wurden neben den Hauptthemen Aufstellung Fahrbahnformen und Leistungsdichtespektren der Gleislageabweichungen noch weitere Themen in dieses Lieferobjekt integriert. Diese Themen sind noch nicht abgeschlossen. In den folgenden Kapiteln wird zu jedem Arbeitspaket der Stand und das weitere Vorgehen beschrieben.

5.2 Ermittlung Bogenverteilung

Die Ermittlung der Bogenverteilung war Bestandteil der Umfrage der Bahnen im Rahmen des Projektes P1 Grundlagenscanning [1]. Dort hatte sich herausgestellt, dass die von den Bahnen gelieferten Informationen von sehr unterschiedlicher Qualität waren und für eine weitere Auswertung nicht verwendet werden konnten. Es wurde deshalb zusammen mit der Firma Innovative Times AG eine Auswertesoftware aufgebaut, welche auf Basis von Gleisgeometriedaten aus Toporail die Bogenverteilungen in einer einheitlichen Form darstellt und für die weiteren Arbeiten in den Projekten genutzt werden kann.

Aktuell wurden die Gleisgeometrie-Daten von 17 Bahnunternehmungen in das webbasierte Auswertetool eingearbeitet.

Pro Bahn oder linienweise kann z.B. die Bogenverteilung angezeigt werden vgl. Abb. 14 und 15:

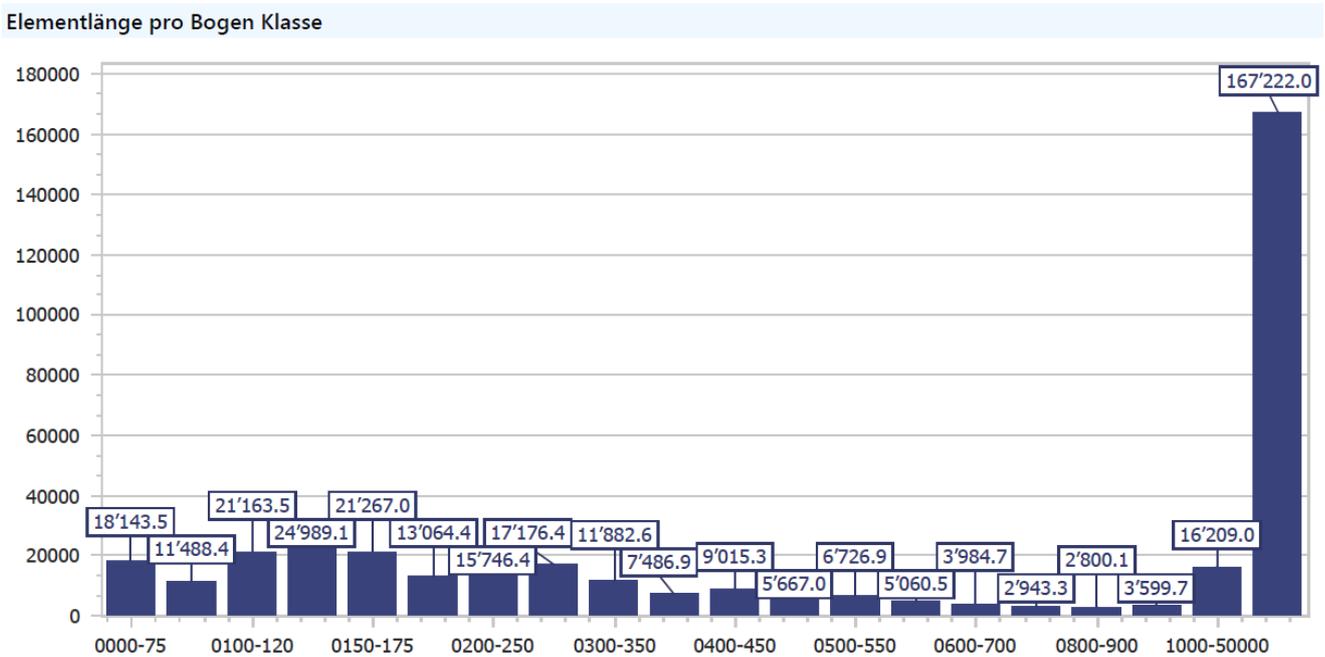


Abbildung 14: Bogenverteilung RhB ganzes Netz

Elementlänge pro Bogen Klasse

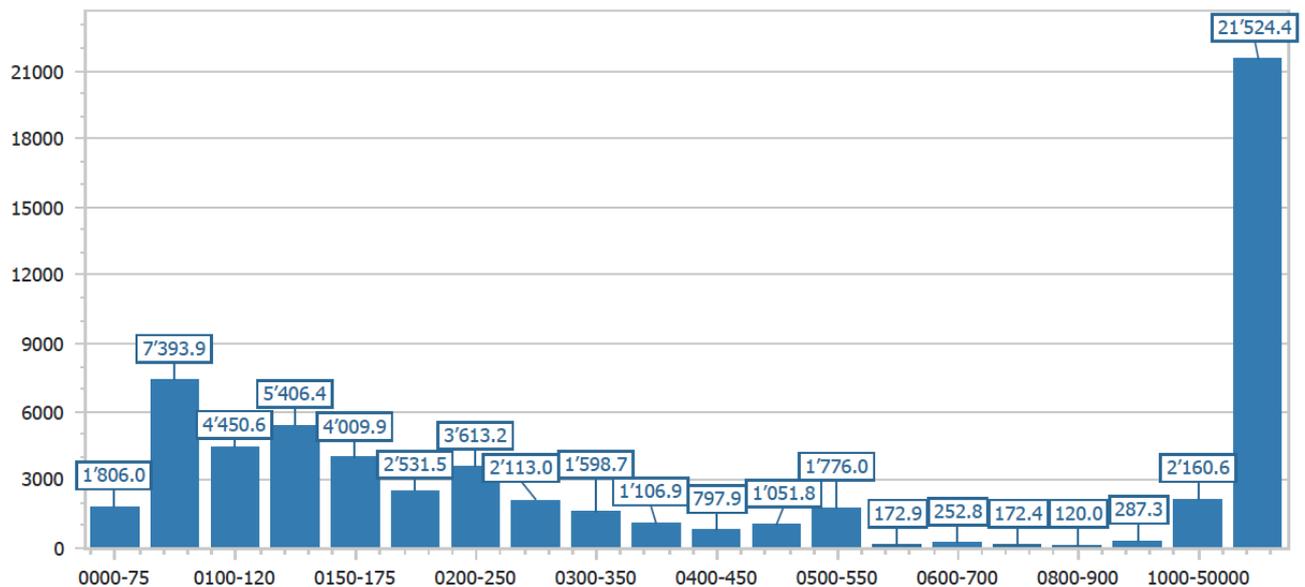


Abbildung 15: Bogenverteilung MOB Linie 120 Montreux - Zweisimmen

Diese Auswertungen bilden eine wertvolle Arbeitsgrundlage für die Projekte in der Systemaufgabe RAILplus. So kann z.B. die im Projekt P4 für die Ermittlung der Standardelemente Meterspur benötigte Radienverteilung aus diesen Informationen gewonnen werden. Die Kenntnisse über die Radienverteilung sind selbstverständlich auch für die Arbeiten in P2, P3 und P5 von Bedeutung.

Gleichzeitig ist aber auch vorgesehen, diese Informationen den einzelnen Bahnen zur Verfügung zu stellen.

5.3 Aufbau Fahrbahnmodell Unterbau

Der Unterbau wird vor allem durch die Witterung und die Verkehrslast beansprucht. Der Unterbau der alten Bahnlinien wurde nicht für die heutigen Verkehrslasten ausgelegt vgl. auch Kap. 3.2.6. Die Kombination der Beanspruchung durch Witterung und Verkehrslast führt in vielen Fällen zu Schäden am Unterbau mit Folgen für die Gleislagestabilität.

Wasser in feinkörnigen Unterbaumaterialien führt bei dynamischer Verkehrsbelastung rasch zu grösseren Schäden. Dem Bau, der Überwachung und dem sorgfältigen Unterhalt effizienter Entwässerungssysteme kommt deshalb grösste Bedeutung zu. Gemäss Kap. 3.3 sollen drei verschiedene Unterbautypen in der Modellierung berücksichtigt werden:

- AC-Rail
- PSS
- undefinierter Unterbau

Bis anhin wurde der Unterbau in Modellberechnungen mit dem Bettungsmodul (sehr schlecht, schlecht, mittel, sehr steif) berücksichtigt. Damit lässt sich aber keine Aussage über die Fahrbahnsteifigkeit der drei zu untersuchenden Unterbautypen machen.

Im Rahmen der Überlegungen der Übertragbarkeit des verschleissabhängigen Trassenpreismodells Normalspur der TU Graz auf die Meterspur werden für die Berechnungen der dynamischen Vertikalkräfte P1 und P2 auch Gleisparameter berücksichtigt [5]. Es handelt sich um folgende Parameter:

- Effektive vertikale Gleismasse je Rad $m_t = 245 \text{ kg}$
- vertikale Dämpfung des Gleises je Rad $c_t = 55'400 \text{ Ns/m}$
- vertikale Gleissteifigkeit je Rad $K_t = 62'000'000 \text{ N/m}$

Die Übertragbarkeit dieser Parameter auf die Meterspur ist ein Bestandteil einer Beurteilung durch die TU München, die bis Ende September 2023 erfolgt sein wird.

In diesem Zusammenhang ist die Frage zu klären, wie detailliert muss der Unterbau für die Interaktion Fahrzeug / Fahrweg und den Einfluss der drei zu betrachtenden Unterbautypen modelliert werden.

5.4 Einwirkende Fahrzeugkräfte

Für die Modellierung benötigt das ViF Angaben über die auf das Gleis einwirkenden Kräfte. Gemäss Schnittstellendokument Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug – Fahrweg P2-P3-P4-P5-P6-P8-ViF wird dieser Input aus P3 erhoben.

Bis zur Erstellung dieses Berichtes sind noch keine Angaben verfügbar.

5.5 Ermittlung repräsentative reale Schienenprofile

Für die Untersuchungen der Berührgeometrie Rad/Schiene benötigt das Projekt P3 repräsentative Messdaten über Schienenprofile. Analog zu den Gleislagemessungen werden auch die Schienenprofile von SERSA für den Fahrbahnunterhalt periodisch erhoben und ausgewertet.

Aktuell wird in P4 geprüft, ob Testdatensätze von Schienenprofilen korrekt in das von P3 für die Berührgeometrieanalyse verwendete Tool Gleiskontakt eingelesen und verarbeitet werden können.

5.6 Anforderungen Akustikmessungen

Im Projekt P2 wurden bereits Akustikmessungen geplant und teilweise auch schon ausgeführt. Dabei wurden bereits aus Sicht P2 Anforderungen an diese Messungen beschrieben. Im Arbeitspaket P4 sind die Anforderungen zum Aspekt Lärm noch detailliert zu beschreiben.

6 Verzeichnisse

6.1 Referenzen

- [1] Güldenapfel Peter, Railplus / KPZ Fahrbahn: *Grundlagenscanning Umfrage Bahnen*. Technischer Bericht, 14.10.2022
- [2] Braess Patrick, ETH Zürich: *Sicherstellung einer langfristig guten Gleislage in atmenden Bögen*, Dissertation 2018
- [3] Keudel Johannes, Railplus / PROSE: *Identifikation repräsentativer Gleislagefehler – Road Map*, Technischer Bericht 15.12.2022 Entwurf
- [4] ORE B176 Bericht Nr. 1 Band 2: *Drehgestell mit radial einstellbaren Radsätzen – Vorstudien und Lastenhefte – Lastenheft für ein Drehgestell mit verbesserten Eigenschaften bei Fahrt im Bogen*, Utrecht, September 1989
- [5] Marschnig Stefan, Ehrhart Ursula, Knabl Dieter, TU Graz: *Verschleissfaktor Schmalspur*, Bericht, 2022

6.2 Abbildungen

Abbildung 1: Abhängigkeiten Arbeitspakete Lieferobjekt 2.2.....	7
Abbildung 2: Schadensformen an Ober- und Unterbau.....	8
Abbildung 3: Einsatz der Schienenzwischenlagen.....	9
Abbildung 4: Bahnen mit Unterbau.....	11
Abbildung 5: Prozentualer Anteil der Strecken mit Entwässerung.....	11
Abbildung 6: Fahrbahntyp B1 Betonschwellenoberbau mit Unterbau AC Rail.....	14
Abbildung 7: Fahrbahntyp B2 Betonschwellenoberbau mit Unterbau PSS.....	14
Abbildung 8: Fahrbahntyp B3 Betonschwellenoberbau ohne definierten Unterbau.....	14
Abbildung 9: Fahrbahntyp S1 Stahlschwellenoberbau mit Unterbau PSS.....	15
Abbildung 10: Fahrbahntyp S2 Stahlschwellenoberbau ohne definierten Unterbau.....	15
Abbildung 11: Fahrbahntyp H1 Holzschwellenoberbau mit Unterbau PSS.....	16
Abbildung 12: Fahrbahntyp H2 Holzschwellenoberbau ohne definierten Unterbau.....	16
Abbildung 13: Spektralanalyse Querhöhenfehler.....	18
Abbildung 14: Bogenverteilung RhB ganzes Netz.....	19
Abbildung 15: Bogenverteilung MOB Linie 120 Montreux - Zweisimmen.....	20

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Vorgesehene Fahrbahnformen.....	13
--	----

7 Anhang