

# Track inspection Approach of an objective condition recording

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieur  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

DIPLOMARBEIT

## Fahrweginspektion Ansatz einer objektiven Zustandserfassung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Nils Thorstensen**

Matr.Nr.: 00941556

unter der Anleitung von

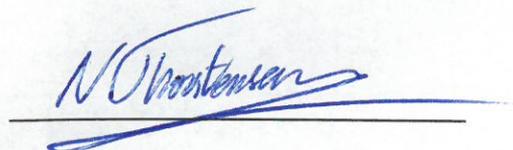
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Norbert Ostermann**

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Michael Ostermann**

Projektass. Dipl.-Ing. **Johannes Kehrer**

Institut für Verkehrswissenschaften  
Forschungsbereich Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen  
Technische Universität Wien,  
Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Wien, im Monat 02.2019



## **Kurzfassung**

In der vorliegenden Diplomarbeit wird das Thema der visuellen Zustandserfassung von unterschiedlichen Arten der Oberflächeneindeckung (Asphalt, Beton, Platten) des Oberbaus innerstädtischer Schienenbahnen behandelt. Ziel ist die Erarbeitung eines Leitfadens, um Inspektionsergebnisse zu objektivieren um damit weiterführende Betrachtungen wie beispielsweise zeitliche Zustandsentwicklungen zu ermöglichen. Dazu wird ein für geschlossene Rillenschienenoberbauten allgemein gültiger Schadens- und Mangelkatalog mit eindeutiger Mangelbeschreibung ausgearbeitet. Durch diesen Katalog kann die Fehleraufnahme objektiviert und ein einheitliches Vokabular in den Inspektionsberichten ermöglicht werden. Bei der Erstellung dieses Schadens- und Mangelkatalog wurde darauf geachtet, dass eine reproduzierbare Schadensbeschreibung sichergestellt werden kann und es wurden geeignete Parameter definiert (Zustandsgröße, Lage, Ausprägung) anhand dessen jeder Schaden und Mangel ausreichend beschrieben werden kann. Da einige Schadensbilder in Normen und Fachliteratur schon über gewisse Parameter hinreichend genau beschrieben sind, liegt der Fokus dieser Diplomarbeit auf Schäden und Mängeln der Oberflächeneindeckung, zu denen keine ausreichende Parametrisierung bekannt ist.

## **Abstract**

This diploma thesis treats the topic of visual condition assessment of various types of surface covering (asphalt, concrete, slabs) of the track system of inner-city railways. The goal is the development of a guideline to objectify inspection results in order to enable further considerations such as chronological condition development. For this purpose a damage and defect checklist generally valid for closed grooved rail track systems with clear descriptions of defects is prepared. This checklist helps to increase the objectivity of failure recording and facilitates a consistent vocabulary in the inspection reports. During the establishment of this damage and defect checklist it was carefully considered to ensure a reproducible damage description and to define suitable parameters (state variable, location, specification) in order to enable appropriate descriptions of every damage and defect. As some damage patterns have been described in standards and literature via certain parameters with adequate accuracy, the focus of this thesis is on the damage and defects of surface covering for which no sufficient parametrization is known yet.

## Abkürzungsverzeichnis

AE	Asphalteindeckung
AS	Aufmerksamkeitsschwelle
ATS	Asphalttragschicht
BE	Ortbetoneindeckung
BTS	Betontragschicht
EisbG	Eisenbahngesetz
EP	Einzelstützpunkt
ES	Eingriffsschwelle
FF	Feste Fahrbahn
FOK	Fahrbahnoberkante
FSS	Frostschuttschicht
GFT	Gemeinsame Fahrflächentangente
HGT	Hydraulisch gebundene Tragschicht
IV	Individualverkehr
KL	Kontinuierliche Lagerung
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PE	Platteneindeckung
PSS	Planumsschutzschicht
SOB	Schotteroberbau
SOK	Schienenoberkante
Sp	Spurstange
SSU	Schienenstützungsunterkante
StrabVO	Straßenbahnverordnung
STS	Schottertragschicht

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	1
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Problemstellung .....	2
1.3	Zielstellung .....	2
2	Fahrweg der Straßenbahn – Grundlagen .....	3
2.1	Grundlegendes .....	3
2.1.1	Aufbau des Fahrweges .....	3
2.1.2	Funktionen der einzelnen Schichten .....	4
2.1.3	Gestaltung des Fahrweges .....	5
2.1.4	Oberbauarten .....	7
2.1.5	Zusammenfassende Übersicht .....	8
2.2	Geschlossener Oberbau als FF – Teilsysteme & Komponenten .....	9
2.3	Geschlossener Oberbau als FF – Konstruktionsarten & Bauarten .....	14
2.3.2	Bauarten .....	16
3	Fahrweg der Straßenbahn – Betriebs- und Verkehrssicherheit .....	17
3.1	Allgemeines .....	17
3.2	Betriebssicherheit – Schienenverkehr .....	18
3.2.1	Begriffsbestimmungen .....	19
3.2.2	Vertikaler Lichtraumbedarf .....	20
3.2.3	Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung .....	33
3.2.4	Anwendungsbeispiel .....	35
3.3	Verkehrssicherheit - Straßenverkehr .....	43
3.4	Gebrauchseigenschaften – Oberflächeneindeckung .....	45
4	Fahrweg der Straßenbahn – Zustandserfassung von Schäden und Mängeln .....	46
4.1	Methoden der visuellen Zustandserfassung .....	46
4.2	Vorschlag für eine objektiven Zustandserfassung .....	46
4.2.1	Vorbereitung der visuellen Zustandserfassung .....	46
4.2.2	Durchführung der visuellen Zustandserfassung .....	49
4.3	Schadens- und Mangelkatalog .....	52
4.3.1	Beschreibung – Schäden und Mängel .....	56
4.3.2	Erfassungsmethodik – Schäden und Mängel .....	63
4.4	Instandhaltungskatalog .....	74
5	Schlussfolgerung .....	77
6	Ausblick .....	79

7	Abbildungsverzeichnis.....	80
8	Tabellenverzeichnis.....	82
9	Literaturverzeichnis.....	83
Anhang A		

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangssituation

Innerstädtische Infrastrukturbetreiber sind dazu verpflichtet regelmäßig wiederkehrende Überprüfungen an ihren Infrastrukturanlagen durchzuführen, um einen sicheren Straßenbahnbetrieb garantieren zu können. Der rechtliche Rahmen dieser gesetzlichen Nachweispflicht basiert in Österreich unter anderem auf dem Eisenbahngesetz (EisbG) und der Straßenbahnverordnung (StrabVO) (1):

*„Eisenbahnunternehmen [...] haben [...] im Rahmen ihres eisenbahntechnischen Fachgebietes, in einem Zeitraum von jeweils fünf Jahren regelmäßig wiederkehrend prüfen zu lassen, ob Eisenbahnanlagen, Betriebsmittel [...] und sonstiges Zugehör den Bestimmungen dieses Bundesgesetzes [...] noch entsprechen. Über jede wiederkehrende Prüfung ist eine der Behörde vorzulegende Prüfbescheinigung auszustellen, die insbesondere festgestellte Mängel und Vorschläge zu deren Behebung zu enthalten hat.“ (§19 Abs 1 EisbG)*

*„Die Instandhaltung der Betriebsanlagen und Fahrzeuge umfaßt Wartung, Inspektionen und Instandsetzungen; sie muß sich mindestens auf jene Teile erstrecken, deren Zustand die Betriebssicherheit und Verfügbarkeit beeinflussen kann.“ (§61 Abs 1 StrabVO)*

*„Art und Umfang der Wartung und der Inspektionen haben sich nach Bauart und Belastung der Betriebsanlagen und der Fahrzeuge zu richten.“ (§61 Abs 2 StrabVO)*

Die angewandte Prüfmethodik, welche in der gesetzlich vorgeschriebenen Inspektion stattfindet, und die dadurch gewonnenen Erkenntnisse über den Zustand der Betriebsanlagen lassen im Allgemeinen sehr schnell eine Aussage über die Gewährleistung der Betriebssicherheit zu. Die Aufrechterhaltung der Sicherheit, Benutzbarkeit und die Erhaltung des Anlagevermögens haben trotz wachsender Infrastruktur, steigender Verkehrsnachfrage und somit höherer Belastung des Fahrweges mit immer weniger budgetären Mitteln zu erfolgen<sup>1</sup>. Durch diese Rahmenbedingungen ist es heutzutage das Ziel der Nahverkehrsbetreiber über den Aspekt der Betriebssicherheit hinaus eine zustandsorientierte Planung und Priorisierung der Instandhaltungsmaßnahmen anzuvisieren. Motivation der Nahverkehrsbetreiber ist es somit aus diesen quantitativen und qualitativen Prüfungen entlang des Fahrweges einen Mehrwert wie beispielsweise eine Darstellung der zeitlichen Zustandsentwicklung generieren zu können.

---

<sup>1</sup> Verkehrsplanung und Erhaltungskonzepte, FSV Aktuell, ETR Juni 2007.

### 1.2 Problemstellung

Um einen zusätzlichen Mehrwert aus den vorgeschriebenen Inspektionen zu erzielen ist die derzeitige Prüfmethodik in Frage zu stellen. Die Kenntnis über die zeitliche Zustandsentwicklung einer Anlage erfordert eine reproduzierbare, objektive und quantitative Zustandserfassung und -beschreibung. Bei der Durchführung einer technischen Inspektion in der heutzutage üblichen Form ist der persönliche Eindruck des Inspektors oft ausschlaggebend. Dadurch, dass der Fahrweg von Personen mit unterschiedlicher Erfahrung inspiziert wird, können sich andere Einschätzungen hinsichtlich Relevanz der Fehler und deren Beseitigung ergeben, was sich in subjektiven Ergebnissen widerspiegeln könnte.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- ◆ Wie können Anforderungen und in weiterer Folge Gebrauchseigenschaften zur Erfüllung der Betriebs- und Verkehrssicherheit seitens der Nutzer an die Oberflächeneindeckung definiert werden?
- ◆ Welche visuell erfassbaren Schäden, Mängel und unerwünschten Veränderungen können an den unterschiedlichen Arten der Oberflächeneindeckung in Folge von Abweichungen aus den geforderten Gebrauchseigenschaften auftreten?
- ◆ Wie können die Schäden, Mängel und unerwünschten Veränderungen verbal beschrieben und in weiterer Folge klassifiziert werden?
- ◆ Durch welche Parameter können die einzelnen Schäden, Mängel und unerwünschten Veränderungen im Hinblick auf eine objektivierte und reproduzierbare Zustandserfassung beschrieben, quantifiziert und erfasst werden?
- ◆ Wie kann eine objektive Zustandserfassung sichergestellt werden?

### 1.3 Zielstellung

Ziel ist die Erarbeitung eines Leitfadens zur Objektivierung und Quantifizierung von Inspektionsergebnissen, um damit weiterführende Betrachtung wie zeitliche Zustandsentwicklungen zu ermöglichen. Dazu ist die Ausarbeitung eines für geschlossene Oberbauten allgemein gültigen Schadens- und Mangelkataloges mit eindeutigen Schadens- und Mangelbeschreibung angedacht. Ziel dieses Kataloges ist es die Fehleraufnahme zu objektivieren. Bei der Erstellung dieses Kataloges wird darauf geachtet, dass eine reproduzierbare Schadens- und Mangelbeschreibung sichergestellt werden kann und es wird versucht, geeignete Parameter zu finden (Zustandsgröße, Lage, Ausprägung) anhand dessen jeder Schaden und Mangel ausreichend beschrieben werden kann. Da einige Schadensbilder in Normen und Fachliteratur schon über gewisse Parameter hinreichend genau beschrieben sind, liegt der Fokus dieser Diplomarbeit auf Schäden und Mängel der Oberflächeneindeckung, zu denen keine ausreichende Parametrisierung bekannt ist.

## 2 Fahrweg der Straßenbahn – Grundlagen

Der Beginn dieser Arbeit befasst sich mit den theoretischen Grundlagen vom Fahrweg einer Straßenbahn. Dabei wird auf den allgemeinen Aufbau des Fahrweges, die Gestaltung des Fahrweges und insbesondere auf den Oberbau von innerstädtischen Schienenfahrwegen eingegangen. Diese Erläuterungen sollen einen ersten Einblick in das Themengebiet verschaffen und stellen wichtige Grundlagen dar, welche für das weitere Verständnis, die Nachvollziehbarkeit und die Beantwortung der in Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen dieser Arbeit als Basis dienen.

### 2.1 Grundlegendes

#### 2.1.1 Aufbau des Fahrweges

*„Bahnkörper umfassen den Oberbau und den ihn tragenden Unterbau, der aus Erd-, Stütz- oder Ingenieurbauwerken bestehen kann.“ (§16 Abs. 1 StrabVO, 1999) (1)*

Der Fahrweg einer Straßenbahn besteht aus einem Oberbau, Unterbau und dem darunterliegenden Untergrund. (2 S. 176) Der in der Literatur häufig zu findende typische Aufbau eines Schienenfahrweges samt Begriffsbestimmungen, Grenzflächen und Schichtenbezeichnungen ist in Abbildung 2.1 dargestellt. (3 S. 377) (4 S. 25) (2 S. 176)

Der Aufbau eines Schienenfahrweges und insbesondere die Anordnung und Arten der Tragschichten des Oberbaus hängen im Wesentlichen von der Ausführungsform des Oberbaus ab (siehe Abbildung 2.1). Prinzipiell unterscheidet man zwei verschiedene Oberbausysteme, den Schotteroberbau (SOB) und die Feste Fahrbahn (FF). (5 S. 115)

Beim **Schotteroberbau (SOB)** werden die Schienen auf in Querrichtung verlegten Schwellen auf eine Schotterbettung verlegt. (6 S. 9) Bei der **Festen Fahrbahn (FF)**, in der Literatur auch oft „schotterloser Oberbau<sup>2</sup>“ genannt, wird der Schotter durch eine setzungsarme und lagebeständige gebundene Tragschicht ersetzt. Dabei werden die Schienen elastisch auf dieser gelagert. (2 S. 324) (5 S. 134)

---

<sup>2</sup> „schotterloser Oberbau“ ist die Altbezeichnung vom Oberbausystem Feste Fahrbahn. In der heutigen Literatur hat sich der Begriff Feste Fahrbahn durchgesetzt.

Typischer Aufbau eines Schienenfahrweges – Schotteroberbau (SOB) und Feste Fahrbahn (FF)						
Oberbegriffe		Ebenen	Schichten/Elemente		Mögliche Arten/Stoffe	
					(SOB)	(FF)
Oberbau	Gleis	△ Schienenoberkante	Gleis-, Weichen-, Kreuzungskonstruktionen und Zusatzeinbauten		- Schienen, Kleineisen und Schienenstützelemente	
		△ Schienenstützungskante	Obere Tragschicht		- Schotter	- BTS - ATS
	Tragschichten	△ Planum	Untere Tragschicht		- PSS - FSS	- HGT - STS - FSS
Unterbau	Erdbauplanum	△	Verdichtete Übergangsschicht	Erd-, Stütz- oder Ingenieurbauwerke	-Verbesserte Böden -Korngemische	
			Verdichtete Unterbauschüttung			
Untergrund	Erdplanum	△	Verdichtete Übergangsschicht		-Geschüttete Böden -Anstehender Boden	
			Gewachsener Boden			
<b>Legende</b>		<i>PSS</i> Planumsschutzschicht	<i>ATS</i> Asphalttragschicht			
		<i>FSS</i> Frostschutzschicht	<i>HGT</i> Hydraulisch gebundene Tragschicht			
		<i>BTS</i> Betontragschicht	<i>STS</i> Schottertragschicht			

Abbildung 2.1 Typischer Aufbau eines Schienenfahrweges – SOB und FF (5 S. 106) (Eigene Darstellung)

## 2.1.2 Funktionen der einzelnen Schichten

Die Folgenden Erläuterungen basieren auf dem im Abbildung 2.1 dargestellten allgemeinen Aufbau eines Schienenfahrweges.

### 2.1.2.1 Oberbau

Die primären Funktionen des Oberbaus, auch genannt „Tragwerkskonstruktion des Fahrweges“ (3 S. 377) , sind einerseits die Sicherstellung der Spurführung und andererseits die Lastabtragung in den Unterbau. Zur Erfüllung dieser Anforderungen besteht er im Allgemeinen aus zwei Komponenten: dem Gleis und der Tragschicht. (2 S. 176)

#### Gleis

Das Gleis übernimmt die Aufgaben der Ableitung von Kräften in die Tragschicht und der Spurführung. Es wird begrenzt durch die Ebenen der Schienenoberkante (SOK) und der Schienenstützungskante (SSU). In dieser Schicht befinden sich die wesentlichen Oberbauelemente wie Gleis-, Kreuzungs-, Weichenkonstruktionen sowie diverse Zusatzeinbauten.

(5 S. 106) Diese Oberbauelemente bestehen aus diversen Konstruktionselementen und Bauteilen wie z.B. Schienen, Schienenbefestigungsmitteln, Schienenstützelementen und Eindeckungssystemen. (2 S. 176)

### **Tragschicht**

Die Tragschicht übernimmt die Aufgabe der Lastabtragung in den darunterliegenden Unterbau und wird begrenzt durch die Flächen der Schienenstützungsunterkante und dem Erdbauplanum. Im Allgemeinen besteht sie aus einer oberen und einer unteren Tragschicht. (7 S. 14)

Die **obere Tragschicht** verteilt die über den Schienenfuß oder Schwellenfuß eingeleiteten Kräfte auf die untere Tragschicht, den Unterbau sowie den Untergrund und leistet der Gleis-, Kreuzungs- oder Weichenkonstruktion einen ausreichenden Widerstand gegen Verschiebung. (7 S. 158) Sie wird begrenzt durch die Ebenen der Schienenstützungsunterkante und des Planums. Als obere Tragschicht kommen, abhängig vom Oberbausystem, ungebundene oder gebundene Tragschichten zum Einsatz. (7 S. 14) (2 S. 176)

Die **untere Tragschicht** leitet die Lasten von der oberen Tragschicht in den Unterbau und Untergrund weiter und erfüllt gleichzeitig die Funktion einer Schutzschicht. Im Vergleich zur oberen Tragschicht, die fixer Bestandteil des Oberbaus ist, kann bei gewissen örtlichen Gegebenheiten auf sie verzichtet werden. (7 S. 162) Sie wird begrenzt durch die Ebenen des Planums und des Erdbauplanums. Auch hier werden, abhängig vom Oberbausystem, ungebundene oder gebundene Materialschichten verbaut. (7 S. 14) (2 S. 176)

#### 2.1.2.2 Unterbau und Untergrund

Der Unterbau muss die auf den Oberbau wirkenden Lasten und dessen Eigengewicht aufnehmen können. (3 S. 377) Eine detaillierte Erläuterung ist in (7 S. 179) zu finden.

#### 2.1.3 Gestaltung des Fahrweges

##### 2.1.3.1 Lage und Führung

Hinsichtlich der Führung und Lage von Schienenfahrwegen unterscheidet die StrabVO (1 S. 16), unabhängig vom eingebauten Oberbausystem, Bahnkörper nach

- ◆ straßenbündigen Gleiskörpern
- ◆ selbstständigen Gleiskörpern
- ◆ eigenen Bahnkörpern

##### **Straßenbündiger Gleiskörper**

Straßenbündige Gleiskörper sind dadurch gekennzeichnet, dass die Gleise der Straßenbahn im Verkehrsraum der Straße liegen und in die Fahrbahn eingebettet sind. (8 S. 1) (3 S. 367) Prinzipiell wird zwischen straßenbündigen Gleiskörpern unter Mitbenützung durch den MIV und straßenbündigen Gleiskörpern mit Fahrbahnbegrenzung unterschieden. (9 S. 11) Auf-

grund der geschlossenen Oberfläche kann die Gleiszone<sup>3</sup> auch durch nicht schienengebundenen Verkehrsteilnehmer befahren oder begangen werden.

### Selbstständiger Gleiskörper

Die Gleiszone der Straßenbahn liegt zwar im Verkehrsraum der Straße, wird aber durch bauliche Maßnahmen vom Straßenverkehr getrennt, sodass nur schienengebundene Verkehrsmittel und, falls die Oberfläche geschlossen ausgebildet wird, auch öffentliche Busse oder Einsatzfahrzeuge diese benützen können. (8 S. 1) Die bauliche Abtrennung kann durch Hecken, Borde oder Zäune erfolgen. (3 S. 367) Die Oberfläche der Gleiszone liegt in der Regel erhöht gegenüber jener von der Fahrbahn. Hinsichtlich der Lage unterscheidet man eine mittige oder seitliche Anordnung des Gleiskörpers. (9 S. 12)

### Eigener Bahnkörper

Ein eigener Bahnkörper ist zur Gänze vom motorisierten Individualverkehr (MIV) getrennt. Der Gleiskörper liegt weit außerhalb des Verkehrsraums der Straße. Ein Begehen oder Befahren der Gleiszone ist nicht möglich. (8 S. 2)

#### 2.1.3.2 Querschnittsbezeichnungen

Die Gleiszone einer zweigleisigen Straßenbahnstrecke lässt sich in die Bereiche des Seiten-, Mittel- und Fahrtrogs unterteilen. In Abbildung 2.2 sind die typischen Querschnittsbezeichnungen an einem geschlossenen Rillenschienenoberbau dargestellt.

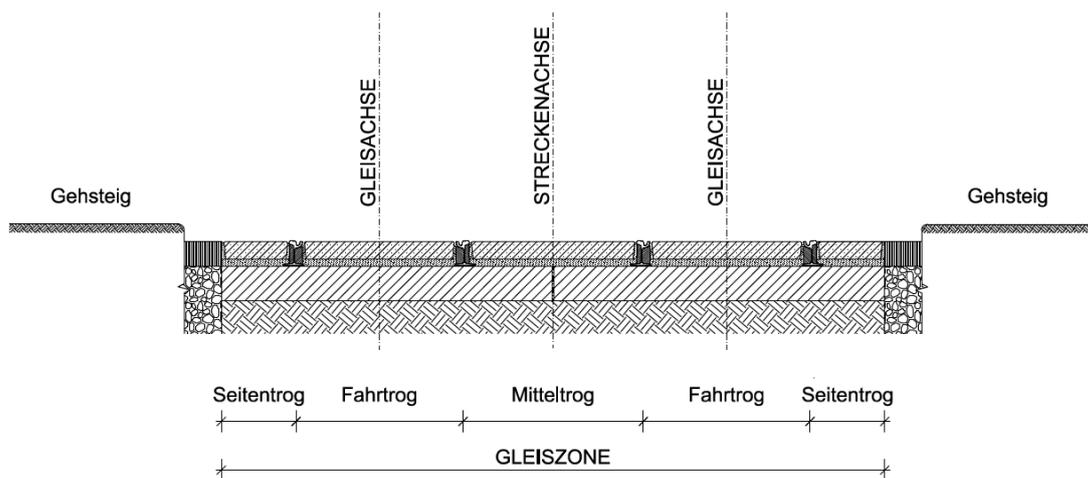


Abbildung 2.2 Querschnittsbezeichnungen Rillenschienenoberbau (Eigene Darstellung)

<sup>3</sup> Als Gleiszone bezeichnet man den Bereich der Fahrbahn welcher die Straßenbahngleise, den Oberbau und den Unterbau beinhaltet. (7 S. 1)

### 2.1.4 Oberbauarten

Eine Differenzierung der Oberbauarten kann unter dem Aspekt der möglichen Begehbarkeit und Befahrbarkeit erfolgen. Hierfür kommt eine Einteilung nach folgenden Hauptbauarten in Frage: (7 S. 16)

- ◆ Offener Oberbau
- ◆ Geschlossener Oberbau
- ◆ Oberbau mit planmäßiger Vegetation

Zusätzlich kann eine weitere Unterteilung der Hauptbauarten in sogenannte Einzelbauarten erfolgen. Als Ausgangsbasis für diese zusätzliche Aufgliederung dient der typische Schotteroberbau mit seinen Grundkomponenten, bestehend aus Schwellen und Schotterbettung. Je nach Vorhandensein und Kombination dieser Elemente ergeben sich folgende mögliche Einzelbauarten: (7 S. 16)

- ◆ Oberbau mit Schwellen und mit Schotterbettung – (SOB)
- ◆ Oberbau mit Schwellen und ohne Schotterbettung – (FF)
- ◆ Oberbau ohne Schwellen und ohne Schotterbettung – (FF)
- ◆ Oberbau ohne Schwellen und mit Schotterbettung

Ein **offener Oberbau** zeichnet sich durch das Fehlen eines Eindeckungssystems aus, sodass die Begehbarkeit durch Fußgänger und die Befahrbarkeit mittels Straßenfahrzeuge nicht möglich ist. Aus diesem Grund kommt diese Hauptbauart nur auf selbstständigen Gleiskörpern oder eigenen Bahnkörpern zum Einsatz (siehe Kapitel 2.1.3). Im Regelfall werden Vignolschienen verbaut. (2 S. 286)

Ein **geschlossener Oberbau** zeichnet sich dadurch aus, dass die Begehbarkeit durch Fußgänger und die Befahrbarkeit mittels Straßenfahrzeuge möglich ist. Dazu wird der Gleiszonenbereich durch ein Eindeckungssystem so ausgeführt, sodass die Schienenoberkante (SOK) mit der Fahrhahnoberkante (FOK) auf einer Ebene liegt. Diese Hauptbauart kommt vorwiegend im innerstädtischen Bereich auf straßenbündigen Gleiskörpern zum Einsatz, wo sich motorisierter Individualverkehr und Straßenbahn, meist aus Platzgründen, die Verkehrsfläche teilen müssen. Aber auch auf selbstständigen Gleiskörpern oder eigenen Bahnkörpern kann diese Bauart Verwendung finden, falls beispielsweise eine Befahrung durch Einsatzfahrzeuge oder Busse gefordert wird. Im Normalfall wird ein Rahmengleis verbaut. Dabei handelt es sich um zwei mit Spurstangen<sup>4</sup> verbundene Rillenschienen.

In der Literatur auch oft als „*Rasengleis*“ oder „*Grüngleis*“ bezeichnet, handelt es sich bei dem **Oberbau mit planmäßiger Vegetation** hierbei um eine begrünte Gleiszone. Im Allgemeinen ist eine Befahrung durch Fahrzeuge nicht vorgesehen und deshalb kommt diese Hauptbauart nur auf selbstständigen Gleiskörpern oder eigenen Bahnkörpern zum Einsatz. Abhängig von der Höhenlage der Vegetationsfläche in Bezug auf die Schienenoberkante

---

<sup>4</sup> Dient zur Einhaltung der korrekten Spurweite. Dazu werden die Stege der Schienen in vordefinierten Abständen mittels Spurstangen miteinander verschraubt.

unterscheidet man prinzipiell zwei verschiedene Ausführungsvarianten. (2 S. 352) Beim Gleis mit tief liegender Vegetationsebene liegt die Oberkante der Begrünungsfläche auf Höhe des Schienenfußes. Eine Befahrung durch Einsatzfahrzeuge ist nicht möglich. (2 S. 352) Beim Gleis mit hochliegender Vegetationsebene liegt die Oberkante der Begrünungsfläche in einer Ebene mit der Schienenoberkante. Aus diesem Grund kann eine Befahrung durch Einsatzfahrzeuge im Notfall erfolgen. (2 S. 356)

### 2.1.5 Zusammenfassende Übersicht

In Abbildung 2.3 ist eine übersichtliche Darstellung der möglichen Kombinationen und Ausführungsformen der in diesem Kapitel behandelten Oberbausysteme, Hauptbauarten und zugehörigen Einzelbauarten mit Bezug auf die Kapitel 2.1.3 erläuterten Bahnkörperarten zu sehen.

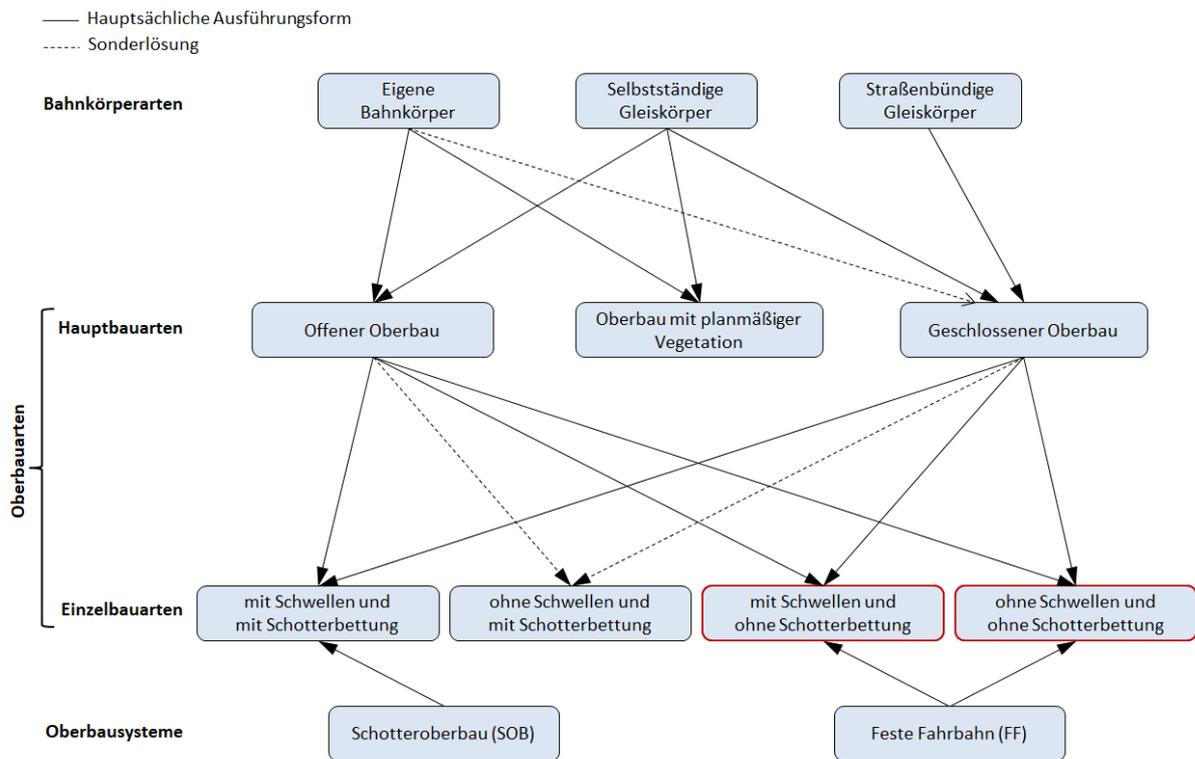
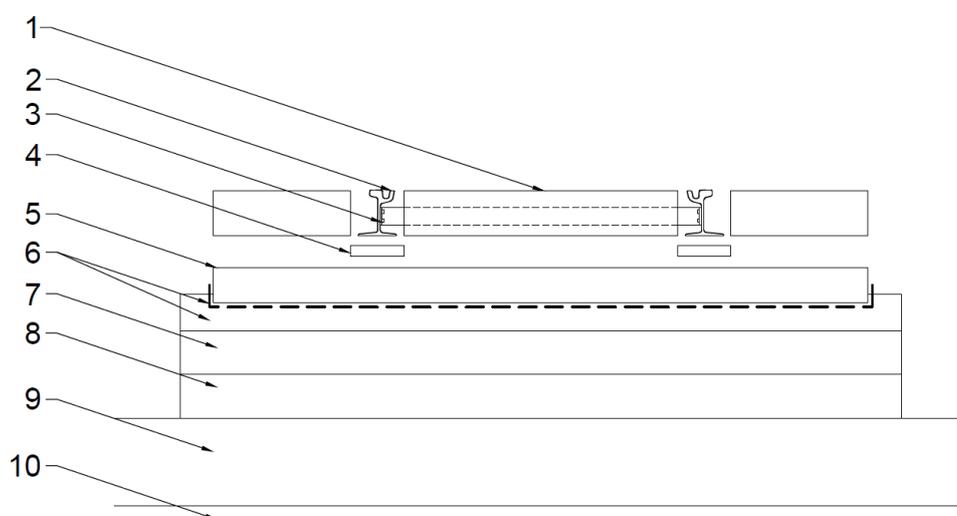


Abbildung 2.3 Zusammenfassende Übersicht Oberbauarten und Oberbausysteme (2 S. 286) (Eigene Darstellung)

Nach der bisherigen Einführung in das Themengebiet wird im weiteren Verlauf der Arbeit näher auf geschlossene Feste Fahrbahn Systeme im innerstädtischen Bereich auf straßenbündigen und selbstständigen Gleiskörpern eingegangen. Alle weiteren Erläuterungen dieser Arbeit beschränken sich deshalb auf die in Abbildung 2.3 rot gekennzeichneten Einzelbauarten.

## 2.2 Geschlossener Oberbau als FF – Teilsysteme & Komponenten

In diesem Unterkapitel wird der Aufbau von geschlossenen Festen Fahrbahn Systemen näher betrachtet. Zur Beschreibung des Aufbaus kann eine Unterteilung in Teilsysteme und Komponenten erfolgen. Eine mögliche Gliederung für geschlossene Oberbauten ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Diese wurde in Anlehnung an die Gliederung von Feste Fahrbahn Systemen für Vollbahnen nach DIN EN 16432-2:2017 (10 S. 14) erstellt. Dabei gilt, dass die Reihenfolge der Anordnung, das Vorhandensein oder das Ausbleiben von Teilsystemen und Komponenten von der jeweiligen Konstruktionsart abhängt. Die verschiedenen Konstruktionsarten werden in Kapitel 2.3 behandelt.



Legende	Mögliche Teilsysteme	Mögliche Komponenten
1	Oberflächeneindeckung	Befahrbarkeitselement, Bettung, Kammerfüllelement, Fugenverguss usw.
2	Schiene	
3	Spurhaltungsvorrichtung	Spurstange, Spurstangenschrauben, Muttern, Ausgleichplättchen usw.
4	Schienenbefestigung	Spannelement, Klemme, elastische Zwischenlage usw.
5	Funktionelle Trennung	Schwellen, Betonplatte, -rahmen, -längsbalken, -blöcke usw.
6	Zwischenschicht	Füllbeton, elastische Zwischenlage usw.
7	Obere Tragschicht	
8	Untere Tragschicht	
9	Unterbau	
10	Untergrund	

Abbildung 2.4 Teilsysteme und Komponenten für geschlossene Oberbauten als FF-System (Eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die Teilsysteme und mögliche Komponenten näher betrachtet und erläutert.

### 2.2.1.1 Teilsystem 1 - Oberflächeneindeckung

#### Aufgaben

Hauptaufgabe der Eindeckung ist die Sicherstellung der Befahrbarkeit durch den MIV und dem Fußgeher- und Radverkehr. Durch die Eindeckung des Gleisrahmens mit einer Oberflächenbefestigung kann die Gleiszone auch durch einen nicht schienengebundenen

Verkehrsteilnehmer befahren oder begangen werden. Die Oberflächenbefestigung hat sämtliche Beanspruchungen aus dem MIV und dem Schienenverkehr sicher aufzunehmen und an die Unterkonstruktion weiterzuleiten. In Abschnitten wo eine gemeinsame Nutzung des Fahrweges erfolgt hat die Eindeckung den Verkehrsteilnehmern eine rutschfeste, verschleißfeste und emissionsarme Oberfläche zu bieten und liegt idealerweise auf Höhe der SOK.

### Arten

Mögliche Eindeckungssysteme für Gleiszonen im innerstädtischen Bereich sind: (11 S. 303)

- ◆ Asphalteindeckungen (AE)
- ◆ Ortbetoneindeckungen (BE)
- ◆ Platteneindeckungen (PE)

### 2.2.1.2 Teilsystem 2 - Schiene

#### Aufgabe

*„Die Schiene ist Fahrfläche, Träger und Führungselement zugleich. Sie wird statisch und dynamisch gleichermaßen beansprucht“ (12 S. 89)*

Es kommen Vignol- oder Rillenschienen zum Einsatz. Die Profilgrundform einer Vignolschiene weist einen Fahrkopf, einen Schienensteg und einen Schienenfuß auf. Im Gegensatz zu einer Vignolschiene weist die Rillenschiene einen integrierten Spurkanal auf, um den Spurkranz des Rades zu führen. Es handelt sich hierbei um eine Breitfußschiene bestehend aus einem Fahrkopf, Rillenkopf, Spurrille, Schienensteg und Schienenfuß (siehe Abbildung 2.5). (2 S. 232)

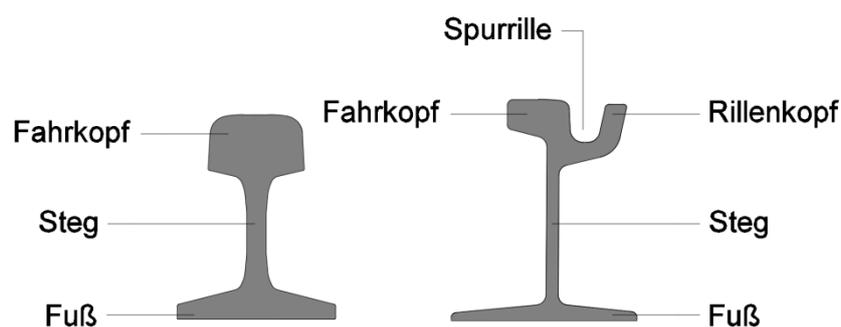
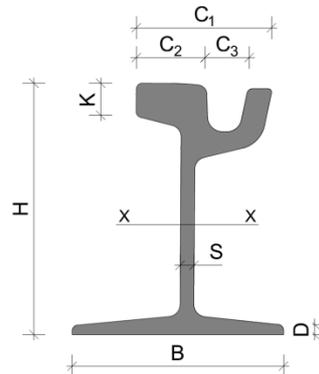


Abbildung 2.5 Profilgrundformen einer Vignol- und einer Rillenschienen (Eigene Darstellung)

Die Rillenschiene wurde speziell für den innerstädtischen Bereich entwickelt damit eine gemeinsame Nutzung der Gleiszone durch den MIV und dem ÖV gewährleistet werden kann. Sie wird vorwiegend in Verbindung mit einer befahrbaren Gleiseindeckung ausgeführt. Die Oberflächeneindeckung kann den Spurkanal nicht beeinträchtigen.

## Arten

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Rillenschienenprofilen. Im Nahverkehr haben sich folgende Rillenschienenprofile durchgesetzt (siehe Abbildung 2.1): (13 S. 213)



Gebräuchliche Rillenschienenprofile im ÖPNV										
Profil	<i>H</i>	<i>B</i>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>3</sub>	<i>K</i>	<i>D</i>	<i>S</i>	<i>I</i> <sub>x</sub>	<i>W</i> <sub>x</sub>
	Schienenhöhe	Fußbreite	Kopfbreite	Fahrkopfbreite	Rillenenbreite	Kopfhöhe	Fußdicke	Stegdickte	Trägheitsmoment	Widerstandsmoment
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
53R1	130,00	150,00	113,00	55,83	36,34	41,15	9,50	12,00	1326,00	208,30
59R1	180,00	180,00	113,00	56,00	42,00	41,15	8,00	12,00	3266,80	373,80
59R2	180,00	180,00	113,00	55,83	42,52	41,15	8,00	12,00	3210,60	363,10
60R1	180,00	180,00	113,00	56,00	36,00	41,15	8,00	12,00	3352,90	391,40
60R2	180,00	180,00	113,00	55,83	36,34	41,15	8,00	12,00	3298,10	380,60

Tabelle 2.1 Kennwerte von gebräuchlichen Rillenschienenprofile im ÖPNV (13 S. 213) (Eigene Darstellung)

### 2.2.1.3 Teilsystem 3 - Spurhaltungsvorrichtung

#### Aufgabe

Spurstangen sind für die Einhaltung der korrekten Spurweite und für die Sicherstellung der Rahmensteifigkeit des Gleises verantwortlich. Sie bilden eine Verbindung zwischen 2 Rillenschienen in Querrichtung und werden auf Höhe des Steges des Rillenschienenprofils orthogonal mittels Schrauben und Muttern montiert. (14 S. 35)

#### Bestandteile

Der Spurstangensatz besteht aus Spurstangen, Spurstangenschrauben, den zugehörigen Muttern und Ausgleichsplättchen (siehe Abbildung 2.6). Die Spurregulierung erfolgt durch Einlegen von Spurausgleichsplättchen zwischen der Spurstange und dem Schienensteg. (11 S. 175) Bei den Spurstangen selber handelt es sich um Flachstahl. Bei Gleiseindeckungen in Form von Platteneindeckung (PE) oder Ortbetoneindeckung (BE) befinden sich die Fugen der Elemente auf Höhe der Spurstangen.

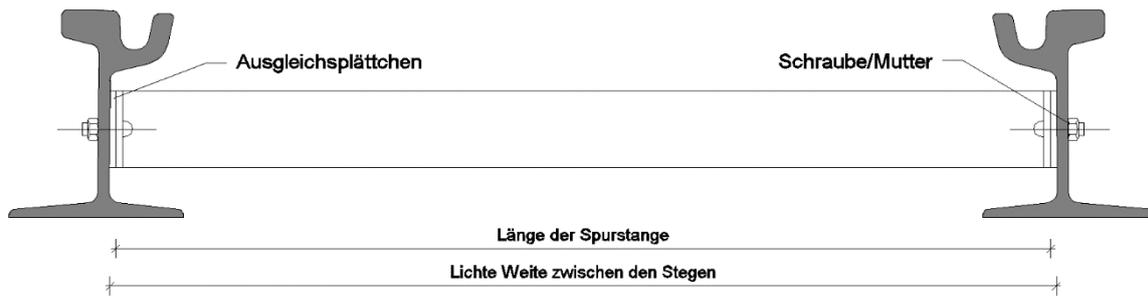


Abbildung 2.6 Elemente eines Spurstangensatz (Eigene Darstellung)

#### 2.2.1.4 Teilsystem 4 - Schienenbefestigung

##### Aufgaben

Die Hauptaufgabe eines Schienenbefestigungssystems ist die Schienen mit der darunterliegenden Schwelle bzw. Tragkonstruktion kraftschlüssig zu verbinden. Weitere Aufgaben sind die Gewährleistung einer sicheren Spurführung und der erforderlichen Elastizität des Oberbaus. (7 S. 133)

##### Arten

Hinsichtlich der Grundform eines Schienenbefestigungssystems werden folgende Arten unterschieden: (2 S. 224)

- ◆ Unmittelbare Schienenbefestigung
- ◆ Mittelbare Schienenbefestigung
- ◆ Doppelt mittelbare Schienenbefestigung

Eine detaillierte Erläuterung der unterschiedlichen Arten der Schienenbefestigungen kann in (2) oder (7) nachgelesen werden. Im innerstädtischen Bereich für geschlossene Rillenschienenoberbauten kommen im Allgemeinen einfache Ausführungsformen der unmittelbaren Schienenbefestigungssysteme zur Anwendung. (2 S. 228) Die gebräuchlichsten Formen für Bauarten der Festen Fahrbahn im ÖPNV sind (siehe Abbildung 2.2): (4 S. 218)

Gebräuchliche Schienenbefestigungssysteme für Bauarten der FF im ÖPNV				
Bezeichnung	Hersteller	Art		
		Unmittelbar	Mittelbar	Doppelt mittelbar
W-Befestigung	Vossloh	X		
W-Tram-Befestigung	Vossloh		X	
SP-Befestigung	Pfleiderer/BVG	X		
MX 1520-Befestigung	ThyssenKrupp	X		
NABLA-Befestigung	Kunshan Alex	X		

Tabelle 2.2 Gebräuchliche Schienenbefestigungssysteme für Bauarten der FF im ÖPNV (4 S. 218) (Eigene Darstellung)

#### 2.2.1.5 Teilsystem 5 - Funktionelle Trennung

##### Aufgaben

Als funktionelle Trennung kommen vorwiegend Fertigteile zum Einsatz. Die statischen und dynamischen Belastungen werden über die Schiene auf die Fertigteile gleichmäßig verteilt.

Aufgabe der Fertigteile ist die Abtragung der einwirkenden Kräfte und die Sicherstellung der korrekten Spurweite. (15 S. 5)

### Arten

Im Allgemeinen kommen für Fertigteile entweder Schwellen, Betonplatten, Betonrahmen, Betonlängsbalken oder einzelne Betonblöcke unter den Schienenstützpunkten in Frage. In der Regelausführung einer Festen Fahrbahn werden Schwellen aus Beton eingesetzt. (4 S. 221) Dabei wird zwischen Monoblock-Spannbetonschwellen und Zweiblock-Stahlbetonschwellen unterschieden. (2 S. 208-212)

#### 2.2.1.6 Teilsystem 6 - Zwischenschicht

Zwischenschichten werden angeordnet, um unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Durch die Einlage einer elastischen Schichte können Schwingungen durch die elastische Entkoppelung gemindert werden. Zusätzlich trägt sie zu einer gleichmäßigeren Lastverteilung und Reduzierung der dynamischen Belastung bei. Eine Zwischenschicht aus Füllbeton kann einerseits der Kompensation der Toleranzen beim Einbau der Fertigteile oder als Verbindung der Fertigteile mit der oberen Tragschicht dienen (Verbundlösung). (10 S. 41)

#### 2.2.1.7 Teilsystem 7 – Obere Tragschicht

Bei der Festen Fahrbahn (FF) kommt als obere Tragschicht eine gebundene Betontragschicht (BTS) oder Asphalttragschicht (ATS) zum Einsatz. (4 S. 23) Die BTS besteht aus einer fugenlos betonierten rechteckigen Betonschicht mit einer optionalen konstruktiven zentrischen Bewehrung. (4 S. 49) Die ATS ist ein Gemisch aus Gesteinskörnungen und einem Bindemittel, beispielsweise Bitumen. Sie wird in mehreren Lageschichten, in der Regel 3 bis 4, aufgebracht und verdichtet. Die Anwendung der BTS wird der ATS vorgezogen. (4 S. 51)

#### 2.2.1.8 Teilsystem 8 – Untere Tragschicht

Für die untere Tragschicht bei der Festen Fahrbahn (FF) unterscheidet man im Allgemeinen die hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) und die ungebundene Schottertragschicht (STS). (4 S. 53) Die HGT ist eine Mischung aus Mineralstoffen, welche mit Portlandzement verfestigt werden. Die Materialien können Natursand, Brechsand und Splitt sein. (7 S. 174) Die HGT hat zum Zweck die Vermeidung einer Überbeanspruchung der oberen Tragschichten durch die einwirkenden dynamischen Belastungen. (4 S. 53) Da sich im Laufe der Zeit zwischen den gebundenen Tragschichten Wasser einlagern kann, wird immer häufiger auf eine STS zurückgegriffen. Hierbei handelt es sich um eine Schicht aus gebrochenem Gesteinsmaterial. (4 S. 53) Zusätzlich kann, wie beim Schotteroberbau, auch eine FSS unter der HGT oder der STS eingebaut werden. (4 S. 24) Sie erfüllt die gleichen Funktionen wie beim Schotteroberbau.

#### 2.2.1.9 Teilsystem 9 und 10 – Unterbau und Untergrund

Beim Unterbau handelt sich hierbei um ein verdichtetes Erdbauwerk oder Kunstbauwerk wie Brücken, Kunstbauten oder Stützmauern. (3 S. 377) Der Untergrund besteht meistens aus

gewachsenem Boden oder einer verdichteten Übergangsschicht. (3 S. 377) Eine detaillierte Erläuterung ist in (7 S. 179) zu finden.

### 2.3 Geschlossener Oberbau als FF – Konstruktionsarten & Bauarten

Es gibt eine Vielzahl an entwickelten Bauarten für geschlossene Feste Fahrbahn Systeme. Um die Übersicht zu wahren wurde eine Einteilung der Systeme nach konstruktiven Gesichtspunkten vorgenommen mit dem Ziel, einzelne Bauarten eindeutig zuordnen zu können. Im Hinblick auf die Lagerungsart der Schienen können in einem ersten Schritt Systeme mit Stützpunktlagerung und jene mit kontinuierlicher Lagerung der Schiene unterschieden werden. In einem weiteren Schritt erfolgt eine weitere Unterteilung der Systeme unter Berücksichtigung der Reihenfolge der Anordnung in vertikaler Richtung, das Vorhandensein oder das Ausbleiben von den in Kapitel 2.2 definierten Teilsystemen (siehe Abbildung 2.7). (10)

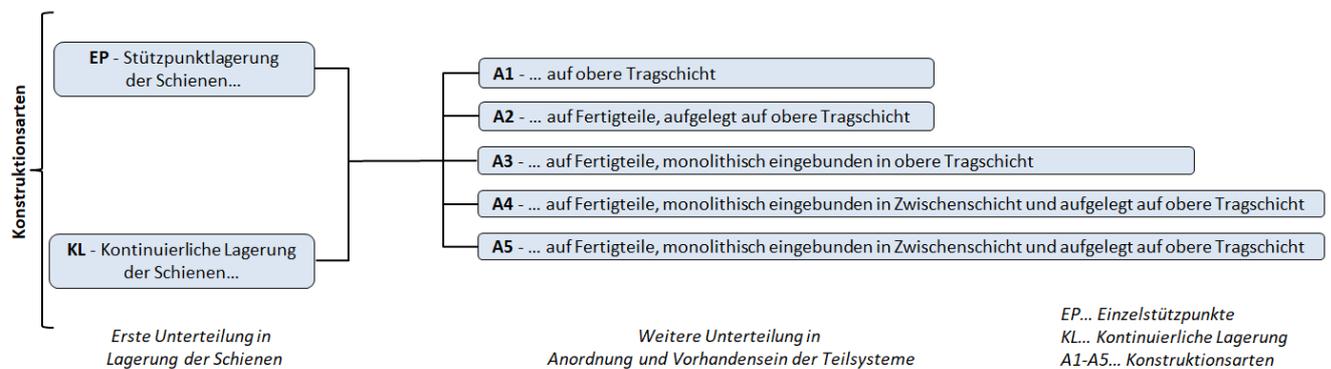
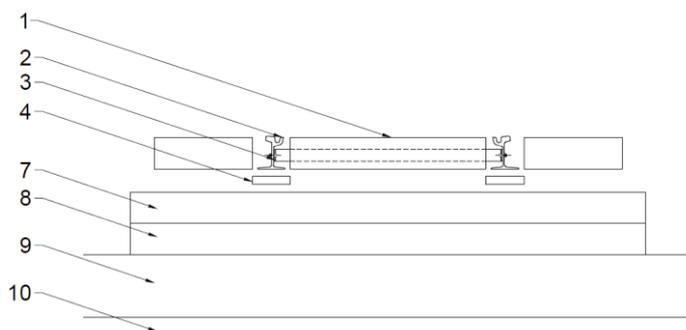


Abbildung 2.7 Gliederung der Konstruktionsarten (Eigene Darstellung)

#### 2.3.1.1 Konstruktionsart – A1



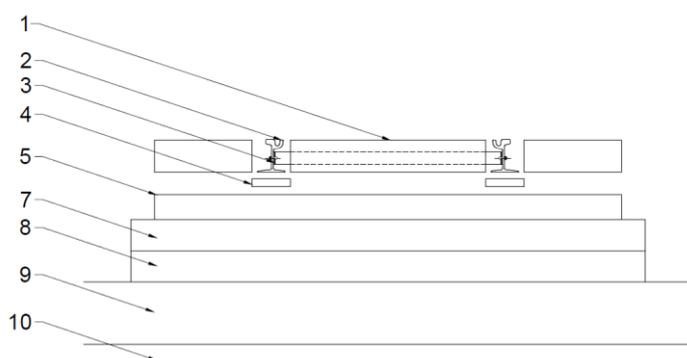
#### Aufbau Konstruktionsart - A1

- Teilsystem 1      *Oberflächeneindeckung*
  - Teilsystem 2      *Schiene*
  - Teilsystem 3\*      *Spurstange*
  - Teilsystem 4      *Schienenbefestigung*
  - Teilsystem 5      *Funktionelle Trennung*
  - Teilsystem 6      *Zwischenschicht*
  - Teilsystem 7      *Obere Tragschicht*
  - Teilsystem 8      *Untere Tragschicht*
  - Teilsystem 9      *Unterbau*
  - Teilsystem 10      *Untergrund*
- \*Teilsystem 3 nicht immer vorhanden

Abbildung 2.8 Konstruktionsart A1 (Eigene Darstellung)

**Kurzbeschreibung:** Kontinuierliche Lagerung oder Stützpunktlagerung der Schienen direkt auf der oberen Tragschicht ohne Anordnung von Fertigteilen und Zwischenschichten.

### 2.3.1.2 Konstruktionsart – A2



#### Aufbau Konstruktionsart – A2

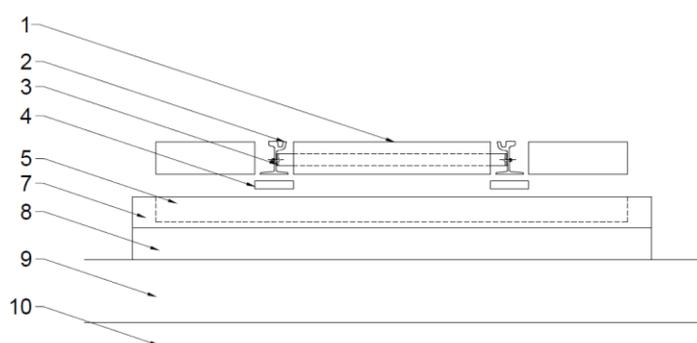
Teilsystem 1	<i>Oberflächeneindeckung</i>
Teilsystem 2	<i>Schiene</i>
Teilsystem 3*	<i>Spurstange</i>
Teilsystem 4	<i>Schienenbefestigung</i>
Teilsystem 5	<i>Funktionelle Trennung</i>
Teilsystem 6	<i>Zwischenschicht</i>
Teilsystem 7	<i>Obere Tragschicht</i>
Teilsystem 8	<i>Untere Tragschicht</i>
Teilsystem 9	<i>Unterbau</i>
Teilsystem 10	<i>Untergrund</i>

*\*Teilsystem 3 nicht immer vorhanden*

Abbildung 2.9 Konstruktionsart A2 (Eigene Darstellung)

**Kurzbeschreibung:** Kontinuierliche Lagerung oder Stützpunktlagerung der Schienen direkt auf die Fertigteile welche auf die obere Tragschicht aufgelegt werden.

### 2.3.1.3 Konstruktionsart – A3



#### Aufbau Konstruktionsart – A3

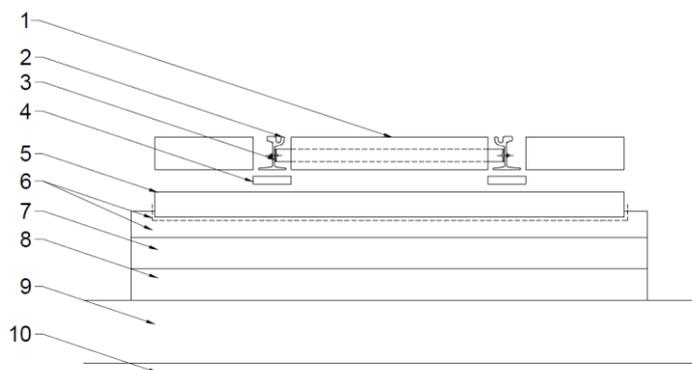
Teilsystem 1	<i>Oberflächeneindeckung</i>
Teilsystem 2	<i>Schiene</i>
Teilsystem 3*	<i>Spurstange</i>
Teilsystem 4	<i>Schienenbefestigung</i>
Teilsystem 5	<i>Funktionelle Trennung</i>
Teilsystem 6	<i>Zwischenschicht</i>
Teilsystem 7	<i>Obere Tragschicht</i>
Teilsystem 8	<i>Untere Tragschicht</i>
Teilsystem 9	<i>Unterbau</i>
Teilsystem 10	<i>Untergrund</i>

*\*Teilsystem 3 nicht immer vorhanden*

Abbildung 2.10 Konstruktionsart A3 (Eigene Darstellung)

**Kurzbeschreibung:** Kontinuierliche Lagerung oder Stützpunktlagerung der Schienen direkt auf die Fertigteile welche monolithisch in die obere Tragschicht eingebunden sind.

### 2.3.1.4 Konstruktionsart – A4



#### Aufbau Konstruktionsart – A4

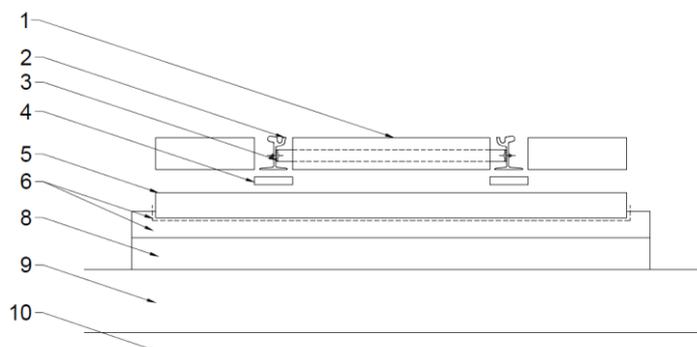
Teilsystem 1	<i>Oberflächeneindeckung</i>
Teilsystem 2	<i>Schiene</i>
Teilsystem 3*	<i>Spurstange</i>
Teilsystem 4	<i>Schienenbefestigung</i>
Teilsystem 5	<i>Funktionelle Trennung</i>
Teilsystem 6	<i>Zwischenschicht</i>
Teilsystem 7	<i>Obere Tragschicht</i>
Teilsystem 8	<i>Untere Tragschicht</i>
Teilsystem 9	<i>Unterbau</i>
Teilsystem 10	<i>Untergrund</i>

*\*Teilsystem 3 nicht immer vorhanden*

Abbildung 2.11 Konstruktionsart A4 (Eigene Darstellung)

**Kurzbeschreibung:** Kontinuierliche Lagerung oder Stützpunktlagerung der Schienen direkt auf die Fertigteile welche monolithisch in die Zwischenschicht eingebunden sind und auf die obere Tragschicht aufgelegt werden.

### 2.3.1.5 Konstruktionsart – A5



#### Aufbau Konstruktionsart – A5

- Teilsystem 1 *Oberflächeneindeckung*
  - Teilsystem 2 *Schiene*
  - Teilsystem 3\* *Spurstange*
  - Teilsystem 4 *Schienenbefestigung*
  - Teilsystem 5 *Funktionelle Trennung*
  - Teilsystem 6 *Zwischenschicht*
  - Teilsystem 7 *Obere Tragschicht*
  - Teilsystem 8 *Untere Tragschicht*
  - Teilsystem 9 *Unterbau*
  - Teilsystem 10 *Untergrund*
- \*Teilsystem 3 nicht immer vorhanden

Abbildung 2.12 Konstruktionsart A5 (Eigene Darstellung)

**Kurzbeschreibung:** Kontinuierliche Lagerung oder Stützpunktlagerung der Schienen direkt auf die Fertigteile welche monolithisch in die Zwischenschicht eingebunden sind und auf die untere Tragschicht aufgelegt werden.

### 2.3.2 Bauarten

Im Folgenden eine Übersicht über gängige Bauarten von FF Systemen im innerstädtischen Bereich mit Einordnung der definierten Konstruktionsarten (siehe Tabelle 2.3). (4 S. 223-249)

		Konstruktionsart				
		A1	A2	A3	A4	A5
<b>Bauart</b>	<i>Rheda City</i>			X		
	<i>Berlin NBS</i>			X		
	<i>ATD</i>		X			
	<i>BÖGL LRB</i>					X
	<i>WSG</i>					X
	<i>EDILON</i>				X	
	<i>Wiener Linien</i>	X				

Tabelle 2.3 Gebräuchliche Bauarten der FF im ÖPNV (4 S. 223-249) (Eigene Darstellung)

Erläuterungen zu den einzelnen Bauarten können in (4 S. 223-249) nachgelesen werden.

### 3 Fahrweg der Straßenbahn – Betriebs- und Verkehrssicherheit

Im Folgenden Kapitel werden die Anforderungen an die Gleisinfrastruktur mit Fokus auf die Oberflächeneindeckung im Hinblick auf die Betriebs- und Verkehrssicherheit erläutert.

Dazu werden in einem ersten Schritt Anforderungen zur Erfüllung der Betriebs- und Verkehrssicherheit seitens der Nutzer einer Gleiszone an die Oberflächeneindeckung identifiziert. In einem weiteren Schritt gilt es herauszufinden, welche Gebrauchseigenschaften der Oberflächeneindeckung zur Erfüllung dieser gewährleistet werden müssen. Die Erkenntnisse aus diesem Kapitel stellen die Grundlage für Kapitel 4 dar in welcher unter anderem die Schäden, Mängel und unerwünschter Veränderungen an den unterschiedlichen Arten der Oberflächeneindeckung in Folge von Abweichungen aus den geforderten Gebrauchseigenschaften behandelt werden.

#### 3.1 Allgemeines

Innerstädtische Gleiszone werden von unterschiedlichen Verkehrsarten des Personen- und Güterverkehrs in Anspruch genommen. Dabei kann in erster Linie zwischen dem Individualverkehr (IV) und dem Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) unterschieden werden. Der Individualverkehr kann weiter unterteilt werden in den Motorisierten Individualverkehr und den nicht-motorisierten Individualverkehr. Beim Öffentlichen Personennahverkehr kann, abhängig vom Transportsystem, unterschieden werden in den Öffentlichen Straßen-Personennahverkehr und den Öffentlichen Schienen-Personennahverkehr (siehe Abbildung 3.1). (16 S. 7)

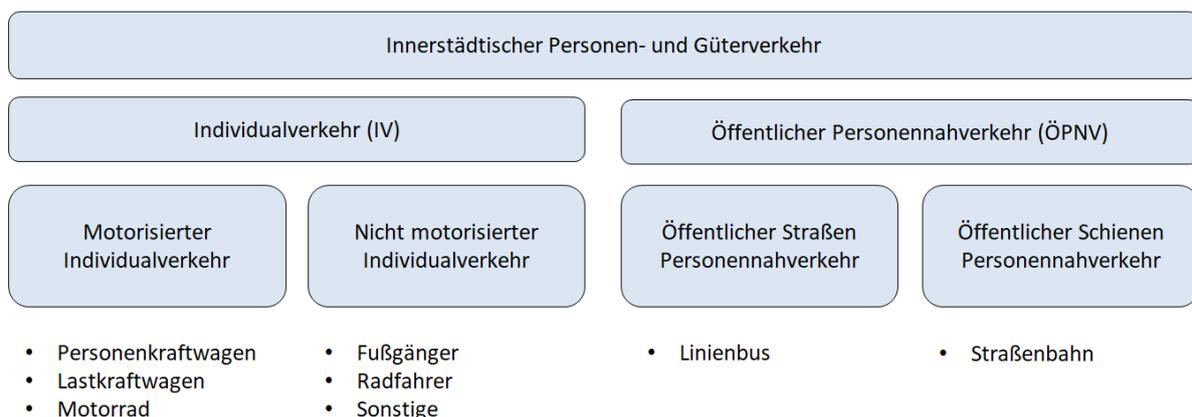


Abbildung 3.1 Verkehrsteilnehmer innerstädtischer Gleiszone (16 S. 7) (Eigene Darstellung)

Durch die gemeinsame Nutzung der Gleiszone von den unterschiedlichen Verkehrsarten werden besondere Anforderungen an den Fahrweg gestellt. In Bezug auf die Sicherheit hat die Gleiszone für den Straßenverkehr die Kriterien der *Verkehrssicherheit* und für den Schienenverkehr die Kriterien der *Betriebssicherheit* zu erfüllen. Verkehrssicherheit und Betriebssicherheit stehen dabei im engen Zusammenspiel mit den Gebrauchseigenschaften und den Substanzeigenschaften einer Gleiszone. Der Straßenverkehr und Schienenverkehr

als Nutzer stellen Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften einer Gleiszone. Infrastrukturbetreiber hingegen stellen neben den Gebrauchseigenschaften zusätzliche Anforderungen an die Substanzeigenschaften einer Gleiszone wie beispielsweise Standfestigkeit und Ermüdungsresistenz (siehe Abbildung 3.2). (17 S. 9)

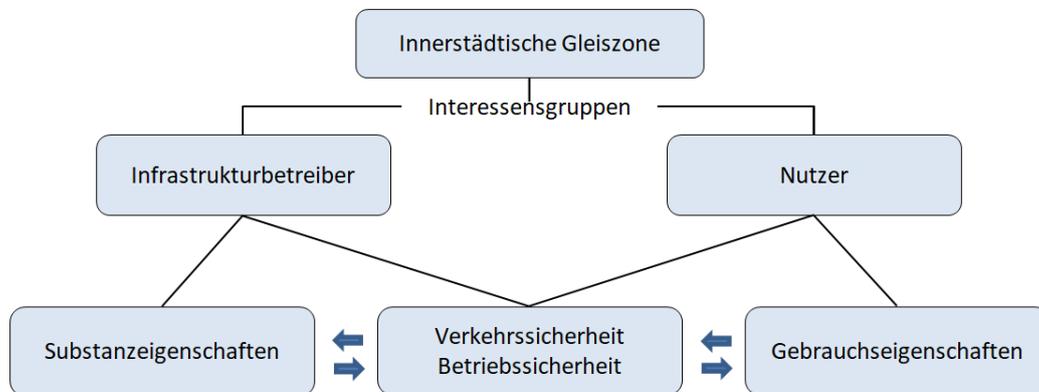


Abbildung 3.2 Einflüsse auf die Verkehrs- und Betriebssicherheit (17) (Eigene Darstellung)

Verkehrssicherheit und Betriebssicherheit resultieren aus guten Gebrauchseigenschaften. Gute Gebrauchseigenschaften lassen in der Regel auf gute Substanzeigenschaften schließen und somit auf ein hohes Qualitätsniveau der Substanz einer Gleiszone. Schlechte Substanzeigenschaften führen früher oder später zu unerwünschten Veränderungen, Mängeln und Schäden in der Gleiszone was die Gebrauchseigenschaften und somit die Verkehrssicherheit und Betriebssicherheit negativ beeinflussen kann. (17 S. 9) Im Folgenden wird auf die Betriebssicherheit und die Verkehrssicherheit eingegangen um relevante Gebrauchseigenschaften und Anforderungen für die Oberflächeneindeckung definieren zu können.

### 3.2 Betriebssicherheit – Schienenverkehr

Zur Erfüllung der Betriebssicherheit für den Schienenverkehr hat der erforderliche lichte Raum einer Straßenbahn von festen oder beweglichen Komponenten des Oberbaus freigehalten zu sein. Dabei handelt es sich, bezogen auf die Oberflächeneindeckung, um jenen Raum unterhalb des Fahrzeugbodens, welcher für eine ungehinderte und betriebssichere Fahrt erforderlich ist.

*„Der lichte Raum ist der zu jedem Gleis gehörende Raum, der für einen sicheren Betrieb der Fahrzeuge von festen und beweglichen Gegenständen freizuhalten ist.“  
(§18 Abs. 1 StrabVO, 1999) (1)*

*„Die Umgrenzung des lichten Raumes sowie die lichtraumtechnisch maßgebenden Merkmale der Fahrzeuge und des Gleises sind so aufeinander abzustimmen, daß es in keinem zulässigen Betriebszustand zu gefährdenden Berührungen zwischen Fahrzeugen und Gegenständen sowie zwischen Fahrzeugen auf benachbarten Gleisen kommen kann.“(§18 Abs. 2 StrabVO, 1999) (1)*

Um die erforderliche Bodenfreiheit einer Straßenbahn zu ermitteln kann eine Lichtraumberechnung durchgeführt werden. Dazu ist der vertikal erforderliche lichte Raum der Straßenbahn unterhalb des Fahrzeugbodens für die maßgebenden Umrisspunkte  $P$  des Fahrzeuges zu ermitteln. Zur Ermittlung des erforderlichen lichten Raums kann die BOStrab-Lichtraum-Richtlinie (18) herangezogen werden. Der benötigte Abstand unterhalb des Fahrzeugbodens wird dabei unter Berücksichtigung von fahrzeugseitigen, gleistechnischen und trassierungsrelevanten Einflussfaktoren, bezogen auf die entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT), ermittelt. Die Vorgehensweise und Berechnungen, welche in der BOStrab-Lichtraum-Richtlinie zugrunde gelegt sind, sind sowohl für Hochflurstraßenbahnen mit konventionellen Drehgestellen als auch für Niederflurstraßenbahnen mit Einzelradfahrwerken geeignet.

### 3.2.1 Begriffsbestimmungen

#### **Gemeinsame Fahrflächentangenten (GFT)**

Die gemeinsame Fahrflächentangente ist eine Ebene, welche durch die Verbindung der beiden Scheitelpunkte der Fahrköpfe mit einer Geraden gezogen wird. Die entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente ist die GFT von einem Gleis im Neuzustand (Soll-Lage). Sämtliche Höhenmaße der Lichtraumberechnung beziehen sich auf diese Ebene.

#### **Fahrzeugmittellinie**

Bei der Fahrzeugmittellinie handelt es sich um die Hochachse, welche senkrecht in Bezug auf die gemeinsame Fahrflächentangente (GFT) und die Fahrzeuglängsachse verläuft.

#### **Anlenkpunkte**

Ein Anlenkpunkt ist der Verbindungspunkt zwischen dem Wagenkasten und dem Fahrwerk.

#### **Fahrzeuglängsachse**

Die Fahrzeuglängsachse verbindet die Anlenkpunkte eines Wagenkastens.

#### **Mitte der Wagenkastenanlenkung**

Die Mitte der Wagenkastenanlenkung befindet sich zwischen zwei Anlenkpunkten.

#### **Umrisspunkt P**

Bei der Lichtraumberechnung handelt es sich um eine (punktuelle) Berechnung des erforderlichen lichten Raums eines Fahrzeugpunktes. Ein beliebiger Fahrzeugpunkt wird dabei Umrisspunkt  $P$  genannt, welcher in seiner Lage durch die Koordinaten  $x$ ,  $b$  und  $h$  eindeutig beschrieben ist (siehe Abbildung 3.3).

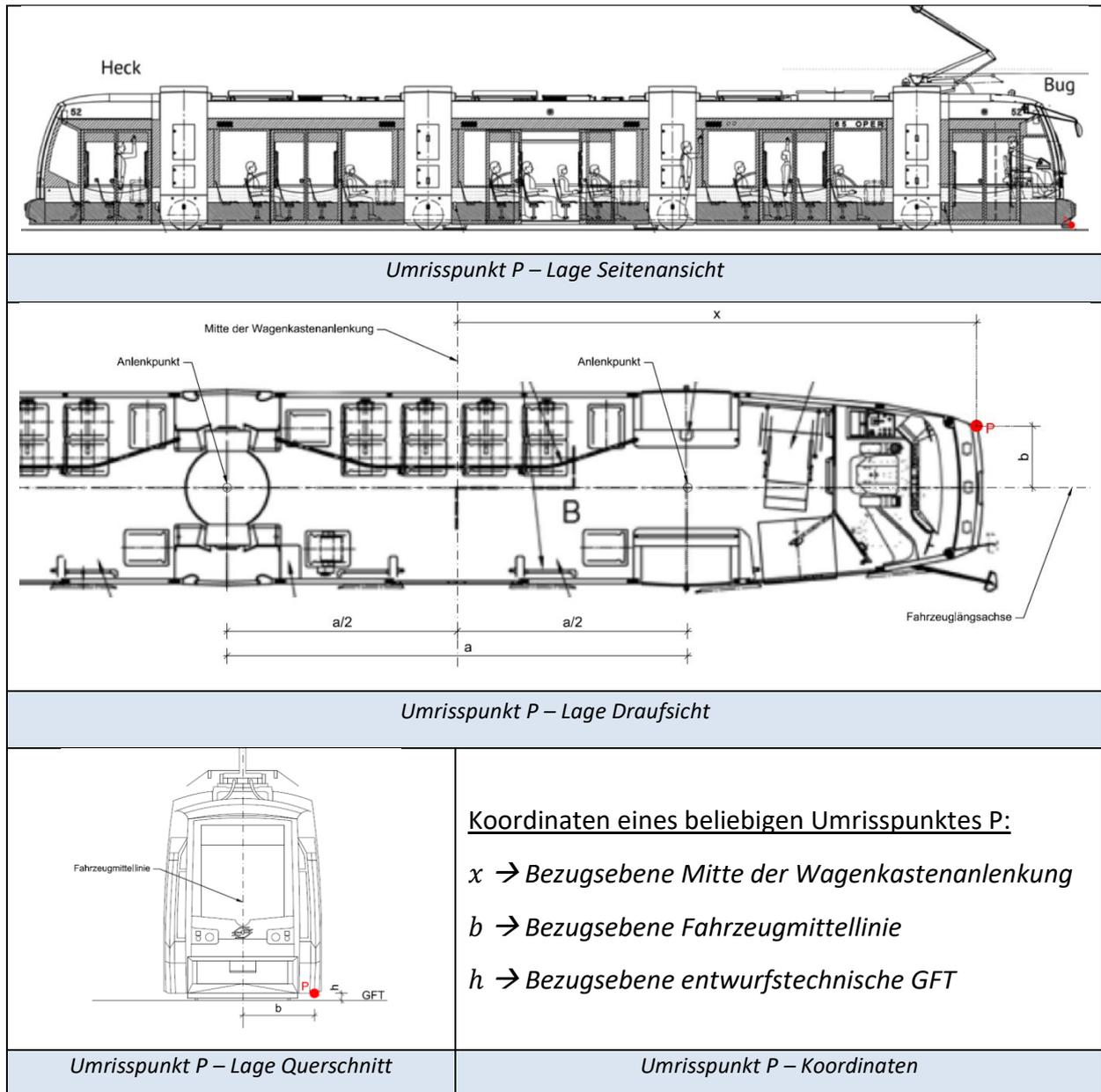


Abbildung 3.3 Beispielhafter Umrisspunkt P – Niederflurstraßenbahn ULF Typ-A Wiener Linien (19) (Eigene Darstellung)

### 3.2.2 Vertikaler Lichtraumbedarf

Zur Ermittlung des vertikal erforderlichen lichten Raums unterhalb des Fahrzeugbodens einer Straßenbahn sind gemäß BOStrab-Lichtraum-Richtlinie (18) folgende geometrischen Einflüsse zu berücksichtigen:

- ◆ *Vertikale Ausragungen*  $\rightarrow$  Einfluss von trassierungsrelevanten Faktoren
- ◆ *Vertikale Verschiebungen*  $\rightarrow$  Einfluss von fahrzeugeitigen und gleistechnischen Faktoren
- ◆ *Vertikale Verlagerungen*  $\rightarrow$  Einfluss von fahrzeugeitigen und gleistechnischen Faktoren

### 3.2.2.1 Vertikale Ausragungen

Neigungswechsel in Form von Kuppen oder Wannen haben einen Einfluss auf den vertikal erforderlichen lichten Raum unterhalb des Fahrzeugbodens. Bei Kuppen und Wannen ergeben sich, in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeometrie und der Ausrundungsgeometrie, vertikale Ausragungen unter dem Fahrzeug die bei Ermittlung der Bodenfreiheit zu berücksichtigen sind.

#### Vertikale Ausragung bei Kuppen $Z_{KU}$

Bei Kuppen entsteht durch die Ausrundungsgeometrie ein zusätzlicher Lichtraumbedarf zwischen den Anlenkpunkten des Wagenkastens an der Unterkante des Fahrzeugbodens (siehe Abbildung 3.4).

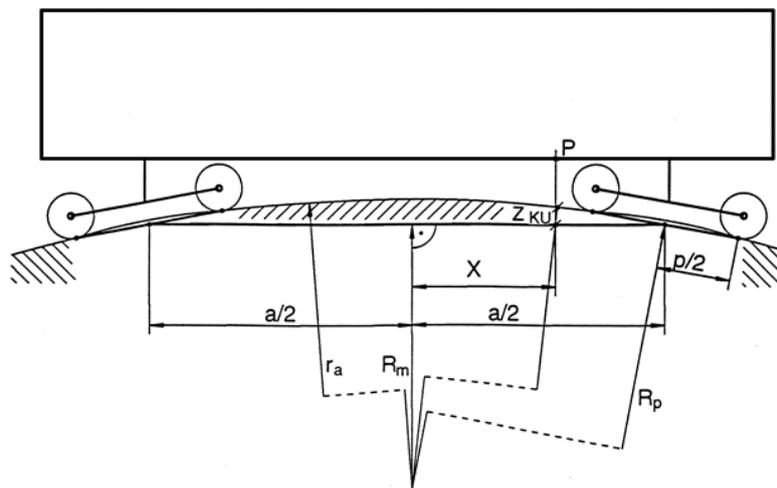


Abbildung 3.4 Vertikale Ausragung  $Z_{KU}$  – Neigungswechsel in Form von Kuppen (18 S. 43)

Der zusätzliche Lichtraumbedarf  $Z_{KU}$  bei einem Neigungswechsel in Form von einer Kuppe beträgt für den betrachteten Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $x$  von der Mitte der Wagenkastenankelung befindet: (18 S. 44)

$$Z_{KU} = R_{KU} - \sqrt{R_{KU}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2}$$

$R_{KU}$	Radius Kuppe [mm]
$a$	Abstand der Anlenkpunkte [mm]
$p$	Achsstand [mm]

#### Vertikale Ausragung bei Wannen $Z_{WA}$

Bei Wannen entsteht durch die Ausrundungsgeometrie ein zusätzlicher Lichtraumbedarf außerhalb der Anlenkpunkte des Wagenkastens an der Unterkante des Fahrzeugbodens (siehe Abbildung 3.5).

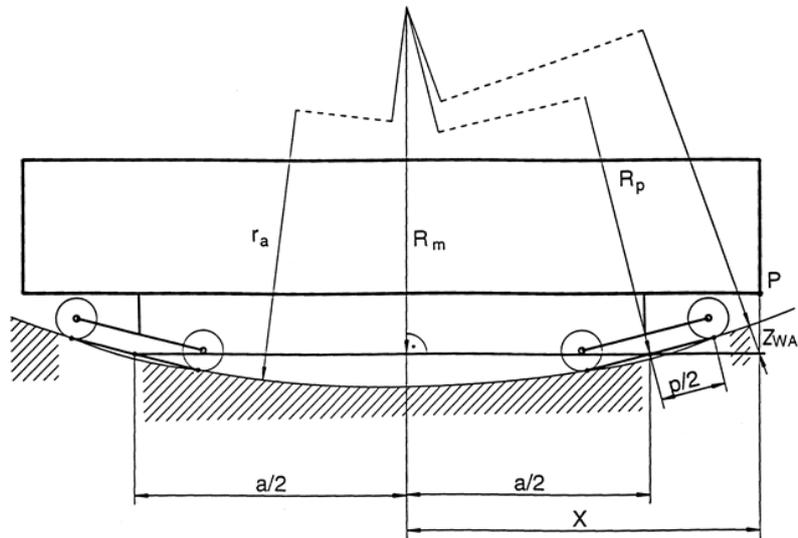


Abbildung 3.5 Vertikale Ausragung  $Z_{WA}$  – Neigungswechsel in Form von Wannen (18 S. 43)

Der zusätzliche Lichtraumbedarf  $Z_{WA}$  bei einem Neigungswechsel in Form von einer Wanne beträgt für einen betrachteten Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $x$  von der Mitte der Wagenkastenanklenkung befindet: (18 S. 44)

$$Z_{WA} = \sqrt{R_{WA}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} - R_{WA}$$

$R_{WA}$	Radius Wanne [mm]
$a$	Abstand der Anlenkpunkte [mm]
$p$	Achsstand [mm]

### 3.2.2.2 Vertikale Verschiebungen

„ist die Verschiebung eines Fahrzeugquerschnittes senkrecht zur entwurfstechnischen GFT infolge von Bautoleranzen sowie Lagetoleranzen durch Ausschöpfung von Spielen, Verschleiß und Federwegen am Fahrzeug und am Gleis“ (18 S. 6)

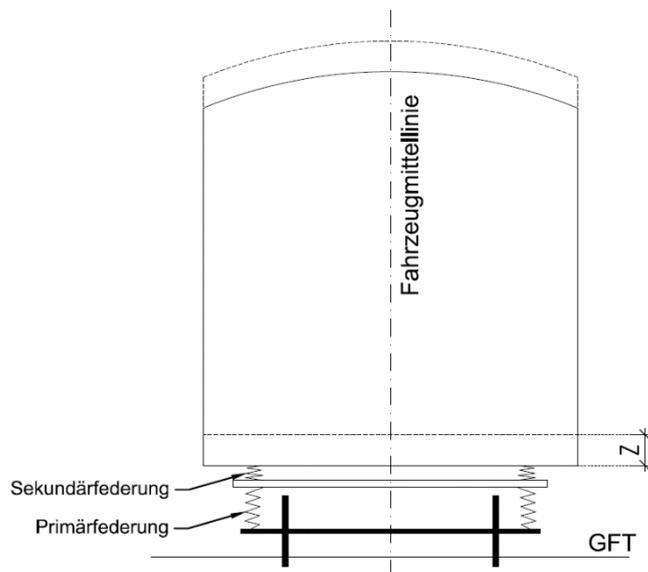


Abbildung 3.6 Vertikale Verschiebung (18 S. 6) – Prinzipskizze (eigene Darstellung)

Zur Ermittlung der maximal vertikalen Verschiebungen (siehe Abbildung 3.6) müssen die fahrzeugseitigen und gleistechnischen Einflüsse berücksichtigt werden.

1) Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

**Statischer Federweg der Primärfederung  $Z_{FP}$**

Die Besetzung der Straßenbahn durch Fahrgäste führt zu einer Erhöhung der Masse des Wagenkastens. Durch diese zusätzliche Last erfolgt eine statische Einfederung des Wagenkastens. Der Federweg und somit die vertikale Verschiebung des Wagenkastens nach unten ist dabei abhängig von der zusätzlichen Nutzlast  $m_{voll} - m_{leer}$ , der Federkonstante  $c$  und der Anzahl an Federpaaren  $n$ . Dabei muss für  $m_{voll}$  die maximal zulässige Nutzlast angesetzt werden. Für die Primärfederung ergibt sich somit folgender Federweg in Richtung der GFT: (18)

$$Z_{FP} = \frac{(m_{voll} - m_{leer}) * g}{2 * n_P * c_P}$$

$m_{voll}$	Masse vollbesetzter Wagenkasten [kg]
$m_{leer}$	Masse leerer Wagenkasten [kg]
$g$	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
$c_P$	Federkonstante Primärfederung [N/mm]
$n_P$	Anzahl Federpaare Primärfederung [-]

**Statischer Federweg der Sekundärfederung  $Z_{FS}$**

Für die Sekundärfederung ergibt sich analog zur Ermittlung des Federweges der Primärfederung folgender Federweg in Richtung der GFT: (18)

$$Z_{FS} = \frac{(m_{voll} - m_{leer}) * g}{2 * n_S * c_S}$$

$m_{voll}$	Masse vollbesetzter Wagenkasten [kg]
$m_{leer}$	Masse leerer Wagenkasten [kg]
$g$	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
$c_S$	Federkonstante Sekundärfederung [N/mm]
$n_S$	Anzahl Federpaare Sekundärfederung [-]

**Dynamischer Federweg der Primärfederung  $Z_{DP}$**

Große dynamische Federwege treten beispielsweise bei einer Gefahrenbremsung mit der maximal zulässigen Bremsverzögerung des Straßenbahnfahrzeuges auf. Diese sind im Allgemeinen abhängig vom zulässigen Zustand der Gleisinfrastruktur und des Fuhrparks und sind für die Lichtraumberechnung vom Fahrzeughersteller in Abstimmung mit dem Verkehrsunternehmen festzulegen.

Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18) für FF →  $Z_{DP} = \pm 5 \text{ bis } \pm 10 \text{ mm}$

### **Dynamischer Federweg der Sekundärfederung $Z_{DS}$**

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18) für FF  $\rightarrow Z_{DS} = \pm 10$  bis  $\pm 30$  mm*

### **Radreifenverschleiß $Z_{VR}$**

Als vertikaler Radreifenverschleiß ist der vom Verkehrsunternehmen im Instandhaltungsplan festgelegte maximale Verschleißwert in der Regel nicht in voller Höhe anzusetzen. Für die Lichtraumberechnung ist, aufgrund des möglichen Höhenausgleichs durch beispielsweise regelmäßiges Hochstellen der Hydraulikzylinder, ein abgemindertes Maß anzusetzen.

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18)  $\rightarrow Z_{VR} = -10$  mm*

### **Wagenkastendurchbiegung $Z_{FW}$**

Die für die Lichtraumberechnung anzusetzende Wagenkastendurchbiegung ist vom Fahrzeughersteller anzugeben. Für eine erste Überschlagsrechnung kann die Wagenkastendurchbiegung gemäß (18 S. 21) mit 1 ‰ der Stützweite angenommen werden.

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18)  $\rightarrow Z_{FW} = 1$  mm/m*

### **Einstelltoleranz der Wagenkastenunterkante $Z_{TW}$**

Die für die Lichtraumberechnung anzusetzende Einstelltoleranz der Wagenkastenunterkante ist vom Fahrzeughersteller anzugeben.

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18)  $\rightarrow Z_{TW} = \pm 5$  mm*

### **Bautoleranz der Wagenkastenunterkante $Z_{TG}$**

Die für die Lichtraumberechnung anzusetzende Bautoleranz der Wagenkastenunterkante ist vom Fahrzeughersteller anzugeben.

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18)  $\rightarrow Z_{TW} = \pm 6$  mm*

## 2) Gleistechnische Einflussfaktoren

### **Vertikaler Schienenverschleiß $Z_{VS}$**

Als vertikaler Schienenverschleiß ist der vom Verkehrsunternehmen im Instandhaltungsplan festgelegte maximale Verschleißwert in voller Höhe anzusetzen. Bei Rillenschienen darf der vertikale Verschleiß des Fahrkopfes aufgrund der geringeren Bremswirkung nur so groß sein, dass eine Spurkranzberührung vom Radreifen mit dem Rillenboden ausgeschlossen ist. (7 S. 27)

*Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18)  $\rightarrow Z_{VS} = 23$  mm*

### Vertikale Elastizität des Gleises $Z_{GE}$

Bei der vertikalen Elastizität des Gleises von Festen Fahrbahnen handelt es sich um eine betriebsbedingte elastische Gleislageänderung in vertikaler Richtung infolge Last. Diese Einfederung erfolgt aufgrund der Elastizität des Stützpunktes. Diese setzt sich zusammen aus der Elastizität des Befestigungssystems  $c_1$  und der Elastizität der Zwischenlage  $c_2$  unter der Schiene. Die vertikale Verschiebung ist somit abhängig von der Stützpunktsteifigkeit  $c$  und der wirksamen Radlast  $Q$ : (10 S. 43)

$$Z_{GE} = Q * c_{tot}$$

$Q$       wirksame Radlast [N]  
 $c_{tot}$     Stützpunktsteifigkeit [N/mm]

mit  $c_{tot} = \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right)^{-1}$

$c_1$       Steifigkeit Befestigungssystem [N/mm]  
 $c_2$       Steifigkeit elastische Zwischenlage [N/mm]

Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18) für FF  $\rightarrow Z_{GE} = -2 \text{ mm}$

### Vertikale Verschiebung des Gleises $Z_{GV}$

Hier muss der vom Verkehrsunternehmen im Instandhaltungsplan festgelegte Grenzwert zur Abweichung der vertikalen Gleislage  $\Delta_{hv}$  angesetzt werden. Dadurch ergibt sich ein Höhenunterschied im Bereich der Mitte der Wagenkastenlenkung zum Anlenkpunkt von:

$$Z_{GV} = \frac{\Delta_{hv}}{1000} * \frac{a}{2}$$

$\Delta_{hv}$     Abweichung der vertikalen Gleislage [mm/m]  
 $a$         Abstand der Anlenkpunkte [m]

In (18) wird von einer Abweichung von  $\Delta_{hv} = 1,5 \text{ mm/m}$  ausgegangen.

Größenordnung bzw. Beispielwert gemäß (18) für FF  $\rightarrow Z_{GV} = -4 \text{ mm}$

## 3.2.2.3 Vertikale Verlagerungen

„ist die Wegkomponente von Fahrzeugpunkten senkrecht zur entwurfstechnischen GFT, die sich aus der Wankbewegung des Fahrzeugs infolge von Kräften (Seitenstoß, Fliehkraft, Windkraft), von Bautoleranzen sowie Lagetoleranzen durch Ausschöpfung von Spielen, Verschleiß und Federwegen am Fahrzeug und am Gleis ergibt.“ (18 S. 6)

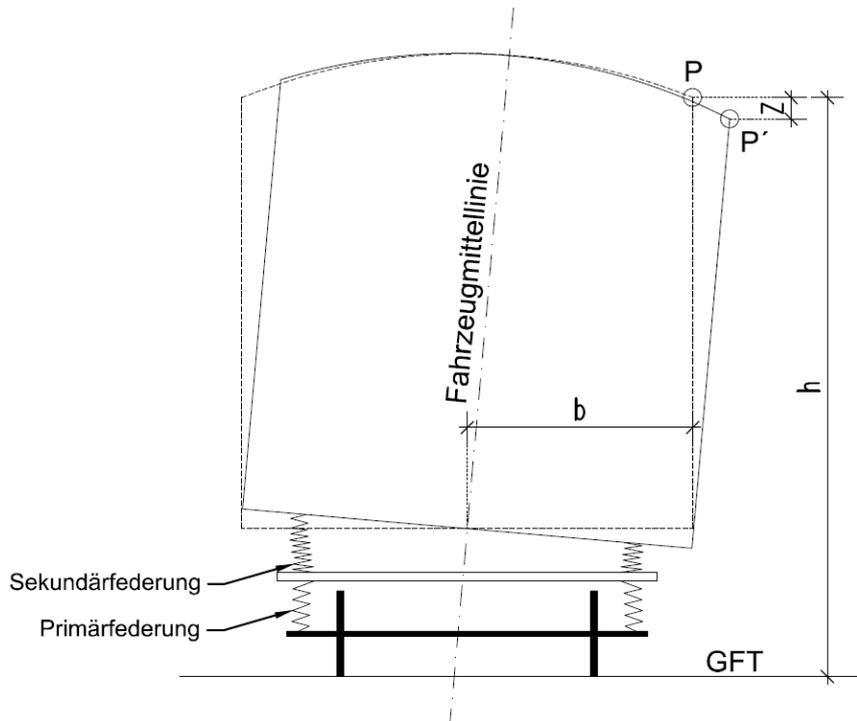


Abbildung 3.7 Vertikale Verlagerung (18 S. 7) – Prinzipskizze (eigene Darstellung)

Verlagerungen des Fahrzeuges infolge seitlicher Kräfte (siehe Abbildung 3.7) sind abhängig von der Masse des Wagenkastens  $m_{voll}$ , der Anordnung der Primär- bzw. Sekundärfeder und deren Federkonstanten  $c_P$  bzw.  $c_S$ . Die Anordnung der Primär- bzw. Sekundärfeder wird durch die Höhenpositionen  $h_{CP}$  bzw.  $h_{CS}$  und die Seitenpositionen  $b_P$  bzw.  $b_S$  beschrieben (siehe Abbildung 3.8). Die Höhenposition entspricht dabei der Oberkante der Federelemente und die Seitenposition dem Abstand der Federelemente untereinander. Dabei gilt es zu beachten, dass die Höhenpositionen  $h_{CP}$  bzw.  $h_{CS}$  sich auf das vollbesetzte Fahrzeug beziehen und dementsprechend die statische Einfederung unter Last mitberücksichtigt werden muss. Der Wankpol um den sich der Wagenkasten verlagert kann in der Fahrzeugmittellinie auf Höhe der Oberkante der Federelemente angenommen werden. In der BOStrab Lichtraum Richtlinie (18) wird empfohlen, die Verlagerungen infolge einer seitlichen Kraft für beide Federungen getrennt zu betrachten da die Abhängigkeiten zwischen der Primär- und Sekundärfeder vernachlässigt werden können und der Rechenaufwand wesentlich geringer ausfällt.

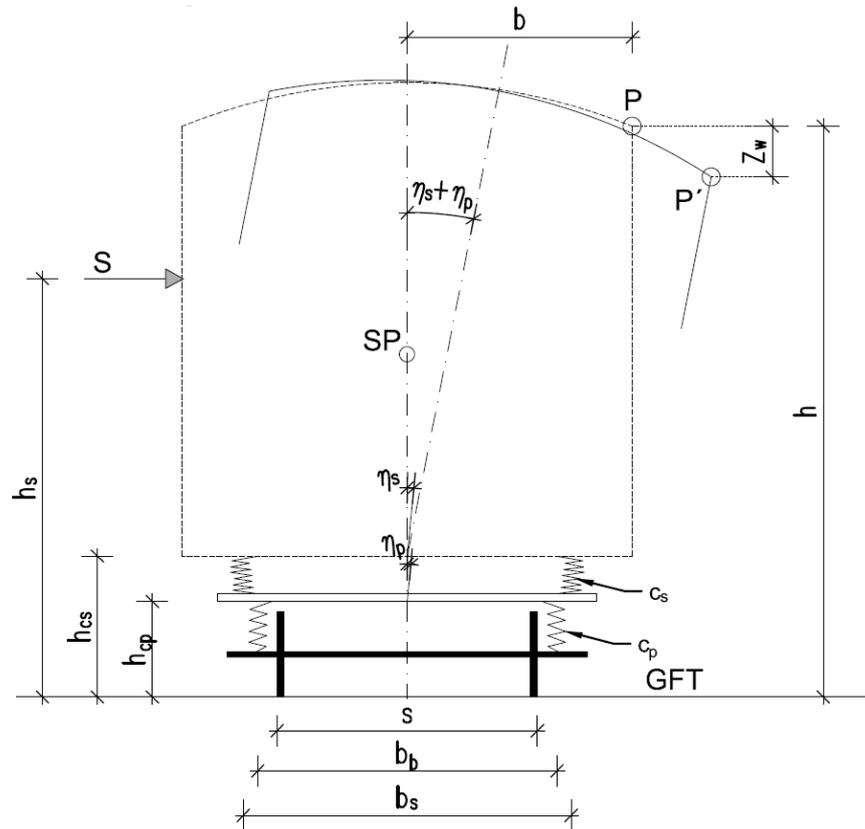


Abbildung 3.8 Verlagerungen infolge statischer und dynamischer Kräfte (18 S. 46) – Prinzipskizze (eigene Darstellung)

Infolge einer Seitenkraft  $S$  kommt es zu einer Verlagerung des Wagenkastens. Dabei dreht sich der Wagenkasten um den fixen Wankpol  $W_P$  bzw.  $W_S$ . Der Wankwinkel infolge dieser Kraft  $S$  ist  $\eta_P$  bzw.  $\eta_S$  und beträgt: (18 S. 49)

$$\tan \eta_P = S * \frac{h_S - h_{CP}}{0,5 * n_P * c_P * b_P^2}$$

$h_S$	Höhenposition Seitenkraft $S$ [mm]
$h_{CP}$	Höhenposition Primärfederung [mm]
$b_P$	Seitenposition Primärfederung [mm]
$n_P$	Anzahl Federpaare Primärfederung [-]
$c_P$	Federkonstante Primärfederung [N/mm]

$$\tan \eta_S = S * \frac{h_S - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2}$$

$h_S$	Höhenposition Seitenkraft $S$ [mm]
$h_{CS}$	Höhenposition Sekundärfederung [mm]
$b_S$	Seitenposition Sekundärfederung [mm]
$n_S$	Anzahl Federpaare Sekundärfederung [-]
$c_S$	Federkonstante Sekundärfederung [N/mm]

Infolge dieser Verlagerung verändert sich auch die Position des Wagenkastenschwerpunktes. Dadurch, dass der Schwerpunkt des Wagenkastens nicht mehr in der ursprünglichen Fahrzeugmittellinie liegt kommt es zu einer Winkelvergrößerung um einen weiteren Wankwinkel  $\eta^*$ . Dieser zusätzliche Winkelanteil wird durch den sogenannten Vergrößerungsfaktor  $f$  berücksichtigt und beträgt: (18 S. 49)

$$f = 1 + \frac{\tan \eta^*}{\tan \eta} = 1 + m_{voll} * g * \left[ \frac{h_{SP} - h_{CP}}{0,5 * n_p * c_p * b_p^2} + \frac{h_{SP} - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2} \right]$$

mit  $h_{SP}$ ... Schwerpunktlage des Wagenkastens

Somit beträgt der vertikale Anteil der Verlagerung  $Z_W$  (siehe Abbildung 3.8) infolge einer Seitenkraft  $S$  für einen Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $b$  von der Fahrzeugmittellinie befindet: (18 S. 49)

$$Z_W = S * b * \left[ \frac{h_S - h_{CP}}{0,5 * n_p * c_p * b_p^2} + \frac{h_S - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2} \right] * f$$

Zur Ermittlung der maximal vertikalen Verlagerungen müssen die fahrzeugseitigen und gleistechnischen Einflüsse berücksichtigt werden.

### 1) Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

#### **Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss $Z_{WQ}$**

Bei einer Fahrt mit Geschwindigkeit  $v$  durch einen Bogen mit Radius  $R$  und Überhöhung  $\ddot{U}$  wirkt folgende Querbeschleunigung  $a_q$ :

$$a_q = \frac{v^2}{3,6^2 * R} - g * \frac{\ddot{U}}{s}$$

$v$	Geschwindigkeit [m/s]
$R$	Radius Gleisbogen [m]
$g$	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
$\ddot{U}$	Überhöhung [mm]
$s$	Stützweite [mm]

Alternativ zu diesem Formelwerk kann, auf der sicheren Seite liegend, der in der Straßenbahnverordnung 1999 (1) für die maximal zulässige unausgeglichene Querbeschleunigung festgelegte Grenzwert  $a_q = 1,0 \text{ m/s}^2$ , herangezogen werden. Die Einhaltung dieses Grenzwerts muss bei der Trassierung berücksichtigt werden.

Die Seitenkraft  $F_Q$  aus Fliehkraftüberschuss, die auf den Wagenkasten im Bogen wirkt beträgt demnach: (18 S. 11)

$$F_Q = m_{voll} * |a_q|$$

$m_{voll}$  Masse vollbesetzter Wagenkasten [kg]  
 $a_q$  Querbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

Der Kraftangriffspunkt ist auf Höhe des Schwerpunktes des Wagenkastens anzusetzen. Demnach beträgt der vertikale Anteil der Verlagerung  $Z_{wQ}$  infolge der Seitenkraft  $F_Q$  für einen Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $b$  von der Fahrzeugmittellinie befindet: (18 S. 49)

$$Z_{wQ} = F_Q * b * \left[ \frac{h_Q - h_{CP}}{0,5 * n_p * c_p * b_p^2} + \frac{h_Q - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2} \right] * f$$

#### Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß $Z_{wS}$

Die Seitenkraft  $F_S$  aus Seitenstoß ist abhängig von der Masse welches jedes einzelne Fahrwerk trägt und der angesetzten Beschleunigung und beträgt: (18 S. 12)

$$F_S = m_s * |a_s|$$

$m_s$  Tragende Masse pro Fahrwerk [kg]  
 $a_s$  Beschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

Beim Seitenstoß handelt es sich um eine Kraftkomponente die sich in Folge von beispielsweise Unregelmäßigkeiten im Gleis (Schienenstoß) oder durch Anlaufen der Spurkränze an der Schiene aufgrund des Wellenlaufs ergibt. Der Kraftangriffspunkt ist auf Höhe des Schwerpunktes des Wagenkastens anzusetzen. Demnach beträgt der vertikale Anteil der Verlagerung  $Z_{wS}$  infolge der Seitenkraft  $F_S$  für einen Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $b$  von der Fahrzeugmittellinie befindet: (18 S. 49)

$$Z_{wS} = F_S * b * \left[ \frac{h_S - h_{CP}}{0,5 * n_p * c_p * b_p^2} + \frac{h_S - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2} \right] * f$$

In (18) wird von einer Seitenbeschleunigung von  $a_s = 0,5 \text{ m/s}^2$  ausgegangen.

### Vertikale Verlagerung aus Windkraft $Z_{WW}$

Die Seitenkraft  $F_W$  aus Seitenwind ist abhängig vom vorherrschenden Winddruck und der Windangriffsfläche des Wagenkastens und beträgt: (18 S. 12)

$$F_W = A_W * |p_W|$$

$A_W$     Windangriffsfläche Wagenkasten [m<sup>2</sup>]  
 $p_W$     Winddruck [N/m<sup>2</sup>]

Der Kraftangriffspunkt ist auf Höhe des Flächenschwerpunktes des Wagenkastens anzusetzen. Demnach beträgt der vertikale Anteil der Verlagerung  $Z_{WW}$  infolge der Seitenkraft  $F_W$  für einen Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $b$  von der Fahrzeugmittellinie befindet: (18 S. 49)

$$Z_{WW} = F_W * b * \left[ \frac{h_W - h_{CP}}{0,5 * n_p * c_p * b_p^2} + \frac{h_W - h_{CS}}{0,5 * n_S * c_S * b_S^2} \right] * f$$

### 2) Gleistechnische Einflussfaktoren

#### Vertikale Verlagerung aus Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen $Z_{HS}$

Durch eine mögliche unplanmäßige unterschiedliche Höhenlage beider Schienen kommt es gegenüber der Soll-Lage zu einer Schrägstellung des Fahrzeuges mit einem Neigungswinkel  $\delta$ . Durch diese Schrägstellung kommt es, wie schon in Kapitel 3.2.2.3 erläutert, zu einer zusätzlichen Neigung  $\delta^*$  des Wagenkastens infolge der Schwerpunktverlagerung (siehe Abbildung 3.9). Der Einfluss dieser zusätzlichen Schrägstellung kann, auf der sicheren Seite liegend gemäß BOStrab-Lichtraum-Richtlinie (18 S. 50), durch den Vergrößerungsfaktor  $f$  aus Kapitel 3.2.2.3 berücksichtigt werden (Es gilt  $\eta^* > \delta^*$ ).

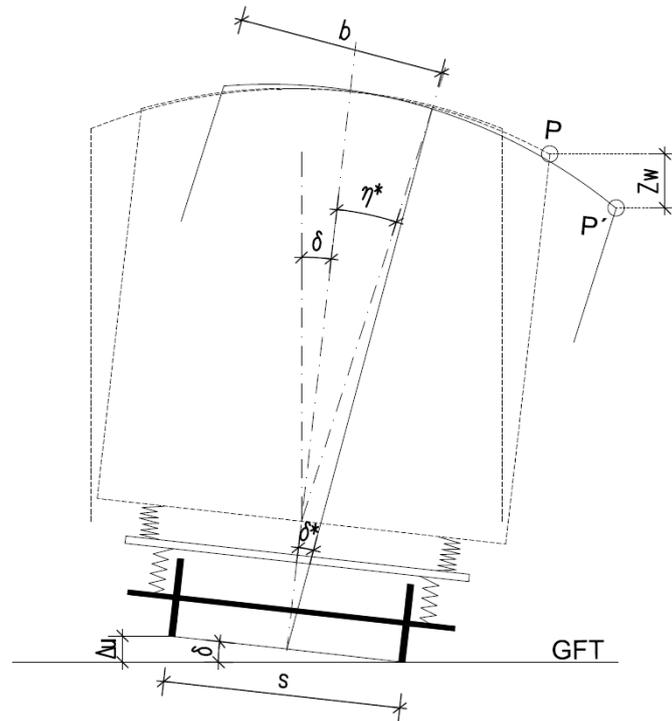


Abbildung 3.9 Verlagerungen infolge Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen (18 S. 51) – Prinzipskizze (eigene Darstellung)

Demnach beträgt der vertikale Anteil der Verlagerung  $Z_{HS}$  infolge der Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen für einen Umrisspunkt  $P$ , welcher sich in einem Abstand  $b$  von der Fahrzeugmittellinie befindet: (18 S. 52)

$$Z_{HS} = \Delta u * \frac{2 * b}{s} * f$$

$\Delta u$	Gegenseitige Höhenlage [mm]
$s$	Stützweite [mm]
$f$	Vergrößerungsfaktor [-]

#### 3.2.2.4 Vertikal erforderlicher Lichtraum

In den vorherigen Erläuterungen wurden sämtliche, für den erforderlichen vertikalen lichten Raum eines Umrisspunktes  $P$  unter dem Fahrzeugboden, fahrzeugseitigen, gleistechnischen und trassierungsrelevante Einflussfaktoren behandelt. Diese können gemäß (18 S. 18) unterteilt werden in *nicht-zufallsbedingte* ( $nz$ ) wirkende und *zufallsbedingte* ( $z$ ) wirkende Einflussfaktoren. Der wesentliche Unterschied ergibt sich dadurch, dass nicht-zufallsbedingte Einflussfaktoren dadurch gekennzeichnet sind, dass sie simultan und in gleicher Richtung wirken können und demnach in voller Höhe zu berücksichtigen sind. Bei zufallsbedingten Einflussfaktoren hingegen ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie nicht alle simultan und in gleicher Richtung wirken. Deshalb muss der Einfluss letzterer auf den vertikalen Lichtraumbedarf abgemindert und nicht in voller Höhe angesetzt werden. Hierzu werden die nicht-zufallsbedingten Einflussfaktoren in voller Höhe arithmetisch addiert und die zufallsbedingten Einflussfaktoren werden als Quadrate mit Hilfe des Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz unter der Wurzel zusammenaddiert.

Der erforderliche vertikale lichte Raum unterhalb des Fahrzeugbodens für einen Umrisspunkt  $P$ , eindeutig beschrieben in seiner Lage durch die Koordinaten  $x$ ,  $b$  und  $h$ , beträgt für die beiden Trassierungselemente Gerade und Bogen unter Berücksichtigung trassierungsrelevanter Einflussfaktoren:

### 1) Trassierungselement – Gerade

#### **In ebenen Bereichen (18)**

In Bereichen mit einer horizontalen oder gleichmäßigen geneigten Linienführung ohne vertikale Neigungswechsel in Form von Kuppen oder Wannens beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{GERADE}$  in der Geraden für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{GERADE} = Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{FW} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

#### **In Bereichen von Kuppen (18)**

In Bereichen von vertikalen Neigungswechseln in Form von einer Kuppe beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{GERADE_KU}$  in der Geraden für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{GERADE_KU} = Z_{KU} + Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{FW} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

#### **In Bereichen von Wannens (18)**

In Bereichen von vertikalen Neigungswechseln in Form von einer Wanne beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{GERADE_WA}$  in der Geraden für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{GERADE_WA} = Z_{WA} + Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

### 2) Trassierungselement – Bogen

#### **In ebenen Bereichen (18)**

In Bereichen mit einer horizontalen oder gleichmäßigen geneigten Linienführung ohne vertikale Neigungswechsel in Form von Kuppen oder Wannens beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{BOGEN}$  im Bogen für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{BOGEN} = Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{FW} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WQ} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

#### **In Bereichen von Kuppen (18)**

In Bereichen von vertikalen Neigungswechseln in Form von einer Kuppe beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{BOGEN_KU}$  im Bogen für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{BOGEN_KU} = Z_{KU} + Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{FW} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WQ} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

### In Bereichen von Wannern (18)

In Bereichen von vertikalen Neigungswechseln in Form von einer Wanne beträgt der vertikal erforderliche lichte Raum  $Z_{BOGEN\_WA}$  im Bogen für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens:

$$Z_{BOGEN\_WA} = Z_{WA} + Z_{FP} + Z_{FS} + Z_{VR} + Z_{VS} + Z_{GE} + Z_{WQ} + Z_{WS} + Z_{WW} + \sqrt{Z_{DP}^2 + Z_{DS}^2 + Z_{TW}^2 + Z_{TG}^2 + Z_{GV}^2 + Z_{HS}^2}$$

### 3.2.3 Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung

Mithilfe der Berechnungsformeln zum vertikal erforderlichen lichten Raum unterhalb des Fahrzeugbodens aus Kapitel 3.2.2.4 kann für die maßgebenden Umrisspunkte  $P$  eines Straßenbahnfahrzeuges die, zur Erfüllung der Betriebssicherheit, freizuhaltende Bodenfreiheit  $Z$  ermittelt werden. Diese sind in nachstehender Tabelle für die unterschiedlichen Trassierungselemente übersichtlich zusammengefasst:

<i>Werte bezogen auf die entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT)</i>	<i>Erforderliche Bodenfreiheit <math>Z</math> eines Umrisspunktes <math>P</math> [mm]</i>
<b>Trassierungselement – Gerade</b>	
Ebene Linienführung	$Z_{GERADE}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$Z_{GERADE\_KU}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$Z_{GERADE\_WA}$
<b>Trassierungselement – Bogen</b>	
Ebene Linienführung	$Z_{BOGEN}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$Z_{BOGEN\_KU}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$Z_{BOGEN\_WA}$

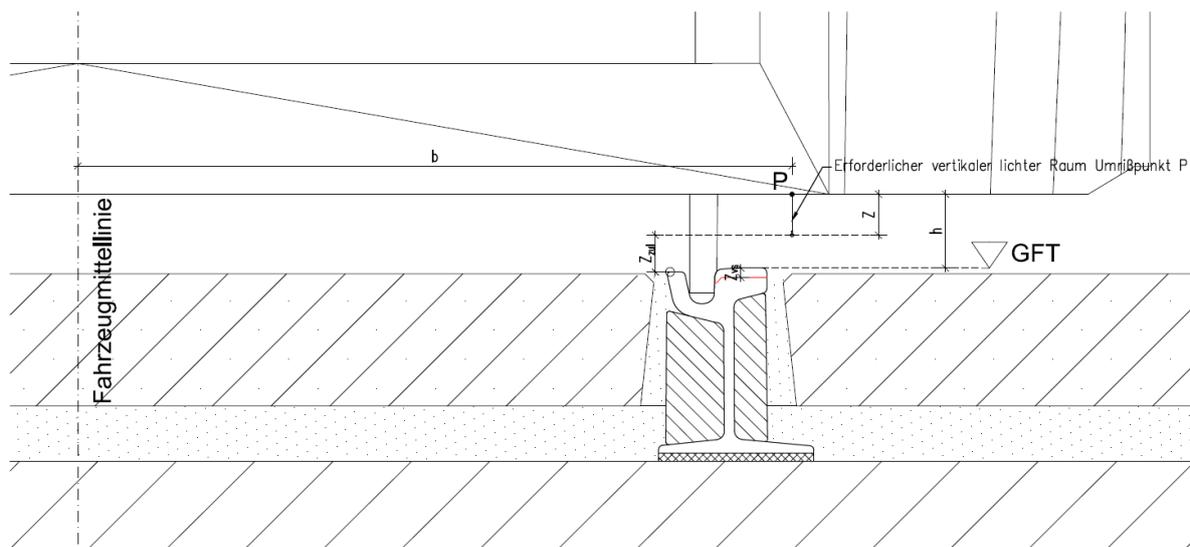
**Tabelle 3.1 Erforderliche Bodenfreiheit eines Umrisspunktes  $P$  (Eigene Darstellung)**

Der Nahverkehrsbetreiber könnte nun, für den im Gleisnetz eingesetzten Fuhrpark, mit Hilfe der Lichtraumberechnung eine Aussage treffen, welche Bodenfreiheit an welchen Stellen der Gleiszone bei den unterschiedlichen Trassierungselementen Gerade und Bogen unter Berücksichtigung der trassierungsrelevanten Einflussfaktoren (vertikale Neigungswechsel) für die relevanten Umrisspunkte des Fahrzeuges freigehalten werden müssen.

Der vertikal erforderliche lichte Raum eines Umrisspunktes  $P$  wird in der Lichtraumberechnung auf die entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT) bezogen. Da sich die vertikale Lage der GFT im Zuge des Betriebes aufgrund von Verschleiß verändert, ist um eine Aussage über die zulässigen Höhenlagen der Oberflächeneindeckung tätigen zu können, ein unverschlossener Bezugspunkt heranzuziehen welcher sich idealerweise auf gleicher Höhenlage der ursprünglichen entwurfstechnischen gemeinsamen Fahrflächentangente befindet. Dabei kann in der Regel nur der unverschlossene Teil des Leitkopfes der Rillenschiene in Betracht genommen werden. Bezogen auf diesen unverschlossenen Bezugspunkt kann somit in guter Näherung die zulässige Höhenlage  $Z_{zul}$  der Oberflächeindeckung beim betrachteten Umrisspunkt  $P$  berechnet werden (siehe Tabelle 3.2 und Abbildung 3.10).

<i>Werte bezogen auf den unverschlissenen Teil des Leitkopfes, in guter Näherung an die Höhenlage der entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT)</i>	<i>Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung <math>Z_{zul}</math> [mm]</i>
<b>Trassierungselement – Gerade</b>	
Ebene Linienführung	$h - Z_{GERADE}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$h - Z_{GERADE\ KU}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$h - Z_{GERADE\ WA}$
<b>Trassierungselement – Bogen</b>	
Ebene Linienführung	$h - Z_{BOGEN}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$h - Z_{BOGEN\ KU}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$h - Z_{BOGEN\ WA}$

**Tabelle 3.2 Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung beim Umrisspunkt P (Eigene Darstellung)**



**Abbildung 3.10 Zulässige Höhenlage  $Z_{zul}$  bezogen auf den unverschlissenen Bezugspunkt (eigene Darstellung)**

Diese Grenzwerte  $Z_{zul}$  gelten für den maßgebenden Umrisspunkt P bei den unterschiedlichen Trassierungsfällen und werden, auf der sicheren Seite liegend, für die gesamte Breite der Gleiszone angesetzt. Für eine genauere Betrachtung kann auch der seitliche lichte Raum des Umrisspunktes P betrachtet werden. Wie in Abbildung 3.11 dargestellt, erfährt jeder Umrisspunkt P zusätzlich zur vertikalen Bewegung Z nach unten auch eine Verschiebung Y auf beide Seiten.

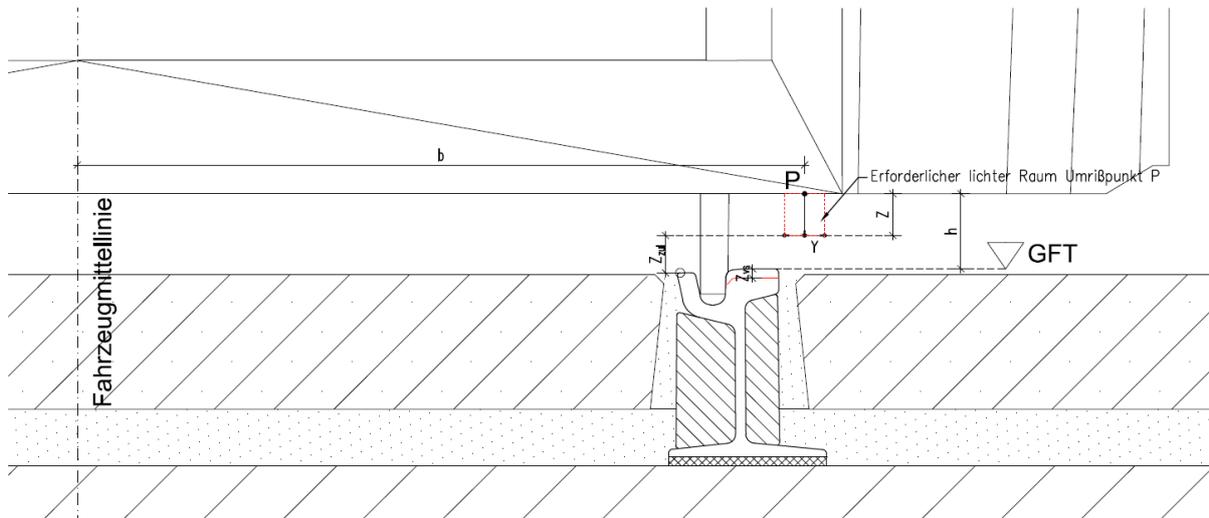


Abbildung 3.11 Zulässige Höhenlage  $Z_{zul}$  unter Berücksichtigung des seitlichen lichten Raums (Eigene Darstellung)

In der BOStrab-Lichtraum-Richtlinie (18) kann die Ermittlung des seitlichen Lichtraumbedarfs mit einem genauen Berechnungsverfahren oder einer, auf der sicheren Seite liegenden, Überschlagsrechnung unter Zugrundelegung eines zusätzlichen Sicherheitsabstands durchgeführt werden. Zur Ermittlung des seitlich erforderlichen lichten Raums für einen Umrisspunkt  $P$  unterhalb des Fahrzeugbodens einer Straßenbahn sind gemäß der Überschlagsrechnung nach BOStrab-Lichtraum-Richtlinie (18) folgende Einflüsse jedenfalls zu berücksichtigen: (18 S. 58)

- ◆ Bogengeometrische Ausragungen  $b_{a,i}$
- ◆ Maximales Spurspiel  $y_{SS}$
- ◆ Maximale Gleisverschiebung  $y_{GV}$
- ◆ Maximale Änderung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen  $y_{HS}$

Für die Aufgabenstellung wird auf die Ermittlung des seitlichen Lichtraumbedarfs nicht näher eingegangen. Der Grund liegt in der Ansicht, dass die maximal zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung, die am maßgebenden Umrisspunkt  $P$  ermittelt wurde, für die gesamte Breite der Gleiszone anzusetzen ist. In der Praxis stellt dies die einfachste Handhabung der Überprüfung der zulässigen Höhenlage der Oberflächeneindeckung im Rahmen einer Inspektion dar.

### 3.2.4 Anwendungsbeispiel

Im Folgenden wird versucht die bisherigen Erläuterungen von diesem Kapitel als Veranschaulichung mit einer beispielhaften Berechnung am Gleisnetz der Wiener Linien am Beispiel des Straßenbahnfahrzeuges ULF Typ-A anzuwenden. Dazu werden die maßgebenden Umrisspunkte  $P$  des Fahrzeuges und die zu untersuchende Bereiche im Gleisnetz identifiziert. In Folge dessen wird der vertikal erforderliche lichte Raum für die maßgebenden Umrisspunkte  $P$  ermittelt um somit auf die zulässige Höhenlage  $Z_{zul}$  der Oberflächeneindeckung schließen zu können.

3.2.4.1 Zu untersuchende Umrisspunkte

Zur Ermittlung der maximal zulässigen Höhenlage der Oberflächeneindeckung im Bereich von Wannens ist der Umrisspunkt  $P_1$  maßgebend, welcher sich an der Stirnseite des Fahrzeuges seitlich im Bereich des Überhangs befindet (Seitliche Kante im Bugbereich). (siehe Abbildung 3.12)

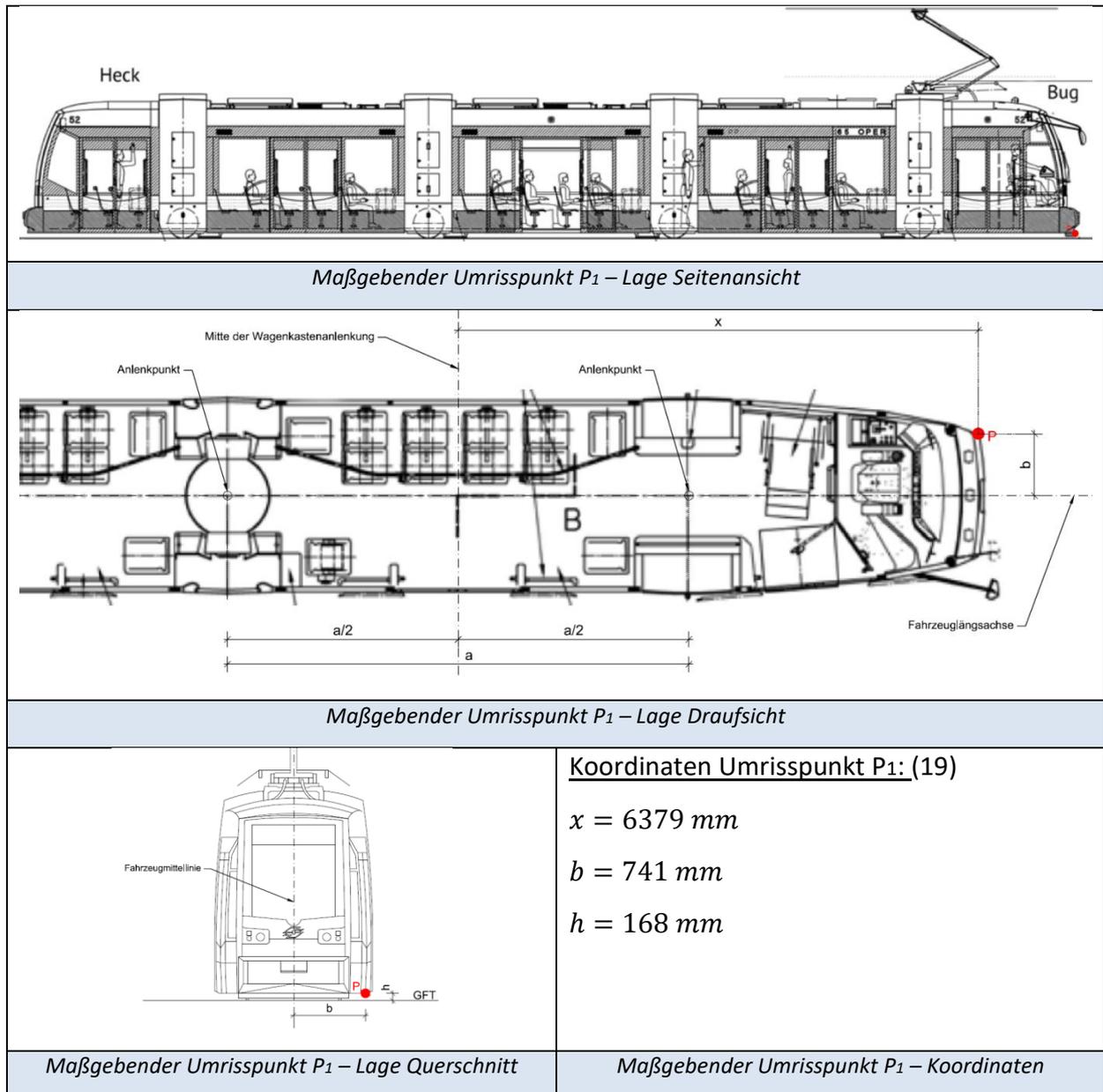


Abbildung 3.12 Maßgebender Umrisspunkt  $P_1$  im Bereich von Wannens (19) (ULF Typ-A) (Eigene Darstellung)

Zur Ermittlung der maximal zulässigen Höhenlage der Oberflächeneindeckung im Bereich von Kuppen oder Bereichen mit ebener Linienführung ist der Umrisspunkt  $P_2$  maßgebend, welcher sich an der seitlichen Außenkante des Unterbodens in der Mitte der Wagenkastenankelung befindet (Trittleiste Mittelmodul) (siehe Abbildung 3.13).

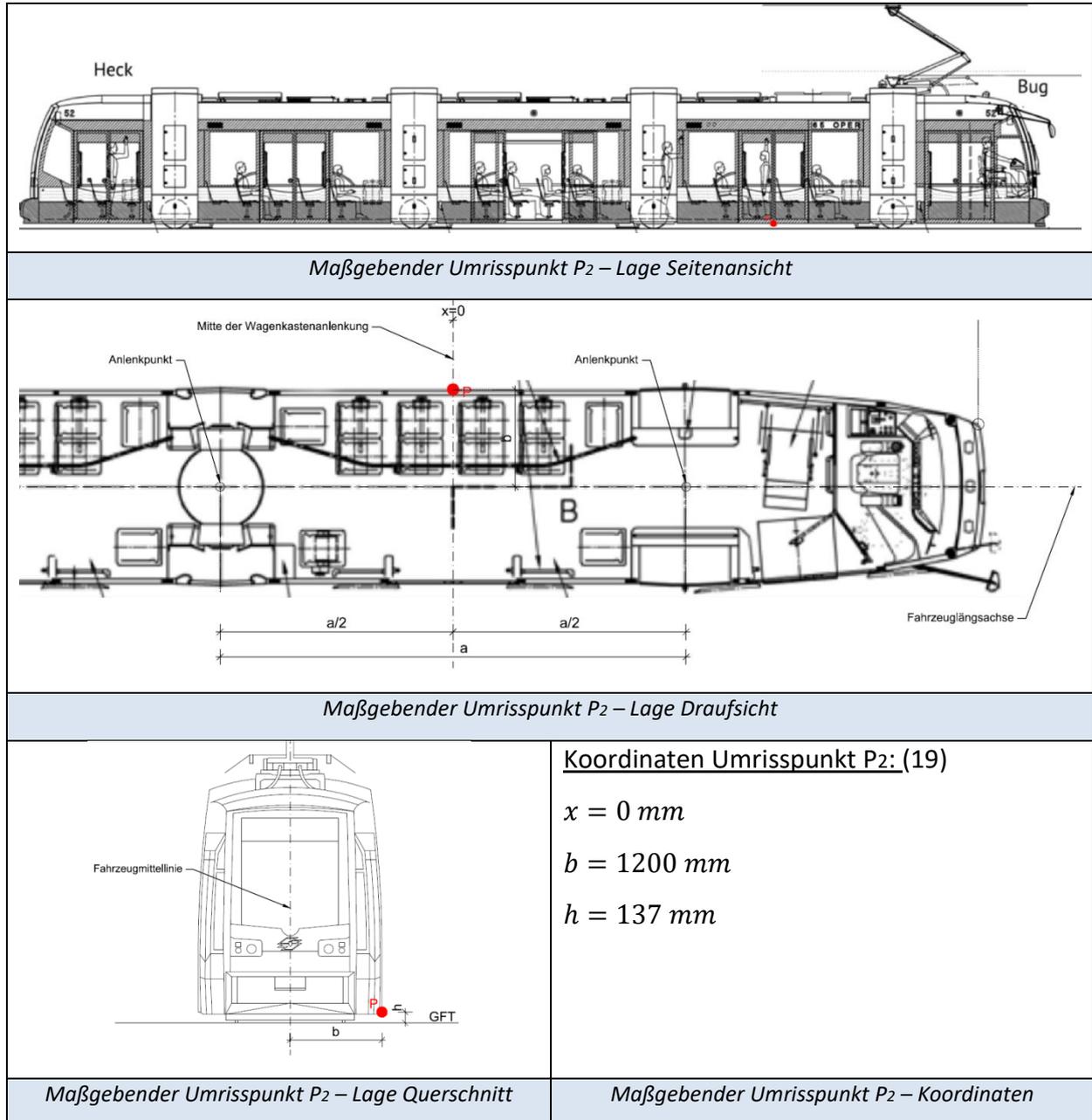


Abbildung 3.13 Maßgebender Umrisspunkt  $P_2$  im Bereich von Kuppen oder ebener Linienführung (19) (ULF Typ-A) (Eigene Darstellung)

#### 3.2.4.2 Zu untersuchende Bereiche

Bei einer ebenen Linienführung in der Geraden und im Bogen liegen die Umrisspunkte der Unterkante des Wagenkastens des ULF's mit einem ausreichend großen Abstand zur GFT sodass die zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung in der Regel nie überschritten wird. Vielmehr sind die kritischen Stellen des Gleisnetzes auf die Betriebssicherheit des Schienenverkehrs zu untersuchen. Dazu ist vom Nahverkehrsbetreiber ein Katalog kritischer Stellen zu erarbeiten, wo die zulässigen Höhenlagen der Oberflächeneindeckung festgelegt sind, welche im Rahmen einer Inspektion überprüft werden können.

Als kritische Stellen können im Allgemeinen vertikale Neigungswechsel in Form von Kuppen oder Wannens angesehen werden. In innerstädtischen Bereichen mit beengten Verhältnissen weichen die minimal vorherrschenden vertikalen Ausrundungsradien von Kuppen oder Wannens bei Neigungswechseln von den in den Regelwerken angegebenen Mindestausrundungsradien teilweise stark ab. In (2 S. 84) wird für Bahnen im Verkehrsraum öffentlicher Straßen ein Mindestausrundungsradius von  $R \geq 625m$  vorgeschrieben. Gemäß der Trassierungsrichtlinie für Straßenbahnen der Wiener Linien (20 S. 14) und der Oberbauvorschrift für Straßenbahnen – OVSt 57 (21 S. 17) beträgt der kleinste zulässige Ausrundungsradius  $R = 500m$ . Gemäß Punkt 50 der OVST 57 kann bei beengten Verhältnissen dieser Grenzwert unterschritten werden:

*„Kleinere Ausrundungshalbmesser als  $R = 500m$  sollen in der Regel nicht ausgeführt werden, außer bei Vorliegen besonders ungünstiger örtlicher Verhältnisse. Aber auch in diesen Ausnahmefällen ist der Ausrundungshalbmesser stets so groß zu wählen, daß auch unter den ungünstigsten Bedingungen kein Streifen irgendeines Teiles der verkehrenden Fahrbetriebsmittel (z.B. Bahnräumer, Fangschutzvorrichtung) auf den Schienen oder der Straßenoberfläche möglich ist“ (21 S. 17)*

Im Gleisnetz der Wiener Linien beträgt der minimale vertikale Ausrundungsradius für Kuppen und Wannens:

- ◆ Kuppen  $\rightarrow R_{KU} = 200 m$  (Örtlichkeit Thaliasstraße/Enenkelstraße 1160 Wien)
- ◆ Wannens  $\rightarrow R_{WA} = 250 m$  (Örtlichkeit Blindengasse/Lerchenfelderstraße 1080 Wien)

Allein die Betrachtung des geometrischen Anteils der vertikalen Ausragung  $Z_{WA}$  lässt darauf schließen, dass Wannensbereiche als kritische Stellen angesehen werden können. Der zusätzliche Lichtraumbedarf  $Z_{WA}$  bei einem Neigungswechsel in Form von einer Wanne mit einem Ausrundungsradius von  $R = 250m$  (Örtlichkeit Thaliastraße/Enenkelstraße 1160 Wien) beträgt beim ULF Typ-A, mit einem Achsabstand von  $a = 5630 mm$ , für den maßgebenden Umrisspunkt  $P_1$  an vorderster Stelle bei der Fahrzeugfront (Siehe Kapitel 3.2.4.1), welcher sich in einem Abstand von  $x = 6379 mm$  von der Mitte der Wagenkastenanlenkung befindet:

$$Z_{WA} = \sqrt{R_{WA}^2 - \frac{a^2}{4} + x^2} - R_{WA}$$

$R_{WA}$  Radius Wanne [mm]  
 $a$  Abstand der Anlenkpunkte [mm]  
 $x$  Koordinate Umrisspunkt P [mm]

$$Z_{WA} = \sqrt{250000^2 - \frac{5630^2}{4} + 6379^2} - 250000 = 65,5 \text{ mm}$$

Die Ergebnisse der vertikalen Lichtraumberechnung für die unterschiedlichen Bereiche sind in Tabelle 3.3 zusammengefasst. Die zugehörigen Berechnungen und Annahmen sind dem beigefügten Anhang A zu entnehmen. Es sei hierbei angemerkt, dass es sich dabei lediglich um einer Überschlagsrechnung handelt welche, aufgrund von fehlenden technischen Fahrzeugdaten und demzufolge getroffenen Annahmen, von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen kann.

Werte bezogen auf die entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT)	Maßgebender Umrisspunkt (siehe Kapitel 3.2.4.1)	Erforderliche Bodenfreiheit Z des maßgebenden Umrisspunktes P [mm]
<b>Trassierungselement – Gerade</b>		
Ebene Linienführung	$P_2$	$Z_{GERADE} = 91,0 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$P_2$	$Z_{GERADE_{KU}} = 106,8 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$P_1$	$Z_{GERADE_{WA}} = 150,9 \text{ mm}$
<b>Trassierungselement – Bogen</b>		
Ebene Linienführung	$P_2$	$Z_{BOGEN} = 91,6 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$P_2$	$Z_{BOGEN_{KU}} = 107,4 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$P_1$	$Z_{BOGEN_{WA}} = 151,5 \text{ mm}$

Tabelle 3.3 Überschlagsrechnung der erforderlichen Bodenfreiheit ULF Typ-A (Eigene Darstellung)

Anhand der ermittelten erforderlichen Bodenfreiheit kann auf die zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung geschlossen werden:

Werte bezogen auf den unverschlissenen Teil des Leitkopfes, in guter Näherung an die Höhenlage der entwurfstechnische gemeinsame Fahrflächentangente (GFT)	Maßgebender Umrisspunkt (siehe Kapitel 3.2.4.1)	Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung $Z_{zul}$ [mm]
<b>Trassierungselement – Gerade</b>		
Ebene Linienführung	$P_2$ mit $h_2 = 137 \text{ mm}$	$h_2 - Z_{GERADE} = 46,0 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$P_2$ mit $h_2 = 137 \text{ mm}$	$h_2 - Z_{GERADE_{KU}} = 30,2 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$P_1$ mit $h_1 = 168 \text{ mm}$	$h_1 - Z_{GERADE_{WA}} = 17,1 \text{ mm}$
<b>Trassierungselement – Bogen</b>		
Ebene Linienführung	$P_2$ mit $h_2 = 137 \text{ mm}$	$h_2 - Z_{BOGEN} = 45,4 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Kuppe	$P_2$ mit $h_2 = 137 \text{ mm}$	$h_2 - Z_{BOGEN_{KU}} = 29,6 \text{ mm}$
Neigungswechsel in Form von einer Wanne	$P_1$ mit $h_1 = 168 \text{ mm}$	$h_1 - Z_{BOGEN_{WA}} = 16,5 \text{ mm}$

Tabelle 3.4 Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung ULF Typ-A (Eigene Darstellung)

Zusätzlich sind beim ULF im Umgebungsbereich der Fahr- und Leitköpfe der Rillenschienen die Magnetschienenbremsen zu untersuchen. Dabei handelt es sich um unabhängige zusätz-

liche elektromagnetische Fahrzeugbremsen die beidseitig hinter bzw. vor jedem Radkasten angeordnet sind (siehe Abbildung 3.14).

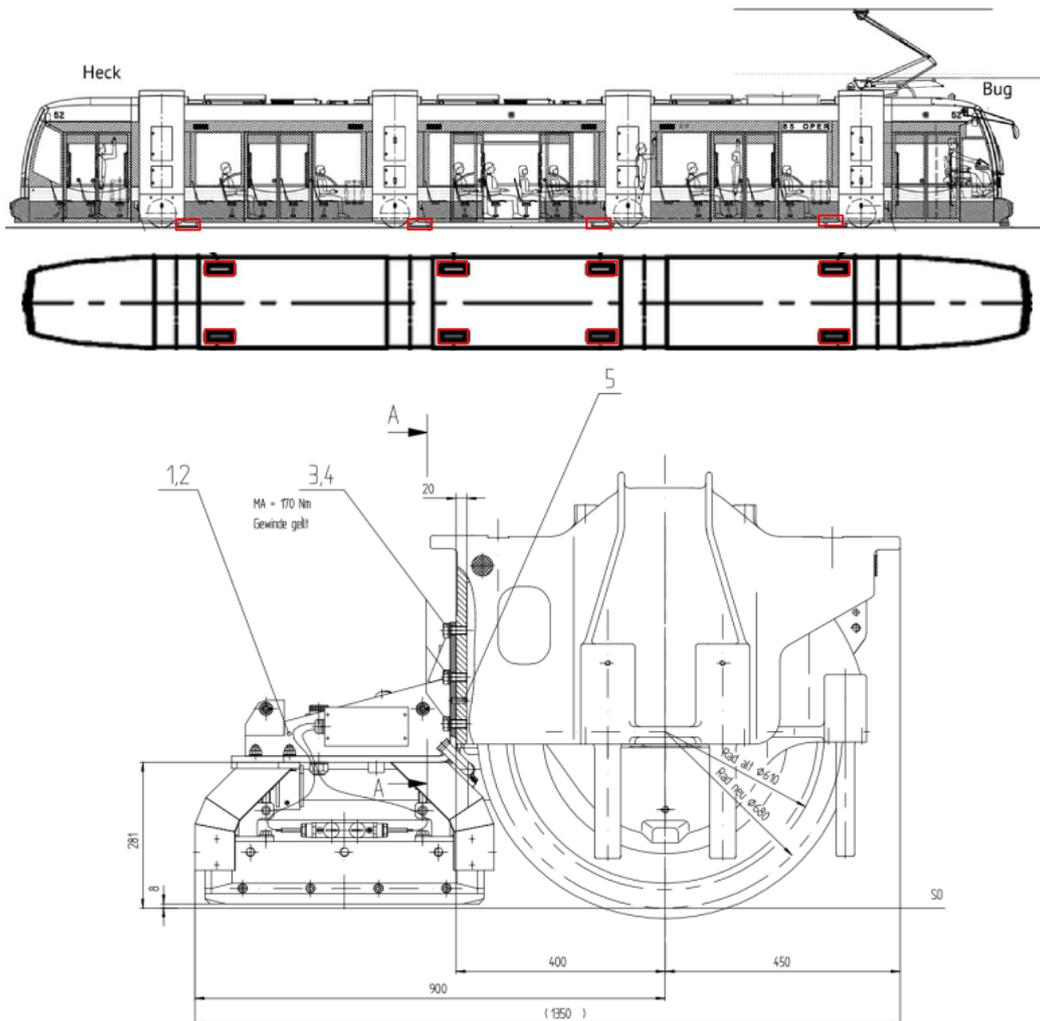


Abbildung 3.14 Magnetschienensbremsen beim ULF Typ-A (19)

Die Magnetschienensbremse weist eine Breite von 55mm und eine Länge von 535mm auf. Bei einer zentralen Stellung des ULF's im Gleis liegen die seitlichen Kanten der Bremse 717,5mm bzw. 772,5mm von der Fahrzeuglängsachse und die hintere äußere Kante der Magnetschienensbremse 880,5 mm von der Mitte des Rades entfernt (siehe Abbildung 3.15). Die Magnetschienensbremsen sind starr an den Radkästen befestigt.

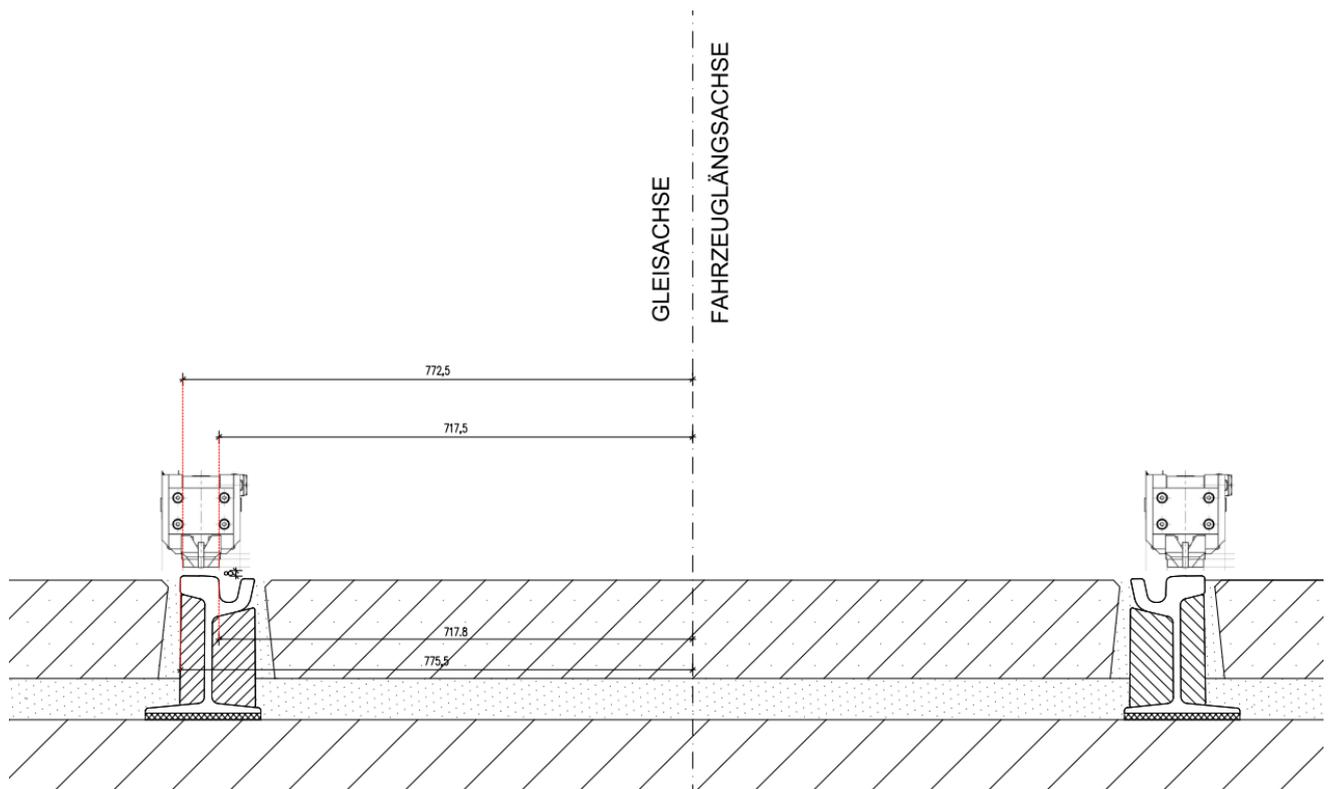


Abbildung 3.15 Lage der Magnetschienenbremse im Querschnitt beim ULF Typ-A (Eigene Darstellung)

Die Magnetschienenbremse erfährt im ungünstigsten Fall folgende seitliche Verschiebungen, wobei die angesetzten Werte gemäß der BOStrab Lichtraum-Richtlinie (18 S. 23) gewählt wurden:

Überschlagsrechnung - Anteile der seitlichen Verschiebung der Magnetschienenbremse	
<b>Gerade</b>	
$\Delta s$ Nennspurspiel einschließlich Spurkranzverschleiß	25,0 mm
$\Delta S$ Spurerweiterung einschließlich Schienenverschleiß	15,0 mm Anteil: Außenschiene $\Delta S_a = 15,0$ mm & Innenschiene $\Delta S_i = 0,0$ mm
max $\sigma$ Maximales Spurspiel	$\Delta S_a + \Delta S_i + \Delta s = 40,0$ mm
$\frac{1}{2}$ max $\sigma$ Halbes maximales Spurspiel	20,0 mm
$y_\sigma$ Verschiebung der Spurmitte	$(\Delta S_a - \Delta S_i) \div 2 = 7,5$ mm
Seitliche Gleis- und Schienenelastizität	1,0 mm
Seitliche Verschiebung der Magnetschienenbremse	$20,0 + 7,5 + 1,0 = 28,5$ mm
<b>Bogen R=20m</b>	
$\Delta s$ Nennspurspiel einschließlich Spurkranzverschleiß	25,0 mm
$\Delta S$ Spurerweiterung einschließlich Schienenverschleiß	30,0 mm Anteil: Außenschiene $\Delta S_a = 22,5$ mm & Innenschiene $\Delta S_i = 7,5$ mm
max $\sigma$ Maximales Spurspiel	$\Delta S_a + \Delta S_i + \Delta s = 55,0$ mm
$\frac{1}{2}$ max $\sigma$ Halbes maximales Spurspiel	27,5 mm
$y_\sigma$ Verschiebung der Spurmitte	$(\Delta S_a - \Delta S_i) \div 2 = 7,5$ mm
Seitliche Gleis- und Schienenelastizität	2,0 mm
Bogengeometrische Ausragung	19,4 mm (herausgemessen aus AutoCAD)
Seitliche Verschiebung der Magnetschienenbremse	$27,5 + 7,5 + 2,0 + 19,4 = 56,4$ mm

Tabelle 3.5 Seitliche Verschiebungen der Magnetschienenbremse (in Anlehnung an (18)) (Eigene Darstellung)

In der Geraden erfährt die Magnetschienenbremse somit im ungünstigsten Fall eine seitliche Verschiebung von 28,5 mm und im Bogen mit einem Radius von R=20m eine seitliche Verschiebung von 56,4 mm. Die seitliche Außenkante des Fahrkopfes der Rillenschienen befindet sich in einem Abstand von 775,5 mm von der Fahrzeuglängsachse entfernt

(siehe Abbildung 3.15). Somit überragt die hintere äußere Kante der Magnetschienenbremse in der Geraden die seitliche Außenkante des Fahrkopfes um  $28,5 - (775,5 - 772,5) = 25,5$  mm in der Geraden und  $54,4 - (775,5 - 772,5) = 53,4$  mm im Bogen (bei  $R=20$ m Bogenradius). Damit ragt die Magnetschienenbremse im ungünstigsten Fall, gekennzeichnet durch maximalen zulässigen Verschleißzustand von Schiene und Rad, sowohl in der Geraden als auch im Bogen über den Bereich der Gleiseindeckung.

Überschlagsrechnung - Vertikale Verschiebung der Magnetschienenbremse bezogen auf die SOK	
Vertikale Gleis- und Schienenelastizität	2,0 mm (Annahme gemäß (18 S. 23))
Ausragung bei Wannern ( $R=250$ m)	1,6 mm (Messung aus maßstabsgetreuer Konstruktionszeichnung)
Ausragung bei Kuppen ( $R=200$ m)	1,9 mm (Messung aus maßstabsgetreuer Konstruktionszeichnung)

Tabelle 3.6 Vertikale Verschiebungen der Magnetschienenbremse bezogen auf die SOK (Eigene Darstellung)

Der planmäßige vertikale Abstand zwischen der Unterkante der Magnetschienenbremse und der Schienenoberkante ist auf 8mm eingestellt. Es wird angenommen, dass dieser Abstand unabhängig vom jeweiligen Verschleißzustand des Radreifens eingehalten wird. Somit verbleibt ein vertikaler Abstand zwischen der jeweiligen Schienenoberkante und der Unterkante der Magnetschienenbremse von 8mm in der Geraden,  $8 - 1,6 = 6,4$  mm im Bereich von Wannern (bei  $R=250$ m) und  $8 - 1,9 = 6,1$  mm im Bereich von Kuppen (bei  $R=200$ m) (siehe Tabelle 3.6). Da sich die Schienenoberkante unter Lasteinwirkung aufgrund der vertikalen Gleis- und Schienenelastizität um in diesem Fall angenommene 2mm vertikal nach unten verschiebt muss, bezogen auf die zulässige Höhenlage der Gleiseindeckung, die 2mm Verschiebung berücksichtigt werden (siehe Tabelle 3.6). Im ungünstigsten Fall, gekennzeichnet durch ein Überragen der Magnetschienenbremse in den Bereich der Gleiseindeckung, muss der Abstand zwischen der Oberkante der Gleiseindeckung und der jeweiligen Schienenoberkante von  $8 - 2 = 6$ mm in der Geraden,  $6,4 - 2 = 4,4$  mm im Bereich von Wannern (bei  $R=250$ m) und  $6,1 - 2 = 4,1$  mm im Bereich von Kuppen (bei  $R=200$ m) eingehalten werden. Angemerkt sei hierbei, dass sämtliche Berechnungen unter der Annahme des maximal zulässigen Verschleißzustandes von Rad und Schiene durchgeführt wurden.

Die Anforderung des Schienenverkehrs an die Oberflächeneindeckung in Bezug auf die Betriebssicherheit ist somit, dass die Oberflächeneindeckung nicht in den erforderlichen lichten Raum ragt. Somit stellt der Schienenverkehr als Nutzer Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften der *Niveaugleichheit* der Oberflächeneindeckung. Wobei der Begriff Niveaugleichheit nicht wortwörtlich verstanden werden darf. Es handelt sich vielmehr um einen Qualitätsbegriff welcher Abweichungen in zulässiger Höhe toleriert.

### 3.3 Verkehrssicherheit - Straßenverkehr

Zur Erfüllung der Verkehrssicherheit für den Straßenverkehr muss ein sicheres und sturzfrees Begehen bzw. Befahren der Gleiszone möglich sein. Diese Forderung gilt für alle Verkehrsteilnehmer des Straßenverkehrs.

*„Die Oberfläche der Bereiche für Fußgänger und Radfahrer ist so auszugestalten, dass ein sicheres und sturzfrees Begehen bzw. Befahren ermöglicht wird.“ (22 S. 2)*

*„Liegen Gleise in Verkehrswegen für Fußgänger, so müssen Stolperstellen vermieden sein. [...]“ (§3 Abs. 2 EisbAV, 2012 (23))*

*„Oberflächen für den Fußgängerverkehr sind rutschfest und eben auszuführen.“ (24 S. 3)*

*„[...]im Gleisbereich ist auf eine möglichst ebene Oberfläche zu achten, [...]“ (21 S. 37)*

*„Setzungen [...] sind vor allem wegen Gefährdung der Sicherheit des Straßenverkehrs und besonders der Fußgänger bei Straßenübergängen sorgfältig zu beheben.“ (21 S. 37)*

Eine Sturzgefahr kann durch folgende Gefährdungen hervorgerufen werden (25 S. 40):

- ◆ Ausrutschen (*Fußgeher und Radfahrer*)
- ◆ Stolpern (*Fußgeher*)
- ◆ Umknicken (*Fußgeher*)
- ◆ Fehltreten (*Fußgeher*)
- ◆ Verkanten (*Radfahrer*)

Eine Rutschgefährdung ist gegeben wenn Griffigkeitsmängel vorliegen. Dieser ist durch einen zu geringen Reibungskoeffizienten  $\mu$  zwischen zwei Oberflächen gekennzeichnet. Gefährdungen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten sind auf Stufungen, Schrägen, Welligkeiten und Öffnungen bzw. Vertiefungen an der Oberfläche zurückzuführen (25 S. 40). Gefährdungen durch Verkanten sind auf Stufungen und Öffnungen bzw. Vertiefungen an der Oberfläche zurückzuführen.

Zur Gewährleistung eines sicheren Befahrens bzw. Begehens hat die Oberfläche einer Gleiszone somit in der Regel eine begrenzte Neigung aufzuweisen, lückenlos, niveaugleich und rutschfest zu sein. Eine niveaugleiche, rutschfeste und lückenlose Ausführung darf dabei aber nicht wortwörtlich verstanden werden. Es handelt sich vielmehr um quantifizierbare Qualitätsbegriffe, welche sich aus den Komponenten Höhendifferenz, Gleitreibungswiderstand und Spaltbreite ergeben. Abweichungen vom idealen Sollzustand sind bis zu einem gewissen zulässigen Maß vertretbar und beeinflussen nicht die Verkehrssicherheit der Straßenverkehrsteilnehmer.

#### **Lückenlosigkeit**

*„Die für den Bahnbetrieb notwendigen Spurrillen sind unter Bedachtnahme auf die technischen Regelwerke so eng wie möglich auszuführen.“ (22 S. 2)*

*„[...] Die Wegoberfläche darf nur so weit unterbrochen sein, wie es der Betrieb der Schienenfahrzeuge erfordert.“ (§3 Abs. 2 EisbAV, 2012 (23))*

Gemäß den Technischen Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen ist infolge von Anforderungen aus dem Straßenverkehr die Rillenbreite in der Geraden mit 45mm und im Bogen mit 60mm begrenzt (26 S. 26). Ab einer Unterbrechung der Wegoberfläche in Form eines Spaltes von >20mm besteht die Gefahr des Verkantens mit dem Radreifen und somit Sturzgefahr für Radfahrer (27 S. 31). Gemäß (28 S. 44) besteht Sturzgefahr für Fußgänger ab einer Unterbrechung der Wegoberfläche in Form eines Spaltes von >20mm. Somit könnte in Bereichen mit planmäßigem Fußgänger- und Radverkehr als zulässiger Grenzwert für Spaltweiten 20mm herangezogen werden.

#### **Niveaugleichheit**

In den Erläuterungen zu §3 Abs. 2 der EisbAV (23) steht zusätzlich: *„Stolperfallen sind vermieden, wenn beispielsweise die Schienenoberkante in Höhe der Wegoberfläche liegt“.*

Nachdem die Schienenoberkante einem betriebsbedingten Verschleiß unterliegt, kann eine Höhendifferenz in der Größenordnung des zulässigen Höhenverschleißes der Rillenschiene als zulässig angenommen werden. Dies entspricht einer Höhendifferenz von in etwa 20mm. Gemäß den Oberbaurichtlinien der BOStrab (7 S. 82) ist in Hinblick auf die Sicherheit des Straßenverkehrs die Höhendifferenz zwischen dem Leitkopf und der Schienenoberkante einer Rillenschiene mit 20mm begrenzt. Gemäß (28 S. 44) besteht Sturzgefahr bereits ab einer Stufung von  $\leq 4$ mm. Dieses Forschungsprojekt basiert allerdings auf Untersuchungen des menschlichen Ganges auf „normalen“ Flächen wo keine erhöhte Aufmerksamkeit erforderlich ist, wie beispielsweise Wohnungsfußböden und ist somit für Gleisbereiche nicht anwendbar (29 S. 47). Ab einer Stufung von >20mm besteht die Gefahr des Verkantens mit dem Radreifen und somit Sturzgefahr für Radfahrer (27 S. 29). Somit könnte in Bereichen mit planmäßigem Fußgänger- und Radverkehr als zulässiger Grenzwert für Stufungen 20mm herangezogen werden.

#### **Rutschfestigkeit**

Ab einem Gleitreibungskoeffizienten von  $\mu < 0,3$  zwischen zwei Körpern ist gemäß ÖNORM Z 1261 (30 S. 10) kein ausreichender Schutz gegen Ausrutschen gegeben.

Sicherheitsrelevante Grenzwerte für zulässige Höhendifferenzen und Spaltbreiten im Straßenverkehr sind in der Literatur, in Vorschriften oder in Regelwerken kaum zu finden. Der

Infrastrukturbetreiber als Verkehrssicherungspflichtiger hat im Rahmen seiner Möglichkeiten alles dafür zu unternehmen, dass kein Verkehrsteilnehmer zu Schaden kommt. Fest steht, dass in Abhängig von den Verkehrsteilnehmern unterschiedlich hohe Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften Niveaugleichheit, Lückenlosigkeit, Neigung und Rutschfestigkeit gestellt werden. Infrastrukturbetreiber könnten deshalb Inspektionen unter dem Gesichtspunkt des Anforderungsniveaus einer Gleiszone durchführen und Grenzwerte in Abhängigkeit dieser festlegen. Eine mögliche Unterteilung wäre:

- ◆ Bereiche mit *geringem Anforderungsniveau*  
→z.B. eigene Gleiskörper und selbstständige Gleiskörper mit Hauptnutzer: Einsatzfahrzeuge und ggf. öffentliche Busse
- ◆ Bereiche mit *mittlerem Anforderungsniveau*  
→z.B. straßenbündige Gleiskörper mit Hauptnutzer: motorisierter Individualverkehr und ggf. Radfahrer
- ◆ Bereiche mit *hohem Anforderungsniveau*  
→z.B. planmäßige Querungsstellen für Radfahrer und Fußgänger oder beispielsweise Fußgängerzonen mit Hauptnutzer: Fußgänger und Radfahrer

### 3.4 Gebrauchseigenschaften – Oberflächeneindeckung

Zur Gewährleistung der Betriebssicherheit und Verkehrssicherheit sind infolge der Anforderungen der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer somit folgende Gebrauchseigenschaften der Oberflächeneindeckung zu erfüllen:

Relevante Gebrauchseigenschaften der Oberflächeneindeckung	
<i>Schieneverkehr</i>	<i>Straßenverkehr</i>
Niveaugleichheit	Niveaugleichheit
	Lückenlosigkeit
	Rutschfestigkeit
	Neigung

Tabelle 3.7 Anforderungen der Nutzer an die Gebrauchseigenschaften der Oberflächeneindeckung (Eigene Darstellung)

Diese Gebrauchseigenschaften können als Grundlage für die Festlegung von relevanten Schäden und Mängeln an Oberflächeneindeckungen herangezogen werden.

## **4 Fahrweg der Straßenbahn – Zustandserfassung von Schäden und Mängeln**

In diesem Kapitel werden mögliche Schäden, Mängel und unerwünschte Veränderungen an den unterschiedlichen Arten der Oberflächeneindeckung klassifiziert. Zusätzlich wird erläutert wie sie im Rahmen einer visuellen Inspektion erhoben werden könnten.

### **4.1 Methoden der visuellen Zustandserfassung**

Für die visuelle Zustandserfassung von Schäden und Mängeln existieren unterschiedliche Methoden, die sich einerseits durch die Art der Erfassung und andererseits durch die Art der Übertragung und Auswertung der erfassten Daten unterscheiden. In (31 S. 10) werden folgende Techniken unterschieden:

#### **Art der Erfassung**

- ◆ Erfassung direkt auf Papier (Erfassungsbogen)
- ◆ Erfassung mithilfe eines mobilen Eingabegerätes (Tablet)
- ◆ Erfassung mithilfe von Bild- und Videodokumentation (Fotos, Luftbilder, Videos)

#### **Art der Übertragung und Auswertung der Erfassungsdaten**

- ◆ Manuelle Eingabe der Erfassungsdaten in einen PC
- ◆ Automatische Übertragung in ein Auswertesystem
- ◆ Optische Begutachtung der Bild- und Videodokumentation

### **4.2 Vorschlag für eine objektiven Zustandserfassung**

Die folgenden Erläuterungen sind als Vorschlag für die Vorbereitung und Durchführung einer objektiven visuellen Zustandserfassung auf Basis einer Erfassung mittels eines Erfassungsbogens und einer anschließenden Übertragung und Auswertung der Erfassungsdaten in einem PC anzusehen.

#### **4.2.1 Vorbereitung der visuellen Zustandserfassung**

Zunächst ist das Gleisnetz in sogenannte Begehungsrouten zu unterteilen. Die Länge der Begehungsrouten hat sich nach der Leistung vom Erfassungspersonal zu richten, sodass eine Begehungsrouten in einer Schicht abgegangen werden kann. Jede Begehungsrouten ist eindeutig zu nummerieren (siehe Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2).

→ Beispielnummerierung: *Begehungsrouten A1/A2/A3/A4*

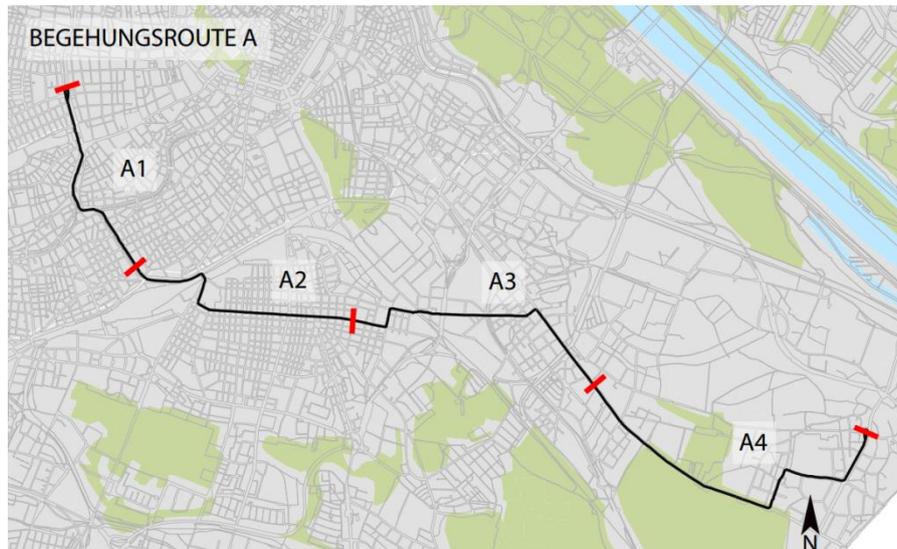


Abbildung 4.1 Beispielhafte Unterteilung einer Straßenbahnlinie in einzelne Begehungsrouten (Eigene Darstellung)

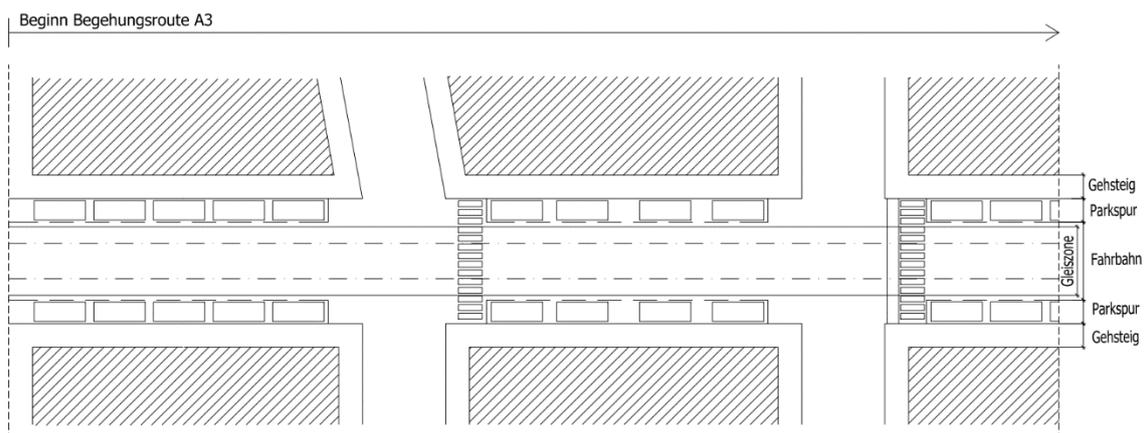


Abbildung 4.2 Beispielhafter Ausschnitt aus Begehungsrouten A3 (Eigene Darstellung)

Die einzelnen Begehungsrouten sind in klar definierte Erfassungsabschnitte zu unterteilen und jedem Erfassungsabschnitt ist eine eindeutige Begehungsrichtung zuzuweisen. Die Unterteilung könnte beispielsweise anhand der vorzufindenden Bebauungsstruktur erfolgen. Eine mögliche Unterteilung wären Kreuzungsabschnitte und Längsabschnitte zwischen den Häuserblöcken. Jeder Erfassungsabschnitt innerhalb einer Begehungsrouten ist eindeutig zu nummerieren (siehe Abbildung 4.3).

→ Beispielnummerierung: Begehungsrouten A3 mit Erfassungsabschnitten EA 1 bis EA 15

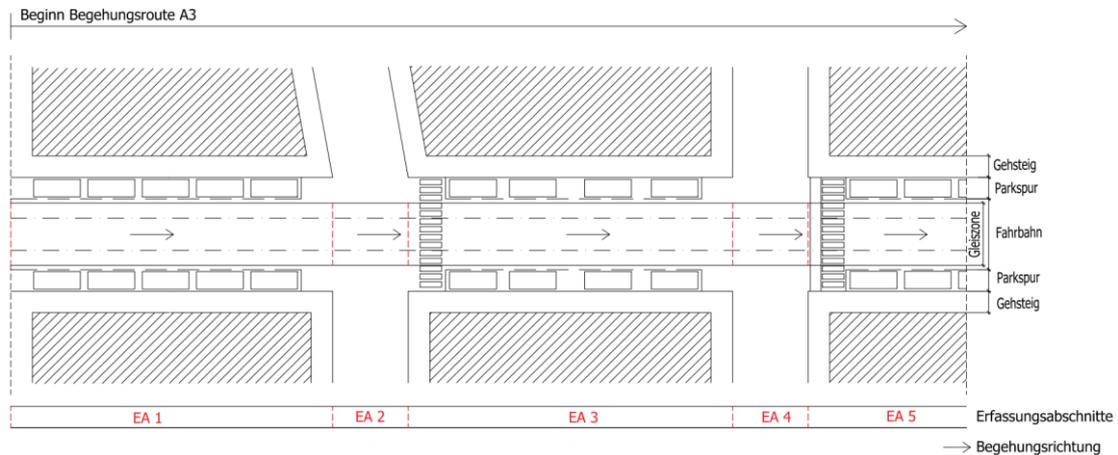


Abbildung 4.3 Beispielhafte Unterteilung der Begehungsrouten A3 in Erfassungsabschnitte (Eigene Darstellung)

Eine weitere Unterteilung der Erfassungsabschnitte in Unterabschnitte könnte unter dem Gesichtspunkt des Anforderungsniveaus einer Gleiszone gewählt werden (siehe Abbildung 4.4). Eine mögliche Unterteilung wäre:

- ◆ Bereiche mit *geringem Anforderungsniveau* (z.B. eigene Gleiskörper, selbstständige Gleiskörper)
- ◆ Bereiche mit *mittlerem Anforderungsniveau* (z.B. straßenbündige Gleiskörper)
- ◆ Bereiche mit *hohem Anforderungsniveau* (z.B. planmäßige Querungsstellen für Radfahrer und Fußgänger oder beispielsweise Fußgängerzonen)

Jeder Unterabschnitt innerhalb eines Erfassungsabschnittes ist eindeutig zu nummerieren.

→ Beispielnummerierung: Erfassungsabschnitt EA3 mit Unterabschnitten UA 1 bis UA 2

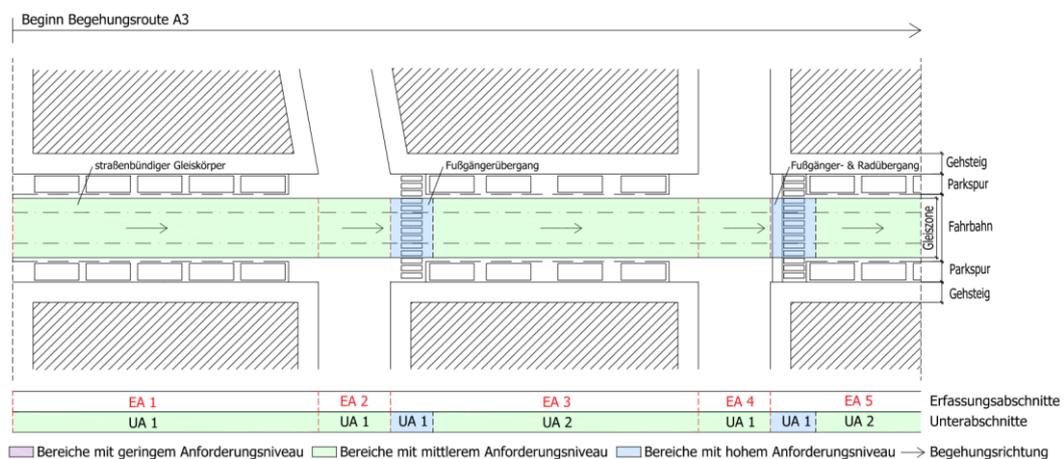


Abbildung 4.4 Beispielhafte Unterteilung der Erfassungsabschnitte in Unterabschnitte (Eigene Darstellung)



Auf Basis dieses beispielhaften Erfassungsbogens basieren die folgenden Erläuterungen. Bei der Erfassung von Schäden und Mängeln könnte folgendermaßen vorgegangen werden:

**Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit / Stationierung**

Bei der Sichtung eines Schadens oder Mangels ist in erster Linie die Örtlichkeit zu erheben und in den Erfassungsbogen einzutragen. Anhand der grafisch aufbereiteten Routenpläne kann die Örtlichkeit durch folgende Informationen hinreichend genau beschrieben werden:

- ◆ *Nr. der Begehungsrout* (Bsp. **A3** → eingetragen im Routenblatt)
- ◆ *Nr. des Erfassungsabschnitts* (Bsp. **EA 3** → eingetragen im Routenblatt)
- ◆ *Nr. des Unterabschnitts* (Bsp. **UA 2** → eingetragen im Routenblatt)

Eine genauere Verortung innerhalb der Unterabschnitte könnte beispielsweise mit einer zusätzlichen Angabe der Entfernung zwischen der Lage des Schadens oder Mangels und dem Beginn des Unterabschnitts erfolgen.

**Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt**

Aus der Begehungsrichtung, die aus dem jeweiligen Routenblatt zu entnehmen ist, ergibt sich die eindeutige Lage des Schadens oder Mangels im Querschnitt welche in den Erfassungsbogen einzutragen ist (siehe Abbildung 4.6).

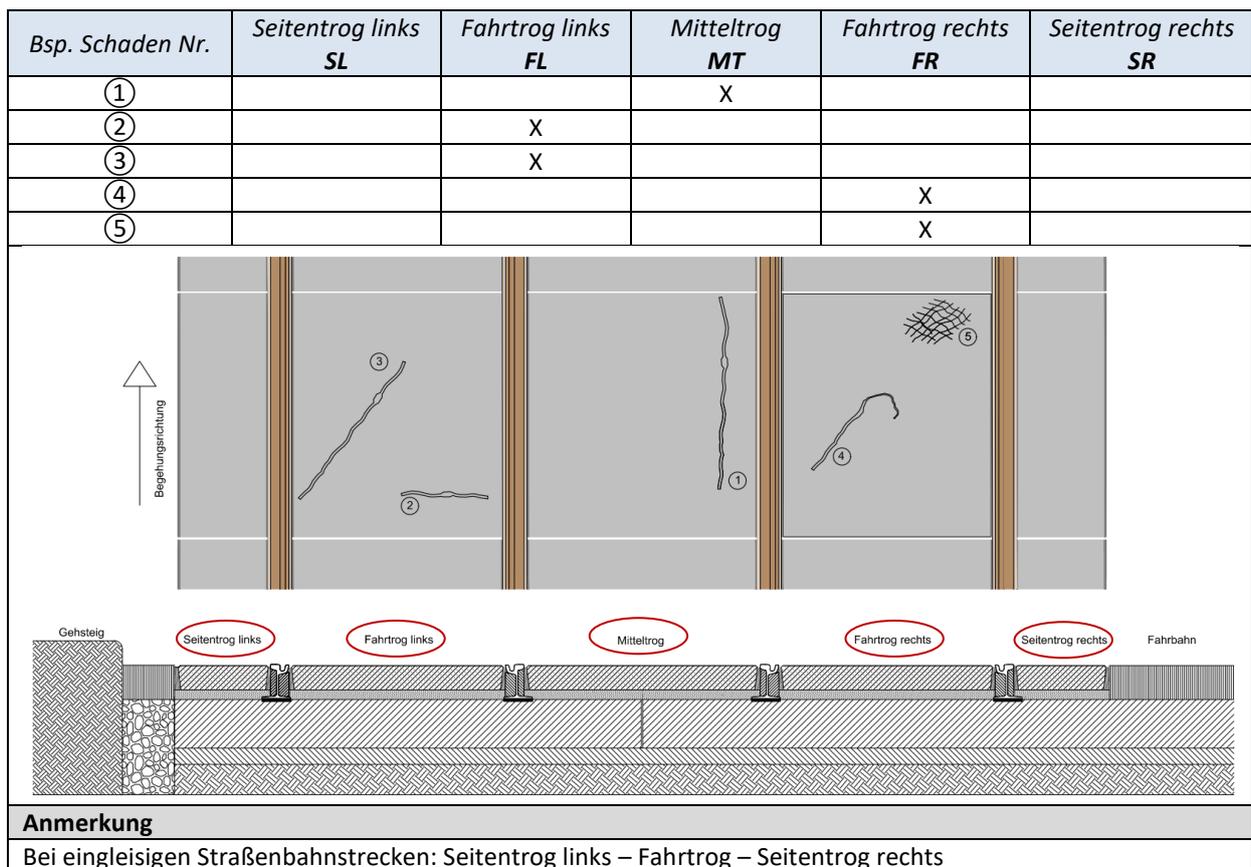


Abbildung 4.6 Erfassung der Lage eines Schadens oder Mangels im Querschnitt (Eigene Darstellung)

### Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart

Dabei ist die Art der Eindeckung zu erheben die von dem jeweiligen Schaden oder Mangel betroffen ist.

**PE...** Platteneindeckung

**BE...** Ortbetoneindeckung

**AE...** Asphalteindeckung

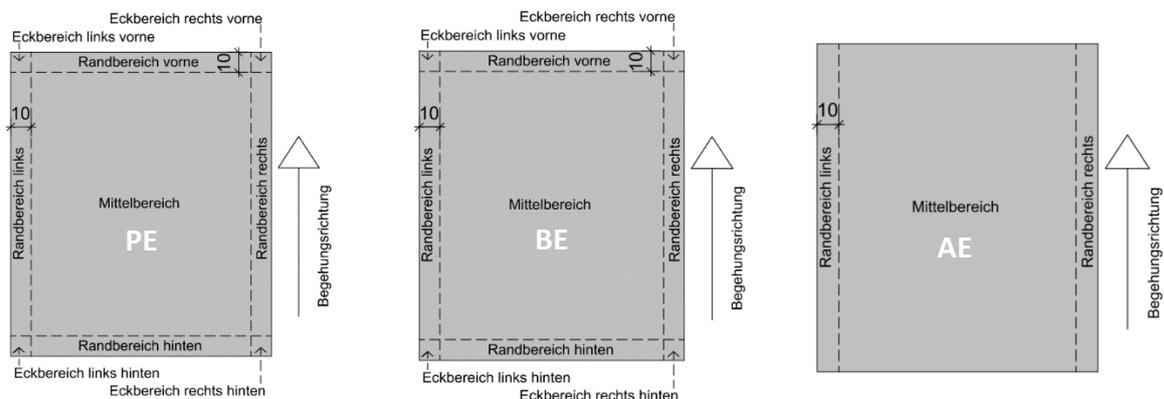
### Schritt 4 - Zustandserfassung

Die Erfassungsmethodik unterscheidet sich hier in Abhängigkeit von der Eindeckungsart und der Art des Schadens oder des Mangels. Allgemein formuliert können bei der Aufnahme eines Schadens oder Mangels folgende weitere Schritte anfallen:

→ **Schritt 4a - Erfassung des Schadens- bzw. Mangelausmaß und ggf. die Schadens- bzw. Mangelausprägung**

→ **Schritt 4b - Erfassung der genauen Lage des Schadens bzw. des Mangels**

Für die Erfassung der genauen Lage des Schadens oder Mangels wurde eine geometrische Unterteilung der Plattenelemente, Ortbetonelemente und der Asphaltstreifen vorgenommen (siehe Abbildung 4.7).



**Abbildung 4.7 Geometrische Unterteilung der Eindeckungsfläche (Eigene Darstellung)**

Die genaue Erfassungsmethodik für die Aufnahme eines gewissen Schadens oder Mangels ist aus dem *Schadens- und Mangelkatalog* zu entnehmen. Die Erfassungsmethodik von den Einzelmerkmalen wird in diesem Schadens- und Mangelkatalog an einem beispielhaften Schadensbild einer zweigleisigen Straßenbahnstrecke erläutert. Für die Zustandserfassung von Ortbetoneindeckungen ist in der Regel nach der Erfassungsmethodik von Platteneindeckungen vorzugehen. Zur Vermeidung von unkontrollierten Rissbildungen werden Ortbetoneindeckungen in Querrichtung mit erkennbaren Scheinfugen versehen. Diese Querfugen entsprechen der im Schadens- und Mangelkatalog der Platteneindeckung definierten vorderen und hinteren Kanten der Platte.

### 4.3 Schadens- und Mangelkatalog

In diesem Schadens- und Mangelkatalog werden relevante Schäden und Mängel an Gleiseindeckungen behandelt, die im Rahmen einer visuellen Inspektion zu erheben sind. Bei der Erstellung dieses Kataloges wurde eine Einteilung in Schäden und Mängel unternommen. Unter Schäden werden in diesem Katalog unerwünschte Veränderungen des planmäßigen Zustandes der Gleiseindeckung durch Substanzveränderungen infolge Materialverlust oder Materialbruch bezeichnet. Bei Mängeln handelt es sich in diesem Katalog um unerwünschte Veränderungen des planmäßigen Zustandes der Gleiseindeckung ohne Substanzverlust der Gleiseindeckung, beispielsweise eine offene Fuge infolge unzureichenden Fugenverschluss. Die Schäden und Mängel werden in Merkmalsgruppen unterteilt und in weiterer Folge werden den Merkmalsgruppen, in Abhängigkeit von der Eindeckungsart, spezifische Einzelmerkmale zugeordnet (siehe Abbildung 4.8). Jedem Einzelmerkmal werden geeignete Parameter für eine quantifizierbare Zustandserfassung zugeordnet.

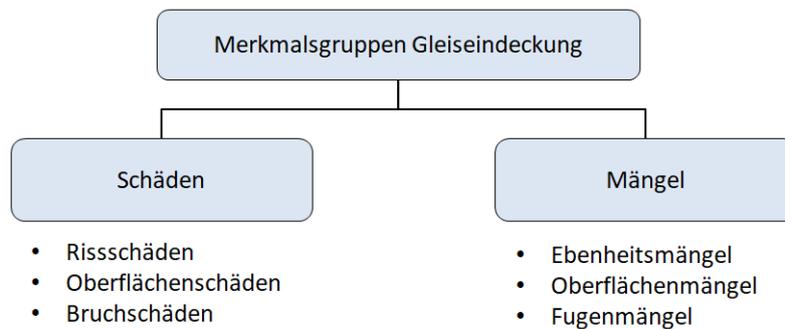
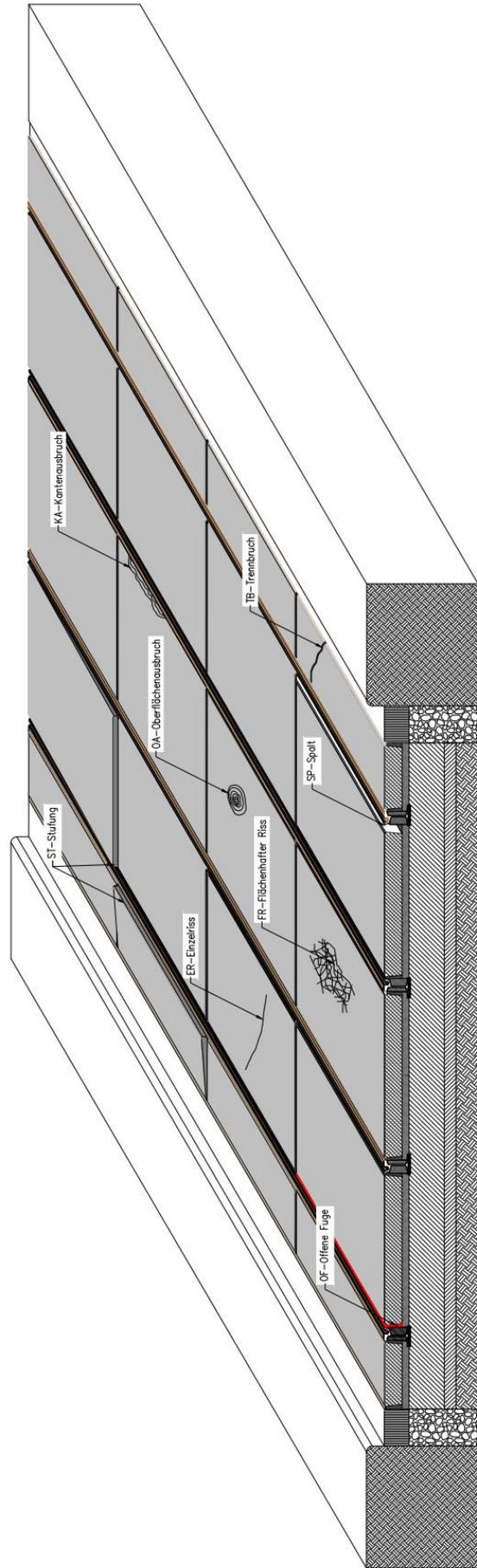
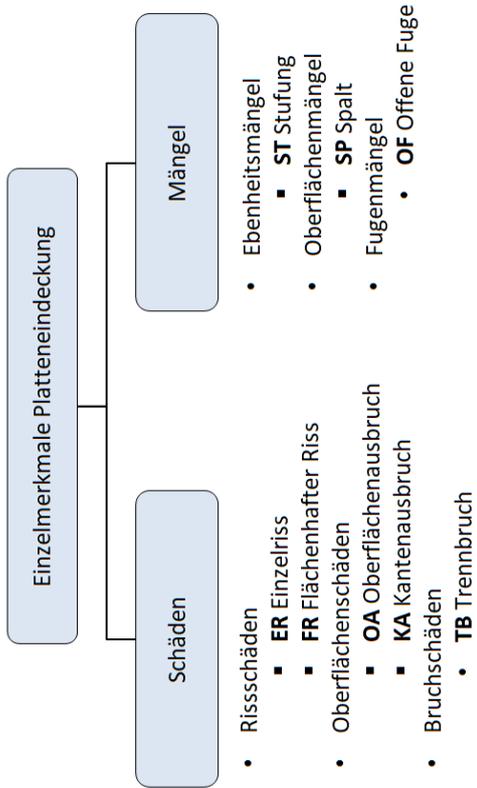
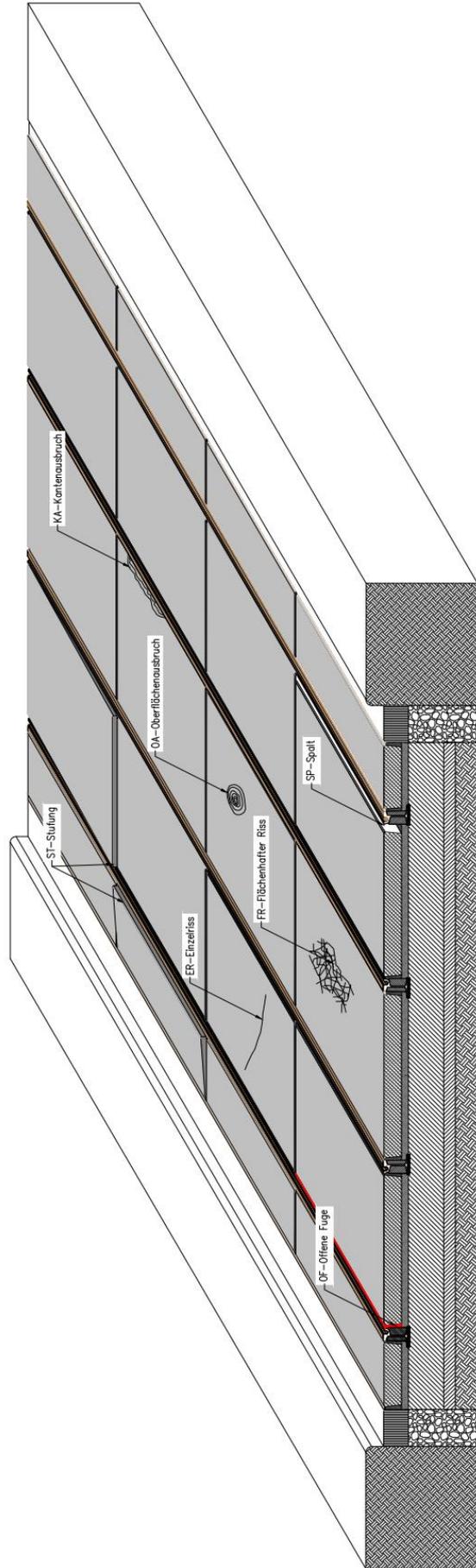
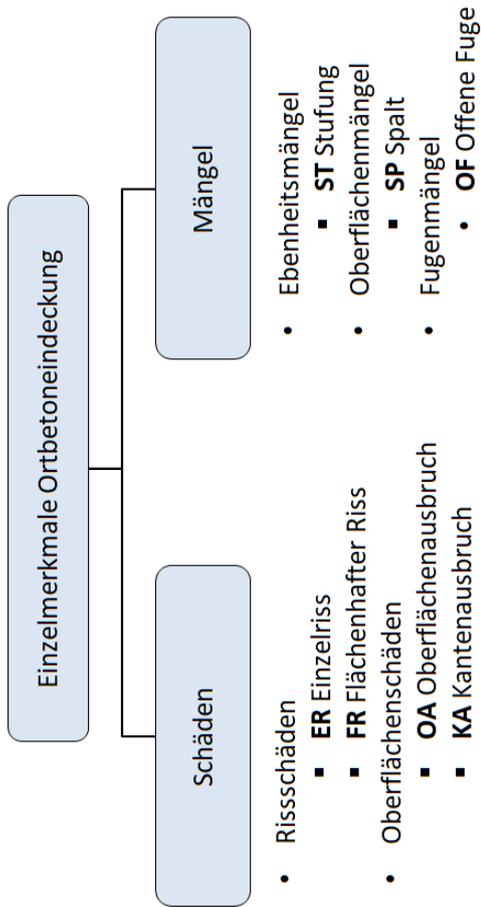


Abbildung 4.8 Unerwünschte Veränderungen der Gleiseindeckung - Merkmalsgruppen (Eigene Darstellung)

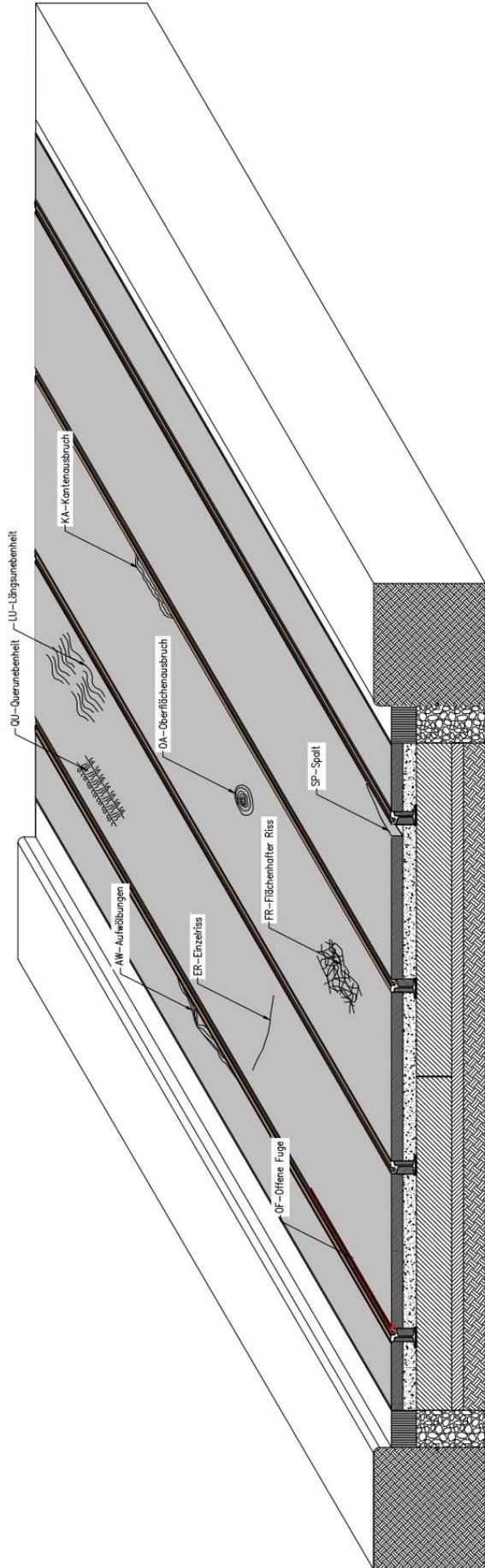
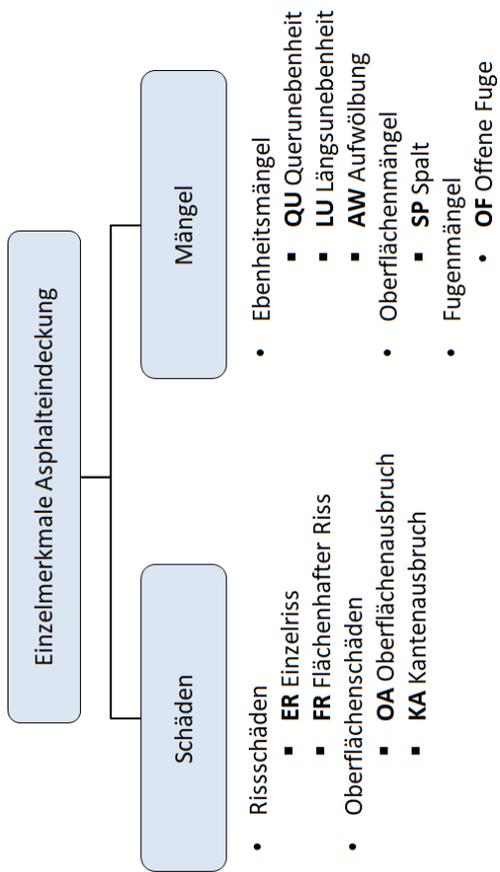
Einzelmerkmale - Platteneindeckung (PE)



Einzelmerkmale - Ortbetoneindeckung (BE)



Einzelmerkmale - Asphaltdeckung (AE)



### 4.3.1 Beschreibung – Schäden und Mängel

#### 4.3.1.1 Risschäden

Risschäden können an Platteneindeckungen (PE), Ortbetoneindeckungen (BE) und Asphalt-eindeckungen (AE) auftreten.

#### Schadensbeschreibung für PE, BE & AE

Unter Risschäden sind im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges an der Oberfläche der Eindeckung sichtbar verlaufende Risse zu verstehen (siehe Abbildung 4.9). Ein Risschaden ist bei der Zustandserfassung als *Einzelriss* (mit zusätzlicher Angabe: Längs- Quer- oder Schrägriss) oder als *flächenhafter Riss* (mit zusätzlicher Angabe: Unregelmäßiger Riss oder NetZRiss) aufzunehmen.

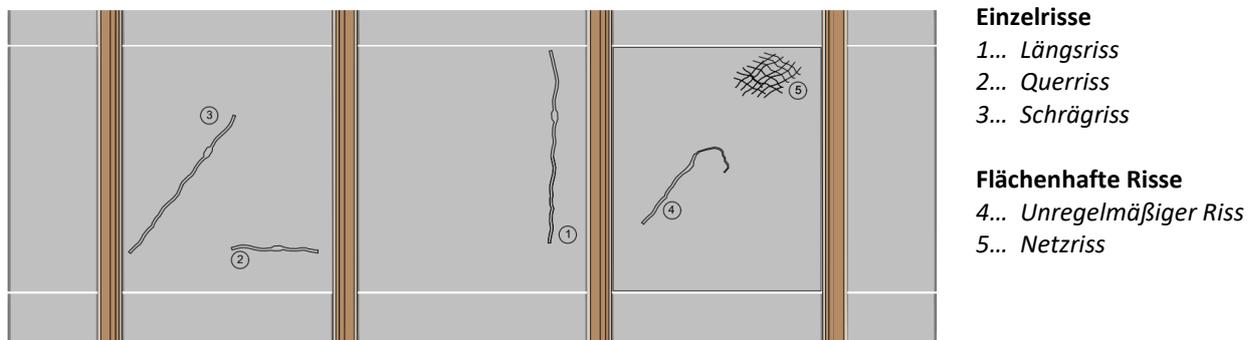


Abbildung 4.9 Veranschaulichung von Risschäden am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)

#### Einzelriss [ER]

Parameter der Zustandserfassung

Schadensausmaß  $\rightarrow L_{ER}$  [mm]

Schadensausprägung  $\rightarrow b_{ER}$  [mm]

Ein Riss ist als Einzelriss zu werten, wenn der Verlauf zwischen den beiden Enden des Risses annähernd geradlinig ist. Beidseitige Abweichungen des Rissverlaufs senkrecht zum Rissverlauf von 5cm, bezogen auf die Verbindungsgerade zwischen den beiden Enden des Risses, gelten als annähernd geradlinig.

- ◆ **Längsriss [ER\_L]**  $\rightarrow$  Dabei handelt es sich um einen annähernd geradlinigen Riss mit Ausprägung in Längsrichtung. Ein Einzelriss ist als Längsriss aufzunehmen, wenn die Verbindungsgerade zwischen den beiden Enden des Risses parallel zu den seitlichen Kanten der Eindeckung verläuft.
- ◆ **Querriss [ER\_Q]**  $\rightarrow$  Dabei handelt es sich um einen annähernd geradlinigen Riss mit Ausprägung in Querrichtung. Ein Einzelriss ist als Querriss aufzunehmen, wenn die Verbindungsgerade zwischen den beiden Enden des Risses senkrecht zu den seitlichen Kanten der Eindeckung verläuft.

- ◆ **Schrägriss [ER\_S]** → Dabei handelt es sich um einen annähernd geradlinigen Riss ohne eindeutige Ausprägung in Quer- oder Längsrichtung. Ein Einzelriss ist als Schrägriss aufzunehmen, wenn die Verbindungsgerade zwischen den beiden Enden des Risses weder eindeutig parallel noch eindeutig senkrecht zu den seitlichen Kanten der Gleiseindeckung verläuft. Im Zweifelsfall ist ein Einzelriss als Schrägriss aufzunehmen.

### Flächenhafter Riss [FR]

**Parameter der Zustandserfassung**

*Schadensausmaß* →  $A_{FR} [mm^2]$

*Schadensausprägung* →  $b_{FR} [mm]$

Ein Riss ist als flächenhafter Riss zu werten, wenn der Verlauf zwischen den beiden Enden eines Einzelrisses nicht annähernd geradlinig ist oder es sich um ein flächiges Rissbild handelt.

- ◆ **Unregelmäßiger Riss [FR\_U]** → Ein unregelmäßiger Riss zeichnet sich durch einen zufälligen Rissverlauf mit eindeutigen und oft rechtwinkligen Richtungsänderungen aus. (32 S. 17)
- ◆ **Netzriss [FR\_N]** → Dabei handelt es sich um ein Rissbild welches durch feine, mosaikförmige Netzmaschen beschrieben werden kann. (32 S. 12)

#### 4.3.1.2 Oberflächenschäden

Oberflächenschäden können an Platteneindeckungen (**PE**), Ortbetoneindeckungen (**BE**) und Asphalteindeckungen (**AE**) auftreten.

### Schadensbeschreibung für PE, BE & AE

Unter Oberflächenschäden sind im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges Ausbrüche durch Materialverlust an der Oberfläche und an den seitlichen Kanten der Gleiseindeckung zu verstehen (siehe Abbildung 4.10). Ein Oberflächenschaden ist bei der Zustandserfassung als *Oberflächenausbruch* oder als *Kantenausbruch* aufzunehmen.

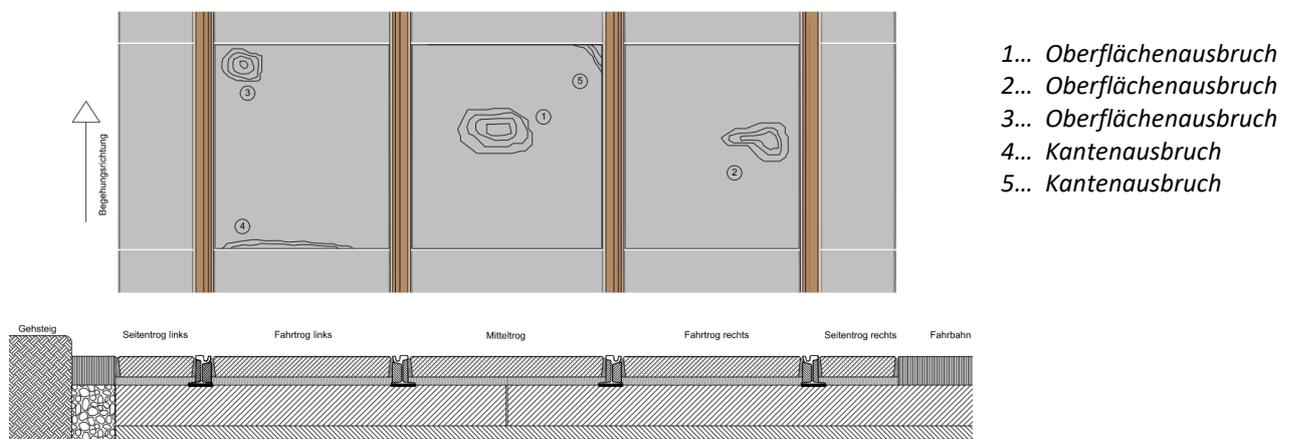


Abbildung 4.10 Veranschaulichung von Oberflächenschäden am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)

### Oberflächenausbruch [OA]

#### Parameter der Zustandserfassung

Schadensausmaß  $\rightarrow A_{OA} [mm^2]$

Schadensausprägung  $\rightarrow t_{OA} [mm]$

Ein Oberflächenschaden ist als Oberflächenausbruch zu werten, wenn sich die Ausbruchsfläche im Mittel- und/oder Randbereich befindet und die seitlichen Kanten der Gleiseindeckung nicht vom Ausbruch betroffen sind.

### Kantenausbruch [KA]

#### Parameter der Zustandserfassung

Schadensausmaß  $\rightarrow A_{KA} [mm^2]$

Schadensausprägung  $\rightarrow t_{KA} [mm]$

Ein Oberflächenschaden ist als Kantenausbruch zu werten, wenn die Ausbruchsfläche den Ausbruch einer seitlichen Kante miteinschließt.

#### 4.3.1.3 Bruchschäden

Bruchschäden können an Platteneindeckungen (PE) auftreten.

#### Schadensbeschreibung für PE

Unter Bruchschäden sind im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges über die gesamte Plattendicke verlaufende Trennbrüche zu verstehen (siehe Abbildung 4.11). Ein Bruchschaden ist bei der Zustandserfassung als *Trennbruch* aufzunehmen.

### Trennbruch [TB]

#### Parameter der Zustandserfassung

Schadensausmaß  $\rightarrow A_{TB} [mm^2]$

Schadensausprägung  $\rightarrow keine$

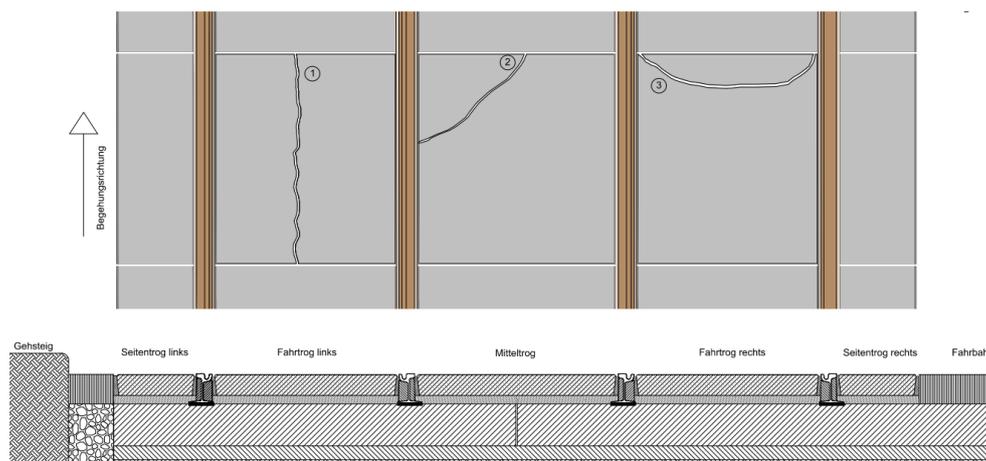


Abbildung 4.11 Trennbrüche an der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)

#### 4.3.1.4 Ebenheitsmängel

Ebenheitsmängel können an Platteneindeckungen (PE), Ortbetoneindeckungen (BE) und Asphaltdeckungen (AE) auftreten.

##### Mangelbeschreibung für PE & BE

Bei Platten- und Ortbetoneindeckungen sind unter Ebenheitsmängel im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges Abweichungen vom ebenen Sollniveau in Form von kantigen Unebenheiten ohne Materialverlust zu verstehen (siehe Abbildung 4.12). Ein Ebenheitsmangel ist bei der Zustandserfassung als *Stufung* aufzunehmen.

##### Stufung [ST]

Parameter der Zustandserfassung

Mangelausmaß	→ $\Delta h_{ST}$ [mm]
Mangelausprägung	→ keine

Darunter sind kantige Höhendifferenzen zwischen den seitlichen, vorderen oder hinteren Kanten der Gleiseindeckung und den danebenliegenden angrenzenden Bereichen zu verstehen. Mögliche angrenzende Bereiche sind je nach Lage der Stufung im Querschnitt und der genauen Lage der Stufung am Kantenverlauf die Fahrköpfe der Rillenschiene, die Leitköpfe der Rillenschiene, die angrenzenden Platten oder der angrenzende Fahrbahnbelag bzw. Gehsteigbelag.

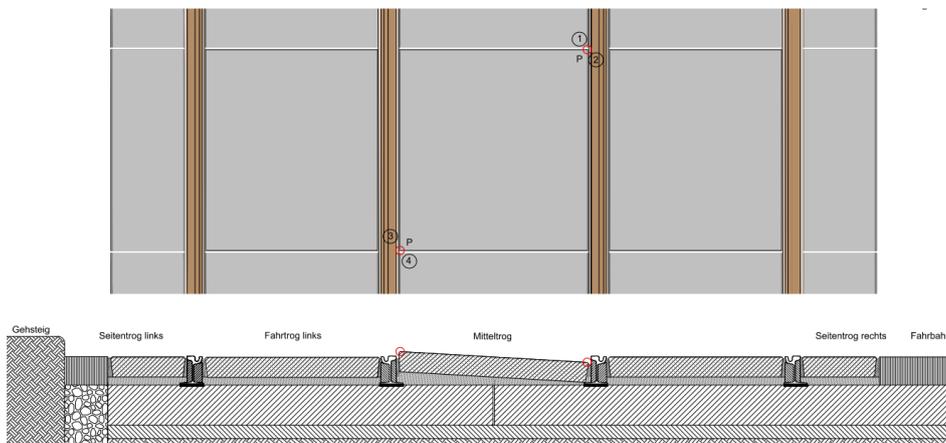


Abbildung 4.12 Veranschaulichung von Ebenheitsmängeln am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)

##### Mangelbeschreibung für AE

Bei Asphaltdeckungen sind unter Ebenheitsmängeln im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges Abweichungen vom ebenen Sollniveau in Form von welligen Unebenheiten ohne Materialverlust zu verstehen (siehe Abbildung 4.13). Ein Ebenheitsmangel ist bei der Zustandserfassung als *Querunebenheit*, *Längsunebenheit* oder als *Aufwölbung* aufzunehmen.

### Querunebenheit [QU]

#### Parameter der Zustandserfassung

Mangelausmaß  $\rightarrow A_{QU} [mm^2]$

Mangelausprägung  $\rightarrow \Delta h_{QU} [mm]$

Unter Querunebenheiten sind allgemeine Unebenheiten der Asphaltdecke in Form von Erhebungen oder Mulden mit Ausprägung quer zur Begehungsrichtung zu verstehen.

### Längsunebenheit [LU]

#### Parameter der Zustandserfassung

Mangelausmaß  $\rightarrow A_{LU} [mm^2]$

Mangelausprägung  $\rightarrow \Delta h_{LU} [mm]$

Unter Längsunebenheiten sind allgemeine Unebenheiten der Asphaltdecke in Form von Erhebungen oder Mulden mit Ausprägung längs zur Begehungsrichtung zu verstehen.

### Aufwölbung [AW]

#### Parameter der Zustandserfassung

Mangelausmaß  $\rightarrow A_{AW} [mm^2]$

Mangelausprägung  $\rightarrow \Delta h_{AW} [mm]$

Unter Aufwölbungen sind einseitige und länglich ausgeprägte Erhebungen der Asphaltdecke im Randbereich entlang der Fahrköpfe oder Leitköpfe der Rillenschienen zu verstehen.

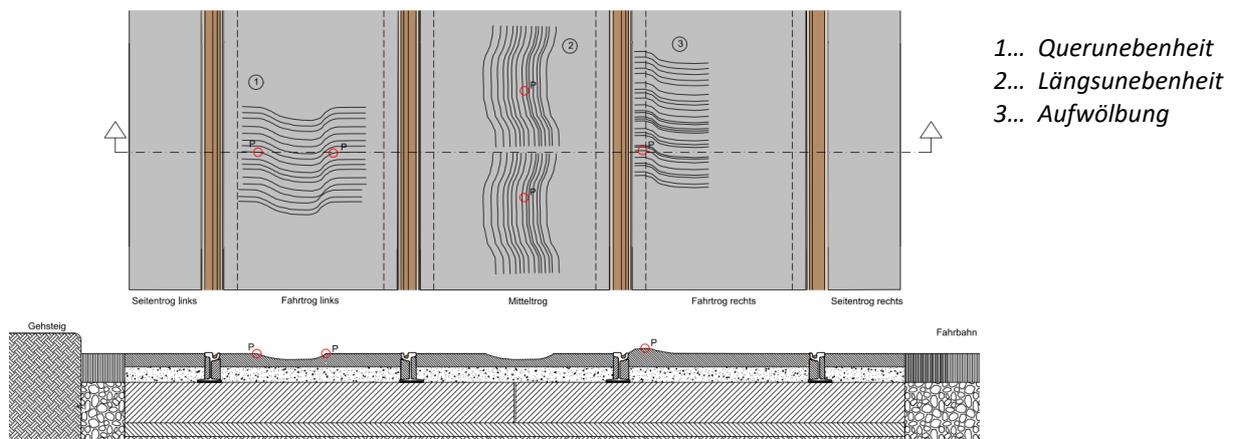


Abbildung 4.13 Ebenheitsmängel an der Asphaltdecke (Eigene Darstellung)

#### 4.3.1.5 Fugenmängel

Fugenmängel können an Platteneindeckungen (PE), Ortbetoneindeckungen (BE) und Asphaltdeckungen (AE) auftreten.

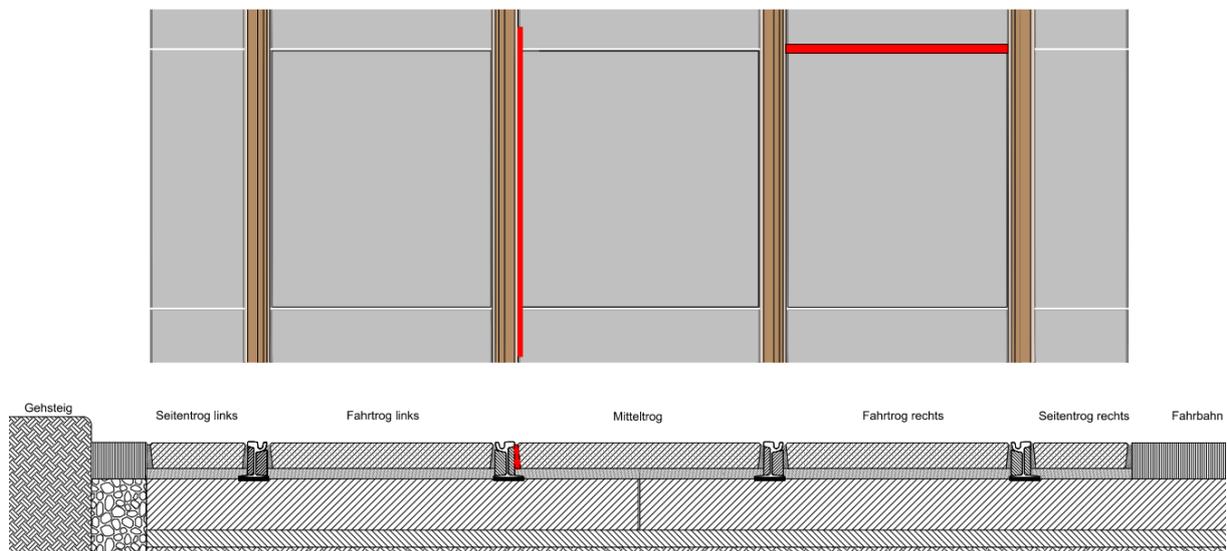
#### Mangelbeschreibung für PE, BE & AE

Unter einem Fugenmangel ist im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges ein fehlender oder unzureichender Fugenverschluss zu verstehen (siehe Abbildung 4.14) (32 S. 36). Ein Fugenmangel ist bei der Zustandserfassung als *Offene Fuge* aufzunehmen.

**Offene Fuge [OF]**

<b>Parameter der Zustandserfassung</b>	<i>Mangelausmaß</i>	→ $L_{OF}$ [mm]
	<i>Mangelausprägung</i>	→ <i>keine</i>

Bei Platteneindeckungen sind unter Fugenmängel offene Fugen zu verstehen, gekennzeichnet durch nicht ordnungsgemäß verfüllte Fugen mit beispielsweise Streusplitt zwischen den seitlichen, vorderen oder hinteren Kanten der Platten und den danebenliegenden angrenzenden Bereichen zu verstehen. Mögliche angrenzende Bereiche sind je nach Lage der Spalte im Querschnitt und der genauen Lage der Spalte am Kantenverlauf der Platte die Fahrköpfe der Rillenschiene, die Leitköpfe der Rillenschiene, die angrenzenden Platten oder der angrenzende Fahrbahnbelag bzw. Gehsteigbelag. Bei Ortbeton- und Asphalteindeckungen sind unter Fugenmängel nicht haftende oder unzureichend verschlossene Fugen durch ein elastisches Füllmaterial zu verstehen.



**Abbildung 4.14 Veranschaulichung von Fugenmängel am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)**

4.3.1.6 Oberflächenmängel

Oberflächenmängel können an Platteneindeckungen (**PE**), Ortbetoneindeckungen (**BE**) und Asphalteindeckungen (**AE**) auftreten.

**Mangelbeschreibung für PE, BE & AE**

Unter Oberflächenmängel sind im Rahmen dieses Schadens- und Mangelkataloges Abweichungen vom planmäßigen lückenlosen Zustand der Gleiseindeckung in Form von Unterbrechungen der Wegoberfläche zu verstehen (siehe Abbildung 4.15). Ein Oberflächenmangel ist bei der Zustandserfassung als *Spalt* aufzunehmen.

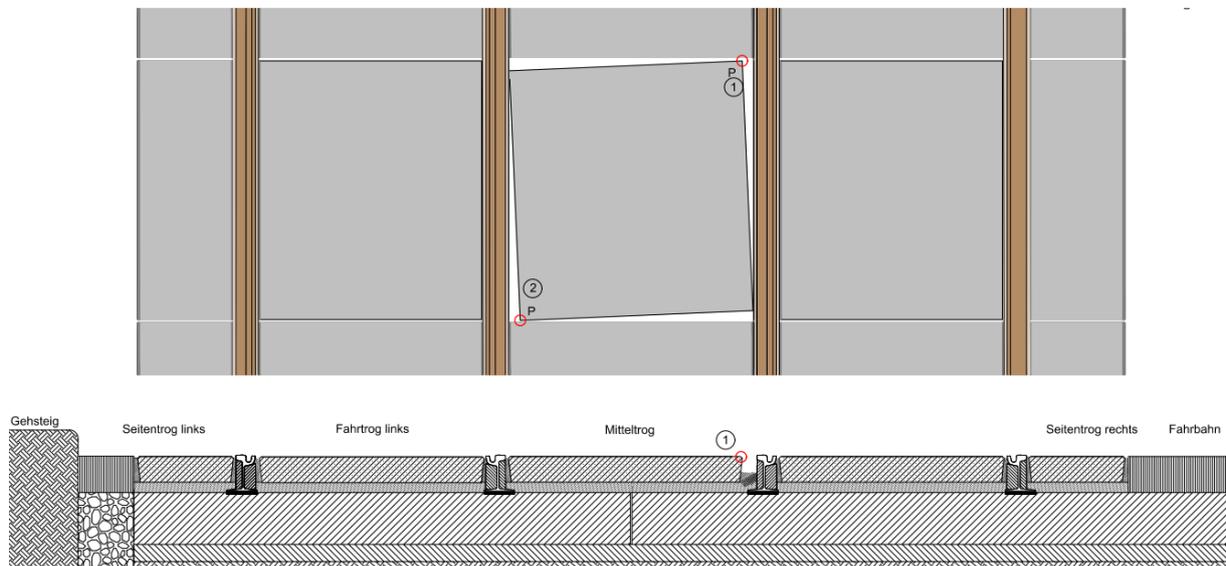
**Spalt [SP]**

**Parameter der Zustandserfassung**

*Mangelausmaß* →  $b_{SP}$  [mm]

*Mangelausprägung* →  $t_{SP}$  [mm]

Unter einem Spalt sind offene Fugen, gekennzeichnet durch Spaltweiten zwischen den Kanten der Gleiseindeckung und den danebenliegenden angrenzenden Bereichen zu verstehen. Mögliche angrenzende Bereiche sind je nach Lage der Spalte im Querschnitt und der genauen Lage der Spalte am Kantenverlauf der Gleiseindeckung die Fahrköpfe der Rillenschiene, die Leitköpfe der Rillenschiene, die angrenzenden Platten oder der angrenzende Fahrbelag bzw. Gehsteigbelag.



**Abbildung 4.15 Veranschaulichung von Oberflächenmängel am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung)**

4.3.2 Erfassungsmethodik – Schäden und Mängel

4.3.2.1 Risschäden – Platteneindeckung und Ortbetoneindeckung

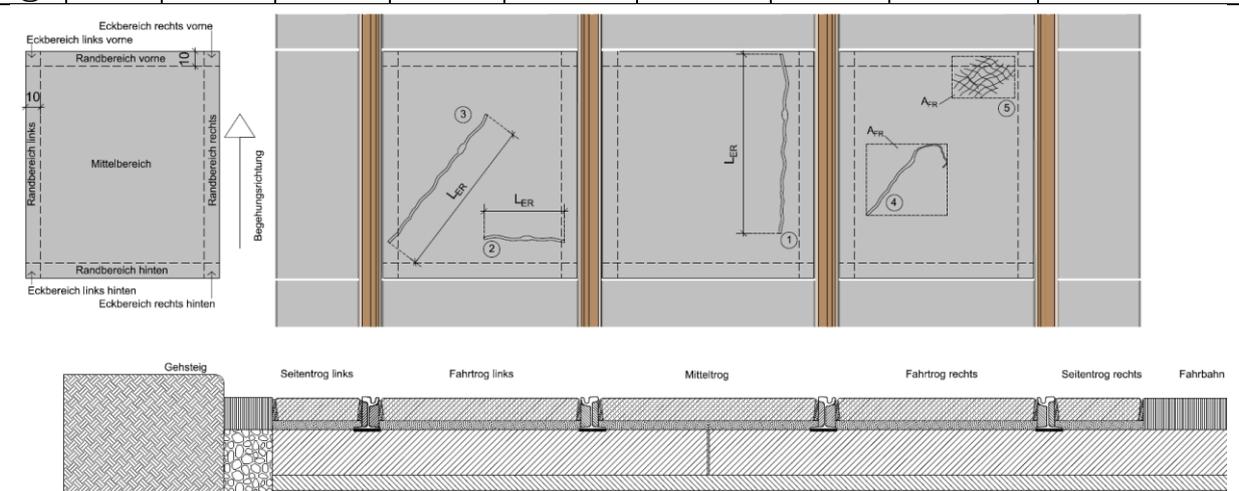
- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

**Schritt 4a – Erfassung des Schadensausmaßes und der Schadensausprägung**

Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm] bzw. [mm <sup>2</sup> ]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Einzelriss → ER_L	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Längsriss
②	Einzelriss → ER_Q	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Querriss
③	Einzelriss → ER_S	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Schrägriss
④	Flächenhafter Riss → FR_U	A <sub>FR</sub>	b <sub>FR</sub>	Unregelmäßiger Riss
⑤	Flächenhafter Riss → FR_N	A <sub>FR</sub>	b <sub>FR</sub>	Netzriss

**Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens**

Nr.	Randbereich				Eckbereich				Mittelbereich
	Links	Rechts	Vorne	Hinten	Links vorne	Links hinten	Rechts vorne	Rechts hinten	
①			X						X
②		X							X
③	X								X
④									X
⑤			X						X



**Anmerkungen**

Ausmaß

- Einzelriss: Erfassung der Länge L der Verbindungsgerade zwischen den Enden des Einzelrisses in [mm]
- Flächenhafter Riss: Erfassung der Fläche A des Quadrats welches die äußersten Risskanten umfasst in [mm<sup>2</sup>]

Ausprägung

- Einzelriss & Flächenhafter Riss: Die Rissweite b entspricht der maximal auftretenden Rissweite entlang des Risses und ist punktuell senkrecht zum Rissverlauf in [mm] zu erheben.

Lage

- Randbereich: 10cm breiter Bereich der Platte parallel zu den seitlichen, vorderen und hinteren Kanten der Platte. Davon ausgenommen sind die Eckbereiche.
- Eckbereich: Bereiche der Platte in den Ecken mit einem Flächenausmaß von 10x10cm.
- Mittelbereich: Bereich der weder den Kriterien der Rand- oder Eckbereiche entspricht.

→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche und Eckbereiche (links, rechts, vorne, hinten)

4.3.2.2 Risschäden – Asphalteindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Schadensausmaßes und der Schadensausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm] bzw. [mm <sup>2</sup> ]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Einzelriss → ER_L	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Längsriss
②	Einzelriss → ER_Q	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Querriss
③	Einzelriss → ER_S	L <sub>ER</sub>	b <sub>ER</sub>	Schrägriss
④	Flächenhafter Riss → FR_U	A <sub>FR</sub>	b <sub>FR</sub>	Unregelmäßiger Riss
⑤	Flächenhafter Riss → FR_N	A <sub>FR</sub>	b <sub>FR</sub>	Netzriss

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens			
Nr.	Randbereich		Mittelbereich
	Links	Rechts	
①			X
②		X	X
③	X		X
④			X
⑤			X

Anmerkungen
<p><u>Ausmaß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Einzelriss: Erfassung der Länge L der Verbindungsgerade zwischen den Enden des Einzelrisses in [mm]</li> <li>-Flächenhafter Riss: Erfassung der Fläche A des Quadrats welches die äußersten Risskanten umfasst in [mm<sup>2</sup>]</li> </ul> <p><u>Ausprägung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Einzelriss &amp; Flächenhafter Riss: Die Rissweite b entspricht der maximal auftretenden Rissweite entlang des Risses und ist punktuell senkrecht zum Rissverlauf in [mm] zu erheben.</li> </ul> <p><u>Lage</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Randbereich: 10cm breiter Asphaltstreifen parallel zu den seitlichen Kanten der Gleiseindeckung.</li> <li>-Mittelbereich: Asphaltstreifen zwischen den Randbereichen</li> </ul> <p>→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche (links, rechts)</p>

4.3.2.3 Oberflächenschäden – Platteneindeckung und Ortbetoneindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Schadensausmaßes und der Schadensausprägung									
Nr.	Einzelmerkmal				Ausmaß [mm <sup>2</sup> ]		Ausprägung [mm]		Anmerkung
①	Oberflächenausbruch →OA				$A_{OA}$		$t_{OA}$		-
②	Oberflächenausbruch →OA				$A_{OA}$		$t_{OA}$		-
③	Oberflächenausbruch →OA				$A_{OA}$		$t_{OA}$		-
④	Kantenausbruch →KA				$A_{KA}$		$t_{KA}$		-
⑤	Kantenausbruch →KA				$A_{KA}$		$t_{KA}$		-
Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens									
Nr.	Randbereich				Eckbereich				Mittelbereich
	Links	Rechts	Vorne	Hinten	Links vorne	Links hinten	Rechts vorne	Rechts hinten	
①									X
②		X							X
③	X		X		X				X
④				X		X			
⑤		X	X				X		

Diagramm zur Lageerfassung des Schadens: Ein 10x10cm-Quadrat ist in vier Eckbereiche (links vorne, rechts vorne, links hinten, rechts hinten) und vier Randbereiche (links, rechts, vorne, hinten) unterteilt. Der Mittelbereich ist der zentrale Bereich. Die Begehungsrichtung ist durch einen Pfeil nach oben angedeutet.

Drei Planansichten zeigen die genaue Lage von Schäden 1, 2 und 3 auf der Platte. Die Flächenausmaße  $A_{OA}$  und  $A_{KA}$  sind eingezeichnet.

Querschnittsdiagramm der Schiene mit den verschiedenen Bereichen: Gehsteig, Seitentrog links, Fahrtrog links, Mitteltrög, Fahrtrog rechts, Seitentrog rechts, Fahrbahn.

Anmerkungen	
<b>Ausmaß</b>	Erfassung der Fläche A des Quadrats welches die äußersten Ausbruchskanten umfasst in [mm <sup>2</sup> ]
<b>Ausprägung</b>	Die Ausbruchstiefe t entspricht der maximal auftretenden Tiefe im Bereich des Oberflächenschadens bezogen auf das Niveau der unversehrten Plattenoberfläche und ist in [mm] zu erheben.
<b>Lage</b>	-Randbereich: 10cm breiter Bereich der Platte parallel zu den seitlichen, vorderen und hinteren Kanten der Platte. Davon ausgenommen sind die Eckbereiche. -Eckbereich: Bereiche der Platte in den Ecken mit einem Flächenausmaß von 10x10cm. -Mittelbereich: Bereich der weder den Kriterien der Rand- oder Eckbereiche entspricht.
	→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche und Eckbereiche (links, rechts, vorne, hinten)

4.3.2.4 Oberflächenschäden – Asphalteindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Schadensausmaßes und der Schadensausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm <sup>2</sup> ]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Oberflächenausbruch → OA	$A_{OA}$	$t_{OA}$	-
②	Oberflächenausbruch → OA	$A_{OA}$	$t_{OA}$	-
③	Oberflächenausbruch → OA	$A_{OA}$	$t_{OA}$	-
④	Kantenausbruch → KA	$A_{KA}$	$t_{KA}$	-

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens			
Nr.	Randbereich		Mittelbereich
	Links	Rechts	
①			X
②		X	X
③	X		X
④	X		

**Anmerkungen**

Ausmaß

Erfassung der Fläche A des Quadrats welches die äußersten Ausbruchskanten umfasst in [mm<sup>2</sup>]

Ausprägung

Die Ausbruchstiefe t entspricht der maximal auftretenden Tiefe im Bereich des Oberflächenschadens bezogen auf das Niveau der unversehrten Plattenoberfläche und ist in [mm] zu erheben.

Lage

- Randbereich: 10cm breiter Asphaltstreifen parallel zu den seitlichen Kanten der Gleiseindeckung.
- Mittelbereich: Asphaltstreifen zwischen den Randbereichen

→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche (links, rechts)

4.3.2.5 Bruchschäden – Platteneindeckung

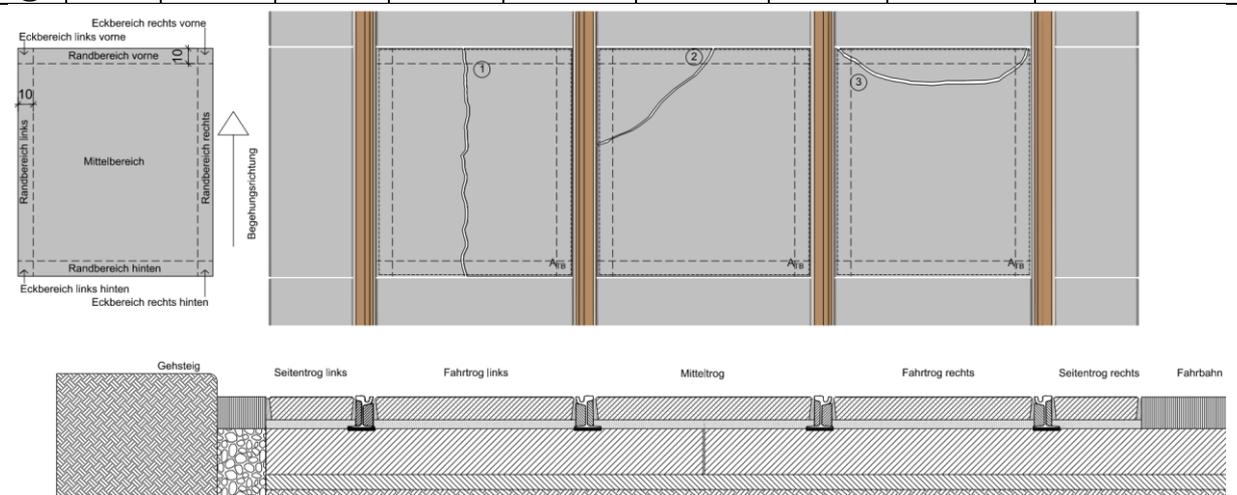
- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

**Schritt 4a – Erfassung des Schadensausmaßes und der Schadensausprägung**

Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm <sup>2</sup> ]	Ausprägung	Anmerkung
①	Trennbruch →TB	$A_{TB} = b * l$	-	-
②	Trennbruch →TB	$A_{TB} = b * l$	-	-
③	Trennbruch →TB	$A_{TB} = b * l$	-	-

**Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens**

Nr.	Randbereich				Eckbereich				Mittelbereich
	Links	Rechts	Vorne	Hinten	Links oben	Links unten	Rechts oben	Rechts unten	
①			X	X					X
②	X		X						X
③			X		X		X		X



**Anmerkungen**

Ausmaß

Wird ein Plattenbruch aufgefunden, so ist als Ausmaß die gesamte Plattenoberfläche A der betreffenden Platte in [mm<sup>2</sup>] aufzunehmen. Zusätzlich ist die Breite b und die Länge l der Platte aufzunehmen, um eine Platte in entsprechender Größe im Rahmen von Instandhaltungsmaßnahmen ersetzen zu können.

Lage

- Randbereich: 10cm breiter Bereich der Platte parallel zu den seitlichen, vorderen und hinteren Kanten der Platte. Davon ausgenommen sind die Eckbereiche.
- Eckbereich: Bereiche der Platte in den Ecken mit einem Flächenausmaß von 10x10cm.
- Mittelbereich: Bereich der weder den Kriterien der Rand- oder Eckbereiche entspricht.

→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche und Eckbereiche (links, rechts, vorne, hinten)

4.3.2.6 Ebenheitsmängel – Platteneindeckung und Ortbetoneindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung								
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm]		Ausprägung [mm]		Anmerkung		
①	Stufung→ST	$\Delta h_{ST}$		-		-		
②	Stufung→ST	$\Delta h_{ST}$		-		-		
③	Stufung→ST	$\Delta h_{ST}$		-		-		
④	Stufung→ST	$\Delta h_{ST}$		-		-		

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Mangels								
Nr.	Kante				Ecke			
	Links	Rechts	Vorne	Hinten	Links oben	Links hinten	Rechts vorne	Rechts unten
①			X				X	
②		X					X	
③	X					X		
④				X		X		

**Anmerkungen**

Ausmaß  
Die Stufung  $\Delta h$  entspricht der maximal auftretenden Höhendifferenz zwischen der Kante einer Platte und dem angrenzenden Bereich. Die Höhendifferenz ist in der Regel an den Eckpunkten der Platte zu messen bezogen auf das Niveau des angrenzenden Bereichs und in [mm] zu erheben.

Lage  
-Kante links: Seitliche Kante links in Richtung der Begehungsrichtung  
-Kante rechts: Seitliche Kante rechts in Richtung der Begehungsrichtung  
-Kante vorne: Vordere Kante in Richtung der Begehungsrichtung  
-Kante hinten: Hintere Kante in Richtung der Begehungsrichtung

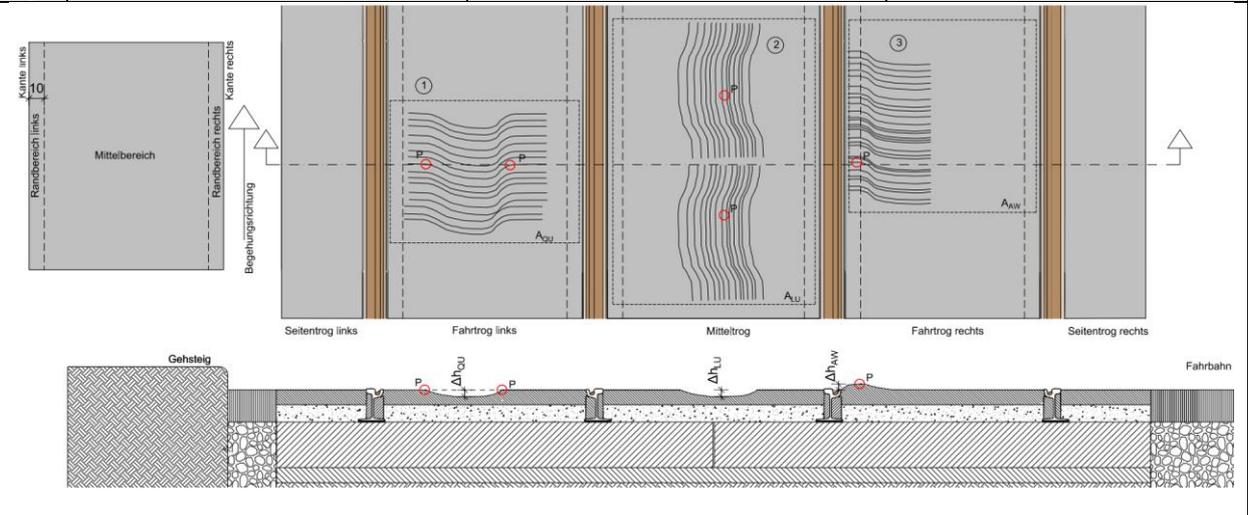
→Durch die Angabe der genauen Lage im Querschnitt und der Angabe der Kante bzw. Ecke ist für spätere Auswertungen eindeutig erkennbar auf welchen angrenzenden Bereich sich diese Höhendifferenz bezieht. Beispielsweise würde sich eine Erfassung „Mittelweg – Kante links“ auf die Höhendifferenz zwischen dem Eckpunkt der Platte und dem Fahrkopf der Rillenschiene beziehen. „Fahrtrog links – Kante links“ wäre beispielsweise die Höhendifferenz zwischen dem Eckpunkt der Platte und dem Leitkopf der Rillenschiene und „Mittelweg – Kante hinten“ wäre die Höhendifferenz zwischen den Platten in Längsrichtung.

4.3.2.7 Ebenheitsmängel – Asphalteindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm <sup>2</sup> ]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Querunebenheit → QU	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$	-
②	Längsunebenheit → LU	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$	-
③	Aufwölbung → AW	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$	-

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Schadens			
Nr.	Randbereich		Mittelbereich
	Links	Rechts	
①			X
②			X
③	X		



**Anmerkungen**

Ausmaß  
Erfassung der Fläche A des Quadrats welches die Unebenheiten einschließt in [mm<sup>2</sup>]. Unabhängig von der Ausdehnung der Unebenheitsstelle in Querrichtung ist bei der Aufnahme des Ausmaßes die volle Breite des Streifens zu berücksichtigen.

Ausprägung  
-Querunebenheit und Längsunebenheit: Es ist das größte Stichmaß zwischen der Verbindungsgerade der beiden relativen Hochpunkte P und der tiefsten Stelle der Unebenheit zu messen.  
-Aufwölbungen: Es ist der senkrechte Abstand vom angrenzenden Bereich (Fahrkopf, Leitkopf) zum relativen Hochpunkt P zu messen in [mm].

Lage  
-Randbereich: 10cm breiter Asphaltstreifen parallel zu den seitlichen Kanten der Gleiseindeckung.  
-Mittelbereich: Asphaltstreifen zwischen den Randbereichen

→ Die Angabe der Begehungsrichtung ist aus dem jeweiligem Routenblatt zu entnehmen. Aus der Begehungsrichtung ergibt sich die eindeutige Lage der Randbereiche (links, rechts)

4.3.2.8 Oberflächenmängel – Platteneindeckung und Ortbetoneindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung								
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm]				Ausprägung [mm]		Anmerkung
①	Spalt →SP	$b_{SP}$				$t_{SP}$		-
②	Spalt →SP	$b_{SP}$				$t_{SP}$		-

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Mangels								
Nr.	Kante				Ecke			
	Links	Rechts	Vorne	Hinten	Links vorne	Links hinten	Rechts vorne	Rechts hinten
①		X					X	
②	X					X		

**Anmerkungen**

Ausmaß  
 Der Spalt  $b$  entspricht der maximal auftretenden Spaltweite zwischen der Kante einer Platte und dem angrenzenden Bereich. Die Spaltweite ist in der Regel an den Eckpunkten der Platte zu messen und in [mm] zu erheben. Sollte die Spaltweite  $b$  entlang der Kante außerhalb der Eckbereiche der Platte größer sein, z.B. aufgrund eines Fugenschadens zum angrenzenden Fahrbahnbelag in Plattenmitte, so ist die Spaltweite in diesem Bereich zu messen.

Ausprägung  
 Die Spalttiefe  $t$  entspricht der Tiefe des Spaltes im Messpunktbereich der Spaltweite bezogen auf das niedrigere Höhenniveau der Platte oder des angrenzenden Bereichs und ist in [mm] zu erheben.

Lage  
 -Kante links: Seitliche Kante links in Richtung der Begehungsrichtung  
 -Kante rechts: Seitliche Kante rechts in Richtung der Begehungsrichtung  
 -Kante vorne: Vordere Kante in Richtung der Begehungsrichtung  
 -Kante hinten: Hintere Kante in Richtung der Begehungsrichtung

→Durch die Angabe der genauen Lage im Querschnitt und der Angabe der Kante bzw. Ecke ist für spätere Auswertungen eindeutig erkennbar auf welchen angrenzenden Bereich sich diese Spaltweite bezieht. Beispielsweise würde sich eine Erfassung „Mitteltrog – Kante links“ auf die Spaltweite zwischen dem Eckpunkt der Platte und dem Fahrkopf der Rillenschiene beziehen. „Fahrtrog links – Kante links“ wäre beispielsweise die Spaltweite zwischen dem Eckpunkt der Platte und dem Leitkopf der Rillenschiene und „Mitteltrog – Kante hinten“ wäre die Spaltweite zwischen den Platten in Längsrichtung.

4.3.2.9 Oberflächenmängel – Asphaltdeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Spalt → SP	$b_{SP}$	$t_{SP}$	-
Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Mangels				
Nr.	Kante			
	Links			Rechts
①				X

Anmerkungen	
<b>Ausmaß</b>	Der Spalt $b$ entspricht der maximal auftretenden Spaltweite zwischen der Kante der Asphaltdeckung und dem angrenzenden Bereich.
<b>Ausprägung</b>	Die Spalttiefe $t$ entspricht der Tiefe des Spaltes im Messpunktbereich der Spaltweite bezogen auf das niedrigere Höhenniveau der Asphaltdeckung oder des angrenzenden Bereichs und ist in [mm] zu erheben.
<b>Lage</b>	-Kante links: Seitliche Kante links in Richtung der Begehungsrichtung -Kante rechts: Seitliche Kante rechts in Richtung der Begehungsrichtung

4.3.2.10 Fugemängel – Platteneindeckung und Ortbetoneindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm]	Ausprägung	Anmerkung
①	Offene Fuge →OF	$L_{OF}$	-	-
②	Offene Fuge →OF	$L_{OF}$	-	-

Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Mangels				
Nr.	Kante			
	Links	Rechts	Vorne	Hinten
①	X			
②			X	

**Anmerkungen**

Ausmaß

Erfassung der Länge L der nicht ordnungsgemäß verfüllten Fugen mit Streusplitt (PE) oder der nicht haftenden bzw. unzureichend verschlossenen Fugen durch ein elastisches Füllmaterial (BE) zwischen den seitlichen, vorderen oder hinteren Kanten der Platten und den danebenliegenden angrenzenden Bereichen in [mm].

Lage

- Kante links: Seitliche Kante links in Richtung der Begehungsrichtung
- Kante rechts: Seitliche Kante rechts in Richtung der Begehungsrichtung

4.3.2.11 Fugenmängel –Asphalteindeckung

- 1) **Schritt 1 - Bestimmung der Örtlichkeit** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 2) **Schritt 2 - Bestimmung der Lage im Querschnitt** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 3) **Schritt 3 - Bestimmung der Eindeckungsart** (siehe Kapitel 4.2.2)
- 4) **Schritt 4 - Erfassung des Ausmaßes und ggf. der Ausprägung**

Schritt 4a – Erfassung des Mangelausmaßes und der Mangelausprägung				
Nr.	Einzelmerkmal	Ausmaß [mm]	Ausprägung [mm]	Anmerkung
①	Offene Fuge →OF	$L_{OF}$	-	-
Schritt 4b – Erfassung der genauen Lage des Mangels				
Nr.	Kante			
	Links	Rechts	Vorne	Hinten
①	X			
Anmerkungen				
<p><u>Ausmaß</u> Erfassung der Länge L der nicht haftenden oder unzureichend verschlossenen Fugen durch ein elastisches Füllmaterial zwischen den seitlichen Kanten der Asphalteindeckung und den danebenliegenden angrenzenden Bereichen in [mm].</p> <p><u>Lage</u> -Kante links: Seitliche Kante links in Richtung der Begehungsrichtung -Kante rechts: Seitliche Kante rechts in Richtung der Begehungsrichtung</p>				

#### 4.4 Instandhaltungskatalog

Grenzwerte der Aufmerksamkeitsschwelle (AS) und der Eingriffsschwelle (ES) könnten immer für die im jeweiligen Schadens- und Mangelkatalog definierten Erfassungsgrößen des *Ausmaßes* und der *Ausprägung* festgelegt werden. Zudem könnten bei einzelnen Schadens- und Mangelarten die Festlegung von Grenzwerten unter Berücksichtigung der Bereiche mit unterschiedlichem hohem Anforderungsniveau der Gleiszone unterschieden werden.

<b>Grenzwerte – Schäden und Mängel</b>				
Bereiche	Aufmerksamkeitsschwelle (AS)		Eingriffsschwelle (ES)	
	Ausmaß	Ausprägung	Ausmaß	Ausprägung
<b>Einzelrisse ER</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$L_{ER}$	$b_{ER}$	$L_{ER}$	$b_{ER}$
Mittleres Anforderungsniveau	$L_{ER}$	$b_{ER}$	$L_{ER}$	$b_{ER}$
Hohes Anforderungsniveau	$L_{ER}$	$b_{ER}$	$L_{ER}$	$b_{ER}$
<b>Flächenhafte Risse FR</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{FR}$	$b_{FR}$	$A_{FR}$	$b_{FR}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{FR}$	$b_{FR}$	$A_{FR}$	$b_{FR}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{FR}$	$b_{FR}$	$A_{FR}$	$b_{FR}$
<b>Oberflächenausbrüche OA</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{OA}$	$t_{OA}$	$A_{OA}$	$t_{OA}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{OA}$	$t_{OA}$	$A_{OA}$	$t_{OA}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{OA}$	$t_{OA}$	$A_{OA}$	$t_{OA}$
<b>Kantenausbrüche KA</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{KA}$	$t_{KA}$	$A_{KA}$	$t_{KA}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{KA}$	$t_{KA}$	$A_{KA}$	$t_{KA}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{KA}$	$t_{KA}$	$A_{KA}$	$t_{KA}$
<b>Trennbruch TB</b>				
Geringes Anforderungsniveau	/		Bei einem Plattenbruch ist die betroffene Platte zu ersetzen!	
Mittleres Anforderungsniveau				
Hohes Anforderungsniveau				
<b>Stufungen ST</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$\Delta h_{ST}$	/	$\Delta h_{ST}$	/
Mittleres Anforderungsniveau	$\Delta h_{ST}$		$\Delta h_{ST}$	
Hohes Anforderungsniveau	$\Delta h_{ST}$		$\Delta h_{ST}$	
<b>Querunebenheiten QU</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$	$A_{QU}$	$\Delta h_{QU}$
<b>Längsunebenheiten LU</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$	$A_{LU}$	$\Delta h_{LU}$
<b>Aufwölbungen AW</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$	$A_{AW}$	$\Delta h_{AW}$
<b>Spalte SP</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$b_{SP}$	$t_{SP}$	$b_{SP}$	$t_{SP}$
Mittleres Anforderungsniveau	$b_{SP}$	$t_{SP}$	$b_{SP}$	$t_{SP}$
Hohes Anforderungsniveau	$b_{SP}$	$t_{SP}$	$b_{SP}$	$t_{SP}$
<b>Offene Fugen OF</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$L_{OF}$	/	$L_{OF}$	/
Mittleres Anforderungsniveau	$L_{OF}$		$L_{OF}$	
Hohes Anforderungsniveau	$L_{OF}$		$L_{OF}$	

Tabelle 4.1 Grenzwerte der Aufmerksamkeitsschwelle (AS) und der Eingriffsschwelle (ES) (Eigene Darstellung)

## 4-Fahrweg der Straßenbahn – Zustandserfassung von Schäden und Mängeln

Grenzwerte für die unterschiedlichen Anforderungsniveaus einer Gleiszone für jeden einzelnen Schaden und Mangel festzulegen ist natürlich nicht erforderlich und zielführend. Vielmehr könnten im Hinblick auf die Anforderung der Nutzer überlegt werden wo dies erforderlich ist. In nachstehender Tabelle ein Vorschlag für die Festlegung von Grenzwerten und mit zugehörigen Beispielwerten:

<b>Vorgeschlagene Grenzwerte – Schäden und Mängel</b>				
Bereiche	Aufmerksamkeitsschwelle (AS)		Eingriffsschwelle (ES)	
	Ausmaß	Ausprägung	Ausmaß	Ausprägung
<b>Einzelrisse ER</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$L_{ER} \geq 100mm$	$b_{ER} \geq 1mm$	$L_{ER} \geq 100mm$	$b_{ER} \geq 2mm$
Mittleres Anforderungsniveau				
Hohes Anforderungsniveau				
<b>Flächenhafte Risse FR</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{FR} \geq 100/100mm$	$b_{FR} \geq 1mm$	$A_{FR} \geq 100/100mm$	$b_{FR} \geq 2mm$
Mittleres Anforderungsniveau				
Hohes Anforderungsniveau				
<b>Oberflächenausbrüche OA</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{OA} \geq 50/50mm$	$t_{OA} \geq 20mm$	$A_{OA} \geq 50/50mm$	$t_{OA} \geq 30mm$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{OA} \geq 50/50mm$	$t_{OA} \geq 10mm$	$A_{OA} \geq 50/50mm$	$t_{OA} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau	$A_{OA} \geq 30/30mm$	$t_{OA} \geq 5mm$	$A_{OA} \geq 30/30mm$	$t_{OA} \geq 10mm$
<b>Kantenausbrüche KA</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$A_{KA} \geq 50/50mm$	$t_{KA} \geq 20mm$	$A_{KA} \geq 50/50mm$	$t_{KA} \geq 30mm$
Mittleres Anforderungsniveau	$A_{KA} \geq 50/50mm$	$t_{KA} \geq 10mm$	$A_{KA} \geq 50/50mm$	$t_{KA} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau	–	–	$A_{KA} \geq 30/30mm$	$t_{KA} \geq 10mm$
<b>Trennbruch TB</b>				
Geringes Anforderungsniveau	/		<i>Bei einem Plattenbruch ist die betroffene Platte zu ersetzen!</i>	
Mittleres Anforderungsniveau				
Hohes Anforderungsniveau				
<b>Stufungen ST</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$\Delta h_{ST} \geq 20mm$	/	$\Delta h_{ST} \geq 30mm$	/
Mittleres Anforderungsniveau	$\Delta h_{ST} \geq 10mm$		$\Delta h_{ST} \geq 20mm$	
Hohes Anforderungsniveau	–		$\Delta h_{ST} \geq 10mm$	
<b>Querunebenheiten QU</b>				
Geringes Anforderungsniveau	–	$\Delta h_{QU} \geq 20mm$	–	$\Delta h_{QU} \geq 30mm$
Mittleres Anforderungsniveau		$\Delta h_{QU} \geq 20mm$		$\Delta h_{QU} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau		$\Delta h_{QU} \geq 10mm$		$\Delta h_{QU} \geq 20mm$
<b>Längsunebenheiten LU</b>				
Geringes Anforderungsniveau	–	$\Delta h_{LU} \geq 20mm$	–	$\Delta h_{LU} \geq 20mm$
Mittleres Anforderungsniveau		$\Delta h_{LU} \geq 20mm$		$\Delta h_{LU} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau		$\Delta h_{LU} \geq 10mm$		$\Delta h_{LU} \geq 10mm$
<b>Aufwölbungen AW</b>				
Geringes Anforderungsniveau	–	$\Delta h_{AW} \geq 20mm$	–	$\Delta h_{AW} \geq 20mm$
Mittleres Anforderungsniveau		$\Delta h_{AW} \geq 20mm$		$\Delta h_{AW} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau		$\Delta h_{AW} \geq 10mm$		$\Delta h_{AW} \geq 10mm$
<b>Spalte SP</b>				
Geringes Anforderungsniveau	$b_{SP} \geq 40mm$	$t_{SP} \geq 20mm$	$b_{SP} \geq 50mm$	$t_{SP} \geq 20mm$
Mittleres Anforderungsniveau	$b_{SP} \geq 30mm$	$t_{SP} \geq 20mm$	$b_{SP} \geq 40mm$	$t_{SP} \geq 20mm$
Hohes Anforderungsniveau	–	–	$b_{SP} \geq 30mm$	$t_{SP} \geq 20mm$
<b>Offene Fugen OF</b>				
Geringes Anforderungsniveau	–	/	–	/
Mittleres Anforderungsniveau				
Hohes Anforderungsniveau				

**Tabelle 4.2 Vorschlag - Grenzwerte der Aufmerksamkeitsschwelle (AS) und der Eingriffsschwelle (ES) (Eigene Darstellung)**

Dabei gilt, dass das Erreichen der Eingriffsschwelle (ES) bei jedem Schaden oder Mangel einen ausreichend großen Abstand zur Aufmerksamkeitsschwelle (AS) aufweisen muss. Insbe-

sondere bei innerstädtischen Verkehrsbetrieben wo sich die Gleisinfrastruktur im öffentlichen Raum befindet sollte eine ausreichende Zeit zwischen den Schwellenwerten verbleiben, um etwaige erforderliche Genehmigungen einholen zu können und Koordinationstätigkeiten durchführen zu können. Für die Wahl von geeigneten Aufmerksamkeitsschwellen (AS) und Eingriffsschwellen (ES) könnten in einem ersten Schritt bisherige Erfahrungswerte verwendet werden. In weiterer Folge kann nach Erprobung der objektiven Zustandserfassung der Mehrwert der zeitlichen Zustandsentwicklung herangezogen werden.

### 5 Schlussfolgerung

Die netzweite Erfassung des Zustandes der Oberflächeneindeckung in Form von einer visuellen Zustandserfassung stellt Infrastrukturbetreiber vor eine schwierige Aufgabe. Die verpflichtenden wiederkehrenden Überprüfungen der Betriebsanlagen in Form von regelmäßigen Inspektionen könnten hierfür als Grundlage dienen. Ziel der Infrastrukturbetreiber ist es, zielorientiert mit dem geringsten möglichen Aufwand einen möglichst großen Nutzen und Mehrwert aus Inspektionen zu ziehen.

Zur Erreichung dieses Zieles gilt es in erster Hinsicht die zu erfassenden relevanten Schäden und Mängel an den unterschiedlichen Arten der Oberflächeneindeckungen festzustellen. Dafür sind die Anforderungen an die Oberflächeneindeckung im Hinblick auf die Betriebs- und Verkehrssicherheit zu untersuchen und Gebrauchseigenschaften, welcher zur Erfüllung dieser gewährleistet sein müssen, zu identifizieren. Als Ergebnis dieser Arbeit sind die Niveaugleichheit, Lückenlosigkeit, Rutschfestigkeit und Neigung für die Nutzer des Schienenverkehrs und des Straßenverkehrs die möglichen relevanten Gebrauchseigenschaften. In Anlehnung an diese ist ein umfassender Schadens- und Mangelkatalog entstanden. Die Schäden und Mängel sind dabei in Merkmalsgruppen unterteilt und Merkmalsgruppen, in Abhängigkeit von der Eindeckungsart, spezifische Einzelmerkmale zugeordnet.

Zur Erreichung dieses Zieles gilt es in zweiter Hinsicht die Objektivität der erfassten Daten sicherzustellen. Eine objektive Zustandserfassung stellt die Reproduzierbarkeit, die Nachvollziehbarkeit und die Nutzbarkeit der erfassten Daten sicher. Die im Rahmen einer visuellen Inspektion erfassten Zustandsdaten haben in dieser Hinsicht für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen, die Erstellung von Prognosen betreffend der Gleisliegedauer aber auch beispielsweise zur Darstellung einer zeitlichen Zustandsentwicklung auch möglichst gut verwertbar zu sein. Zur Erfüllung dieser Anforderungen ist eine Methodik erarbeitet worden, um Inspektionsergebnisse zu objektivieren. Dazu ist neben einer verbalen Beschreibung der Schäden und Mängel jedem Einzelmerkmal klar definierte Parameter (Zustandsgröße, Lage, Ausprägung) zugeordnet, welche den Schaden oder Mangel ausreichend genau beschreiben. Zusätzlich ist im Rahmen dieser Arbeit ein Vorschlag für die Vorbereitung und Durchführung einer visuellen Zustandserfassung erarbeitet worden.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein möglicher Leitfaden der visuellen Zustandserfassung für innerstädtische Verkehrsbetriebe und Infrastrukturbetreiber. Mit der Anwendung eines solchen Leitfadens könnten subjektive Inspektionsergebnisse vermieden werden und aus den Inspektionen mögliche Mehrwerte generiert werden.

Vor Anwendung dieses Leitfadens wäre es ratsam, das Erfassungspersonal ausführlich zu schulen. In dieser Schulung könnten der Schadens- und Mangelkatalog erläutert werden, eine Vielzahl an zugehörigen Beispielbilder aus der Praxis durchgegangen werden und vor Ort Übungskurse mit sämtlichen Mitarbeitern des Erfassungspersonals durchgegangen werden. Es wäre zu empfehlen, die Anwendung dieses Leitfadens zu Beginn auf definierten Stre-

ckenabschnitten mehrfach auf Praxistauglichkeit zu testen. Dabei könnten im Rahmen von Inspektionen die Schäden und Mängel auf diesen Streckenabschnitten von allen unterschiedlichen Erfassungsteams getrennt erhoben werden und die Ergebnisse der Zustandserfassungen im Rahmen einer weiteren Schulung untereinander diskutiert, analysiert und verglichen werden. Etwaige Unklarheiten, Verbesserungsvorschläge, Wünsche oder andere Anregungen seitens des Erfassungspersonals betreffend dem Erfassungsbogen oder beispielweise der Erfassungsmethodik könnten somit gemeinsam besprochen und weiter ausgearbeitet werden, um den Prozess der objektiven Zustandserfassung laufend zu optimieren. Nach erfolgreicher Testphase könnte das Gleisnetz, unter der Einbindung des Erfassungspersonals, in die einzelnen Begehungsrouten, Erfassungsabschnitte und Unterabschnitte unterteilt werden und grafisch aufbereitete Routenpläne erstellt werden. Die Länge der Begehungsrouten hat sich idealerweise nach der Leistung vom Erfassungspersonal zu richten, sodass eine Begehungsrouten in einer Schicht abgegangen werden kann. Dabei kann die Einteilung der Begehungsrouten auch in Hinblick auf die Verkehrsbedeutung von Streckenabschnitten erfolgen. Es könnten zum Beispiel den einzelnen Streckenabschnitten bestimmte Wochentage und Tageszeiten zur Zustandserfassung zugeordnet werden. Der Prozess der objektiven Zustandserfassung hat im Idealfall immer unter Einbindung des Erfassungspersonals zu erfolgen.

## 6 Ausblick

Die Durchführung der visuellen Zustandserfassung wird in dieser Diplomarbeit auf Basis einer händischen Erfassung auf Papier mittels eines Erfassungsbogens und einer anschließenden Übertragung und Auswertung der Erfassungsdaten in einem PC erläutert. In Abhängigkeit von der Größe des Gleisnetzes und der Menge an gesammelten Zustandsdaten kann es durchaus sinnvoll sein die Zustandserfassung mithilfe eines mobilen Eingabegerätes, z.B. ein Tablet, und einer automatischen Übermittlung der Informationen in ein Auswertesystem durchzuführen. Die Basis bei dieser Methode stellt dabei ein digitales Netzmodell der gesamten Gleisinfrastruktur dar welches im Hintergrund auf den mobilen Erfassungsgerät dargestellt wird. Zur besseren Orientierung könnten neben der Gleisinfrastruktur auch relevante Straßenzüge, Straßennamen, Gebäude mit Hausnummern, Haltestellen oder sonstige relevante Objekte hinterlegt werden. Die Erfassungsmethodik der Schäden und Mängel aus dem erarbeiteten Schadens- und Mangelkatalog bleibt dabei die gleiche und es müsste mithilfe von Drop-Downs Menus und verschiedenen Auswahlfunktionen die Eingabe der relevanten Informationen möglich sein. Durch diese Erfassungsmethodik könnte der Aufwand der Zustandserfassung erheblich reduziert und die Qualität der erfassten Daten verbessert werden da die manuelle Übertragung in einen PC entfällt und eine etwaige Fehlerquelle bei der Übertragung entfällt. Eine weitere Optimierung und anzustrebendes Ziel wäre sicherlich die automatisierte Zustandserfassung der Oberflächeneindeckung, beispielsweise mit einem Gleismesswagen. Dabei könnten die in dieser Arbeit definierten Parameter des Ausmaßes und der Ausprägung für die unterschiedlichen Schäden und Mängel als Grundlage für die Umsetzung und Durchführung der automatischen Zustandserfassung dienen. In der heutigen Zeit, wo trotz wachsenden Gleisinfrastruktur und der steigenden Fahrgastzahlen die Instandhaltung mit immer weniger budgetären Mitteln erfolgt, ist eine effiziente und zielorientierte Zustandserfassung unerlässlich.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Typischer Aufbau eines Schienenfahrweges – SOB und FF (5 S. 106) (Eigene Darstellung) .....	4
Abbildung 2.2 Querschnittsbezeichnungen Rillenschienenoberbau (Eigene Darstellung) .....	6
Abbildung 2.3 Zusammenfassende Übersicht Oberbauarten (2 S. 286) (Eigene Darstellung) ..	8
Abbildung 2.4 Teilsysteme und Komponenten für geschlossene Oberbauten als FF-System (Eigene Darstellung) .....	9
Abbildung 2.5 Profilgrundformen einer Vignol- und einer Rillenschienen (Eigene Darstellung) .....	10
Abbildung 2.6 Elemente eines Spurstangensatz (Eigene Darstellung) .....	12
Abbildung 2.7 Gliederung der Konstruktionsarten (Eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 2.8 Konstruktionsart A1 (Eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 2.9 Konstruktionsart A2 (Eigene Darstellung) .....	15
Abbildung 2.10 Konstruktionsart A3 (Eigene Darstellung) .....	15
Abbildung 2.11 Konstruktionsart A4 (Eigene Darstellung) .....	15
Abbildung 2.12 Konstruktionsart A5 (Eigene Darstellung) .....	16
Abbildung 3.1 Verkehrsteilnehmer innerstädtischer Gleiszonen (16 S. 7) (Eigene Darstellung) .....	17
Abbildung 3.2 Einflüsse auf die Verkehrs- und Betriebssicherheit (17) (Eigene Darstellung). 18	
Abbildung 3.3 Beispielhafter Umrisspunkt P – Niederflurstraßenbahn ULF Typ-A Wiener Linien (19) (Eigene Darstellung) .....	20
Abbildung 3.4 Vertikale Ausragung ZKU – Neigungswechsel in Form von Kuppen (18 S. 43). 21	
Abbildung 3.5 Vertikale Ausragung ZWA – Neigungswechsel in Form von Wannen (18 S. 43) .....	22
Abbildung 3.6 Vertikale Verschiebung (18 S. 6) – Prinzipskizze (eigene Darstellung) .....	22
Abbildung 3.7 Vertikale Verlagerung (18 S. 7) – Prinzipskizze (eigene Darstellung) .....	26
Abbildung 3.8 Verlagerungen infolge statischer und dynamischer Kräfte (18 S. 46) – Prinzipskizze (eigene Darstellung) .....	27
Abbildung 3.9 Verlagerungen infolge Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen (18 S. 51) – Prinzipskizze (eigene Darstellung) .....	31
Abbildung 3.10 Zulässige Höhenlage <b>Zzul</b> bezogen auf den unverschlissenen Bezugspunkt (eigene Darstellung) .....	34
Abbildung 3.11 Zulässige Höhenlage <b>Zzul</b> unter Berücksichtigung des seitlichen lichten Raums (Eigene Darstellung) .....	35
Abbildung 3.12 Maßgebender Umrisspunkt P1 im Bereich von Wannen (19) (ULF Typ-A) (Eigene Darstellung) .....	36
Abbildung 3.13 Maßgebender Umrisspunkt P2 im Bereich von Kuppen oder ebener Linienführung (19) (ULF Typ-A) (Eigene Darstellung) .....	37
Abbildung 3.14 Magnetschienenbremsen beim ULF Typ-A (19) .....	40
Abbildung 3.15 Lage der Magnetschienenbremse im Querschnitt beim ULF Typ-A (Eigene Darstellung) .....	41
Abbildung 4.1 Beispielhafte Unterteilung einer Straßenbahnlinie in einzelne Begehungsrouten (Eigene Darstellung) .....	47
Abbildung 4.2 Beispielhafter Ausschnitt aus Begehungsrouten A3 (Eigene Darstellung) .....	47

Abbildung 4.3 Beispielhafte Unterteilung der Begehungsrouten A3 in Erfassungsabschnitte (Eigene Darstellung) .....	48
Abbildung 4.4 Beispielhafte Unterteilung der Erfassungsabschnitte in Unterabschnitte (Eigene Darstellung) .....	48
Abbildung 4.5 Beispielhafter Erfassungsbogen für die visuelle Zustandserfassung (Eigene Darstellung) .....	49
Abbildung 4.6 Erfassung der Lage eines Schadens oder Mangels im Querschnitt (Eigene Darstellung) .....	50
Abbildung 4.7 Geometrische Unterteilung der Eindeckungsfläche (Eigene Darstellung) .....	51
Abbildung 4.8 Unerwünschte Veränderungen der Gleiseindeckung - Merkmalsgruppen (Eigene Darstellung) .....	52
Abbildung 4.9 Veranschaulichung von Risschäden am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	56
Abbildung 4.10 Veranschaulichung von Oberflächenschäden am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	57
Abbildung 4.11 Trennbrüche an der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	58
Abbildung 4.12 Veranschaulichung von Ebenheitsmängeln am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	59
Abbildung 4.13 Ebenheitsmängel an der Asphalteindeckung (Eigene Darstellung) .....	60
Abbildung 4.14 Veranschaulichung von Fugenmängeln am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	61
Abbildung 4.15 Veranschaulichung von Oberflächenmängeln am Beispiel der Platteneindeckung (Eigene Darstellung) .....	62

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Kennwerte von gebräuchlichen Rillenschienenprofile im ÖPNV (13 S. 213) (Eigene Darstellung) .....	11
Tabelle 2.2 Gebräuchliche Schienenbefestigungssysteme für Bauarten der FF im ÖPNV (4 S. 218) (Eigene Darstellung) .....	12
Tabelle 2.3 Gebräuchliche Bauarten der FF im ÖPNV (4 S. 223-249) (Eigene Darstellung) ....	16
Tabelle 3.1 Erforderliche Bodenfreiheit eines Umrisspunktes <b>P</b> (Eigene Darstellung).....	33
Tabelle 3.2 Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung beim Umrisspunkt P (Eigene Darstellung) .....	34
Tabelle 3.3 Überschlagsrechnung der erforderlichen Bodenfreiheit ULF Typ-A (Eigene Darstellung) .....	39
Tabelle 3.4 Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung ULF Typ-A (Eigene Darstellung) .....	39
Tabelle 3.5 Seitliche Verschiebungen der Magnetschienenbremse (in Anlehnung an (18)) (Eigene Darstellung) .....	41
Tabelle 3.6 Vertikale Verschiebungen der Magnetschienenbremse bezogen auf die SOK (Eigene Darstellung) .....	42
Tabelle 3.7 Anforderungen der Nutzer an die Gebrauchseigenschaften der Oberflächeneindeckung (Eigene Darstellung) .....	45
Tabelle 4.1 Grenzwerte der Aufmerksamkeitsschwelle (AS) und der Eingriffsschwelle (ES) (Eigene Darstellung) .....	74
Tabelle 4.2 Vorschlag - Grenzwerte der Aufmerksamkeitsschwelle (AS) und der Eingriffsschwelle (ES) (Eigene Darstellung) .....	75

## 9 Literaturverzeichnis

1. **Kuntner, Reinhart und Waglechner, Hannes.** *Eisenbahnrecht.* Wien : Verlag des Österreichischen Gewerkschaftsbundes, 2009.
2. **Verband Deutscher Verkehrsunternehmen.** *Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland.* Düsseldorf : Alba Verlag, 2007.
3. **Winfried, Reinhardt.** *Öffentlicher Personennahverkehr.* Berlin : Springer Verlag, 2011.
4. **Darr, Edgar und Fiebig, Werner.** *Feste Fahrbahn - Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn.* Hamburg : Eurailpress, 2006.
5. **Matthews, Volker.** *Bahnbau.* Nürnberg : Springer Verlag, 2011.
6. **Aumann, Sascha.** *Arbeitsweise des Gleisumbauzuges Pusal.* Neubrandenburg : Diplomarbeit, 2008.
7. **Verband Deutscher Verkehrsunternehmen.** *Oberbaurichtlinien und Oberbauzusatzrichtlinien.* Köln : VDV, 2013.
8. **Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.** *RVS 02.03.13 - Anlagen von Stadtstraßen.* Wien : FSV, 1979.
9. **Magistratsabteilung 18.** *Projektierungshandbuch 2-Öffentlicher Verkehr.* Wien : Holzhausen Druck GmbH, 2011.
10. **DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).** *Bahnanwendungen - Feste Fahrbahn Systeme Teil 2.* Berlin : Beuth Verlag, 2017.
11. **Rollinger, Wolfgang.** *Bahnbau Bahnerhaltung.* Wien : Technische Universität Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, 2011.
12. **Lichtberger, Bernhard.** *Handbuch Gleis.* Hamburg : Eurailpress, 2010.
13. **ThyssenKrupp.** *Oberbauhandbuch.* Essen : -, 2006.
14. **Rollinger, Wolfgang.** *Oberbau Bauteile.* Wien : Wiener Linien GmbH & Co KG, 2009.
15. **Schweizerische Bundesbahnen.** *Die Fahrbahn kurz erklärt.* Bern : -, 2015.
16. **Mathias Bertram, Stefan Bongard.** *Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr.* Ludwigshafen : Springer Verlag, 2014.
17. **Karlsruher Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen.** *Betrieb und Erhaltung von Straßen.* Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie, 2013.
18. **BOStrab.** *Vorläufige Richtlinien für die Bemessung des lichten Raumes von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen.* Berlin : VDV, 1996.
19. **Wiener Linien GmbH & Co KG.** *AutoCAD Zeichnung ULF Typ-A.* Wien : Wiener Linien GmbH & Co KG, 2010.

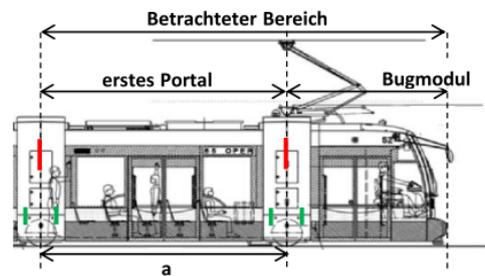
20. **Wiener Linien GmbH & Co KG.** *Trassierungsrichtlinie Straßenbahnen.* Wien : Wiener Linien GmbH & Co KG, 2002.
21. **Wiener Stadtwerke.** *Oberbauvorschrift für Straßenbahnen.* Wien : Verlag der Wiener Stadtwerke - Verkehrsbetriebe, 1992.
22. **Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.** *RVS 03.06.14 - Eisenbahnkreuzungen für Fußgänger und Radfahrer.* Wien : FSV, 2016.
23. **Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz.** *EisbAV - Eisenbahn ArbeitnehmerInnenschutzverordnung.* Wien : -, 2012.
24. **Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.** *RVS 03.02.12 - Fußgängerverkehr.* Wien : FSV, 2015.
25. **Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.** *Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung .* Dortmund : BAua, 2016.
26. **Verband Deutscher Verkehrsunternehmen .** *TR Sp - Technische Regeln Spurführung.* Köln : VDV, 2006.
27. **Hoffmann, Univ. Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Markus.** *Skriptum - Straßenerhaltung und Infrastrukturmanagement.* Wien : Technische Universität Wien - Institut für Verkehrswissenschaften, 2017.
28. **Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.** *Vermeiden von Unfällen durch Stolpern, Umknicken und Fehltreten.* Dortmund : BAuA, 2008.
29. **Siegwart, Dr. Michael.** *Stolperfallen. Der Bauschaden.* Juni, 2016.
30. **ON-Komitee.** *ÖNORM Z 1261 - Begehbare Oberflächen.* Wien : -, 2009.
31. **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.** *Arbeitspapier Nr. 9/K 2.2 zur Systematik der Straßenerhaltung.* Köln : FGSV, 2015.
32. **Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr.** *RVS 13.01.11 - Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen.* Wien : FSV, 2009.
33. **Freystein, Hartmut, Muncke, Martin und Schollmeier, Peter.** *Entwerfen von Bahnanlagen.* Hamburg : Eurailpress, 2015.
34. **Riecken Maschinenbau GmbH.** *Produktkatalog Gleisentwässerung.* Bramsche : s.n., 2008.
35. **Betonschwellenindustrie e.V.** *Betonschwellen im Netz der Deutschen Bahn AG.* Berlin : -, 2017.

## Anhang A Ergebnisse der Lichtraumberechnung

### Eingangsdaten

#### Fahrzeugseitige Einflussfaktoren - ULF Typ A

a	5630 mm	...Abstand der Anlenkpunkte
p	0 mm	...Achststand
m <sub>voll</sub>	15000 kg	...Primär gefederte Masse (Bugmodul + erstes Portal)
c <sub>p</sub>	900 N/mm	...Federkonstante Primärfederung
c <sub>s</sub>	300 N/mm	...Federkonstante Sekundärfederung
n <sub>p</sub>	3	...Anzahl Federpaare Primärfederung
n <sub>s</sub>	1,5	...Anzahl Federpaare Sekundärfederung
b <sub>p</sub>	1500 mm	...Seitenposition Primärfederung
b <sub>s</sub>	2000 mm	...Seitenposition Sekundärfederung
h <sub>cp</sub>	900 mm	...Höhenposition Primärfederung
h <sub>cs</sub>	1500 mm	...Höhenposition Sekundärfederung
h <sub>SP</sub>	1400 mm	...Höhe Wagenkastenschwerpunkt



#### Gleistechnische Einflussfaktoren

RWA	250000 mm	...Radius Wanne
RKU	200000 mm	...Radius Kuppe
Δ <sub>HV</sub>	1,5 mm/m	...Abweichung der vertikalen Gleislage
Δ <sub>u</sub>	20 mm	...Gegenseitige Höhenlage der Schienen

#### Seitenkräfte

F <sub>Q</sub>	15000,0 N	...Seitenkraft aus Fliehkraftüberschuss
a <sub>q</sub>	1,0 m/s <sup>2</sup>	...unausgeglichene Querbeschleunigung
h <sub>Q</sub>	1400 mm	...Höhenposition Seitenkraft F <sub>Q</sub>
F <sub>S</sub>	5000,0 N	...Seitenkraft aus Seitenstoß
m <sub>s</sub>	10000 kg	...Tragende Maße pro Fahrwerk
a <sub>s</sub>	0,5 m/s <sup>2</sup>	...Beschleunigung aus Seitenstoß
h <sub>s</sub>	1400 mm	...Höhenposition Seitenkraft F <sub>S</sub>
F <sub>W</sub>	12000,0 N	...Seitenkraft aus Winddruck
p <sub>w</sub>	600 N/m <sup>2</sup>	...Winddruck
A <sub>w</sub>	20,0 m <sup>2</sup>	...Windangriffsfläche Wagenkasten
h <sub>w</sub>	1600 mm	...Höhenposition Seitenkraft F <sub>W</sub>

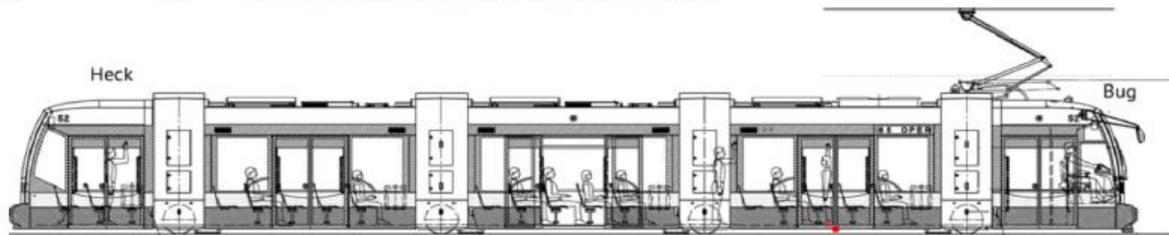
### Anmerkungen zur Lichtraumberechnung

- Die Vorgehensweise der Lichtraumberechnung erfolgt in Anlehnung an die BOStrab Lichtraum Richtlinie (18).
- Die statischen Federwege werden durch die automatische hydraulische Niveauregulierung ausgeglichen.
- Für die dynamischen Federwege der Primär- und Sekundärfederung wurden Beispielwerte gemäß BOStrab Lichtraum-Richtlinie herangezogen. (18)
- Durch regelmäßiges Hochstellen der Hydraulikzylinder ist in der Regel nicht der maximal zulässige Höhenverschleiß der Radreifen anzusetzen. Es wurde der Beispielwert gemäß BOStrab Lichtraum-Richtlinie angesetzt. (18)
- Gemäß BOStrab Lichtraum-Richtlinie kann die Wagenkastendurchbiegung für die Lichtraumberechnung eines Umrisspunktes im Bugbereich eines Fahrzeuges vernachlässigt werden. (18)
- Für die Einstelltoleranz und Bautoleranz der Wagenkastenunterkante wurden Beispielwerte gemäß BOStrab Lichtraum-Richtlinie herangezogen. (18)
- Der maximal vertikaler Schienenverschleiß ergibt sich aus der Bedingung, dass eine Berührung der Spurkranzkuppe und des Rillenbodens nicht zulässig ist. (7)
- Für die vertikale Elastizität und die vertikale Verschiebung des Gleises wurden Beispielwerte für Feste Bahnen gemäß BOStrab Lichtraum-Richtlinie herangezogen. (18)

**GERADE - in ebenen Bereichen**

**Koordinaten - Umrisspunkt P**

x	0	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenankelung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	137	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



**Vertikale Verschiebungen**

Vertikale Ausragungen

Z <sub>KU</sub>	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
Z <sub>WA</sub>	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Wann

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

Z <sub>FP</sub>	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
Z <sub>FS</sub>	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
Z <sub>DP</sub>	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
Z <sub>DS</sub>	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
Z <sub>VR</sub>	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
Z <sub>FW</sub>	5,63 mm	...Wagenkastendurchbiegung
Z <sub>TW</sub>	5,00 mm	...Einstelltoleranz Wagenkastenunterkante
Z <sub>TG</sub>	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

Gleistechnische Einflussfaktoren

Z <sub>VS</sub>	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
Z <sub>GE</sub>	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
Z <sub>GV</sub>	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

**Vertikale Verlagerungen**

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

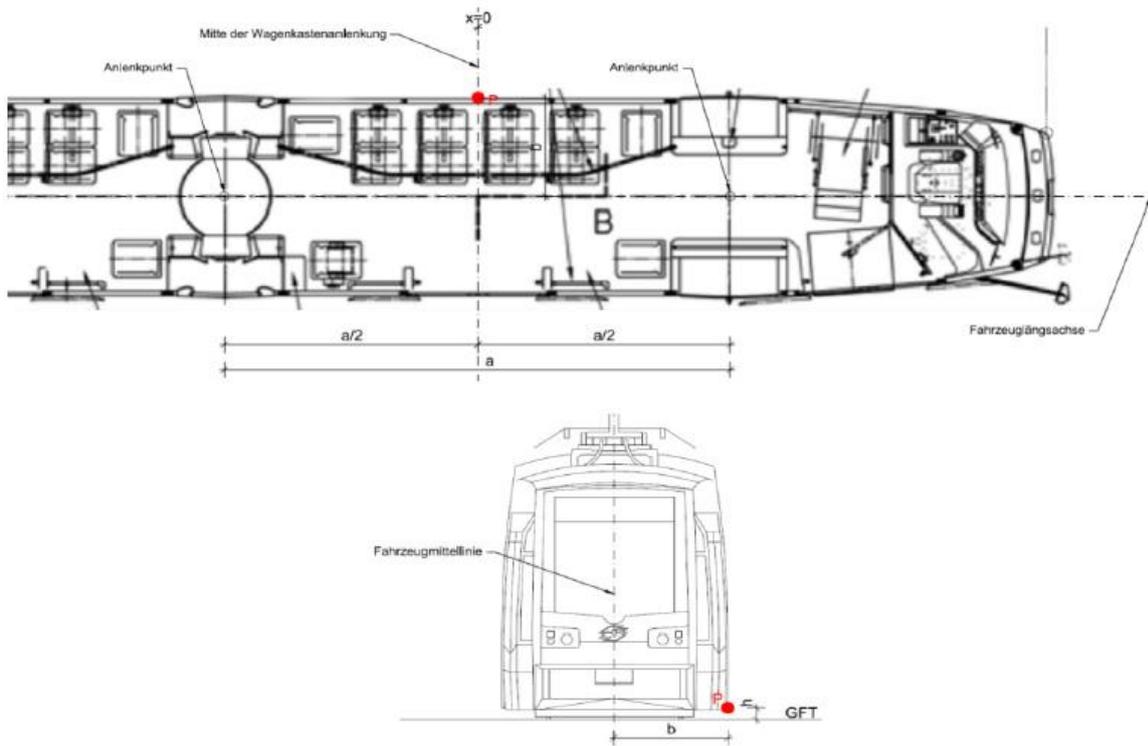
f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
Z <sub>WQ</sub>	0,00 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
Z <sub>WS</sub>	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
Z <sub>WW</sub>	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

Gleistechnische Einflussfaktoren

Z <sub>HS</sub>	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----------------	----------	--

**Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P**

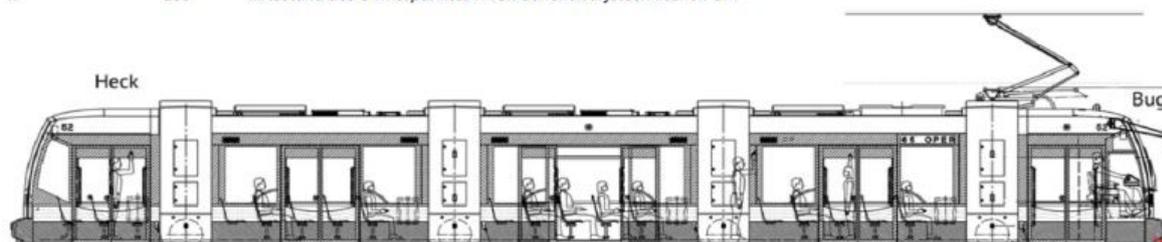
Z <sub>GERADE</sub>	91,03 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Z <sub>Zul</sub>	45,97 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)



## GERADE - in Bereichen von Wannen

### Koordinaten - Umrisspunkt P

x	6379	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenanklenkung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	168	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



### Vertikale Verschiebungen

#### Vertikale Ausragungen

Z <sub>KU</sub>	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
Z <sub>WA</sub>	65,50 mm	...Vertikale Ausragung bei Wannen

#### Fahrzeugeitige Einflussfaktoren

Z <sub>FP</sub>	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
Z <sub>FS</sub>	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
Z <sub>DP</sub>	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
Z <sub>DS</sub>	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
Z <sub>VR</sub>	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
Z <sub>FW</sub>	0,00 mm	...Wagenkastendurchbiegung
Z <sub>TW</sub>	5,00 mm	...Einstolltoleranz Wagenkastenunterkante
Z <sub>TG</sub>	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

#### Gleistechnische Einflussfaktoren

Z <sub>VS</sub>	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
Z <sub>GE</sub>	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
Z <sub>GV</sub>	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

### Vertikale Verlagerungen

#### Fahrzeugeitige Einflussfaktoren

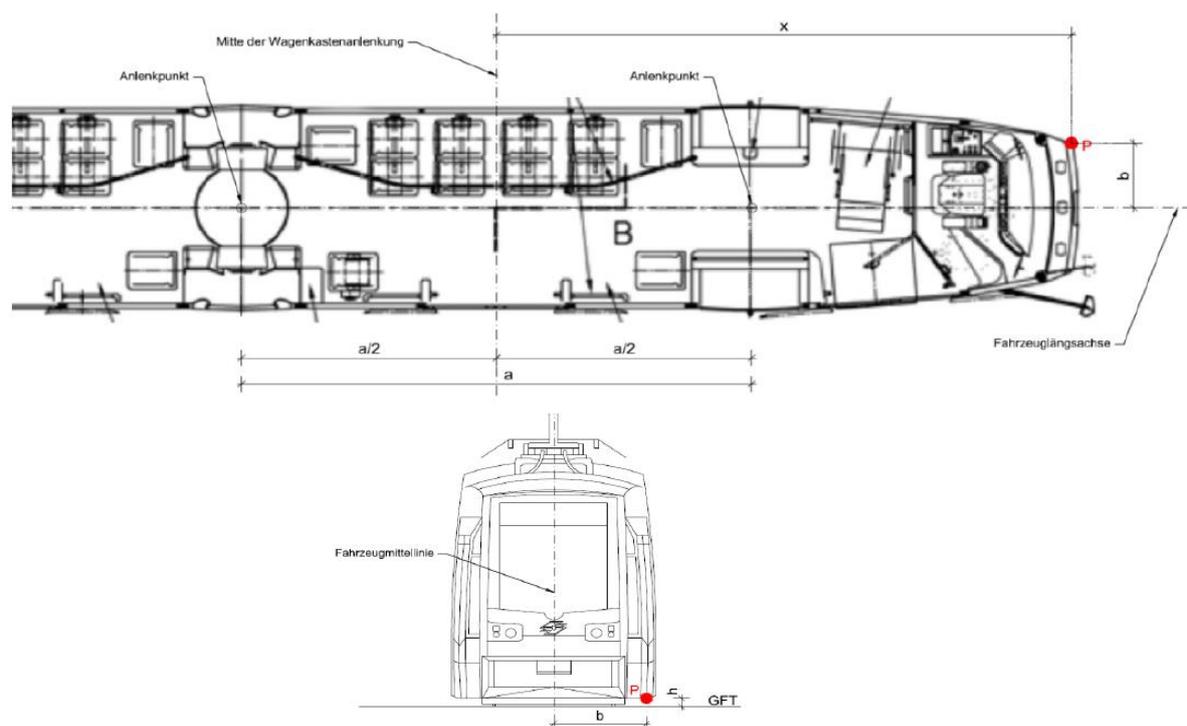
f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
Z <sub>WQ</sub>	0,00 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
Z <sub>WS</sub>	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
Z <sub>WW</sub>	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

#### Gleistechnische Einflussfaktoren

Z <sub>IS</sub>	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----------------	----------	--

### Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P

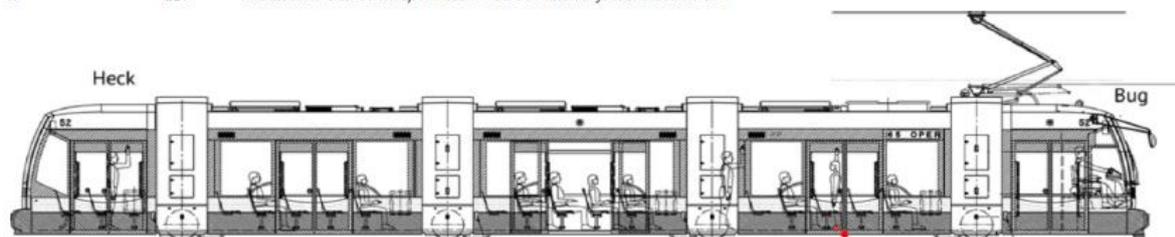
Z <sub>GERADE_WA</sub>	150,90 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Z <sub>zul</sub>	17,10 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)



**GERADE - in Bereichen von Kuppen**

**Koordinaten - Umrisspunkt P**

x	0	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenankelung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	137	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



**Vertikale Verschiebungen**

Vertikale Ausragungen

Zku	15,80 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
Zwa	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Wann

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

Zfp	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
Zfs	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
Zdp	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
Zds	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
Zvr	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
Zfw	5,63 mm	...Wagenkastendurchbiegung
Ztw	5,00 mm	...Einstelltoleranz Wagenkastenunterkante
Ztg	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

Gleistechnische Einflussfaktoren

Zvs	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
Zge	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
Zgv	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

**Vertikale Verlagerungen**

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

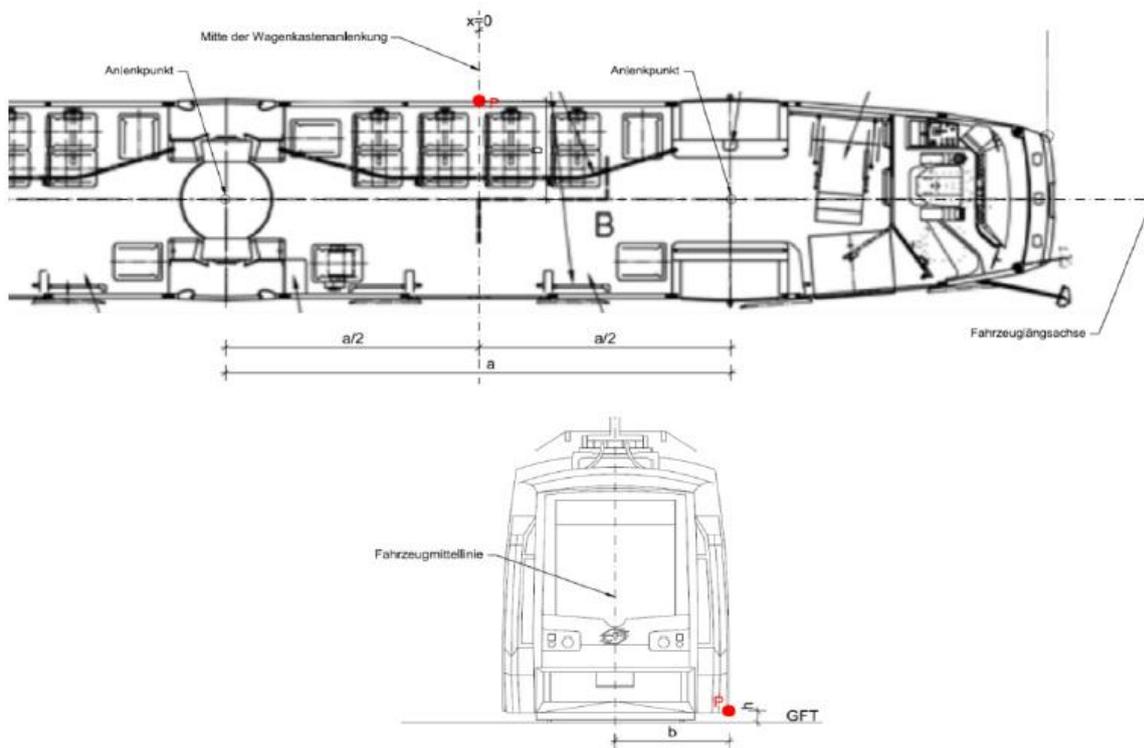
f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
Zwq	0,00 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
Zws	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
Zww	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

Gleistechnische Einflussfaktoren

Zhs	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----	----------	--

**Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P**

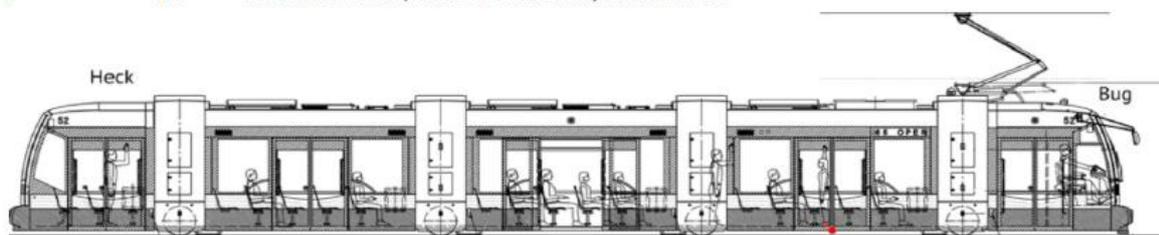
ZGERADE_KU	106,83 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Zzul	30,17 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)



## BOGEN - in ebenen Bereichen

### Koordinaten - Umrisspunkt P

x	0	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenanklenkung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	137	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



### Vertikale Verschiebungen

#### Vertikale Ausragungen

ZKU	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
ZWA	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Wann

#### Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

ZFP	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
ZFS	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
ZDP	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
ZDS	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
ZVR	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
ZFW	5,63 mm	...Wagenkastendurchbiegung
ZTW	5,00 mm	...Einstelltoleranz Wagenkastenunterkante
ZTG	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

#### Gleistechnische Einflussfaktoren

Zvs	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
ZGE	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
ZGV	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

### Vertikale Verlagerungen

#### Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

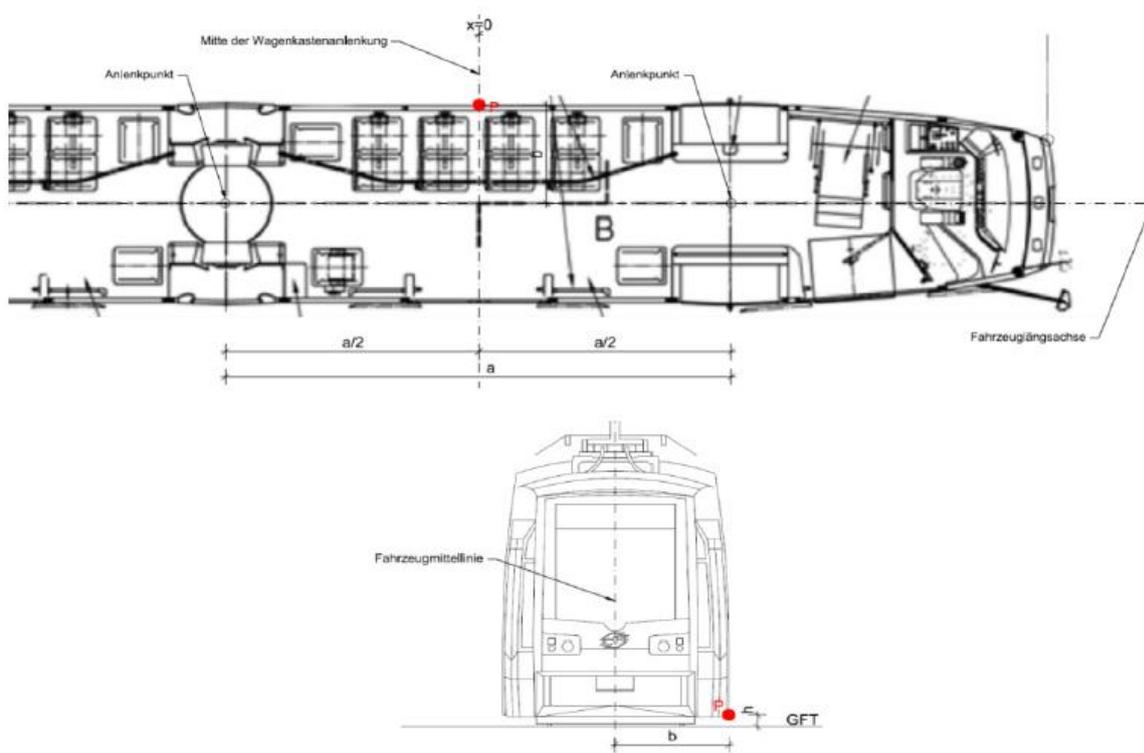
f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
ZWQ	0,60 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
ZWS	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
ZWW	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

#### Gleistechnische Einflussfaktoren

ZHS	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----	----------	--

### Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P

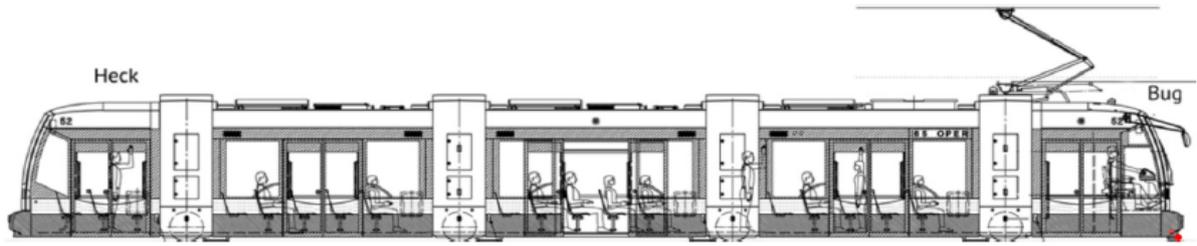
ZBOGEN	91,03 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Zzul	45,97 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)



**BOGEN - in Bereichen von Wann**

**Koordinaten - Umrisspunkt P**

x	6379	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenanklenkung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	168	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



**Vertikale Verschiebungen**

Vertikale Ausragungen

ZKU	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
ZWA	65,50 mm	...Vertikale Ausragung bei Wann

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

ZFP	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
Zfs	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
ZDP	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
ZDS	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
ZVR	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
ZFW	0,00 mm	...Wagenkastendurchbiegung
ZTW	5,00 mm	...Einstelltoleranz Wagenkastenunterkante
ZTG	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

Gleistechische Einflussfaktoren

Zvs	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
ZGE	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
ZGV	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

**Vertikale Verlagerungen**

Fahrzeugseitige Einflussfaktoren

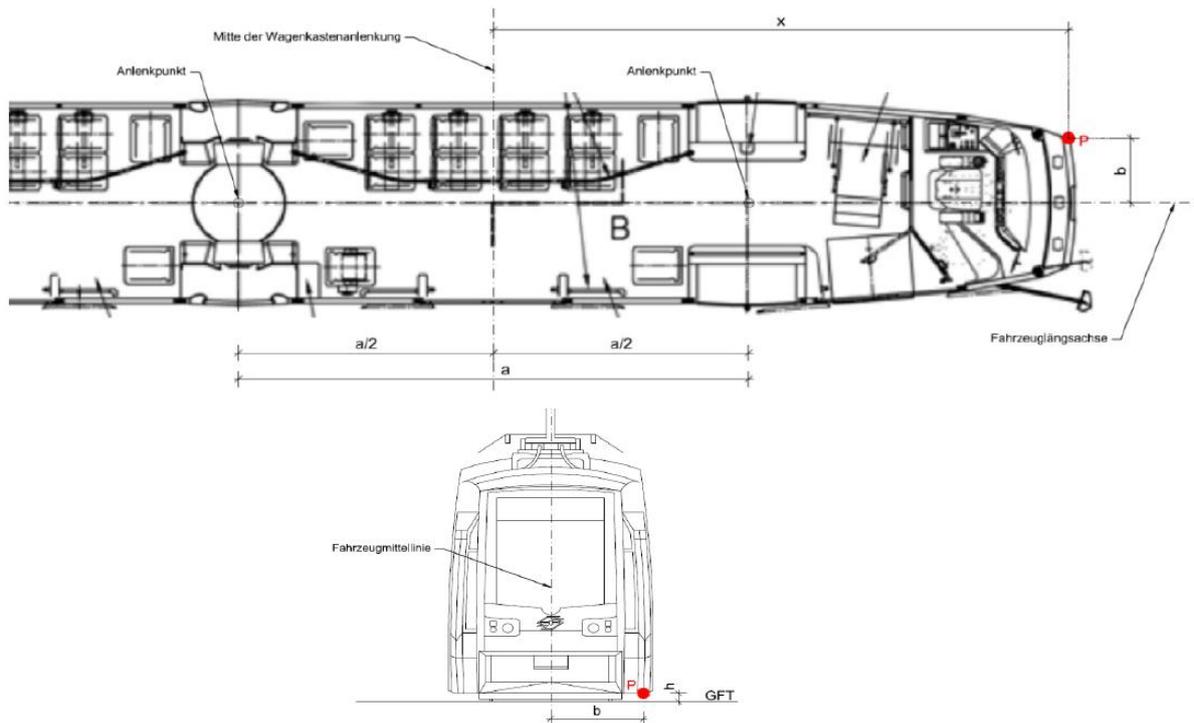
f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
ZWQ	0,60 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
ZWS	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
ZWW	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

Gleistechische Einflussfaktoren

ZHS	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----	----------	--

**Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P**

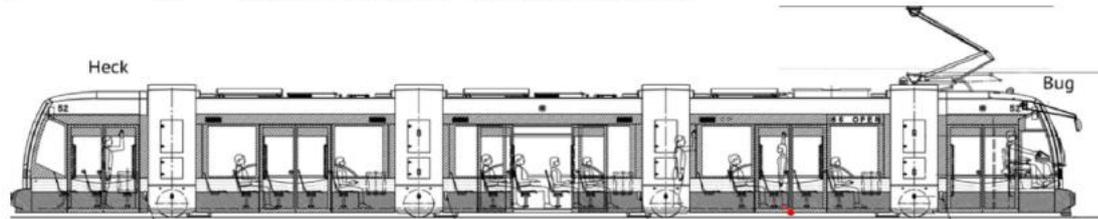
ZBOGEN_WA	151,50 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Zzul	16,50 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)



**BOGEN - in Bereichen von Kuppen**

**Koordinaten - Umrisspunkt P**

x	0	...Abstand des Umrisspunktes P von der Mitte der Wagenkastenanklenkung
b	741	...Abstand des Umrisspunktes P von der Fahrzeugmittellinie
h	137	...Abstand des Umrisspunktes P von der entwurfstechnischen GFT



**Vertikale Verschiebungen**

Vertikale Ausragungen

ZKU	15,80 mm	...Vertikale Ausragung bei Kuppen
ZWA	0,00 mm	...Vertikale Ausragung bei Wann

Fahrzeugeitige Einflussfaktoren

ZFP	0,00 mm	...Statischer Federweg der Primärfederung
ZFS	0,00 mm	...Statischer Federweg der Sekundärfederung
ZDP	5,00 mm	...Dynamischer Federweg der Primärfederung
ZDS	10,00 mm	...Dynamischer Federweg der Sekundärfederung
ZVR	10,00 mm	...Radreifenverschleiß
ZFW	5,63 mm	...Wagenkastendurchbiegung
ZTW	5,00 mm	...Einstelltoleranz Wagenkastenunterkante
ZTG	6,00 mm	...Bautoleranz Wagenkastenunterkante

Gleistechnische Einflussfaktoren

ZVS	20,00 mm	...Vertikaler Schienenverschleiß
ZGE	2,00 mm	...Vertikale Elastizität des Gleises
ZGV	4,22 mm	...Vertikale Verschiebung des Gleises

**Vertikale Verlagerungen**

Fahrzeugeitige Einflussfaktoren

f	1,01	...Vergrößerungsfaktor
ZWQ	0,60 mm	...Vertikale Verlagerung aus Fliehkraftüberschuss
ZWS	0,20 mm	...Vertikale Verlagerung aus Seitenstoß
ZWW	3,06 mm	...Vertikale Verlagerung aus Windkraft

Gleistechnische Einflussfaktoren

ZHS	19,92 mm	...Abweichung der gegenseitigen Höhenlage der Schienen
-----	----------	--

**Erforderliche Bodenfreiheit / Zulässige Höhenlage - Umrisspunkt P**

ZBOGEN_KU	106,83 mm	...Erforderliche Bodenfreiheit
Zul	30,17 mm	...Zulässige Höhenlage der Oberflächeneindeckung (ab OK Rillenkopf)

