

FAHRZEUGRÜCKHALTESYSTEME IN KOMPLEXER UMGEBUNG

Übliche Fahrzeurückhaltesysteme sind insbesondere in Kreisverkehren erhöhten Anprallkräften gegenüber regelhaften Einsatzbereichen ausgesetzt. Auf Basis der gültigen Richtlinien und Berechnungsansätze wurden Systemvorschläge für den Einsatz in Gefahrenbereichen entwickelt.

Bei Kreisverkehren, die oberhalb von höherrangigen Verkehrsnetzen liegen, sind Rückhaltesysteme auszubilden, welche aufgrund der baulichen Gegebenheiten im Falle eines Anpralls großen Anprallkräften ausgesetzt sind. Diese Kräfte resultieren aus den häufig großen Anprallwinkeln in Kombination mit großer Geschwindigkeit und Fahrzeugmasse. Die verfügbaren Rückhaltesysteme werden vorwiegend für Anprallwinkel bis 20 Grad für verschiedene Fahrzeuge gem. europäischen Normvorgaben geprüft. Diese entsprechen nicht immer vollständig den vorliegenden baulichen Anlageverhältnissen und bedürfen einer gesonderten Betrachtung.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die normativen Anforderungen sowie die Regelwerke analysiert. Die Untersuchung von Fallbeispielen hat gezeigt, dass in wenigen Fällen ein Risiko eines Anpralls mit Anprallwinkeln > 20° gegeben ist, bei vielen der untersuchten Kreisverkehre verhindern allerdings auch trassierungstechnische Maßnahmen einen möglichen Absturz.

Für die Neuprojektierung ist in erster Linie die Situierung und Geometrie des Kreisverkehrs ausschlaggebend für die Reduktion des Absturzrisikos. Neben Entzerrung und Auflösung des Kreisverkehrs in zwei Kreisverkehre besteht die Möglichkeit einer Überplattung, auch die Reduktion der Geschwindigkeit durch gezielte Trassierung vor dem Kreisverkehr stellt eine sehr praktikable Möglichkeit dar. Sind diese Lösungsansätze nicht umsetzbar und liegen die Randbedingungen außerhalb der Prüfnormen, sollte eine verstärkte Ausbildung der Rückhaltevorrchtung vorgenommen werden.

Für diese Fragestellung wurde eine Berechnung von Anprallkräften durchgeführt, zur Verifizierung wurde ein Rückhaltesystem mittels dynamischer Simulation untersucht. In weiterer Folge wurden Rückhaltewände konzipiert, die einerseits Energiedissipation ermöglichen aber andererseits nicht als starre Leitwände ausgeführt werden.

Facts:

- Initiative: VIF 2014
- Kurztitel: Fahrzeurückhaltesysteme in komplexer Umgebung
- Kurztitel in Englisch: vehicle impact barriers in complex situations
- Laufzeit: 08/2015-03/2017
- Forschungskonsortium: Vill ZT GmbH, REVOTEC zt gmbh
- 6 Arbeitspakete
- Ziele: laut Vorgaben alle erreicht
- Ergebnisse: Systemvorschläge

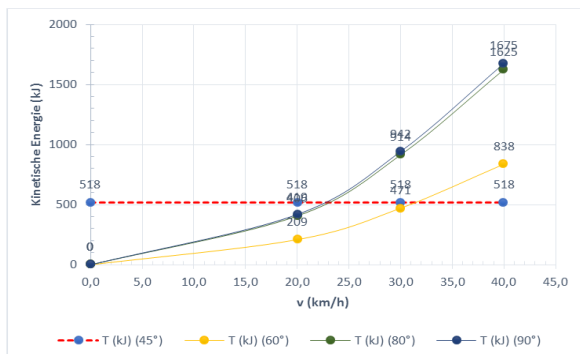


ABB 1. Anprallenergie für einen LKW mit 38 Tonnen bei 1,4m Deformation eines Rückhaltesystems

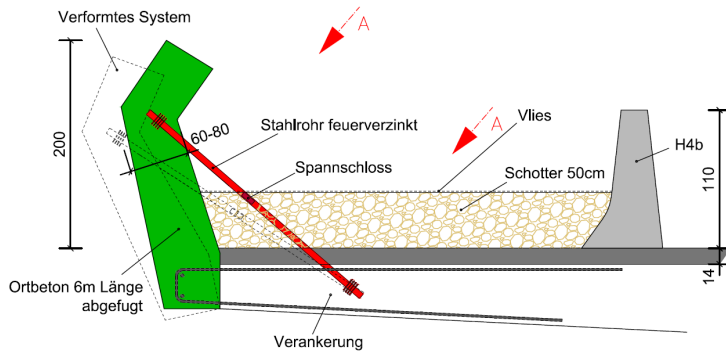


ABB 2. Systemskizze Konzept für große Anprallkräfte

Kurzzusammenfassung

Problem

Fahrzeugrückhaltesysteme sind am Innenrand von Kreisverkehren erhöhten Anprallkräften ausgesetzt, welchen herkömmliche Rückhaltesysteme nicht standhalten.

Gewählte Methodik

Literaturstudien, Recherchen, analytische Berechnungen, numerische Struktursimulationen (FE).

Ergebnisse

Aus den Erkenntnissen Arbeitspakete wurden kategorisierte Systemvorschläge entwickelt, welche in Bereichen eingesetzt werden können, für welche die auf dem Markt vorhandenen Rückhaltesysteme allein keinen ausreichenden Schutz im Falle eines Anpralls bieten.

Schlussfolgerungen

Die Recherchen und Untersuchung von Fallbeispielen im In- und Ausland haben gezeigt, dass sich die Anzahl von Stellen mit erhöhtem Anprallrisiko auf wenige Fälle beschränkt und durch ergänzende trassierungstechnische Maßnahmen in der Projektierung optimieren lassen. Für jene Bereiche mit hohem Risiko und großem Anprallwinkel wurden Systemvorschläge für große Anprallkräfte entwickelt und dynamisch untersucht. Diese können im Einzelfall an die bauliche Situation angepasst werden.

English Abstract

Roundabouts in the course of connection points of motorways are important and goal oriented layout elements in modern transport infrastructure construction. The existing impact barrier systems are designed only for tangential vehicle impact (up to 20 degrees). Within the research project mechanical and numerical modelling of existing and new developed impact barrier systems with impact angle up to 80 degrees were performed. As a result of the project design guidelines are elaborated for best practice application and the new developed impact barrier systems are illustrated on conceptual design level.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits
Abt. IV/ST 2 Technik und
Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at

DI (FH) Andreas Blust
Abt. III/I4 Mobilitäts- und
Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at
www.bmvit.gv.at

ASFINAG

DI Bernhard Lautner
Verkehrsmanagement
Verkehrssicherheit
ASFINAG SERVICE GMBH
Verkehrssteuerung
bernhard.lautner@asfinag.at

DI Karl Gragger
karl.gragger@asfinag.at

DI (FH) René Moser
Leiter Strategie, Internationales
und Innovation
rene.moser@asfinag.at
www.asfinag.at

**Österreichische Forschungs-
förderungsgesellschaft mbH**

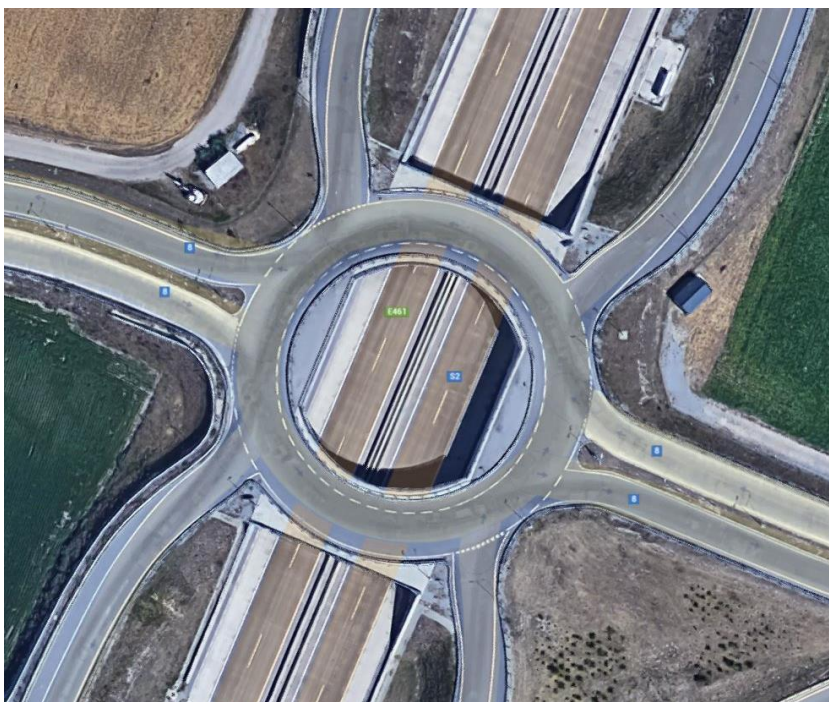
DI Dr. Christian Pecharda
Programmleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at
www.ffg.at

August, 2017

Fahrzeugrückhaltesysteme in komplexer Umgebung

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2014
(VIF2014)

November 2017





Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Nordbahnstraße 50
A – 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Vill ZT GmbH
Hermannngasse 18/im Hof/1. Stock
1070 Wien



REVOTEC zt gmbh
Hermannngasse 18/im Hof/1. Stock
1070 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Fahrzeugrückhaltesysteme in komplexer Umgebung

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2014)

AutorInnen:

FH-Prof. DI Dr. Markus VILL
Ursula ALMER, BSc.
DI Michael VOSPERNIG

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ÖBB-Infrastruktur AG
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktien Gesellschaft

Auftragnehmer:

Vill ZT-GmbH
Revotec zt-gmbh

Kurzfassung

Kreisverkehre im Zuge von planfreien Knotenpunkten stellen für den modernen Verkehrswegebau wichtige und zukunftsweisende Lösungskonzepte dar. Besonders bei Anschlussstellen von hochrangigen Straßen werden oberhalb der Fahrbahn Kreisverkehre angeordnet. In diesem Zusammenhang sind Brückenbauwerke erforderlich, die an den Rändern mit Rückhaltesystemen auszubilden sind. Bei entsprechenden Trassierungsparametern im Übergangsbereich von der Rampe zum Kreisverkehr kann im Falle eines Anpralls an den Innenrand ein sehr großer Aufprallwinkel vorhanden sein. Die auf dem Markt verfügbaren Rückhaltesysteme der Klasse H4b werden vorwiegend für kleinere Anprallwinkel bis zu 20 Grad und für zwei unterschiedliche Fahrzeugmassen für PKW und LKW gemäß EN1317 Serien geprüft. Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen mit Anprallwinkeln von bis zu 80 Grad und Geschwindigkeiten von 40 bis 50 km/h kann ein Durchbrechen der zurzeit verfügbaren Fahrzeugrückhaltesysteme H4b nicht ausgeschlossen werden. Das vorliegende Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit dieser Fragestellung und zeigt Lösungsansätze für Neuprojektierungen auf.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten die vorliegenden normativen Anforderungen sowie die Regelwerke umfassend dargestellt und analysiert werden. Die verkehrsplanerische Untersuchung von Fallbeispielen aus dem In- und Ausland hat gezeigt, dass in wenigen Fällen ein erhöhtes Risiko eines Anpralls an Rückhaltevorrichtungen mit Anprallwinkeln $> 20^\circ$ bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten gegeben ist und anschließendes Durchbrechen auf die darunterliegende Fahrbahn nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Die Untersuchung zeigt jedoch auch, dass die Anzahl der baulichen Anlagen sehr gering ist und nur ein Auszug aus den im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersuchten Fällen in dem gegenständlichen Bericht dargestellt sind. Viele der untersuchten Kreisverkehre über hochrangigen Straßen sind durch bauliche Maßnahmen so ausgebildet, dass ein Absturz auf die darunterliegende Fahrbahn nicht möglich ist, da entweder die Abstände zu groß sind oder beispielsweise Überplattungen hergestellt wurden.

Bei einigen Fällen – auch im europäischen Ausland – konnte festgestellt werden, dass eine Anprallgefahr durch verkehrsplanerische oder konstruktive Maßnahmen zu verhindern wären. In dem Zusammenhang wurden folgende Maßnahmen für Neubauprojekte zur Reduktion des Anprallrisikos mit anschließendem Durchbrechen der Rückhaltevorrichtung identifiziert: Zunächst soll bei einer Neuprojektierung die Situierung des Kreisverkehrs nicht über dem Verkehrsträger liegen. Hierzu kann der Kreisverkehr vergrößert, aufgelöst bzw. entzerrt oder durch 2 seitlich angeordnete Kreisverkehre verändert werden. Ebenso sind Unterführungen im Bereich des Kreisverkehrs möglich. Weiterhin kann die Geschwindigkeit des Anpralls durch vorgelagerte Radien zwangsweise reduziert werden, sodass ein Abirren des Fahrzeuges vor dem Kreisverkehr in sichere Seitenbereiche erfolgen kann. Durch die Ausbildung einer geringeren Innenöffnung kann in vielen Fällen ebenfalls der Anprallwinkel reduziert werden, indem die Einfahrtsituation optimiert wird. In jenen Fällen, wo die zuvor dargestellten trassierungstechnischen Lösungsansätze nicht umsetzbar sind und die Randbedingungen außerhalb der Prüfnormen liegen, muss eine statisch verstärkte Ausbildung der Rückhaltevorrichtung bei Neuprojektierungen vorgenommen werden. Für

diese Fragestellung wurde auf Basis des Stoßvorganges und des Energieerhaltungssatzes eine analytische Berechnung von Anprallkräften in Abhängigkeit des Verformungsweges für verschiedene Winkel ermittelt und grafisch für Vordimensionierungen aufbereitet. Zur Verifizierung der Richtigkeit der Ergebnisse wurde ein zugelassenes Rückhaltesystems rechnerisch mit einer dynamischen Berechnung für verschiedene Fahrzeuge und Geschwindigkeiten (Prüffahrzeuge gem. EN 1317-X) untersucht. Es konnte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der numerischen Simulation mit den analytischen Ergebnissen sowie den durchgeführten Prüfungen bei 20° gem. [1] und [2] erzielt werden. Die so ermittelten Dämpferkräfte waren in weiterer Folge Grundlage für die Konzeption von austauschbaren Rückhaltewänden, die einerseits Energiedissipation ermöglichen aber andererseits nicht als starre Leitwände ausgeführt werden. Entsprechende Systemvorschläge für Rückhaltewände wurden entwickelt und können in weiterer Folge projektspezifisch zur Ausführung gelangen, sofern nicht aus anderen Gründen eine verkehrsplanerische Maßnahme umgesetzt werden kann. Die statistische Betrachtung der Unfallwahrscheinlichkeiten ergab, dass die Wahrscheinlichkeit eines Anpralles bei den vorliegenden baulichen Anlagen als gering einzustufen und als außergewöhnliche Einwirkung für neue Bauwerke zu berücksichtigen ist, die im Einklang mit dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept steht.

Zusammenfassung der bearbeiteten Arbeitspakete

Im Zuge dieses Forschungsprojekts wird in Arbeitspaket 1 eine Übersicht über die unterschiedlichen Rückhaltesysteme und die bestehenden Normen und Richtlinien bezüglich der Prüfung von Rückhaltesystemen und anzusetzender Anprallkräfte gegeben. Diese dienen als Grundlage für die weiteren Überlegungen.

In Arbeitspaket 2 sind die unterschiedlichen Formen von Kreisverkehren und mögliche bauliche Lösungsansätze für die bestehende Problemstellung umrissen. Verkehrstechnische Lösungsansätze aus Österreich und dem Ausland wurden exemplarisch dargestellt, analysiert und die Ergebnisse zusammengefasst. Die wesentlichen Trassierungsparameter wie Anprallwinkel und Radien der Kreisverkehre wurden grafisch ermittelt, in weiterer Folge wurden daraus mit Hilfe mathematischer Methoden Maximalgeschwindigkeit bestimmt sowie das Anprallrisiko qualitativ beurteilt

Arbeitspaket 3 beschäftigt sich mit Berechnung der entstehenden Anprallkräfte auf Rückhaltesysteme mit Hilfe von analytischen Formeln. Exemplarisch wird die Anprallenergie, auf welche die unterschiedlichen Rückhaltesysteme geprüft sind, berechnet und jener Anprallenergie gegenübergestellt, welche rechnerisch beim Anprall unterschiedlicher Referenzfahrzeuge entsteht. Zusammenfassend kann hier festgestellt werden, dass Rückhaltesysteme auf geringere Anprallkräfte geprüft werden als sie in vielen Fällen aufgrund des Winkels und der Anprallgeschwindigkeit des anprallenden Fahrzeugs auftreten.

Arbeitspaket 4 dient der Erweiterung und der Überprüfung der Ergebnisse von Arbeitspaket 3. Dabei wurde insbesondere die Energiedissipation und die zeitliche Dauer des Stoßvorgangs berücksichtigt um die Ergebnisse zu präzisieren. Durch numerische Simulationen bei steileren Anprallwinkeln wird die Dissipation von Energie über die Reibung zwischen Rückhaltesystem und Untergrund in erster Linie abgeschätzt und analysiert. In einem weiteren Schritt werden die Materialparameter wie Steifigkeit und Materialfestigkeiten des Rückhaltesystems berücksichtigt, um auch diese Nichtlinearität zu berücksichtigen und die Dissipation durch plastische Verformungen in die Berechnungsergebnisse einfließen zu lassen. Dadurch kann die Wirkung eines Rückhaltesystems gut veranschaulicht werden, außer bei sehr hohen Geschwindigkeiten ist das Verhalten von Rückhaltesystem und Fahrzeug in allen Fällen plausibel zu begründen. Beim Anprall mit der Einwirkung TB81 ist man bei 20° Anprallwinkel in der Regel an der Grenze der Einwirkung für ein Rückhaltesystem. Bei einem Anprall unter 70° zeigt sich sehr deutlich, dass diese Grenze überschritten ist und sowohl die Verschiebungen als auch die Kräfte der Einwirkung deutlich über der zugelassenen Einwirkung liegen. Für solche außerordentlichen Anprallkräfte sind gesonderte Systeme zu entwickeln.

Arbeitspaket 5 dient der Darstellung der Anprallwahrscheinlichkeit an ein Rückhaltesystem mit darauffolgendem Durchbruch durch das System. Da es nicht möglich war, aus den bestehenden Datenbanken aussagekräftige Ergebnisse auszulesen, wurde ein mathematisches Wahrscheinlichkeitsmodell zur Berechnung einer Anprallwahrscheinlichkeit herangezogen. Eine Versagenswahrscheinlichkeit des Rückhaltesystems konnte nicht ermittelt werden.

In Arbeitspaket 6 werden aufbauend auf den mechanischen und trassierungstechnischen Grundlagen neue innovative Rückhaltevorrchtungen für den Innenrand entwickelt. Diese wurden so konzipiert, dass sie über ein ausreichendes Vermögen zur Energiedissipation verfügen. Ebenfalls im Mittelpunkt der konstruktiven Überlegungen standen die Wirtschaftlichkeit, Auswechselbarkeit und Sanierbarkeit der entwickelten Rückhaltevorrchtungen.

INHALT

1 AP 1: Recherche zu bestehenden nationalen und internationalen Richtlinien, Normen und Regelwerken und Trassierungsparametern	9
1.1 Allgemeines und Zielsetzung.....	10
1.2 Begriffsbestimmungen	10
1.2.1 Rückhaltesysteme.....	10
1.2.2 Kreisverkehre.....	11
1.3 Recherche zu Prüf- und Bemessungsnormen	12
1.3.1 Rahmenbedingungen für die Anprallprüfung gemäß ÖNORM EN 1317-1.....	12
1.3.2 Prüfort.....	12
1.3.3 Prüffahrzeuge	12
1.3.4 Fahrzeuginstrumentierung	13
1.3.5 Kriterien für die Anprallprüfung gemäß ÖNORM EN 1317 – 2	13
1.3.6 Verhalten der Schutzeinrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge und Fahrzeugverhalten	15
1.3.7 Verhalten des Prüffahrzeuges.....	15
1.3.8 Stufe der Anprallheftigkeit.....	17
1.3.9 Verformung des Prüffahrzeuges VCDI	17
1.3.10 Verformung des Rückhaltesystems.....	18
1.3.11 ÖNORM EN 1317-3.....	20
1.3.12 Leistungsklassen	22
1.3.13 Abnahmekriterien für Anprallprüfungen.....	23
1.4 Statisch konstruktive Anprallkräfte gemäß den geltenden Regelungen.....	24
1.5 Allgemeines und Zielsetzung.....	25
1.6 Grundlagen der Verkehrsplanung bei Kreisverkehren - allgemein	26
1.6.1 Entwicklung – Von der Ampel zum Kreisverkehr	26
1.6.2 Geschwindigkeitsbegrenzungen	28
1.7 Konstruktionsformen von Kreisverkehren.....	29
1.7.1 Besondere Bestimmungen bei Tunnelbauten und Überplattungen.....	32
1.7.2 Kreisverkehr über Verkehrswegen ohne Überplattung	35
1.8 Verkehrsplanerische und bauliche Lösungsansätze	36
1.8.1 Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit durch bauliche Maßnahmen	37
1.8.2 Überplattung des Mittelinselbereiches des Kreisverkehrs	38
1.8.3 Entzerrung des Kreisverkehrs durch Vergrößerung des Kreisverkehdurchmessers oder ovale Kreisfahrbahn	39
1.8.4 Entflechtung des Kreisverkehr in zwei getrennte Kreisverkehre	40
1.9 Untersuchung von bestehenden Kreuzungssituationen mit möglicher Absturzgefahr	41
1.9.1 Berechnung der maximalen Geschwindigkeit.....	41

2	AP 2: Lösungen aus anderen Ländern - Auswertung von Unfallereignissen und Anprallwahrscheinlichkeit.....	43
2.1	Vorgehensweise.....	44
2.2	Verkehrstechnische Lösungen in Österreich	44
2.2.1	Breitenlee – Süßenbrunn: Wiener Außenring Schnellstraße	45
2.2.2	Wiener Außenring Schnellstraße S1 - Korneuburg.....	46
2.2.3	Graz-Webling A9, 67a.....	48
2.2.4	Wiener Nordrand Schnellstraße Abfahrt bei IKEA.....	49
2.2.5	Zubringer Knoten Prater.....	51
2.2.6	Spital am Semmering, Semmering Ersatzstraße S6/306.....	51
2.2.7	Pyhrn Autobahn, A9 Knoten St. Michael	52
2.2.8	Halbkreisverkehr S33 Kremser Schnellstraße.....	53
2.3	Beispiele aus Ausland	55
2.3.1	Stockholm, Sodra Länken	55
2.3.2	Stockholm, Sodra Länken	57
2.3.3	Stockholm, Värndöläden	59
2.3.4	Deutschland, München	60
2.3.5	London Target Roundabout Northolt.....	61
2.3.6	London, Western Ave	62
2.3.7	London, Swakeleys Roundabout.....	63
2.3.8	Krakau, Rondo Mogilskie	64
2.3.9	Knoten Berlin Westkreuz.....	65
2.4	Lösungsansatz Überplattung.....	66
2.4.1	Wien: Leonard Bernstein Straße	66
2.4.2	Verteilerkreis, A23.....	68
2.4.3	Hartberg, im Hatric,.....	69
2.5	Lösungsansatz Entzerrung und Entflechtung	70
2.5.1	Graz Weblinger Gürtel, nahe Nahverkehrsdrehscheibe Puntigam	70
2.5.2	Kreisverkehr, Kapellenfeld S1	71
2.5.3	S1 Gerasdorf	72
2.5.4	S1, Hagenbrunn.....	73
3	AP 3: Ingenieurpraktische Ansätze zum Stoßvorgang.....	74
3.1	Allgemeines und Zielsetzung.....	75
3.2	Berechnung der Kräfte auf das Rückhaltesystem.....	75
3.2.1	Berechnung der theoretischen Durchschnittskraft auf das Rückhaltesystem... 75	75
3.2.2	Berechnung der Durchschnittskraft mit Hilfe der Kinematik.....	75
3.2.3	Durchschnittskraft aufgrund des Energieausgleichs.....	76
3.2.4	Berechnung der Durchschnittskraft als Funktion der Verschiebung der Schutzeinrichtung	76
3.2.5	Exemplarische Berechnungen	78
4	AP 4: Nichtlineare Berechnung von Stoßvorgängen.....	83
4.1	Allgemeines und Zielsetzung.....	84

4.2	Begriffsbestimmungen	85
4.1	Bauarten von Fahrzeugrückhaltesystemen	86
4.2	Modellierung	87
4.2.1	Voraussetzungen und Eigenschaften.....	88
4.2.2	Energiedissipation.....	89
4.2.3	Modell	90
4.3	Berechnung am Beispiel DeltaBlock 100, 4m	91
4.3.1	Anprall mit TB11 Fahrzeug	92
4.3.2	Anprall mit TB81 Fahrzeug	100
4.4	Zusammenfassung	105
5	AP 5: Statistische Untersuchung der Unfallergebnisse und Darstellung	
	probabilistischer Ansätze zur Untersuchung	106
5.1	Allgemeines und Zielsetzung.....	107
5.2	Datenauswertung.....	107
5.2.1	Datenbank des BMI	107
5.2.2	Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Unfalldaten (ZEDATU).....	108
5.2.3	Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit mit Hilfe mathematischer Modelle	109
6	AP 6 und AP 7 : Entwicklung von Systemvorschlägen und Entwicklung	
	Bemessungsvorschläge für die Anprallsituation	114
6.1	Allgemeines und Zielsetzung.....	115
6.1.1	Aufgabenstellung	115
6.2	Konzept A.....	116
6.3	Konzept B.....	116
6.3.1	Systemskizze und Kurzbeschreibung.....	116
6.3.2	Funktionsweise des Systems.....	118
6.3.3	Sanierung im Falle eines Anpralls.....	119

1 AP 1: Recherche zu bestehenden nationalen und internationalen Richtlinien, Normen und Regelwerken und Trassierungsparametern

1.1 Allgemeines und Zielsetzung

Im Zuge dieses Forschungsprojekts wird in Arbeitspaket 1 eine Übersicht über die unterschiedlichen Rückhaltesysteme und die bestehenden Normen und Richtlinien bezüglich der Prüfung von Rückhaltesystemen und anzusetzender Anprallkräfte gegeben. Diese dienen als Grundlage für die weiteren Überlegungen und sollen den Stand der Technik in dem Gebiet darstellen.

Folgende Inhalte sind in Arbeitspaket 1 vorgesehen:

- Übersicht und Entwicklung der Regelwerke, Richtlinien und Normen zum Stoßvorgang
- Darstellung der Vergleiche und Auswertungen
- Zusammenstellung der relevanten Trassierungsparameter für Kreisverkehre im Zuge von planfreien Knotenpunkten oberhalb hochrangiger Straßennetze

1.2 Begriffsbestimmungen

1.2.1 Rückhaltesysteme

An bestimmten Abschnitten der Straße werden Rückhaltesysteme benötigt um die Verkehrssicherheit an Straßen zu verbessern. Rückhaltesysteme begrenzen zum einen das Fahrband vom übrigen öffentlichen Bereich und verhindern andererseits das Überschreiten sowohl von Fahrzeugen auf der einen Seite als auch von Fußgängern auf der anderen Seite. Diese Rückhaltesysteme sind nach bestimmten Rückhaltestufen bemessen und dienen dazu, Fahrzeuge, welche von der Fahrbahn abkommen, zurückzuhalten oder andere Straßennutzer zu leiten. Abbildung 1-1 zeigt eine Aufstellung über die unterschiedlichen Rückhaltesysteme auf Basis der europäischen Normung.

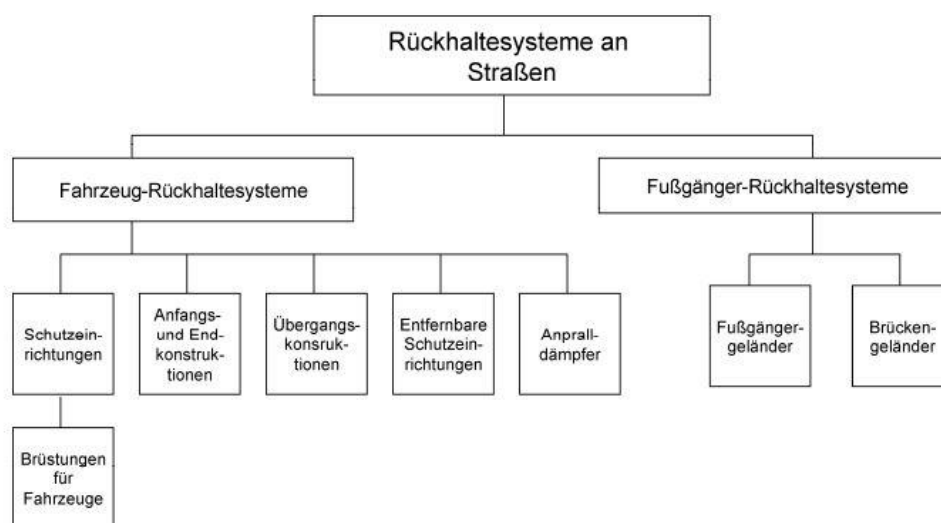


Abbildung 1-1 Systemtypen nach ÖNORM EN 1317-1

Rückhaltesysteme teilen sich primär in zwei Kategorien auf: Zum einen in die Fahrzeug Rückhaltesysteme (VRS) und zum anderen in die Fußgänger Rückhaltesysteme (PRS). Diese Kategorien wiederum lassen sich bei den PRS in

- Fußgängergeländer und
- Brückengeländer

unterscheiden und bei den VRS in:

- Schutzeinrichtungen,
- Anfangs- und Endkonstruktionen,
- Übergangskonstruktionen,
- entfernbar Schutzeinrichtungen und
- Anpralldämpfer.

Die Unterscheidung der verschiedenen Konstruktionen ergibt sich in der Regel aus der Lage an welcher diese eingesetzt werden.

1.2.2 Kreisverkehre

Bei einem Kreisverkehr handelt es sich um einen planfreien Knoten, also einer Vereinigung, Trennung oder Kreuzung von Verkehrsströmen in einer Ebene, bei dem mehrere Straßen in eine Kreisfahrbahn einmünden.

Die Richtlinien für das Verkehrs- und Straßenwesen (RVS) unterscheiden drei Arten von Kreisverkehren

- Minikreisverkehr
- Einspuriger Kreisverkehr
- Mehrspuriger Kreisverkehr

Der Minikreisverkehr hat einen Außendurchmesser von maximal 26,0 m und weist eine überfahrbare Mittelinsel auf. Er stellt einen Sonderfall dar und wird nur bei beengten Platzverhältnissen, innerorts, und bei Maximalgeschwindigkeiten von 50 km/h angewendet. Einspurige Kreisverkehre weisen einspurige Ein- und Ausfahrten auf und stellen den Regelfall eines Kreisverkehrs dar. Einspurige Kreisverkehre sind anderen Kreisverkehrsformen vorzuziehen, sofern keine besonderen Gründe dagegensprechen.

Mehrspurige Kreisverkehre bestehen jedenfalls aus einer mehrspurigen Kreisfahrbahn und ein- oder mehrspurige Ein- und Ausfahrten. Die Errichtung dieser Form ist erst dann vorzusehen, wenn auf Grund des Verkehrsaufkommens ein einspuriger Kreisverkehr nicht mehr ausreichend ist. Auf Grund der geringeren Verkehrssicherheit gegenüber dem einspurigen Kreisverkehrs ist daher genau abzuwiegen, ob die Vorteile aus der Errichtung den Nachteilen überwiegen.

Tabelle 1-1 Unterscheidungsmerkmale der verschiedenen Kreisverkehrstypen laut RVS

	Minikreisverkehr	Einstreifiger Kreisverkehr	Mehrstreifiger Kreisverkehr
Einsatzort	innerorts	inner- oder außerorts	inner- oder außerorts
Außendurchmesser	< 26 m	≥ 26 m	≥ 40 m
Kreisfahrbahn	einstreifig	einstreifig	mehrstreifig
Einfahrten	einstreifig	einstreifig	ein- oder mehrstreifig
Ausfahrten	einstreifig	einstreifig	ein- oder mehrstreifig
Mittelinsel	überfahrbar	nicht überfahrbar	nicht überfahrbar

Jeder Kreisverkehr besteht aus einer Kreisfahrbahn, Ein- und Ausfahrten sowie einer Mittelinsel. Diese Mittelinsel ist, außer bei Minikreisverkehren, wie bereits eingehend erläutert, so ausgeführt, dass sie nicht überfahrbar ist.

Besteht bei einem Kreisverkehr jedoch die Möglichkeit des Absturzes von Fahrzeugen mit steilerem Innenanprallwinkel, sind keine gesonderten Regelungen für die Rückhaltevorrückung vorhanden.

1.3 Recherche zu Prüf- und Bemessungsnormen

1.3.1 Rahmenbedingungen für die Anprallprüfung gemäß ÖNORM EN 1317-1

Die Rahmenbedingungen für eine Systemprüfung sowie die notwendige Terminologie sind in ÖNORM EN 1317-1 festgehalten, diese umfassen allgemeine Festlegungen das Prüffahrzeug betreffend (Type, Masse, Abmessungen, Lage des Schwerpunkts) sowie Angaben zu Fahrzeuginstrumentierung und Prüfort während der Versuchsdurchführung.

1.3.2 Prüfort

Der Prüfort muss grundsätzlich flach sein, darf eine Neigung von 2,5 % nicht überschreiten, muss eine betonierte oder asphaltierte Fahrbahn aufweisen und muss zum Prüfzeitpunkt frei von Fremdkörpern und Niederschlag sein. Er muss weiters eine entsprechende Größe aufweisen, so dass das Prüffahrzeug beschleunigt und kontrolliert werden kann.

1.3.3 Prüffahrzeuge

Die zu verwendenden Fahrzeuge müssen gängige Modelle sein den Festlegungen der ÖNORM EN 1317-1 entsprechen und alle Anforderungen an die Verkehrszulassung erfüllen. Außerdem muss das Fahrzeug soweit gesäubert sein, dass beim Anprall kein Staub verursacht werden könnte, welcher die Auswertung der Ergebnisse behindern würde. An der Außenseite des Wagens sind Prüfpunkte anzubringen anhand derer die erforderlichen Daten ermittelt werden können. Während des Anpralls bzw. dem Aufenthalt im Anprallbereich darf

das Fahrzeug weder durch Betätigung der Lenkung, noch anderer Mittel zurückgehalten werden.

1.3.4 Fahrzeuginstrumentierung

Für die Berechnung der Beschleunigung und des Anpralls ist das Fahrzeug mit drei Beschleunigungsmessgeräten, welche in unmittelbarer Nähe zum Masseschwerpunkt angeordnet sein müssen, optional einem Winkelgeschwindigkeitssensor und einem Giergeschwindigkeits-Sensor an einem starren Punkt montiert, auszustatten.

1.3.5 Kriterien für die Anprallprüfung gemäß ÖNORM EN 1317 – 2

Die Leistung von Rückhaltesystemen an Straßen wird nach verschiedenen Rückhaltestufen bemessen, mit Hilfe dieser Rückhaltestufen kann für den jeweiligen Leistungsbereich die anzuwendende Leistungsstufe festgelegt werden.

In ÖNORM EN 1317 – 2 sind die unterschiedlichen Anprallprüfungen sowie Anprallgeschwindigkeit, Anprallwinkel und Art und Masse des Prüffahrzeuges festgelegt (Tabelle 1-2).

Tabelle 1-2 Kriterien für Anprallprüfungen [2]

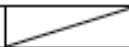


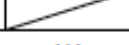

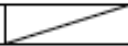

Prüfung	Anprallgeschwindigkeit	Anprallwinkel	Gesamtprüfmasse	Fahrzeugart
	km/h	Grad	kg	
TB 11	100	20	900	Personenkraftwagen
TB 21	80	8	1 300	Personenkraftwagen
TB 22	80	15	1 300	Personenkraftwagen
TB 31	80	20	1 500	Personenkraftwagen
TB 32	110	20	1 500	Personenkraftwagen
TB 41	70	8	10 000	Lastkraftwagen
TB 42	70	15	10 000	Lastkraftwagen
TB 51	70	20	13 000	Bus
TB 61	80	20	16 000	Lastkraftwagen
TB 71	65	20	30 000	Lastkraftwagen
TB 81	65	20	38 000	Sattelzug

Die Unterteilung der Rückhaltesysteme in die Aufhaltestufen erfolgt aufgrund ihres Rückhaltevermögens, jede dieser Aufhaltestufen wird einer genormten Abnahmeprüfung unterzogen (vgl Tabelle 1-3). So wird ein Rückhaltesystem der Stufe H4a mit sehr hoher Rückhaltstufe den Abnahmeprüfungen TB71 und TB11 unterzogen.

Wurde ein Rückhaltesystem in einer Stufe erfolgreich geprüft ist davon auszugehen, dass auch Prüfbedingungen für die niedrigere Gruppe erfüllt sind.

Die Unterteilung zeigt eine Variation des Fahrzeuges samt Masse, der Geschwindigkeit und des Anprallwinkels. Es kann festgestellt werden, dass nur Anprallwinkel bis zu 20 ° geprüft werden und die Geschwindigkeit bei 38 Tonnen Sattelzügen max. 65 km/h beträgt.

Tabelle 1-3 Aufhaltestufen gemäß ÖNORM EN 1317 – 2 und Prüfparameter [2]

Aufhaltestufen			Abnahmeprüfung	
Rückhaltevermögen bei geringem Anprallwinkel	T1		TB 21	
	T2		TB 22	
	T3		TB 41 und TB 21	
Normales Rückhaltevermögen	N1		TB 31	
	N2		TB 32 und TB 11	
Höheres Rückhaltevermögen	H1		TB 42 und TB 11	
	L1			TB 42 und TB32 und TB 11
	H2		TB 51 und TB 11	
	L2			TB 51 und TB32 und TB 11
	H3		TB 61 und TB 11	
	L3			TB 61 und TB32 und TB 11
Sehr hohes Rückhaltevermögen	H4a H4b		TB 71 und TB 11 TB 81 und TB 11	
	L4a L4b		TB 71 und TB32 und TB 11 TB 81 und TB32 und TB 11	
<p>ANMERKUNG 1 Aufhaltestufen mit geringem Anprallwinkel sind nur für vorübergehende Schutzrichtungen vorgesehen. Vorübergehende Schutzrichtungen können auch für höheres Rückhaltevermögen geprüft werden.</p> <p>ANMERKUNG 2 Eine bei einer gegebenen Aufhaltstufe erfolgreich geprüfte Schutzrichtung ist als Einrichtung anzusehen, die auch die Prüfbedingung der niedrigeren Gruppe erfüllt hat, wobei N1 und N2 jedoch nicht T3 umfassen, die H-Stufen nicht die L-Stufen und H1, ..., H4b nicht N2 umfassen.</p> <p>ANMERKUNG 3 Da die Prüfung und Entwicklung von Schutzrichtungen mit sehr hohem Rückhaltevermögen in verschiedenen Ländern unter Verwendung sehr unterschiedlicher Typen von schweren Fahrzeugen stattgefunden hat, sind in dieser Norm gegenwärtig die beiden Prüfungen TB 71 und TB 81 angegeben. Die beiden Stufen des Rückhaltevermögens H4a und H4b sollten nicht als äquivalent angesehen werden, und zwischen ihnen besteht keine hierarchische Ordnung. Das gleiche gilt für die beiden Aufhaltestufen L4a und L4b.</p> <p>ANMERKUNG 4 Die Leistung der Aufhaltelassen L wird im Vergleich zu den entsprechenden Klassen H durch die Ergänzung von Prüfung TB 32 erhöht.</p>				

Zur Bewertung der Schutzrichtung werden in weiterer Folge vier Parameter herangezogen (vgl. Tabelle 1-4):

- das Verhalten der Schutzrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge und das Fahrzeugverhalten
- die Stufe der Anprallheftigkeit (ASI und THIV)
- die Fahrzeugverformung (VCDI)
- die Verformung der Schutzrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge

Zur Definition der Aufhaltelasse muss der ungünstigste Fall herangezogen werden, im Prüfbericht des Rückhaltesystems sind alle Parameter anzugeben.

Tabelle 1-4 Vorgegebene Prüfparameter für Schutzeinrichtungen [2]

Aufhalte- stufe	Parameter			
	Verhalten der Schutzeinrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge und Fahrzeugverhalten	Stufe der Anprallheftigkeit ASI — THIV	Fahrzeug- verformung (VCDI)	Verformung der Schutzeinrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge
T1	TB 21	TB 21	TB 21	TB 21
T2	TB 22	TB 22	TB 22	TB 22
T3	TB 41 + TB 21	TB 21	TB 21	TB 41 + TB 21
N1	TB 31	TB31	TB31	TB31
N2	TB 32 + TB11	TB 32 + TB11 ^a	TB 32 + TB11	TB 32 + TB 11
H1	TB 42 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 42 + TB 11
H2	TB 51 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 51 + TB 11
H3	TB 61 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 61 + TB 11
H4a	TB 71 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 71 + TB 11
H4b	TB 81 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 81 + TB 11
L1	TB 42 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11 ^a	TB 32 + TB 11	TB 42 + TB 32 + TB 11
L2	TB 51 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11 ^a	TB 32 + TB 11	TB 51 + TB 32 + TB 11
L3	TB 61 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11 ^a	TB 32 + TB 11	TB 61 + TB 32 + TB 11
L4a	TB 71 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11 ^a	TB 32 + TB 11	TB 71 + TB 32 + TB 11
L4b	TB 81 + TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11 ^a	TB 32 + TB 11	TB 81 + TB 32 + TB 11
^a Die Anprallheftigkeitsstufe wird anhand der höchsten Werte aus den Prüfungen bestimmt, wobei alle Ergebnisse im Prüfbericht nach Anhang A anzugeben sind.				
ANMERKUNG VCDI ist kein Abnahmekriterium.				

1.3.6 Verhalten der Schutzeinrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge und Fahrzeugverhalten

Grundsätzlich muss die Schutzeinrichtung das anprallende Fahrzeug ohne einen vollständigen Bruch aufhalten und das Fahrzeug zurückleiten. Kommt es zu einer vollständigen Lösung von Teilen der Schutzeinrichtung über 2 kg, so müssen diese im Prüfbericht unter Angabe ihrer Lage und ihrer Masse vermerkt werden. Somit werden weitere Folgeschäden durch herabfallende Teile verhindert.

Teile der Schutzeinrichtung dürfen nicht in den Fahrzeuginnenraum eindringen, auch Verformungen der Fahrgastzelle, welche ernsthafte Verletzungen hervorrufen könnten, sind nicht zulässig.

Da die maximalen Kräfte, welche auf das Rückhaltesystem wirken, über die Verankerungen auf den Untergrund übertragen werden, muss die Traglast von Gründung, Verankerung und Befestigung der konstruktiven Ausführung des Rückhaltesystems entsprechen.

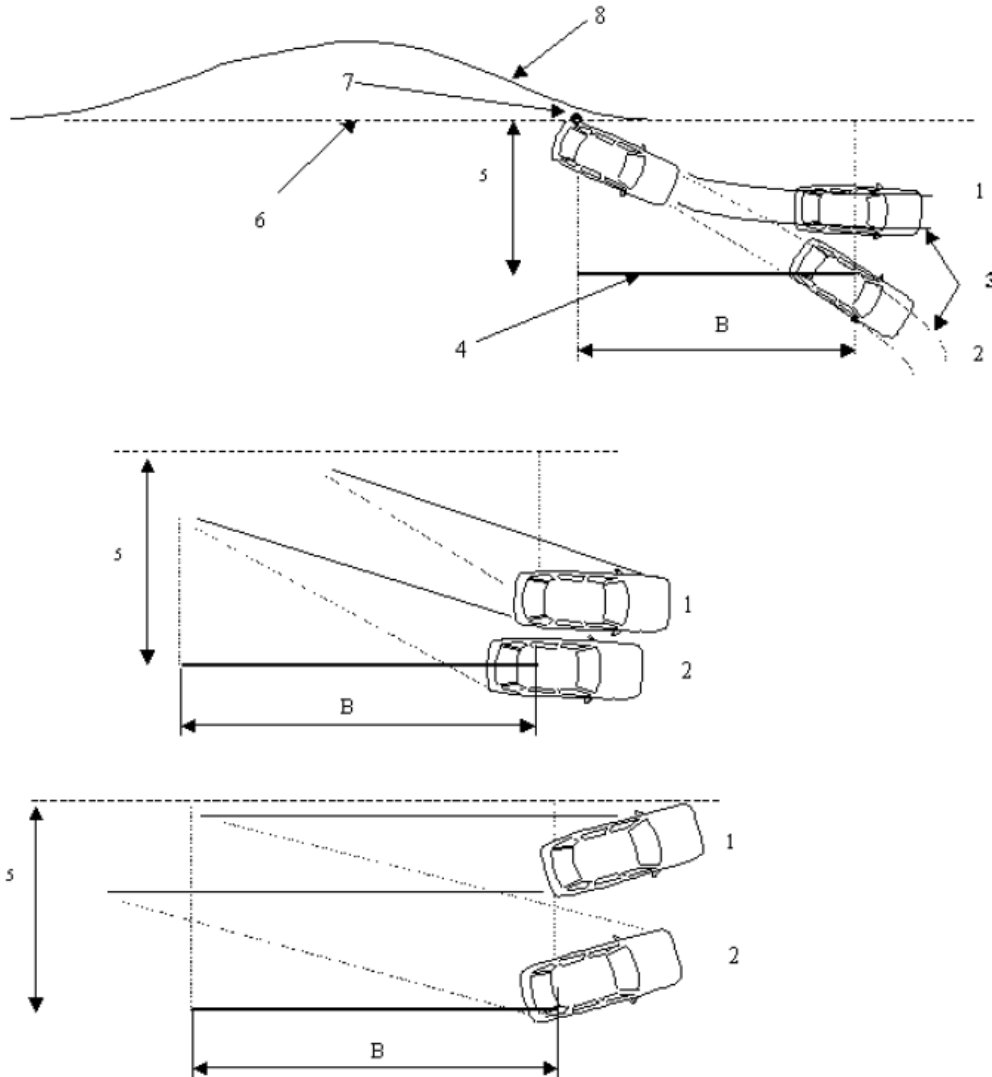
1.3.7 Verhalten des Prüffahrzeuges

Das Prüffahrzeug muss sich während bzw. nach einem Aufprall so verhalten, dass möglichst wenig Gefahr für die Insassen und nachkommende Fahrzeuge besteht. Aus diesem Grund darf maximal ein Rad die Schutzeinrichtung vollständig queren, das Fahrzeug selbst darf sich weder während noch nach dem Aufprall überschlagen, auch ein Kippen ist nicht zulässig.

Nach dem Anprall muss das Fahrzeug in einem definierten Anprallbereich zu stehen kommen (siehe Abbildung 1-2). Dieser Anprallbereich wird eingegrenzt durch den Abstand A

zuzüglich der Fahrzeugbreite und 16% der Fahrzeuglänge und die Strecke B. Die festgelegten Werte für die Abstände A und B sind Tabelle 1-5 zu entnehmen.

Für die Prüfung relevant ist lediglich, ob das Fahrzeug im Anprallbereich zu stehen kommt oder ob es den vorgegebenen Anprallbereich verlässt.



Legende

- 1 „Bestanden“
- 2 „Nicht bestanden“
- 3 Radspuren
- 4 Begrenzung des Anprallbereichs
- 5 $A + \text{Fahrzeugbreite} + 16\% \text{ der Fahrzeuglänge}$
- 6 Ursprüngliche verkehrszugewandte Seiten der Schutzvorrichtung
- 7 Punkt P
- 8 Deformierte Schutzvorrichtung oder Brüstung für Fahrzeuge
- B Abstand von der letzten (dichtesten Absenkung am Ende der Schutzvorrichtung) Punkt P

Abbildung 1-2 Anprallbereich – Bewegungsläufe [2]

Tabelle 1-5 Abstände für das Kriterium des Anprallbereichs

Fahrzeugart	A m	B m
Personenkraftwagen	2,2	10
Andere Fahrzeuge	4,4	20

Ist eine Prüfung mit LKW oder Bussen vorgesehen, so dürfen sich innerhalb des Anprallbereichs nicht mehr als 5% des Ballasts lösen oder auslaufen.

1.3.8 Stufe der Anprallheftigkeit

Zur Bestimmung des Anprallheftigkeitsindex werden die Schwere der Beschleunigung (ASI) und die theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfes (THIV) herangezogen.

Die Bestimmung dieser beiden Werte erfolgt mittels der in ÖNORM EN 1317-1 festgelegten Fahrzeuginstrumentierung und unter Anwendung ebenfalls normierter Berechnungsverfahren.

Es wird zwischen den Anprallheftigkeitsstufen A, B und C unterschieden, diese sind in Tabelle 1-6 mit den dazugehörigen Indexwerten dargestellt. Anprallheftigkeitsstufe A stellt durch die geringere zulässige Beschleunigung ASI für den Insassen eine höhere Sicherheitsstufe dar als Anprallheftigkeitsstufe B oder C.

Tabelle 1-6 Anprallheftigkeitsstufen [2]

Anprallheftigkeitsstufe	Indexwerte		
A	ASI ≤ 1,0	Und	THIV ≤ 33 km/h
B	ASI ≤ 1,4		
C	ASI ≤ 1,9		

1.3.9 Verformung des Prüffahrzeuges VCDI

Mit Hilfe dieses Index wird die Verformung des Fahrzeuges, welche durch den Aufprall am Rückhaltesystem entsteht, genormt beschrieben. Er wird grundsätzlich nur für Personenkraftwagen angewendet und gibt Auskunft über das Ausmaß der Verformung des Cockpits und über den Ort der Verformung.

Der Index besteht aus zwei alphabetischen Zeichen und sieben numerischen Zeichen und weist folgende Form auf:

XXabcdefg

Die ersten beiden alphabetischen Zeichen geben den Ort der Verformung am Cockpit an, ist keine Verformung festzustellen werden die Buchstaben „ND“ verwendet (No Deformation, vgl. Abbildung 1-3).

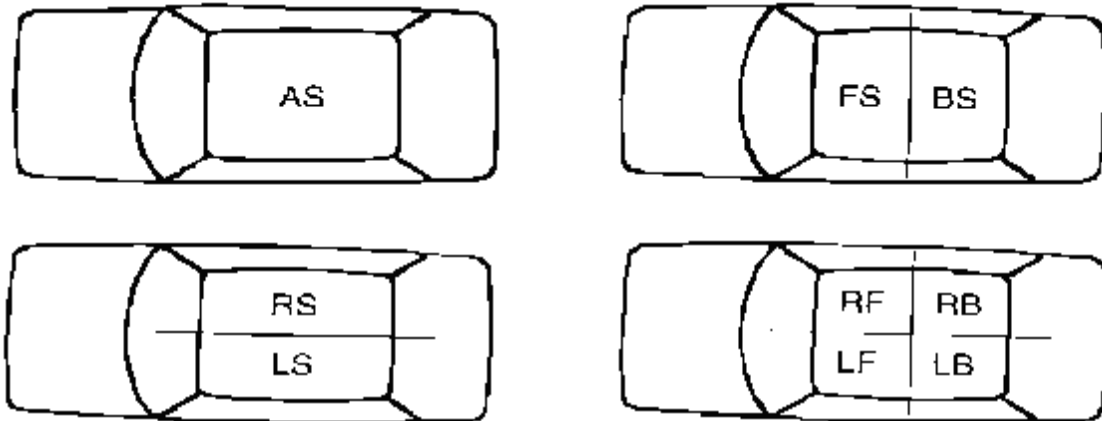


Abbildung 1-3 Ort der Verformung des Cockpits [1]

Mit den sieben Teilindexwerten wird das prozentuelle Ausmaß der Verformung im Innenraum des Fahrzeuges angegeben. Dazu werden sieben festgelegte Teilmaße des Prüffahrzeugs vor und nach dem Aufprall bestimmt und daraus das prozentuelle Ausmaß der Verformung berechnet.

1.3.10 Verformung des Rückhaltesystems

Zur Bewertung der Verformung des Rückhaltesystems werden die gemessenen und normalisierten Werte der dynamischen Durchbiegung D_m und der Wirkungsbereich W_m bestimmt und im Prüfbericht angegeben.

Unter der dynamischen Durchbiegung D_m versteht man die maximale dynamische seitliche Verschiebung jeglichen Punktes der dem Verkehr zugewandten Seite des Rückhaltesystems.

Der Wirkungsbereich W_m ist der maximale seitliche Abstand zwischen der dem Verkehr zugewandten, nicht verformten Seite der Rückhaltevorrichtung und der maximalen dynamischen Position der Schutzvorrichtung (siehe Abbildung 1-4).

Messungenauigkeiten der dynamischen Durchbiegung und des Wirkungsbereichs dürfen bei der Prüfung maximal 10% betragen. Die Fahrzeugeindringung V_{Im} wird lediglich bei Prüfungen mit Lastkraftwägen und Bussen bestimmt. Es handelt sich dabei um die maximale dynamische seitliche Position des Fahrzeugs welche mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsphoto- oder videoaufzeichnungen zu beurteilen ist.

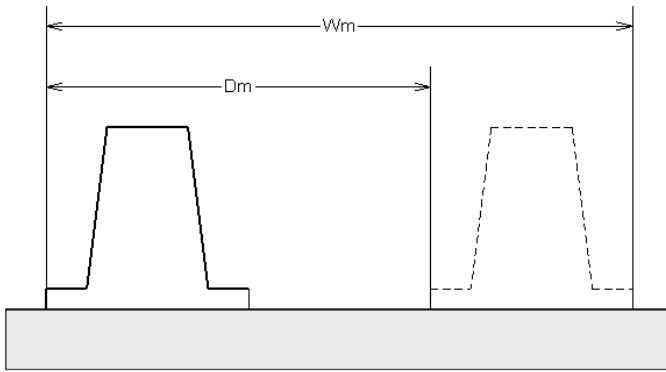


Abbildung 1-4 Dynamische Durchbiegung D_m und Wirkungsbereich W_m [2]

Die gemessenen und mit Hilfe der Formeln (1.1) bis (1.3) normalisierten Werte liefern die Klasse der normalisierten Stufe der Fahrzeugeindringung bzw. des Wirkungsbereichs (siehe Tabelle 1-7)

$$\text{Normalisierte dynamische Durchbiegung } (D_N) = D_m \cdot \sqrt{\frac{M_t \cdot (V_t \cdot \sin \alpha_t)^2}{M_m \cdot (V_m \cdot \sin \alpha_m)^2}} \quad (1.1)$$

$$\text{Normalisierter dynamischer Wirkungsbereich } (W_N) = W_u + [(W_m - W_u) \cdot \sqrt{\frac{M_t \cdot (V_t \cdot \sin \alpha_t)^2}{M_m \cdot (V_m \cdot \sin \alpha_m)^2}}] \quad (1.2)$$

$$\text{Normalisierte Fahrzeugeindringung } (V_{I_N}) = V_{I_m} \cdot \sqrt{\frac{M_t \cdot (V_t \cdot \sin \alpha_t)^2}{M_m \cdot (V_m \cdot \sin \alpha_m)^2}} \quad (1.3)$$

Dabei ist:

D_m	die gemessene dynamische Durchbiegung in m
W_m	der gemessene Wirkungsbereich in m
W_u	die Breite des unverformten Systems
V_{I_m}	die gemessene Fahrzeugeindringung in m
M_t	die festgelegte Gesamtmasse in kg
V_t	die festgelegte Anprallgeschwindigkeit in m/s
α_t	der festgelegte Anprallwinkel in Grad
M_m	die gemessene Gesamtmasse in kg
V_m	die gemessene Anprallgeschwindigkeit in m/s
α_m	der gemessene Anprallwinkel in Grad

Tabelle 1-7 Stufen des normalisierten Wirkungsbereiches [2]

Klassen der normalisierten Stufen des Wirkungsbereichs	Stufen des normalisierten Wirkungsbereichs m
W1	$W_N \leq 0,6$
W2	$W_N \leq 0,8$
W3	$W_N \leq 1,0$
W4	$W_N \leq 1,3$
W5	$W_N \leq 1,7$
W6	$W_N \leq 2,1$
W7	$W_N \leq 2,5$
W8	$W_N \leq 3,5$

ANMERKUNG 1 In Einzelfällen darf eine Klasse der Stufen des Wirkungsbereichs unter W1 festgelegt werden.
 ANMERKUNG 2 Die dynamische Durchbiegung, der Wirkungsbereich und die Fahrzeugeindringung ermöglichen die Festlegung der Aufbaubedingungen für jede Schutzeinrichtung sowie die Bestimmung der Abstände, die vor Hindernissen zu berücksichtigen sind, damit das System zufriedenstellend funktioniert.
 ANMERKUNG 3 Die Verformung hängt sowohl von der Art des Systems, als auch von den Kenngrößen der Anprallprüfung ab.

Tabelle 1-8 Stufen der normalisierten Fahrzeugeindringung [2]

Klassen der normalisierten Stufen der Fahrzeugeindringung	Stufen der normalisierten Fahrzeugeindringung m
V11	$V_{I_N} \leq 0,6$
V12	$V_{I_N} \leq 0,8$
V13	$V_{I_N} \leq 1,0$
V14	$V_{I_N} \leq 1,3$
V15	$V_{I_N} \leq 1,7$
V16	$V_{I_N} \leq 2,1$
V17	$V_{I_N} \leq 2,5$
V18	$V_{I_N} \leq 3,5$
V19	$V_{I_N} > 3,5$

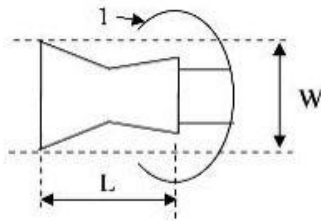
ANMERKUNG 1 In Einzelfällen darf eine Klasse der Stufen der Fahrzeugeindringung unter V11 festgelegt werden.
 ANMERKUNG 2 Die dynamische Durchbiegung, der Wirkungsbereich und die Fahrzeugeindringung ermöglichen die Festlegung der Aufbaubedingungen für jede Schutzeinrichtung sowie die Bestimmung der Abstände, die vor Hindernissen zu berücksichtigen sind, damit das System zufriedenstellend funktioniert.

1.3.11 ÖNORM EN 1317-3

Teil 3 der ÖNORM EN 1317 beinhaltet Leistungsklassen, Abnahmekriterien, Prüfverfahren und Anprallprüfungen für Anpralldämpfer.

Anpralldämpfer sind erforderlich um die Sicherheit an bestimmten Stellen von Straßen zu erhöhen. Sie dienen dazu den Fahrzeuganprall an ein widerstandsfähigeres Hindernis zu verringern. Dabei geht es einerseits um die Vermeidung einer Beschädigung des Hindernisses und zum anderen um die Vermeidung von ernsthaften Verletzungen von Fahrzeuginsassen.

Vorweg wird geregelt wie die Form des getesteten Anpralldämpfers beschrieben werden soll. Darunter fallen die Werte wie Breite, Länge und Winkel des Anpralldämpfers (Abbildung 1-5).



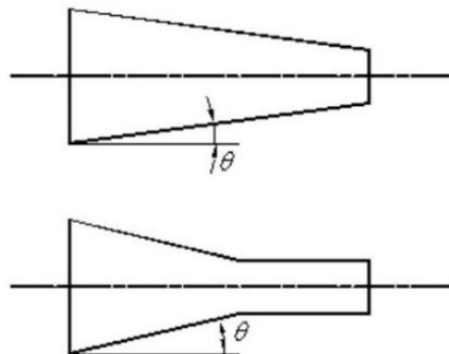
Legende

- 1 nicht tragender Kopf
- L bauliche Länge des Anpralldämpfers
- W Breite des Anpralldämpfers

Abbildung 1-5 Beispiel für die Breite des Anpralldämpfers laut ÖNORM EN 1317-3

Hier kann es beispielsweise bei der Festlegung des Kopfes des Anpralldämpfers zwischen der Prüfstelle und dem Hersteller zu divergierenden Ansichten kommen, dies ist grundsätzlich möglich sofern diese unterschiedlichen Ansichten im Prüfbericht dokumentiert werden.

Grundsätzlich unterscheidet man 2 Arten von Anpralldämpfern. Zum einen die zurückleitenden Anpralldämpfer und zum anderen die nicht zurückleitenden Anpralldämpfer.



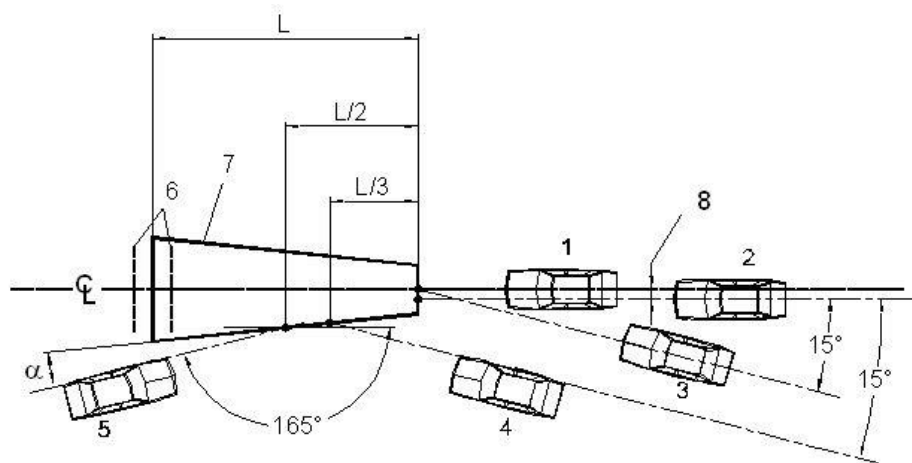
Legende

- θ Winkel

Abbildung 1-6 Anprallwinkel laut ÖNORM EN 1317-3

1.3.12 Leistungsklassen

Für die Bestimmung der Leistungsklasse von Anpralldämpfern werden fünf Prüfungen durchgeführt. Diese werden in folgender Abbildung dargestellt (Abbildung 1-7).



Legende

- 1 Prüfung 1
- 2 Prüfung 2
- 3 Prüfung 3
- 4 Prüfung 4
- 5 Prüfung 5
- 6 alternative Orte für die Front des Hindernisses
- 7 Anpralldämpfer
- 8 $\frac{1}{4}$ der Fahrzeugbreite

Abbildung 1-7 Fahrzeugannäherungswege laut ÖNORM EN 1317-3

Wie aus Abbildung 1-7 deutlich ersichtlich ist, werden die Anpralldämpfer mit einem Anprallwinkel von 15° auf die Schmalseite des Anprallsystems getestet.

Anpralldämpfer werden nach dem Ergebnis der Prüfungen in verschiedene Leistungsklassen unterteilt, welche eine Steigerung der aufnehmbaren Anprallenergie repräsentiert. Ist ein Anpralldämpfer in einer Leistungsstufe erfolgreich geprüft worden, gelten auch alle Prüfbedingungen der niedrigeren Stufen als erfüllt.

Tabelle 1-9 Leistungsstufen für Anpralldämpfer laut ÖNORM EN 1317-3

Stufe	Abnahmeprüfung					
	TC 1.1.50	–	–	–	TC 4.2.50 ^a	–
80/1	–	TC 1.2.80	TC 2.1.80	–	TC 4.2.80 ^a	–
80	TC 1.1.80	TC 1.2.80	TC 2.1.80	TC 3.2.80	TC 4.2.80 ^a	TC 5.2.80 ^a
100	TC 1.1.100	TC 1.2.100	TC 2.1.100	TC 3.2.100	TC 4.2.100 ^a	TC 5.2.100 ^a
110	TC 1.1.100	TC 1.3.110	TC 2.1.100	TC 3.3.110	TC 4.3.110 ^a	TC 5.3.110 ^a

^a Nur für zurückleitende Anpralldämpfer erforderlich.

Die Anprallheftigkeit des Fahrzeuges am Anpralldämpfer wird durch ASI und THIV (wie in ÖNORM EN 1317-1 beschrieben) nachgewiesen und anschließend in zwei Anprallheftigkeitsstufen unterteilt.

Die Anpralldämpfer der Heftigkeitsstufe A bieten hierbei eine höhere Sicherheit gegenüber Anpralldämpfer der Sicherheitsstufe B. Für die Kennzeichnung einer Familie von Anpralldämpfern ist die höchste Anprallheftigkeitsstufe zu wählen, welche sich aus den verschiedenen Prüfvorgängen ergibt.

Eine Familie von Anpralldämpfern stellt ein Produkt dar, welches aus einer Vielzahl verschiedener Bestandteile zusammengesetzt werden kann und so eine hohe Funktionalität aufweist. Die Bestandteile des Produktes haben zumeist gleiche oder ähnliche Mechanismen und können durch unterschiedliche Zusammensetzung eine Fülle an Lösungen für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten unter gleichen Sicherheitsvoraussetzungen, bieten. Die Familie von Anpralldämpfern geht von einem ursprünglichen Anpralldämpfer aus, welcher bereits erfolgreich nach der ÖNORM EN 1317-3 geprüft wurde. Für nachfolgende Modelle dieser Familie kann ein reduziertes Prüfungsprozedere angewendet werden.

Vereinfacht kann gesagt werden, dass bei einer Familie von Anpralldämpfern auch das schwächste Glied, welches zumeist der Anpralldämpfer mit kleinstem Winkel und Breite darstellt, der gleichen Leistungsklasse gekennzeichnet sein muss wie die anderen Bestandteile und Ausführungen der Familie. Jedes Familienmitglied muss hierbei zumindest eine Prüfung innerhalb der Geschwindigkeitsklasse bestanden haben. Sollte dies nicht der Fall sein, können weitere Prüfungen durchgeführt werden oder die Leistungsklasse des gesamten Systems wird herabgestuft.

Ein Beispiel für eine solche Familie von Anpralldämpfern stellt das Produkt „Delta Bloc“ dar. Dabei handelt es sich um Beton Anpralldämpfer welche in einem weit gefächerten Bereich angewendet werden können, da sie auf Grund der vielen unterschiedlichen Steinformen zu vielen Individuallösungen genutzt werden können. Das Prinzip dahinter kann man als Baukastensystem beschreiben, welche durch unterschiedliche Formen und Größen immer wieder zu gewünschten Formen zusammengesetzt werden können.

1.3.13 Abnahmekriterien für Anprallprüfungen

Das Verfahren zur Abnahme und Klassifizierung von Anprallsystemen weist starke Ähnlichkeiten zu dem von Rückhaltesystemen gemäß NORM 1317-2 auf, daher wird hier nur in aller Kürze auf die Verfahren und Kriterien eingegangen.

Bei der Prüfung eines Anpralldämpfers muss sein minimaler Grundriss eine Trapezform aufweisen, welche alle Konstruktionselemente enthält.

Für die erfolgreiche Abnahme eines Anpralldämpfers sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Verhalten des Anpralldämpfers
- Verhalten des Prüffahrzeuges
- Index für die Anprallheftigkeit

- Seitliche Verschiebung des Anpralldämpfers
- Verformung des Prüffahrzeuges

1.4 Statisch konstruktive Anprallkräfte gemäß den geltenden Regelungen

Zur Orientierung der Größenordnung für den Anprall von Straßenfahrzeugen an Brückentragwerken sind in diesem Unterkapitel die statischen Ersatzlasten für die Bemessung von Brücken dargestellt. Hierbei ist davon auszugehen, dass der Anprall an eine Brückenkonstruktion geringe Nachgiebigkeit hat und somit die Dissipation von Energie gering ist.

Der Anprall von Straßenfahrzeugen ist für die statisch konstruktive Bemessung in verschiedenen Regelwerken festgelegt. So enthält die ÖNORM EN 1991-1-7 grundsätzlich alle außergewöhnlichen Belastungen, die auf Brücken anzusetzen sind. Es erfolgt hierbei eine Unterscheidung auch zwischen dem Anprall von Schienenfahrzeugen und Straßenfahrzeugen. Weiters wird ebenfalls zwischen dem Anprall auf Tragwerke und Unterstützungen unterschieden, wobei der Anprall an den Unterbau in ÖNORM EN 1991-2 geregelt ist.

Gemäß ÖNORM EN 1991-2 sind bei Brücken, welche über Straßen führen, zur Berücksichtigung eines Anpralls von Straßenfahrzeugen an Stützen und Widerlager horizontale Ersatzlasten von

- 1000 kN parallel zur Straßenachse und
- 500 kN rechtwinkelig zur Straßenachse

anzusetzen.

Nach ÖNORM EN 1991-1-7 gelten diese Anprallkräfte für Stützen und Widerlager von Tragwerken über Autobahnen und Bundesstraßen, während bei Brücken über Landesstraßen und über innerstädtische Straßen geringere Anprallkräfte anzusetzen sind. Eine gleichzeitige Wirkung dieser Lasten ist nicht anzunehmen. Die Lasten sind im Allgemeinen in einer Höhe von 1,20 m über Straßenoberkante anzusetzen.

Zur Berücksichtigung eines Anpralles von Straßenfahrzeugen an Tragwerke von Eisenbahnbrücken sind in Fahrtrichtung (Richtung der Straßenachse) an der ungünstigsten Stelle die Lasten gemäß Tabelle 1-10 anzusetzen.

Tabelle 1-10 Äquivalente statische Anprallkräfte auf Überbauten von Eisenbahnbrücken

Kategorie	Äquivalente statische Ersatzkraft in Fahrtrichtung [kN]
Autobahnen und Bundesstraßen	500
Landstraßen außerhalb von Ortschaften	375
Innerstädtische Straßen	250
Privatstraßen und Parkgaragen	75

Diese Kräfte werden in einem Winkel von 10° auf der Unterseite der Brücke angesetzt, wenn ein Anprall nicht durch ausreichende Durchfahrtshöhen oder wirksame Schutzmaßnahmen verhindert werden kann.

Weiters sind diese Ersatzkräfte bei lichten Durchfahrtshöhen bis 5,00 m anzusetzen, bei Durchfahrtshöhen über 6,00 m sind keine Anprallkräfte anzusetzen, dazwischen ist linear zu interpolieren.

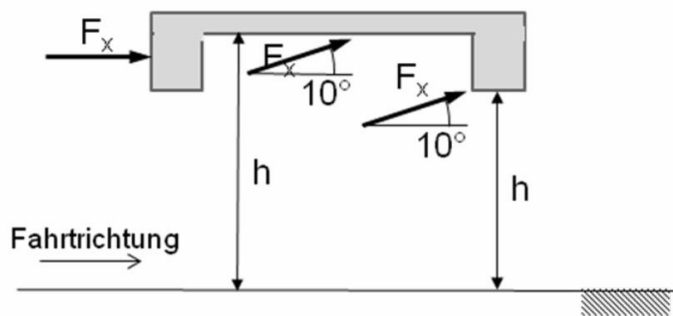


Abbildung 1-8 Anprallkräfte auf den Überbau

Bei der Bemessung von Anprallvorgängen aus Eisenbahnfahrzeugen werden Ersatzlasten auf die Konstruktion von Widerlagern und Stützen in Höhe von 4000 kN in Längsrichtung und 1500 kN in Querrichtung angesetzt, sofern ein Mindestabstand der tragenden Konstruktion von der Gleisachse unterschritten ist. Bei größeren Gleisabständen und geringen Geschwindigkeiten sind keine Ersatzlasten anzusetzen. Weiters geht in die Logik des Ansatzes von Anprallkräften auf Unterstützungen auch die Lage von Weichen ein, da hierbei die Gefahr von Zugentgleisung ansteigt. Bei speziellen Fällen mit Leiteinrichtungen wie beispielsweise Bahnsteigkanten können die anzusetzenden Lasten auf 50% reduziert werden. Halten sich in dem Bauwerk überhalb der Eisenbahnstrecke Personen dauerhaft auf wie beispielsweise bei Überbauungen (z.B. Wien Mitte), gelten zusätzliche Regelungen und die anzusetzenden Anprallkräfte infolge Zugentgleisung sind mit 10000 kN anzunehmen.

Dieser Vergleich zeigt die Vorgehensweise bei der Dimensionierung von Anprallereignissen auf relativ steife Tragkonstruktionen wie Brücken, wobei eine Nachgiebigkeit und Dissipation von Anprallenergie nicht vorausgesetzt werden kann. Die Vorgehensweise mit der Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des Anpralls durch den Eingang der streuenden Größen stellt jedoch eine baupraktisch sinnvolle Lösung dar, die bei gewöhnlichen Bemessungssituationen ingenieurpraktisch gelöst werden kann.

1.5 Allgemeines und Zielsetzung

In Arbeitspaket 2 sind die unterschiedlichen Formen von Kreisverkehren und mögliche bauliche Lösungsansätze für die bestehende Problemstellung umrissen. Verkehrstechnische

Lösungsansätze aus Österreich und dem Ausland wurden exemplarisch dargestellt, analysiert und die Ergebnisse zusammengefasst. Die wesentlichen Trassierungsparameter wie Anprallwinkel und Radien der Kreisverkehre wurden grafisch ermittelt, in weiterer Folge wurden daraus mit Hilfe mathematischer Methoden Maximalgeschwindigkeit sowie Anprallenergie bestimmt.

Folgende Inhalte sind in Arbeitspaket 2 vorgesehen:

- Übersicht maßgebender Parameter von Fahrzeugrückhaltesystemen anderer Länder in Hinblick auf Trassierungselemente, konstruktive Lösungsansätze und geometrische Randbedingungen
- Darstellung von exemplarischen Vergleichsobjekten
- Analyse und Vergleich der unterschiedlichen Erkenntnisse/ Erfahrungen europäischer Nachbarländer

1.6 Grundlagen der Verkehrsplanung bei Kreisverkehren - allgemein

1.6.1 Entwicklung – Von der Ampel zum Kreisverkehr

Kreuzungen mit Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) oder Kreuzungen ohne VLSA und hoher Verkehrsbelastung werden von Ländern, Gemeinden und Städten vermehrt durch Kreisverkehre ersetzt. Der Kreisverkehr gilt als leistungsfähiger und wesentlich verkehrssicherer, da vornehmlich die Aufprallgeschwindigkeiten von Fahrzeugen zueinander als geringer gegenüber plangleichen Kreuzungspunkten auf Verkehrswegen eingestuft werden kann (nur Ein- und Ausfedelungsvorgänge, kein Kreuzen). Darüber hinaus hat sich in den letzten Jahren auch der Einsatz von Kreisverkehrsanlagen im Bereich von Anschlussstellen als vorteilhaft erwiesen, da vor allem nach der Abfahrt von Straßen mit hoher Geschwindigkeit (z.B. Autobahn mit 130 km/h) eine kontinuierlichere Zuführung des Verkehrs in ein Straßennetz mit geringerer höchstzulässiger Geschwindigkeit erfolgen kann. Dabei ist natürlich auf die Gestaltung der Zufahrt von einer Rampe der Anschlussstelle besonders zu achten.

Das Modell stammt im weiten Teilen aus Großbritannien, Frankreich bzw. Italien und hat sich europaweit durch die Benachrangung des einfahrenden Verkehrs mittlerweile weitestgehend durchgesetzt. Auch in Österreich ist dieser Trend der letzten 15 bis 20 Jahren bereits angekommen. Gerade der kleine Kreisverkehr gilt als sehr sicher. Dieser besteht aus lediglich einer Fahrspur auf der Kreisfahrbahn und hat einen Durchmesser von mindestens 26 Metern und eine eingefasste Insel, welche den Zweck hat die Sichtachse zur gegenüberliegenden Ausfahrt einzuschränken. Auch Minikreisverkehre mit Durchmessern zwischen 13 und 22 Metern werden mittlerweile vermehrt gebaut. Innerhalb des Kreisverkehrs wird eine Geschwindigkeit von 25 Kilometern pro Stunde selten überschritten. Der Einsatz von Kreisverkehren konnte das Unfallrisiko nachweislich senken. Wie beispielsweise im Landkreis Oberallgäu-Nord in Bayern, wobei die Zahl der Unfälle von Vierzehn auf null reduziert werden konnte [5].

Wie anhand des zuvor genannten Beispiels bereits erläutert, verweist auch die RVS 03.05.14 auf die Vorteile des Einsatzes von Kreisverkehren. Diese erhöhen sowohl Leistungsfähigkeit als auch Verkehrssicherheit im Vergleich zu anderen plangleichen Knotenpunkten und tragen überdies zur Verkehrsberuhigung, Straßenumfeldgestaltung und Geschwindigkeitsdämpfung bei. Empfohlen wird die Ausübung von drei- und vierarmigen Kreisverkehren, da bei fünf- und mehrarmigen Kreisverkehren die Orientierung bereits deutlich schwieriger wird und einer speziellen Wegweisung bedarf. Darüber hinaus muss auch der Durchmesser des Kreisverkehrs größer werden, was wiederum dazu führen kann, dass die Geschwindigkeit auf der Kreisfahrbahn steigt. Der Verkehr auf der Kreisfahrbahn hat jedenfalls Vorrang gegenüber allen Einfahrten.

Die nachstehende Tabelle zeigt Kriterien welche für bzw. gegen eine Anordnung von Kreisverkehren sprechen.

Tabelle 1-11 Kriterien für bzw. gegen die Anordnung von Kreisverkehren. RVS 03.05.14. 01.10.2010 [7]

Für die Anordnung	Gegen die Anordnung
Reduktion der Geschwindigkeit	Ungünstige Platzverhältnisse
Höhere Verkehrssicherheit	Ungünstige topographische Gegebenheiten
Sanierung von Unfallhäufungsstellen	Koordinierte Lichtsignalgeregelter Knotenpunkte
Zusammenführung von mehr als vier Knotenarmen	Ungünstiges Verhältnis der Verkehrsströme
Wendemöglichkeit	Stark unterschiedliche Verkehrsbedeutung der sich kreuzenden Straßen
Platzgestaltung	Starke Fußgängerströme
	Starke querende Radfahrerströme

Vor der Errichtung eines Kreisverkehrs müssen eine Vielzahl von Kriterien beachtet werden. Darunter fallen insbesondere:

- Verkehrssicherheit: Aufgrund der Verringerung der Geschwindigkeit können Verkehrsteilnehmer ihr Fahrverhalten durch Kontaktaufnahme besser aufeinander abstimmen. Dies erhöht das Sicherheitsniveau genauso wie die Verringerung der Konfliktpunkte durch das Fehlen des Kreuzens der Verkehrsströme.
- Verkehrsbedeutung: Die Bevorzugung eines Straßenzuges bei Kreisverkehren ist nicht möglich, da durch die Kreisfahrbahn alle Einfahrten gleichrangig gestellt werden. Erschließungsstraßen und Einzelanbindungen an Kreisverkehre im hochrangigen Straßennetz sollten nur in besonderen Fällen bzw. nicht erfolgen.

- Verlustzeiten: Diese treten für vormals bevorrangte Verkehrsströme auf. Ein Kreisverkehr sollte daher erst dann errichtet werden, wenn die Verkehrsströme der Nebenströme zumindest 20% des Gesamtverkehrsaufkommens betragen.
- Verkehrsbelastung: Bei günstiger Belastung der Verkehrsströme können Kreisverkehre zwischen 10.000 (Minikreisverkehr) und 30.000 (mehrspuriger Kreisverkehr) Kfz/24h aufnehmen.
- Platzbedarf: Im Vergleich zu Kreuzungen haben Kreisverkehre im Allgemeinen sowohl im Kreuzungsbereich als auch im Bereich der Kreisverkehrsarmen einen erhöhten Platzbedarf. Dies kann vor allem bei einer Errichtung im verbauten Gebiet problematisch werden.
- Kosten: Im Vergleich zu einer Kreuzung mit VLSA sind die Kosten bei einer Neuerrichtung in etwa gleich hoch, wird allerdings eine bestehende Kreuzung ohne VLSA in einen Kreisverkehr umgebaut, ist die Errichtung des Kreisverkehrs gegenüber der Errichtung einer Kreuzung mit VLSA teurer. Die Erhaltungs- und Betriebskosten sind beim Kreisverkehr in diesem Fall hingegen niedriger.
- Umfeldcharakteristik: Im Nahbereich von Kreuzungen oder anderen verkehrsflussbehindernden Punkten sind die Rückstaulängen zu berücksichtigen, da ein Sperreffekt auftreten kann, wenn es zum Rückstau in den Kreisverkehr kommt. Als Negativbeispiel hierfür kann der Verteilerkreis in Wien herangezogen werden, wobei es sich jedoch um einen mit VLSA geregelten Kreisverkehr handelt.

1.6.2 Geschwindigkeitsbegrenzungen

Das angestrebte Geschwindigkeitsniveau ist primär durch bauliche Maßnahmen wie die Gestaltung, die Wahl der Leiteinrichtungen und das Straßenumfeld anzustreben. Eine Geschwindigkeitsbegrenzung ist erforderlich, wenn die Sicherheit und Flüssigkeit des Verkehrs nicht allein durch die angepasste Geschwindigkeit aufgrund der Straßenführung erreicht werden kann. Die Verordnung einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h, um zu erreichen, dass Autofahrer nicht 50 km/h fahren, ist unzulässig. Vielmehr sollte man an solchen Stellen verstärkte Kontrollen einführen. Die Akzeptanz einer Geschwindigkeitsbeschränkung durch die Verkehrsteilnehmer muss demnach ebenso gewährleistet sein. Ein Leitprinzip, wie eine Verengung der Fahrbahn zur Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit, ist durch die größere Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer dem Hemmprinzip vorzuziehen. Ist eine ausreichende Verringerung der Geschwindigkeit durch straßenbauliche Maßnahmen nicht realisierbar oder nicht zu erwarten, kommen Geschwindigkeitsbeschränkungen in Betracht. Können Fahrzeugrückhaltesysteme nicht entsprechend hergestellt werden weil es beispielsweise die Bauweise nicht zulässt, können Geschwindigkeitsbegrenzungen kompensatorisch eingesetzt werden.

Die Projektierungsgeschwindigkeit (V_P) ist jene Geschwindigkeit die durch frei fahrende Fahrzeuge aufgrund der Anlageverhältnisse (Kreisbogenradius, Geradenlänge zwischen Kreisbögen, Längsneigung) rechnerisch gefahren werden kann. Ergibt sich aus den Berechnungen ein größerer Wert als durch die StVO vorgeschrieben, ist die

Höchstgeschwindigkeit gemäß StVO anzunehmen. Für Kreisbögen kann unter Bezugnahme auf die Grundgleichung der Bogenfahrt folgende Tabelle für die Ermittlung der Geschwindigkeit herangezogen werden:

Tabelle 1-12 Zusammenhang Radius (R) und Geschwindigkeit (V_{85})

R (m)	30	50	80	130	200	300	400	500	600	800
V_{85} (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130

Für die Berechnung der Höchstgeschwindigkeiten sind mehrere Parameter ausschlaggebend. Dazu gehören Kurvenradien der Strecke, Schrägneigung, Querneigung und Beschaffenheit der Straße. [8]

Verkehrszeichen (VZ) müssen grundsätzlich so angeordnet sein, dass sie bereits bei Annäherung des Fahrzeuges erkennbar sein müssen. Dafür wird die minimale Sichtbarkeitsentfernung unter Annahme einer Wahrnehmungszeit von drei Sekunden und einem Sichtkegel von 30° berechnet. Das Sichtfeld (der Bereich zwischen Verkehrsteilnehmer und VZ) ist freizuhalten. Überdies muss die Kundmachung rechtzeitig vor Beginn des Gefahrenbereiches erfolgen.

Vor Kreisverkehren sind im Regelfall keine Geschwindigkeitsbegrenzungen erforderlich. Nur wenn die die Sichtbarkeit des Kreisverkehrs eingeschränkt oder besonderer Gegebenheiten vorliegen werden Geschwindigkeitsbeschränkungen angebracht.

1.7 Konstruktionsformen von Kreisverkehren

Grundsätzlich haben Kreisverkehre eine Kreisform aufzuweisen. Die Fahrbahn wird in der Regel um eine Mittelinsel geführt. Die erhöhte Verkehrssicherheit gegenüber Kreuzungen resultiert aus den geringeren Geschwindigkeiten, welche im Konfliktbereich erreicht werden können, und dem Fehlen des Kreuzens der Verkehrsströme (ausschließlich Ein- und Ausfedelungsvorgänge). Dies wiederum ist nur gegeben, wenn die Mittelinsel den Verkehrsstrom ausreichend ablenkt wie in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

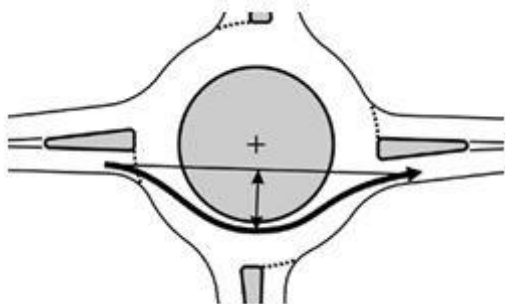


Abbildung 1-9 Ablenkung durch Mittelinsel. RVS 03.05.14. 01.10.2010 [7]

Optimal ist es die Verlängerung der Achsen der Kreisverkehrsarme direkt durch den Kreismittelpunkt zu führen. Auf diese Weise wird eine größtmögliche Ablenkung erreicht. Der Abstand von angrenzenden Ein- und Ausfahrten muss so gewählt werden, dass der Kreisverkehr durch das definierte Bemessungsfahrzeug befahren werden kann (erhöhter Platzbedarf des Bemessungsfahrzeuges auf der Kreisfahrbahn durch Spurbabweichung). Sind Ein- und Ausfahrten zu knapp aufeinanderfolgend, ist das rechtzeitige Blinken nicht möglich, dies stellt wiederum ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar. Die Länge des Ausfahrbogens sollte (ausgenommen bei Minikreisverkehren) eine Länge von 20 m nicht unterschreiten und so groß wie möglich gewählt werden. Flächen, welche außerhalb der Kreisfahrbahn liegen sollten so ausgebildet sein, dass sie sich eindeutig von der Kreisfahrbahn abheben. Dies dient der besseren Erkennbarkeit. Siehe hierzu auch RVS 03.05.14 [7]

Ein- und Ausfahrten werden durch nicht überfahrbare Fahrbahnteiler getrennt, lediglich der Minikreisverkehr stellt hier eine Ausnahme dar. Beim Minikreisverkehr darf die Fahrbahntrennung auch plangleich erfolgen. Die Fahrbahnbreiten unterscheiden sich zum einen je nachdem ob eine Einfahrt oder Ausfahrt der Kreisfahrbahn vorliegt und zum anderen ob es sich um einen ein- oder mehrspurigen Kreisverkehr handelt. Bei einspurigen Kreisverkehren hat die Einfahrt im Bereich der Fahrbahnteiler eine Breite von mindestens 3,75 m aufzuweisen und die Ausfahrt zumindest 4,0 m. Bei mehrspurigen Kreisverkehren ist bei der Ein- und Ausfahrt eine Breite von 7,0 m nicht zu unterschreiten [7].

Zur Verringerung der Geschwindigkeiten von größeren Fahrzeugen besonders im Einfahrtsbereich und zur Ermöglichung eines sicheren Ausfahrens sind die Einfahrtsradien geringer als die Ausfahrradien auszubilden.

Die tatsächliche Ausführung ist anhand der Schleppkurve des Bemessungsfahrzeuges auszuwählen. Die nachstehende Grafik (Abbildung 1-10) zeigt die empfohlenen Kreisbogenradien zur Ein- und Ausfahrt der Kreisverkehre nach RVS 03.05.14 [7].

	Einfahrtsradius R_E	Ausfahrtsradius R_A
innerhalb bebauter Gebiete	10 bis 14 m	12 bis 16 m
außerhalb bebauter Gebiete	12 bis 16 m	15 bis 25 m

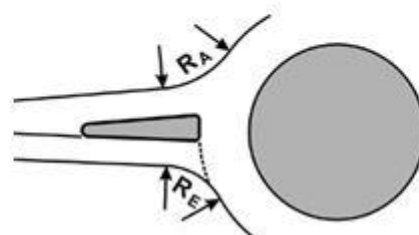


Abbildung 1-10 : Ein- und Ausfahrradius. RVS 03.05.14, 01.10.2010 [7]

Die Kreisfahrbahn hat in der Regel eine Breite zwischen 6,5 und 9,0 m. Für den Minikreisverkehr sollte die Breite so gewählt werden, dass ein Solo-LKW die Mittelinsel möglichst nicht befahren muss, für mehrspurige Kreisverkehre empfiehlt sich eine Breite von 8,0 bis 10,0 m. Ist eine ausreichende Ablenkung nicht zu erreichen sollte der innenliegende Bereich der Kreisfahrbahn differenziert ausgeführt werden. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung eines unterschiedlichen Belages oder einer farbigen Kennzeichnung erfolgen [7].

Die Mittelinsel sollte im Allgemeinen als Hindernis wahrgenommen werden und so ausgeführt sein, dass ein darüber hinwegfahren, von Einfahrt zu Ausfahrt, verhindert wird. Bepflanzung oder Skulpturen sollten sich dabei jedoch auf den mittleren Teil der Insel beschränken um die erforderlichen Sichträume nicht einzuschränken. Aus Sicherheitsgründen sind feste Hindernisse gegenüber den Einfahrten zu vermeiden, was gerade im Rahmen des gegenständlichen Projektes von zentraler Bedeutung ist.

Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Kreisverkehren und in diversen Sonderfällen kann der Einsatz von Bypässen erforderlich sein. Dieser kann zügig oder platzsparend ausgeführt werden, er besteht aus einem Rechtsabbiegestreifen und endet mit einem Rechtseinbiegestreifen oder einer Fahrstreifenaddition (Abbildung 1-11).

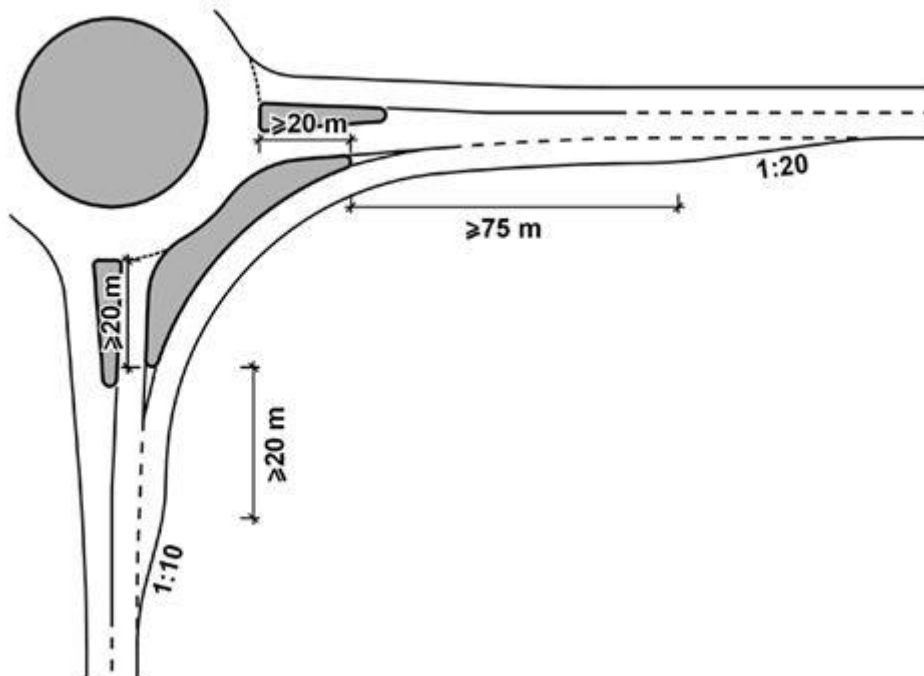


Abbildung 1-11 Regelfall Bypass. RVS 03.05.14. 01.10.2010 [7]

Der Beginn des Rechtsabbiegestreifens richtet sich nach der möglichen Rückstaulänge der Kreisverkehrseinfahrt, dieser kann den rechtsabbiegenden Verkehrsstrom dann am Rückstau vorbei leiten. Bypässe sind in der Regel durch ein Anprallsystem von der angrenzenden Fahrbahn getrennt. Der Fahrbahnteiler sollte von 20 m vor bis 20 m nach der

Kreisfahrbahn reichen [7]. Eine bauliche Trennung kann entfallen, wenn Bypass und angrenzende Fahrbahn einen Abstand von mindestens 2,5 m aufweisen. Zur Vermeidung von Rückstau ist dem Bypass jedenfalls die Vorfahrt gegenüber der Kreisverkehrsausfahrt zu nehmen.

Der Sichtraum spielt bei Kreisverkehren eine wesentliche Rolle. Er hat so auszusehen, dass Fahrzeuge, sich auf der Kreisfahrbahn und der vorhergehenden Einfahrt befinden, vom Lenker des einfahrenden Fahrzeuges jedenfalls erkennbar sind und muss so gestaltet sein, dass auch Verkehrszeichen diesen nicht beeinträchtigen können. In Abbildung 1-12 ist der Sichtraum eines Regelkreisverkehrs gem. RVS 03.05.14 [7] dargestellt.

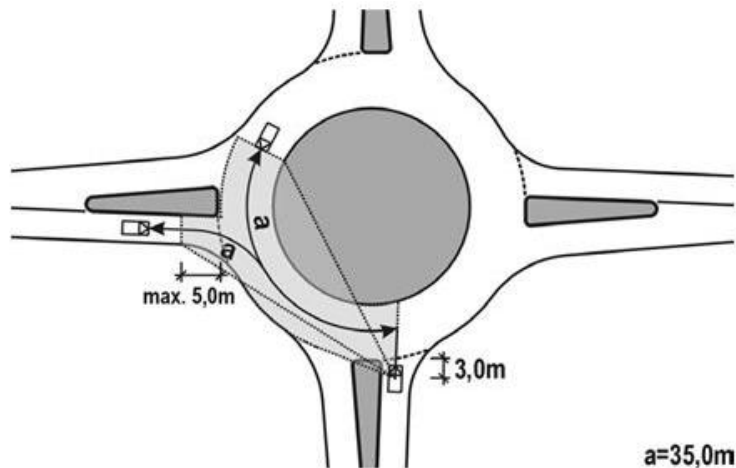


Abbildung 1-12 Sichtraum bei Regelkreisverkehr. RVS 03.05.14. 01.10.2010 [7]

Sind Querungen der Fahrbahnteiler für Fußgänger oder Radfahrer vorgesehen, ist der Sicherheitsraum zur Sicherheit der Verkehrsteilnehmer, zu erhöhen.

1.7.1 Besondere Bestimmungen bei Tunnelbauten und Überplattungen

Die Fragestellung der Ausbildung von Tunnelbauwerken bei Kreisverkehren im Bereich von Anschlussstellen wird im Zuge von Projektierungen vielfach untersucht. Einerseits geht es hierbei um eine platzsparende Lösung und andererseits kann der Kreisverkehr samt Anbindung der Zu- und Abfahrtsrampen über dem höherrangigen Verkehrsträger situiert werden. Gleichzeitig kann von einer Reduktion des Absturzrisikos von einfahrenden Fahrzeugen und für das Durchbrechen des Innenrandes des Kreisverkehrs ausgegangen werden.

Tunnelbauwerke sind allerdings hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten als hoch einzustufen und bedürfen weiterhin einer umfangreichen Ausstattung mit Sicherheitseinrichtung. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Unfallgefahr gegenüber Freilandbereichen als höher einzustufen ist. Als weiterer Aspekt kann die Thematik des

Brandschutzes genannt werden, da die Bauwerke zumeist ab einer größeren Länge brandschutztechnisch ausgestattet werden müssen.

Bei Tunnelbauten mit einer Länge von mehr als 200 m Gesamtlänge sind besondere Bestimmungen bezüglich des Brandschutzes gemäß RVS 09.01.45 (01.10.2015) anzuwenden. Da der Regelkreisverkehr einen Radius von bis zu 40 m aufweist, wäre eine Überplattung in günstigen Fällen mit einer Länge von ca. 100 m ausführbar. Bei mehrspurigen Kreisverkehren und mehreren Zufahrten ist mit größeren Längen zu rechnen. Es kann davon ausgegangen werden, dass vielfach die Bestimmungen von Tunnelbauwerken hinsichtlich Verkehrssicherheit und Brandschutz zutreffend sind, sofern die Wahl einer Überplattung getroffen wird.

Zur Gewährleistung der Sicherheit von Tunnelbauwerken bei Brandereignissen haben diese einen bestimmten bautechnischen Brandschutz aufzuweisen.

Als Ziele der Richtlinie RVS 09.01.45 sind folgende Kriterien festgelegt:

1. Erhalt der Tragfähigkeit für eine definierte Temperatur-Zeitkurve
2. Erhalt der Standsicherheit der Oberflächenbebauung
3. Schutz vor Wassereintritt bis zu einem gewissen Ausmaß
4. Begrenzung der Schäden auf tolerierbare Ausmaße

Das Schutzniveau für einen Tunnel wird für unterschiedliche Tunnelabschnitte auf Basis der Umfeldkriterien bestimmt. Nach Zuordnung der Kriterien kann das Schutzniveau gemäß Tabelle 1-13 ermittelt werden.

Tabelle 1-13 Schutzniveau auf Basis der Umfeldkriterien. RVS 09.01.45. 01.10.2015

Umfeldkriterien					
Direkte Überbauung	Auswirkung auf Nachbarobjekte	Wasser	Verkehrswege / Oberfläche		
			Straße	Infrastruktur	
1	2	3	4	5	
A	nicht überbaut	ohne	ohne Maßnahmen beherrschbar	Das erforderliche Schutzniveau ist mit dem Betreiber der Infrastruktur festzulegen (z.B. Bahn, Strom, Gas)	
B	überbaut	geringfügig (Gebrauchsfähigkeit bleibt erhalten)	mit Maßnahmen beherrschbar		untergeordnete Strassen Kategorie V und VI
C	überbaut	wesentlich (Tragfähigkeit ist beeinträchtigt)	mit Maßnahmen beherrschbar		wichtig Kategorie III und IV
D	überbaut, wichtige Objekte	wesentlich (Auswirkung auf wichtige Nachbarobjekte)	nicht beherrschbar Flutungsgefahr		sehr wichtig Kategorie I und II
E	Räum- und Absperrzeiten > 120 Minuten Objekte mit hohem kulturellen Wert nicht zu A bis D zuordenbar				

Legende:

	SN 0	30 Minuten auf Basis ETK
	SN 1	30 Minuten Brandeinwirkungsdauer
	SN 2	90 Minuten Brandeinwirkungsdauer
	SN 3	120 Minuten Brandeinwirkungsdauer
	SN S	Brandeinwirkungsdauer > 120 Minuten, projektspezifisch festzulegen

Die zu verwendenden Materialien und die Konstruktionsart sind daher so zu wählen, dass sie der entsprechenden Brandeinwirkungsdauer standhalten. Diese kann von 30 Minuten bei Schutzniveau 0 bis zu über 120 Minuten bei Schutzniveau E betragen.

Je nach Zuordnung bedeutet dies oftmals erhebliche Zusatzkosten für ein Projekt. Bei der Ausführung von plangleichen Knoten im Bereich von Tunneleinfahrtsbereichen kommen nur Kreisverkehrsanlagen oder Lichtsignalgeregelte Knoten in Frage. Hierbei ist ein Nachweis zu führen, dass ein möglicher Rückstau nicht bis in den Tunneleinfahrtsbereich reichen kann. Die Anordnung des Knotens im Tunnelbereich hat zur Folge, dass die lichte Höhe des Tunnelquerschnittes zur Anbringung der Signalgeber und Wegweisertafeln vom Richtwert von 4,70 m auf 5,70 m erhöht werden muss.

Nicht allein die Brandschutztechnischen Bestimmungen schlagen sich massiv auf die Kosten eines Projekts mit Tunnel bzw. Unterführung aus, sondern auch Kosten im Zusammenhang mit Planung, dem Bau und, wie bereits erwähnt, der Erhaltung sind hier zu nennen. Nachstehende Abbildung zeigt einen Auszug, welche Richtlinien bei Tunnelbauwerken zusätzlich berücksichtigt werden müssen.

- RVS 09.01.21 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Linienführung im Tunnel
- RVS 09.01.22 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Tunnelquerschnitte
- RVS 09.01.23 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Innenausbau
- RVS 09.01.25 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Vorportalbereiche
- RVS 09.02.22 Tunnel, Tunnelausrüstung, Betrieb- und Sicherheit, Tunnelausrüstung
- RVS 09.02.31 Tunnel, Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen
- RVS 09.02.41 Tunnel, Tunnelausrüstung, Lichttechnik, Beleuchtung
- RVS 09.02.51 Tunnel, Tunnelausrüstung, Löschsysteme, Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen
- RVS 09.03.11 Tunnel, Sicherheit, Tunnel-Risikoanalysemodell

Abbildung 1-13 Richtlinien zur Berücksichtigung bei der Planung von Tunnelbauwerken. RVS 09.01.24

1.7.2 Kreisverkehr über Verkehrswegen ohne Überplattung

Dieser Teil des Berichts befasst sich mit einem Lösungsansatz, welcher in den vergangenen Jahren an mehreren Kreuzungspunkten sowohl in Österreich als auch im Ausland errichtet wurde. Es wird auf die Vorteile, Nachteile und Ausführung dieser Ausführungsvariante eingegangen. Abbildung 1-12 zeigt den Regelfall dieser Art der Verbindung zwischen einer Straße und einem höherrangigen Straßennetz.

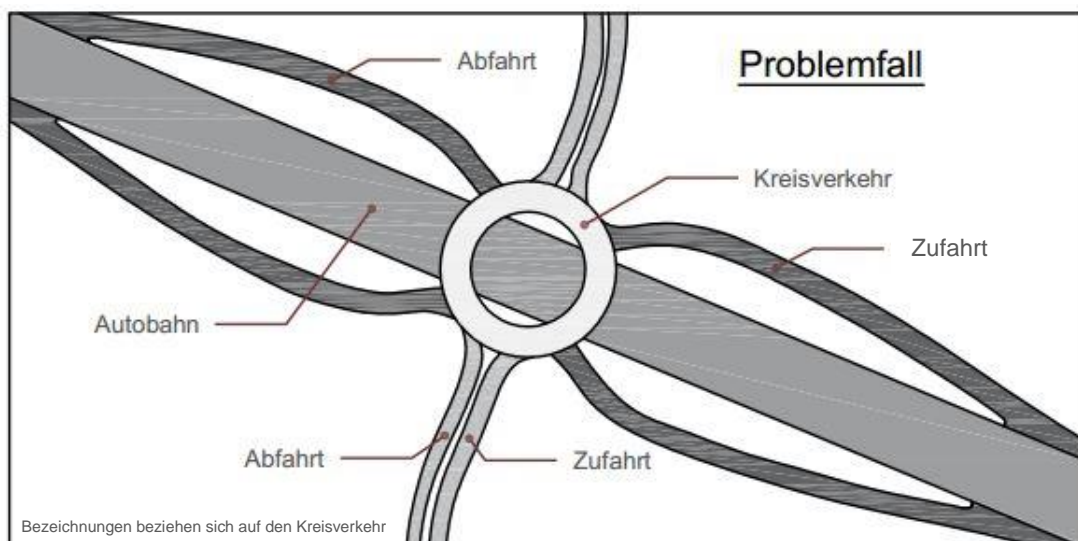


Abbildung 1-14 Kritischer Kreisverkehr

Das höherrangige Verkehrsband, beispielsweise eine Autobahn, befindet sich in diesem Fall unter dem zumeist einspurigen Kreisverkehr. Der Kreisverkehr bildet hier einen Verteilerknoten zwischen dem nachrangigen Straßennetz und der Autobahn. Die Vorteile dieser Variante sehen wie folgt aus:

- Zum einen kommen die Regelungen zum Bau von Tunneltragwerken nicht zu tragen, da die überbrückte Fläche der höherrangigen Fahrbahn sehr gering gehalten wird; dies spart Planungszeit und Lebenszykluskosten ein.

- Ein anderer positiver Aspekt ist, dass diese Variante einen minimalen Platzverbrauch vorweist und daher auch bei beengten Platzverhältnissen, wie beispielsweise in der Stadt, errichtet werden kann. Das erforderliche Ausmaß an Grundeinlösen kann als gering eingestuft werden.

Natürlich ergeben sich bei dieser Varianten auch entsprechende Nachteile, die wie folgt zusammengefasst werden können und die wesentliche Fragestellung des gegenständlichen Projektes darstellen:

- Bei dieser Ausführung kommt es allerdings bei den Einfahrten des Kreisverkehrs zu sehr großen Einfahrwinkeln, die besonders am Innenrand des Kreisverkehrs auftreten können, wo somit ein Schutz gegen den Absturz eines Fahrzeugs sichergestellt werden muss. Diese Anforderungen können bei steilem Einfahrtswinkel und hohen Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung des LKWs als maßgebendes Fahrzeug nicht grundsätzlich durch die Verwendung eines standardisierten Rückhaltesystems erreicht werden. Wie in Kapitel 1.3 näher beschrieben, werden die FRS mit Maximalgeschwindigkeiten von 110 km/h und Anprallwinkeln von 15° - 20° bemessen und so in Leistungsklassen unterteilt.
- Die Anprallwinkel bei diesen Randbedingungen betragen in vielen Fällen über 45°. Mit der Anwendung der derzeit gültigen Prüffregelwerke sind Anprallvorgänge über 20° nicht beinhaltet bzw. es sind keine Prüfkriterien vorgesehen. Somit kann nicht zuverlässig prognostiziert werden, welche Schäden tatsächlich in einem solchen Fall auftreten können. Als „Worst-case“ besteht die Möglichkeit, dass das Fahrzeug das Rückhaltesystem durchbricht und auf der darunterliegenden Fahrbahn zum Stillstand kommt und dort weitere Verkehrsteilnehmer gefährdet. In Fällen mit geringeren Folgen können sich Teile des FRS lösen, welche ebenfalls Schäden durch Herabfallen an den darunterliegenden Gegenständen und Personen verursachen können.

1.8 Verkehrsplanerische und bauliche Lösungsansätze

Im Rahmen dieses Abschnittes werden bauliche Lösungsansätze konzeptionell aufgezeigt, die die Gefahr eines Anpralls mit Durchtreten der Innenrandabsicherung mit anschließendem Herunterfallen auf die untenliegenden Verkehrsfläche (Fahrbahn) vermindern oder sogar vermeiden sollen.

Grundsätzlich sollten als ersten Schritt Maßnahmen in verkehrsplanerischer Sicht untersucht werden, um die Gefahr des Durchtretens von Rückhaltevorrichtungen bei steilen Anfahrwinkel zu vermeiden. Eine Reduktion des Anfahrwinkels sollte hierbei in erster Linie angestrebt werden. Grundsätzlich sollte daher die Einfahrstelle von dem Brückentragwerk entfernt und auf die freie Strecke gelegt werden, sodass die potentielle Gefahr eines Absturzes nicht mehr gegeben und somit das Risiko auf 0 gesetzt werden kann

Sollte diese Möglichkeit aufgrund der vorliegenden trassierungstechnischen Randbindungen nicht umsetzbar sein, können die Innenflächen des Kreisverkehrs für das Durchtreten der Leiteinrichtung am Innenrand so ausgelegt werden, dass ein Absturz auf die

darunterliegende Fahrbahn nicht möglich ist. Hierbei sind nachfolgend einige Beispiele angeführt.

Kann auch dieser Lösungsansatz bei den vorliegenden örtlichen Randbedingungen und den trassierungstechnischen Vorgaben nicht umgesetzt werden, sind ergänzende statische Maßnahmen für das Durchbrechen der Leiteinrichtung des Innenrandes der Brücke zu konzipieren, wobei hier eine möglichst verformbare und duktile Rückhaltevorrückung angestrebt werden soll, um die Kriterien des Anpralls von leichteren Fahrzeugen hinsichtlich Insassenschutz besser erfüllen zu können.

Um der ganzheitlichen Betrachtung des Problems im Rahmen des gegenständlichen Projektes gerecht zu werden, werden zunächst die oben erwähnten baulichen und verkehrsplanerischen Lösungsansätze im Überblick beschrieben. Es erscheint den Bearbeitern des Projektes als sinnvoll und zweckmäßig, auf die entsprechenden Vor- und Nachteile hinzuweisen. Nachfolgend werden daher folgende über die Projektfragestellung hinausgehende mögliche Lösungsansätze kurz beschrieben:

- Bauliche Gestaltung der Einfahrten zur Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit
- Überplattung des Mittelinselbereiches des Kreisverkehrs
- Entzerrung des Kreisverkehrs durch Vergrößerung des Kreisverkehrsdurchmessers oder ovale Kreisfahrbahn
- Entflechtung des Kreisverkehrs in zwei getrennte Kreisverkehre (beiderseits einer Überführung)

1.8.1 Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit durch bauliche Maßnahmen

Eine Möglichkeit zur Minimierung der Gefahr eines Anpralls an ein Fahrzeugrückhaltesystem im Kreisverkehr ist die Ausbildung der Zufahrten in einem Radius und einer Querneigung, welche die Einfahrt nur mit beschränkter Geschwindigkeit zulassen (siehe Abbildung 1-15). Durch die verringerte Geschwindigkeit wird die Wahrscheinlichkeit eines Anpralls mit daraus resultierendem Durchbruch der Leiteinrichtung und Absturz auf das höherrangige Straßennetz wesentlich reduziert.

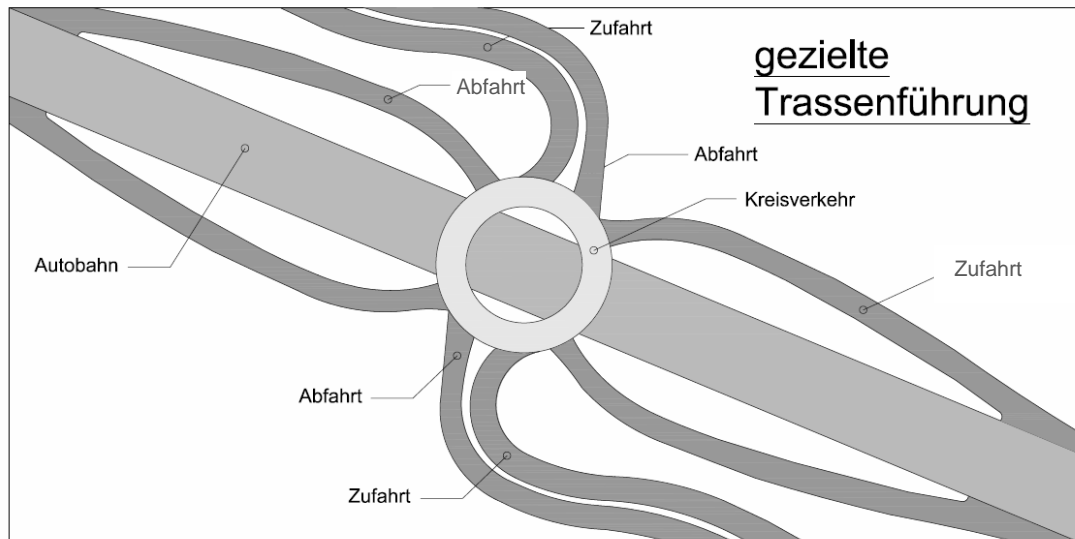


Abbildung 1-15 Gestaltung der Einfahrten durch gezielte Zuführung des Verkehrs auf die Kreisfahrbahn mit kleinem Einfahrtswinkel

Dabei sind die Einfahrtsgeschwindigkeiten auf den Zufahrten zu den Kreisverkehren durch vorgelagerte Kreisbögen zu reduzieren und so auszubilden, dass ein kleiner Einfahrtswinkel gegeben ist. Sollten Fahrzeuge vor dem Kreisverkehr mit zu hohen Geschwindigkeiten ankommen, wird die Geschwindigkeit durch den vorgelagerten Kreisbogen reduziert. Diese Lösung ist als besonders wirtschaftlich und platzsparend anzusehen, wobei jedoch anzumerken ist, dass eine großräumigere verkehrsplanerische Betrachtung mit erforderlich wird.

Darüber hinaus erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, im Bereich der engen Einfahrtswinkel am linken Fahrbahnrand Leiteinrichtungen vorzusehen (Leitschienen bzw. Betonleitwände mit Reflektoren), die den Benutzern die ggf. starke Richtungsänderung auch rechtzeitig anzeigen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Sichtfeld durch diese Leiteinrichtungen am Ende der Einfahrt nicht eingeschränkt wird.

Die in vielen Ländern (z.B. Frankreich) durchwegs standardisierte Zuführung des Verkehrs über einen kleineren Einfahrtswinkel erfordert jedoch ausreichend Platz auf der Kreisfahrbahn (größere Abstände zwischen Ein- und Ausfahrten) und kann somit zu einem größeren Kreisbogenradius der Kreisfahrbahn führen. Die „schleifende“ Einbindung der Einfahrt (siehe Abbildung 1-15) hat jedoch den Nachteil, dass der auf der Kreisfahrbahn fahrende Verkehr oft schwierig zu sehen ist (toter Winkel zwischen Rück- und Seitenspiegel), was ggf. zu einer etwas reduzierten Verkehrssicherheit führt.

1.8.2 Überplattung des Mittelinselbereiches des Kreisverkehrs

Durch eine Überplattung des Kreisverkehrs wird ein Absturz eines anprallenden Fahrzeuges mit überhöhter Geschwindigkeit auf das darunterliegende Straßennetz verhindert (siehe Abbildung 1-16). Bei großen, mehrspurigen Kreisverkehren treten möglicherweise spezielle Bestimmungen hinsichtlich der baulichen Gestaltung der

Überplattung (z.B. Brandschutz, siehe Kapitel 1.7.1) und Sicherheitseinrichtungen in Kraft, welche bei der Planung und Ausführung bei größeren Überplattungslängen berücksichtigt werden müssen. Die Innengestaltung des Kreisverkehrs kann analog den Kriterien der RVS erfolgen.

Ungeachtet der Größe des Kreisverkehrs muss die Überplattung auch auf die Belastung durch das Abkommen eines beladenen LKWs dimensioniert werden. Ggf. sind auch hier erhöhte Anforderungen in einem Brandfall (brennendes Fahrzeug auf der Überplattung) zu berücksichtigen.

Die Gestaltung der Überplattung kann durchwegs den gängigen Gestaltungen von Kreisverkehren entsprechen (z.B. Begrünung zur Vermeidung der Durchsicht).

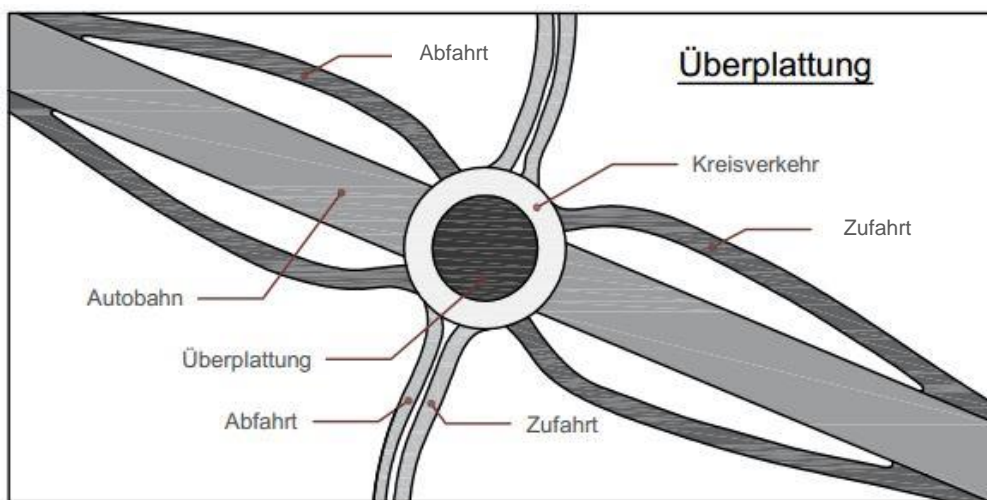


Abbildung 1-16 Lösung durch Überplattung des Mittelinselbereiches des Kreisverkehrs

1.8.3 Entzerrung des Kreisverkehrs durch Vergrößerung des Kreisverkehrsdurchmessers oder ovale Kreisfahrbahn

Durch eine Entzerrung des Kreisverkehrs durch Vergrößerung des Kreisverkehrsdurchmessers oder ovale Kreisfahrbahn werden jene Bereiche, in denen ein Anprall an das Fahrzeurückhaltesystem möglich wäre, so platziert, dass sie nicht über dem höherrangigen Verkehrsnetz liegen. Damit ist ein direkter Absturz von Fahrzeugen oder Teilen des Rückhaltesystems auf die darunterliegende Fahrbahn im Falle eines Durchbrechens durch das Fahrzeurückhaltesystem nicht möglich. Weiters sind auch bessere konstruktive Randbedingung für die Ausführung der Brückentragwerke gegeben, die nur gerade ausgeführt werden müssen.

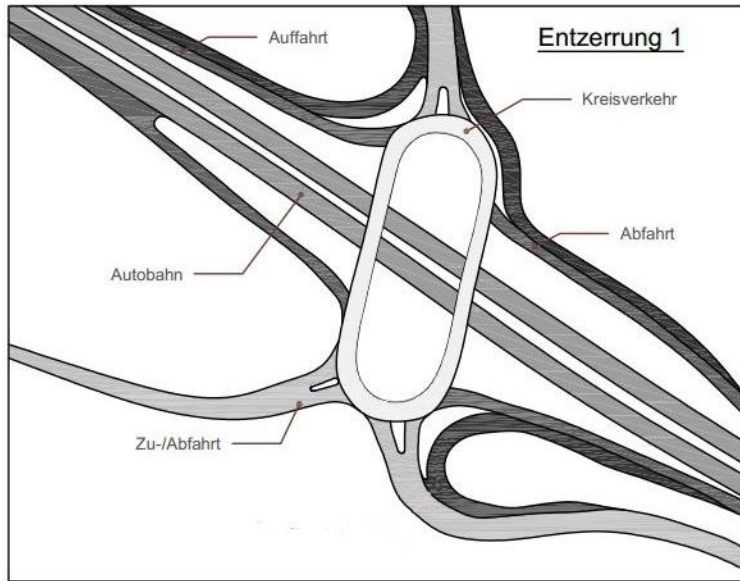


Abbildung 1-17 Lösung durch Entzerrung des Kreisverkehrs durch ovale Kreisfahrbahn

Ein klarer Nachteil dieser Verkehrsplanung ist der wesentlich größere Platzbedarf (ca. 40 bis 80%), der wesentlich auch von der Anzahl der einzubindenden Verkehrswege abhängt. Weitere Vorteile können hier ebenfalls durch die mögliche Ausbildung von Bypässen entstehen.

Vor allem in Großbritannien und Irland sind diese Lösung seit mehreren Jahrzehnten Standard und oft auch mit verkehrssignalgeregelten Einfahrten versehen. Diese Lösungen weisen eine sehr hohe Leistungsfähigkeit auf und können auch für mehrstreifige Kreisverkehre angewendet werden.

1.8.4 Entflechtung des Kreisverkehr in zwei getrennte Kreisverkehre

Eine weitere Möglichkeit stellt die Ausbildung von zwei Kreisverkehren jeweils seitlich des hochrangigen Verkehrsweges dar (siehe Abbildung 1-18), wobei nur ein gemeinsames Brückentragwerk über dem Verkehrsträger zur Ausführung kommt. Neben der Entzerrung des Kreisverkehrs kann natürlich auch durch eine Entflechtung des über dem hochrangigen Verkehrsweg liegenden Kreisverkehrs in zwei getrennte Kreisverkehre) das Absturzproblem gelöst werden. Dabei ergibt sich natürlich auch der Vorteil, dass, wie bereits erwähnt, nur ein einziges Brückentragwerk errichtet werden muss und keine komplexen Brückenformen (nicht im Kreisbogen) auftreten.

Der Nachteil ist natürlich der deutlich höhere Platzbedarf (50 bis 100%), der durch die Errichtung von zwei „standardisierten“ Kreisverkehren links und rechts der hochrangigen Straße entstehen. Grundsätzlich ist es auch möglich hier eine Hybridlösung anzuwenden (z.B. bei beengten Platzverhältnissen) und nur auf einer Seite einen Kreisverkehr zu errichten und auf der anderen Seite eine „konventionelle“ Kreuzung.

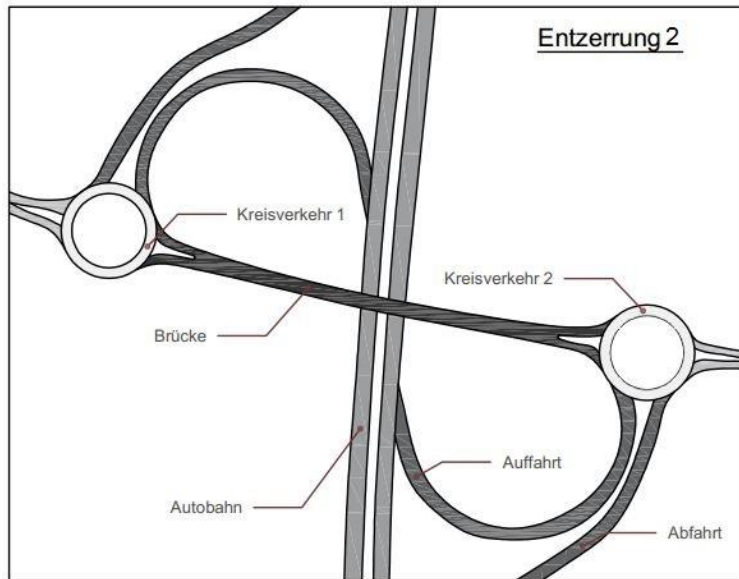


Abbildung 1-18 Lösung durch Entzerrung Variante 2

1.9 Untersuchung von bestehenden Kreuzungssituationen mit möglicher Absturzgefahr

Zunächst war es für die vorliegende Fragestellung notwendig, eine aussagekräftige Anzahl an Kreisverkehren zu finden, welche sich über einem höherrangigen Verkehrsweg befinden. Hierfür wurde mit Hilfe von Kartenmaterial aus dem Internet, welches sowohl Satellitenbilder als auch die schematische Darstellung der Straßenführung darstellt, gearbeitet.

Die entsprechenden Knoten wurden anschließend dargestellt und die dort befindlichen Anprallwinkel vereinfacht ausgemessen.

Das Auslesen der Anprallwinkel wurde durchgeführt indem eine Gerade durch die Einfahrt gezogen wurde, welche am Anprallsystem des Kreisverkehrs endet, um mit der dort befindlichen Tangente an den Kreis einen Winkel zu bilden.

Außerdem wurden die Kurvenradien der Einfahrten in die Kreisfahrbahn näherungsweise grafisch ermittelt. Von diesen Kurvenradien hängt die Maximalgeschwindigkeit, mit welcher Fahrzeuge in den Kreisverkehr einfahren können, maßgeblich ab.

Zur Bestimmung der maximal möglichen Geschwindigkeit, mit welcher in den Kreisverkehr eingefahren werden kann, wurde auf die Grundgleichung der Bogenfahrt zurückgegriffen.

1.9.1 Berechnung der maximalen Geschwindigkeit

Für die Berechnung der Maximalgeschwindigkeit im Kreisverkehr und in den Zufahrten wurde angekommen, dass die Querneigung im Kreisverkehr der Regelquerneigung von 2,5% entspricht. In Kreisverkehren wird diese Neigung in der Regel zur Kurvenaußenseite

hin ausgebildet. Zwischen dem Kurvenradius, der Geschwindigkeit und der Querneigung besteht folgender Zusammenhang über die Grundgleichung der Bogenfahrt [14]:

$$\min R = \frac{v^2}{127 \cdot (n \cdot \max f_R + \frac{q}{100})} \quad (1.4)$$

wobei:

- min R Kurvenmindestradius [m]
- V Geschwindigkeit [km/h]
- n Ausnutzungsgrad
- max f_R maximaler radialer Kraftschlussbeiwert
- q Querneigung [%]

Zur Vereinfachung wurde für den Kraftschlussbeiwert ein Wert von $f_R=0,5$ (nasse Fahrbahn) und $n=1$ angenommen und die Gleichung in weiterer Folge zur Berechnung umgestellt, wodurch sich folgender vereinfachter Zusammenhang zwischen Radius und Geschwindigkeit auf der Kreisbahn ergibt (Querneigung zur Kurvenaußenseite; -2,5%) ergibt:

$$V = \sqrt{127 \cdot R \cdot (0,5 - 2,5/100)} \quad (1.5)$$

Mit Hilfe dieser Gleichung und geometrisch ermittelten Kurvenradien konnte die maximale Geschwindigkeit im Kreisverkehr und in den Einfahrten (Querneigung zur Kurveninnenseite; +2,5%) näherungsweise berechnet werden. Die Querneigung in den Kreisbögen der Ein- und Ausfahrten erfolgt im Vergleich zur Kreisfahrbahn zur Kurveninnenseite, sodass eine positive Querneigung in die Grundgleichung der Bogenfahrt eingesetzt werden muss.

$$V = \sqrt{127 \cdot R \cdot (0,5 + 2,5/100)} \quad (1.6)$$

2 AP 2: Lösungen aus anderen Ländern - Auswertung von Unfallereignissen und Anprallwahrscheinlichkeit

2.1 Vorgehensweise

Zur Analyse wurden ca. 45 Kreisverkehrssituationen mit Anprallrisiko und Absturzgefahr untersucht, wovon 24 relevante Kreisverkehre mit möglicher Absturzgefahr im In- und Ausland nachfolgend detaillierter dargestellt sind.

Dabei kann festgehalten werden, dass sich darunter sieben Minikreisverkehre, elf Kreisverkehre mit einem Radius zwischen 26 und 40 m und zehn mit zumeist weit größeren Radien befinden.

Beim überschlägigen Erfassen der Einfahrwinkel wurde deutlich, dass diese gerade bei den Kreisverkehren mit kleineren Radien in den kritischen Bereich kommen und höhere Anprallkräfte erzeugen können, da zumeist die Anfahrwinkel größer sind.

Es kann festgestellt werden, dass die Linienführung bei den größeren Knoten für die Anprall- und Rückhaltesysteme weitaus günstiger ist, als für jene mit beschränkten Platzverhältnissen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher in den Kreisverkehr eingefahren werden kann, hängt stark vom Radius der Einfahrt ab und wie diese an die Kreisfahrbahn geführt wird. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass vielfach größere Einfahrwinkel als 20° vorhanden sind, jedoch nicht immer hohe Geschwindigkeiten möglich sind.

2.2 Verkehrstechnische Lösungen in Österreich

Im Zuge der Recherche wurden Lösungen unterschiedlicher Länder mithilfe von im Web öffentlich zugänglich Satellitenbildern untersucht. Dabei wurden hochrangige Verkehrswege im In- und Ausland in Betracht gezogen.

Tabelle 2-1 Untersuchte Fallbeispiele

	Beispiele aus Österreich
1	Breitenlee – Süßenbrunn, Wiener Außenring Schnellstraße
2	Wiener Außenring Schnellstraße S1 bei Korneuburg
3	Graz-Webling A9
4	Wiener Nordrand Schnellstraße
5	Zubringer Knoten Prater
6	Spital/S, Semmering Ersatzstraße S6/306
7	Pyhrn Autobahn, A9 Knoten St. Michael
8	Kreisverkehr S33 Kremser Schnellstraße
	Beispiele aus Ausland
9	Stockholm, Sodra Länken

10	Stockholm, Sodra Länken
11	Stockholm, Värndöladen
12	Deutschland, München
13	London Target Roundabout Northolt
14	London, Western Ave
15	London, Swakeleys Roundabout
16	Krakau, Rondo Mogilskie
17	Kreisverkehr Berlin Westkreuz
	Lösungsansatz Überplattung
18	Wien: Leonard Bernstein Straße
19	Verteilerkreis, A23
20	Hartberg, Im Hatric
	Lösungsansatz Entzerrung
21	Graz Weblinger Gürtel
22	Kreisverkehr, Kapellenfeld S1
23	S1 Gerasdorf
24	S1 Hagenbrunn

2.2.1 Breitenlee – Süßenbrunn: Wiener Außenring Schnellstraße

Querung: Angerer Straße

Durchmesser: ~ 36 m (innen)

Einspurig befahrbar

Tabelle 2-2 Parameter Kreisverkehr Breitenlee

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	58	85	72
Einfahrt 2	64	150	95
Einfahrt 3	58	85	72
Einfahrt 4	64	150	95

Der Kreisverkehr in Breitenlee – Süßenbrunn ist bei einem Durchmesser von ca. 40 m einspurig befahrbar, die Einfahrtswinkel der vier Einfahrten liegen bei 58 bzw. 64°. Die maximale theoretisch fahrbare Geschwindigkeit in den Einfahrten liegt bei 95 km/h (Einfahrt 2 und 4), der Kreisverkehr ist aufgrund seines Durchmessers bei einer angenommenen Querneigung von 2,5% theoretisch mit einer Geschwindigkeit von 49 km/h befahrbar.

Durch die bauliche Situation, welche in den Einfahrten 2 und 4 eine sehr hohe Geschwindigkeit zulässt, kann ein Fahrzeug theoretisch mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit in den Kreisverkehr einfahren als jene, mit der dieser durchfahren werden kann. Zusätzlich liegt der Anprallwinkel in Einfahrt 2 bei rund 60°. Somit wäre ein Anprall an das Fahrzeugrückhaltesystem im Inneren des Kreisverkehrs im Fall von schlechten Anlageverhältnissen (Glatteis) oder bei Nichtreagieren des Fahrers theoretisch mit einer Geschwindigkeit von über 95 km/h und einem Winkel von 60° möglich. Die daraus resultierenden Kräfte liegen wesentlich über jenen Kräften, auf die das Fahrzeugrückhaltesystem getestet wurde.

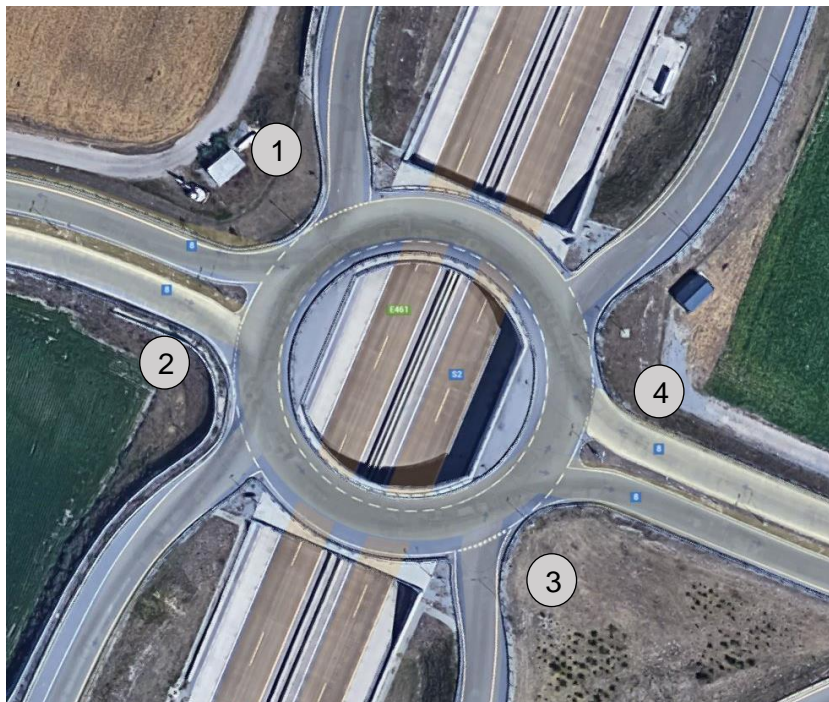


Abbildung 2-1: Luftbild Kreisverkehr Breitenlee [19]

2.2.2 Wiener Außenring Schnellstraße S1 - Korneuburg

Querung: Laaer Straße

Durchmesser: ~ 72m (innen)

Einspurig befahrbar

Tabelle 2-3 Parameter Kreisverkehr Wiener Außenring Schnellstraße

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	37	20	35
Einfahrt 2	65	--	--
Einfahrt 3	39	20	35

Einfahrt 4	55	--	--
------------	----	----	----

Der einspurig befahrbare Kreisverkehr in der Laaer Straße mit seinen vier Einfahrten hat einen Innendurchmesser von 72 m, aufgrund dieses Durchmessers ergibt sich eine maximale Geschwindigkeit für die Durchfahrt im Kreisverkehr von 47 km/h. Durch den relativ geringen Einfahrtsradius von 20 m in Einfahrt 1 und 3 beträgt die maximale Einfahrtsgeschwindigkeit in diesen Einfahrten rund 35 km/h. Die Einfahrten 2 und 4 sind nahezu gerade ausgeführt, dadurch wird die theoretisch fahrbare Geschwindigkeit in diesen Einfahrten baulich nicht begrenzt. Es ist allerdings ein größerer Abstand zu den darunterliegenden Verkehrswegen mit Böschung vorhanden, was die Unfallfolgen für Fahrzeuge auf der unten liegenden Straße zumindest deutlich minimieren würde.



Abbildung 2-2: Luftbild Kreisverkehr Wiener Außenring Schnellstraße S1 bei Korneuburg [19]

2.2.3 Graz-Webling A9, 67a

Weblinger Gürtel

Durchmesser: ~155m (innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-4 Parameter Kreisverkehr Graz Webling

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	33	40	49
Einfahrt 2	10	75	67
Einfahrt 3	40	75	67
Einfahrt 4	33	60	60
Einfahrt 5	52	16	31

Aufgrund eines sehr großen Innendurchmessers von rund 155 m ist der zweispurige Kreisverkehr in Graz Webling mit einer maximalen Geschwindigkeit von ca. 69 km/h befahrbar. Die Einfahrtswinkel der Einfahrten 1 bis 5 sind Tabelle 2-4 zu entnehmen, aus den Einfahrtsradien ergeben sich die größten Einfahrtsgeschwindigkeiten bei den Einfahrten 2 und 3 mit 67 km/h, die Einfahrtswinkel in diesen Einfahrten betragen 10° bzw. 40°.

In Einfahrt 3 (von Süden kommend) ergibt sich durch den Einfahrtswinkel von 40° und die theoretisch mögliche Geschwindigkeit von 67 km/h im Falle eines Anpralles durch einen Sattelzug mit einer Masse von 38 Tonnen eine Anprallenergie von 2719 kJ, ein Rückhaltesystem der Klasse H4b wird bei der Prüfung aber lediglich einer maximalen Anprallenergie von 725 kJ ausgesetzt.

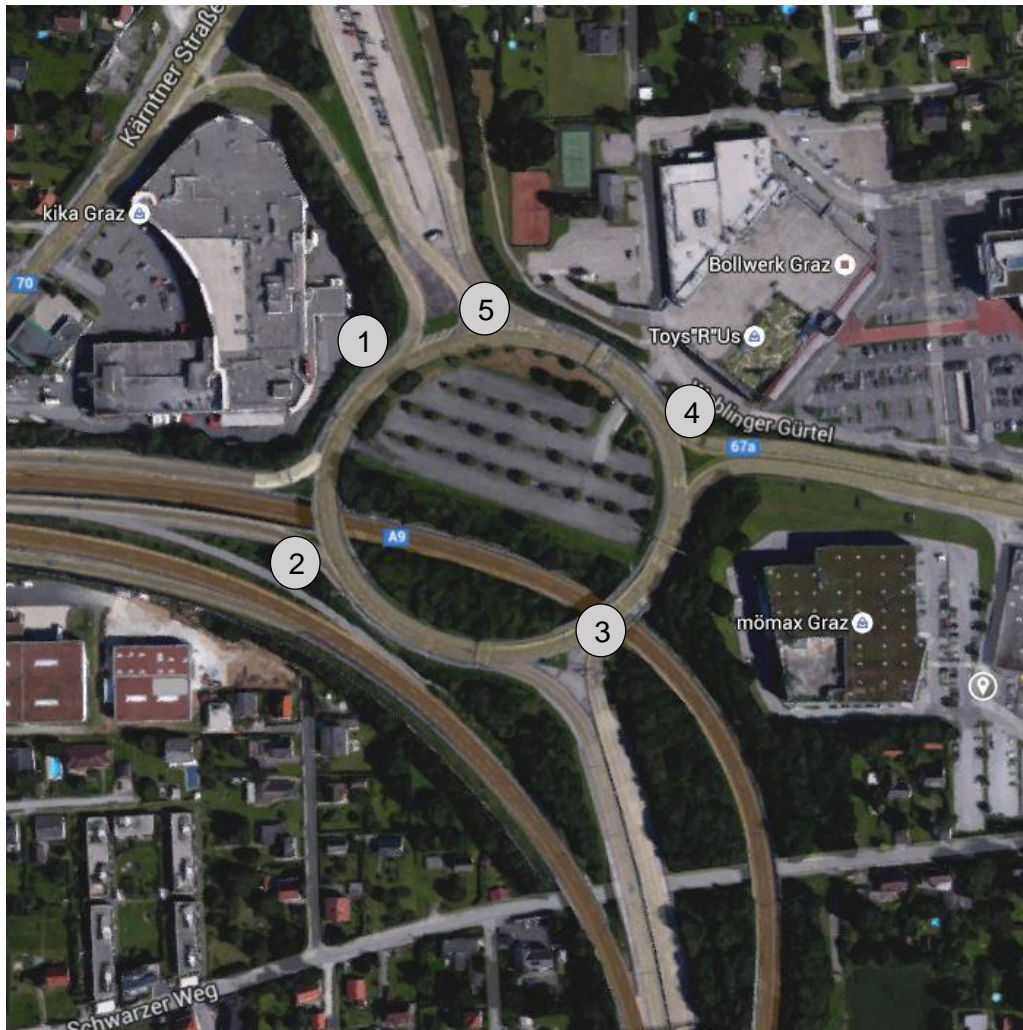


Abbildung 2-3: Luftbild Kreisverkehr Graz Webling [19]

2.2.4 Wiener Nordrand Schnellstraße Abfahrt bei IKEA

Durchmesser: ~ 46m (innen)

Einspurig befahrbar

Tabelle 2-5 Parameter Kreisverkehr Wiener Nordrand Schnellstraße

	Einfahrtswinkel [°]	Radius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	14	120	85
Einfahrt 2	19	100	78

Der Kreisverkehr an der Wiener Nordrandschnellstraße – Abfahrt IKEA Nord – hat einen Innendurchmesser von rund 46m. Dieser Durchmesser lässt eine maximale Geschwindigkeit von 37 km/h im Kreisverkehr zu. Die Radien der beiden Einfahrten sind sehr groß gewählt wodurch die Geschwindigkeit, mit welcher in den Kreisverkehr eingefahren werden kann, baulich kaum beschränkt wird und mit 85 bzw. 78 km/h sehr hoch ist.

Ein Anprall an das Fahrzeugrückhaltesystem kann theoretisch in diesem Fall in Einfahrt 1 mit einer Geschwindigkeit von 85 km/h in einem Winkel von 14° erfolgen, ein Absturz auf das darunterliegende Straßennetz ist jedoch nur bedingt möglich, da der Kreisverkehr seitlich versetzt ist. Jedoch ist bei einem Absturz mit einer massiven Einwirkung auf Fahrzeug und Insassen zu rechnen (keine Böschung).



Abbildung 2-4: Luftbild Kreisverkehr Wiener Nordrand Schnellstraße [19]

2.2.5 Zubringer Knoten Prater

Durchmesser: ~100m (innen)

Aufgrund des großen Kurvenradius sind die Anfahrwinkel an das Anprallsystem gering, daher ist der Kreisverkehr am Zubringer Knoten Prater nicht von Problemstellung betroffen. Auch bei den in Bogen liegenden Brücken kann davon ausgegangen werden, dass kein größerer Anprallwinkel als 20° auftreten kann. Grundsätzlich handelt es sich bei diesem planfreien Knoten um keinen Kreisverkehr sondern um eine Lösung mit halbdirekter Rampenführung.

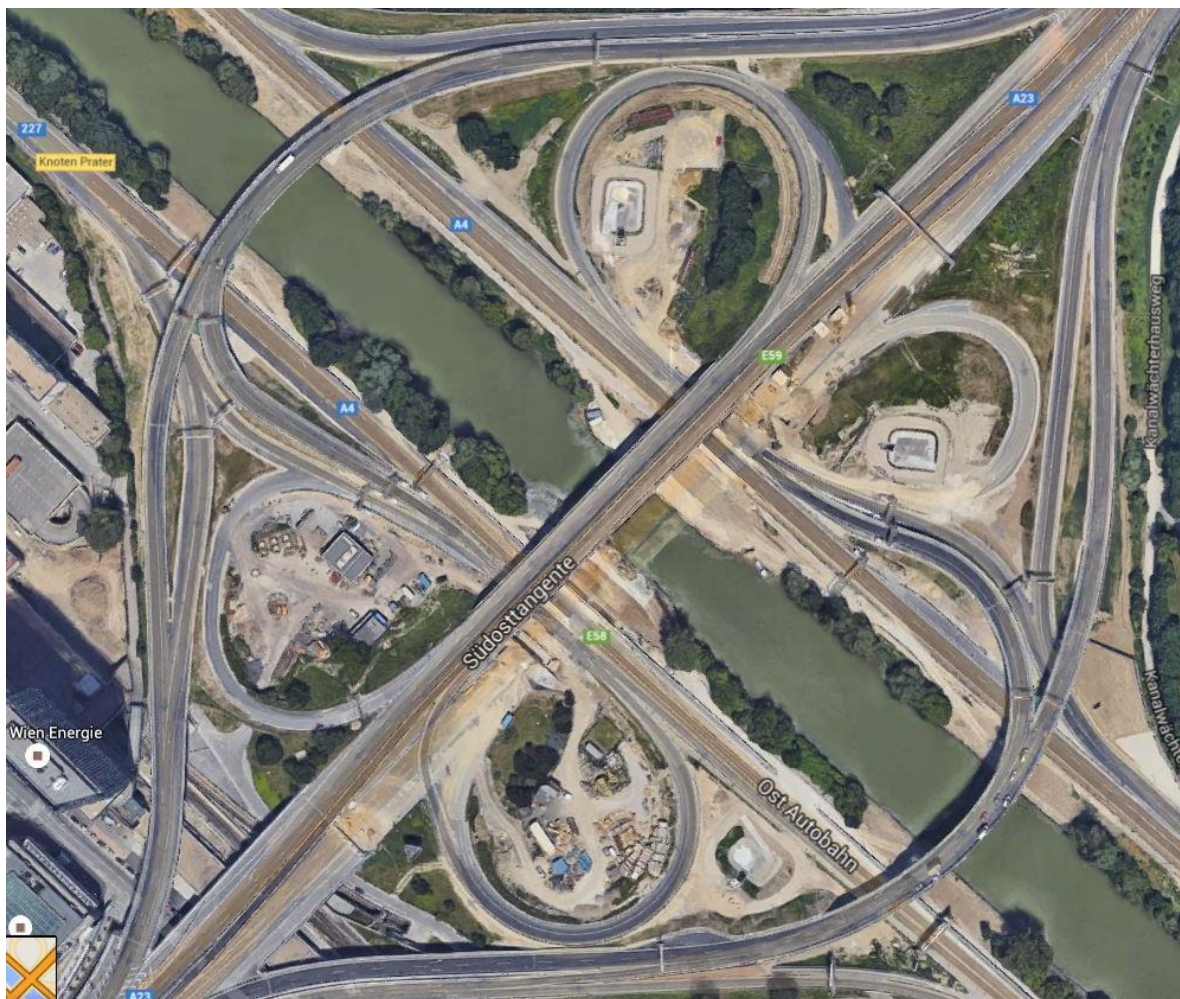


Abbildung 2-5: Luftbild Kreisverkehr Knoten Prater [19]

2.2.6 Spital am Semmering, Semmering Ersatzstraße S6/306

Durchmesser ~67m (innen)

Bei der vorliegenden Situation wurde die Möglichkeit des Absturzes von der Wendebücke untersucht. Aufgrund der geringen Beschleunigungsstrecke vor der Brücke kann davon ausgegangen werden, dass die Anprallwahrscheinlichkeit mit einem Winkel über 20° als sehr gering einzustufen ist.

Weiters ist wegen der baulichen Situation ein Anprall mit darauffolgendem Durchbruch der Rückhaltevorrichtung und Absturz auf das höherrangige Verkehrsnetz in diesem Kreisverkehr im Bereich der Auffahrten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht möglich. Im Bereich der Wendebrücke über die Richtungsfahrbahnen könnte sich bei Schleudergefahr ein Anprall mit größerem Winkel ergeben. Auch dies ist jedoch wegen der kurzen Beschleunigungsstrecken unwahrscheinlich und für LKW nahezu unmöglich.



Abbildung 2-6: Luftbild Kreisverkehr Spital/S, Semmering Ersatzstraße S6/306 [19]

2.2.7 Pyhrn Autobahn, A9 Knoten St. Michael

Durchmesser: ~200m (Innen)

Aufgrund des Kurvenradius ergeben sich auch für diesen Kreisverkehr sehr geringe Anfahrwinkel an das Anprallsystem, daher ist er nicht von Problemstellung betroffen. Dies ist ein gutes Beispiel für die Entzerrung des Kreisverkehrs über eine größere Fläche und die Ausbildung einer ovalen Kreisfahrbahn. Es zeigt sich jedoch gerade bei diesem Knoten, dass die Verflechtungsstrecken zu kurz gehalten wurden und dass vor allem bei höheren Verkehrsbelastungen diese Verflechtungen zu Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufes führen.



Abbildung 2-7: Luftbild Kreisverkehr Pyhrn Autobahn, A9 Knoten St. Michael [19]

2.2.8 Halbkreisverkehr S33 Kremser Schnellstraße

Traismauer

Durchmesser: ~90m (Innen)

Aufgrund des großen Kurvenradius sind die Anfahrwinkel an das Anprallsystem gering, daher ist der (Halb)Kreisverkehr S33 an der Kremser Schnellstraße nicht von der Problemstellung betroffen.

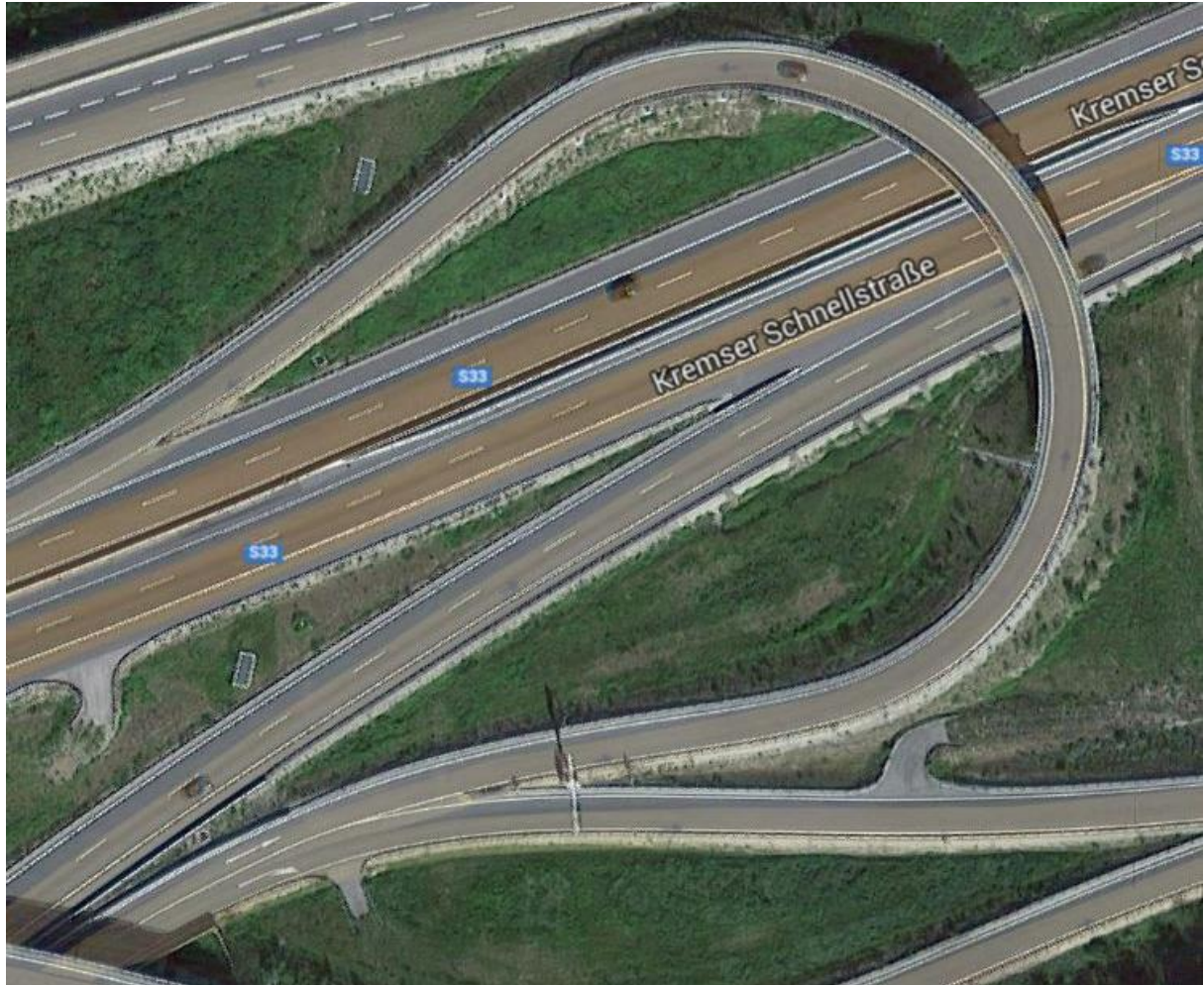


Abbildung 2-8: Luftbild Kreisverkehr S33 Kremser Schnellstraße [19]

2.3 Beispiele aus Ausland

2.3.1 Stockholm, Sodra Länken

Abyvägen

Durchmesser: ~80 m (Innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-6 Parameter Kreisverkehr Stockholm, Sodra Länken - Abyvägen

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	55	23	37
Einfahrt 2	48	--	--
Einfahrt 3	52	49	49
Einfahrt 4	48	--	--

In diesem Kreisverkehr in Stockholm wird die theoretische Einfahrtsgeschwindigkeit in Einfahrt 1 durch einen relativ kleinen Einfahrtsradius auf 37 km/h beschränkt. Die Einfahrten 2 und 4 sind nahezu gerade ausgeführt; dadurch wird die theoretisch fahrbare Geschwindigkeit baulich nicht beschränkt. Die Anprallwinkel auf das Rückhaltesystem liegen bei diesen Einfahrten bei ca. 50°. Der Kreisverkehr selbst ist aufgrund der Trassierungsparameter mit einer Geschwindigkeit von 49 km/h befahrbar.

Der Anprall bei den Einfahrten 1 und 3 könnte ein Durchbrechen der Leiteinrichtung bei unzureichender Rückhaltstufe in Richtung darunterliegendem Verkehrsweg hervorrufen. Die vorliegende bauliche Situation mit anschließender Böschung reduziert allerdings die Unfallfolgen. Bei den Einfahrten 2 und 4 könnte ein Anprall ebenfalls ein Durchbrechen der Leiteinrichtung bei unzureichender Rückhaltstufe hervorrufen. Die nahezu parallele Ausbildung der Einfahrtsituation mit dem darunterliegenden Verkehrsweg reduziert allerdings die Unfallfolgen, da ein Abirren des Fahrzeuges nach dem Anprall unwahrscheinlich scheint.



Abbildung 2-9: Luftbild Kreisverkehr Stockholm, Södra Länken – Abyvägen [19]

2.3.2 Stockholm, Sodra Länken

Sicklavägen

Durchmesser: ~72 m (Innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-7 Parameter Kreisverkehr Stockholm, Sodra Länken – Sicklavägen

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	33	29	42
Einfahrt 2	25	36	47
Einfahrt 3	27	--	--

Aufgrund der Einfahrtswinkel sind die Einfahrten 1 und 2 des Kreisverkehrs in Sodra Länken/Sicklavägen mit einer maximalen errechneten Geschwindigkeit von 42 bzw. 47 km/h befahrbar, der Kreisverkehr selbst lässt eine maximale Geschwindigkeit von 47 km/h zu. Im Falle eines Anpralls durch einen Sattelzug mit 40 Tonnen liegen die entstehenden Anprallkräfte im Bereich jener Kräfte, auf die ein Anprallsystem der Rückhaltestufe H4b getestet wird. Ein Durchbrechen des Fahrzeuges durch das Rückhaltesystem ist unwahrscheinlich und nur im Bereich der Einfahrt 1 als höher zu beurteilen.

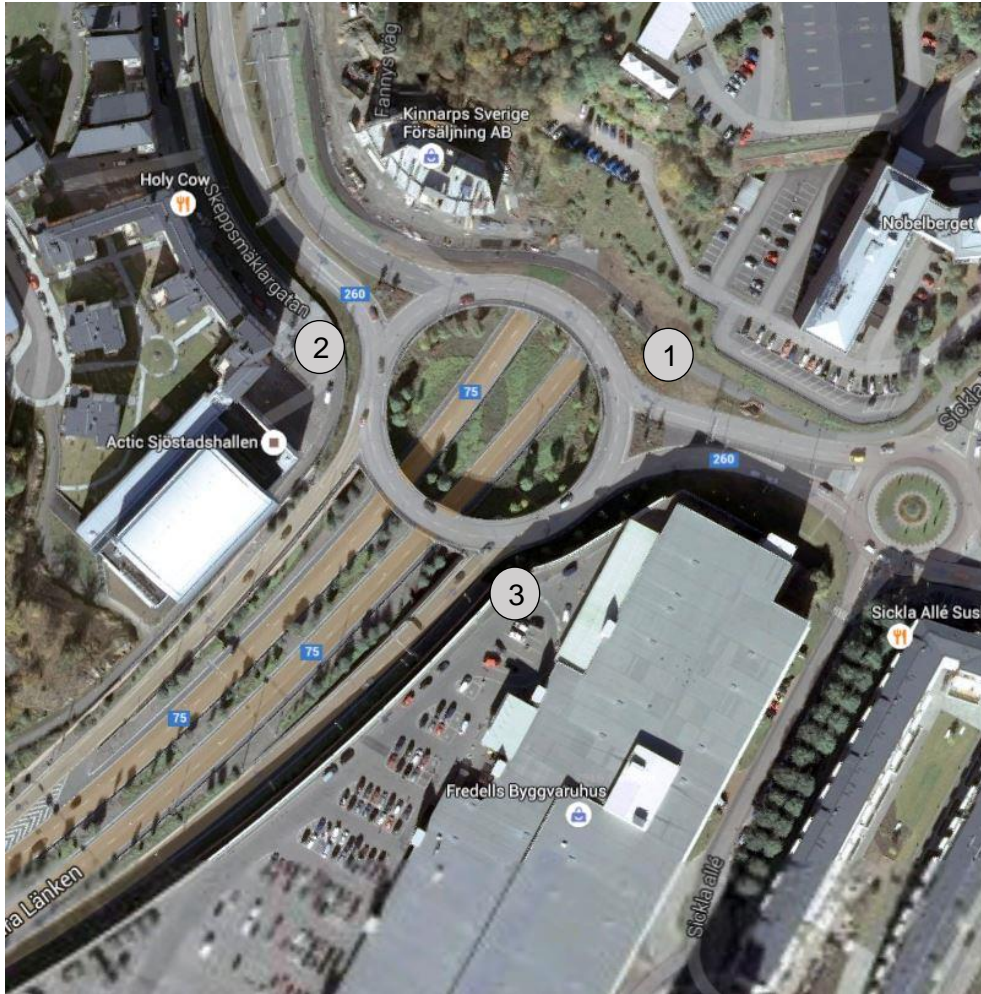


Abbildung 2-10: Luftbild Kreisverkehr Stockholm, Södra Länken – Sicklavägen [19]

2.3.3 Stockholm, Värndöläden

Sicklavägen

Durchmesser: ~56 m (Innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-8 Parameter Kreisverkehr Stockholm, Värndöläden

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	kein Anprall über Fahrbahn möglich	--	--
Einfahrt 2	kein Anprall über Fahrbahn möglich	--	--
Einfahrt 3	16	75	67

Der zweispurig befahrbare Kreisverkehr in Värndöläden/Sicklavägen hat einen Innendurchmesser von rund 56 m. Dadurch ergibt sich eine Maximalgeschwindigkeit von 41 km/h für die Durchfahrt im Kreisverkehr. In Einfahrt 3 wird die Einfahrtgeschwindigkeit durch den Radius auf 67 km/h begrenzt, in Einfahrt 1 und 3 ist ein Anprall über die Fahrbahn aufgrund der Gegebenheiten nicht möglich. Der Anprallwinkel in Einfahrt 3 ist mit 16° relativ gering. Die Wahrscheinlichkeit des Durchbrechens ist bei dem vorliegenden Beispiel als gering einzustufen.



Abbildung 2-11: Luftbild Kreisverkehr Stockholm, Värndöläden [19]

2.3.4 Deutschland, München

Flughafen München

Durchmesser: ~ 30m (Innen)

Einspurig befahrbar

Tabelle 2-9 Parameter Kreisverkehr Deutschland, München

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1 (Randspur)	19	20	35
Einfahrt 2	40	k.A.	k.A.
Einfahrt 3	50	k.A.	k.A.

Im Kreisverkehr am Flughafen in München wird sowohl die Geschwindigkeit im Kreisverkehr als auch die Geschwindigkeit bei der Einfahrt in allen drei Einfahrten auf rund 35 km/h begrenzt. Eine schnellere Einfahrt ist aufgrund des kleinen Kurvenradius bei Einfahrt 1 nur mit geringer Wahrscheinlichkeit gegeben. Aufgrund großer Anprallwinkel in Einfahrt 2 und 3 und höherer Geschwindigkeit wird damit die Gefahr eines Absturzes auf die darunterliegende Fahrbahn sehr hoch. Der Kreisverkehr selbst ist aufgrund seiner Trassierungsparameter mit einer Geschwindigkeit von 43 km/h befahrbar.

Bei dem vorliegenden Fallbeispiel ist das Risiko eines Anpralls mit Unfallfolgen als sehr hoch einzustufen, da einerseits große Anprallwinkel gegeben sind und andererseits keine Geschwindigkeitsreduktion durch vorgelagerte Kreisbögen bei der Einfahrt 3 möglich ist. Das Risiko ist besonders für die Einfahrt 3 als hoch zu beurteilen.



Abbildung 2-12: Luftbild Kreisverkehr Deutschland, München [19]

2.3.5 London Target Roundabout Northolt

Durchmesser: ~90m (Innen)

Vierspurig befahrbar

Tabelle 2-10 Parameter Kreisverkehr London, Target Roundabout Northolt

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	37	55	58
Einfahrt 2	47	--	--
Einfahrt 3	41	35	46
Einfahrt 4	39	--	--

Die Einfahrten 2 und 4 des vierspurig befahrbaren Kreisverkehrs in London – Target Roundabout Northolt – sind nahezu gerade ausgeführt, wodurch die Einfahrtsgeschwindigkeiten in den Kreisverkehr baulich nahezu nicht begrenzt werden. Es besteht die Möglichkeit eines Anpralls mit hoher Geschwindigkeit in einem Winkel von 39 bzw. 47°.

Die Einfahrten 1 und 3 erlauben durch den Radius eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 58 bzw. 46 km/h bei einem Einfahrtswinkel von rund 40°km/h. Es besteht allerdings durch die bauliche Anlagensituation und die anschließende Böschung ein geringes Risiko betreffend Unfallfolgen.

Der Kreisverkehr selbst ist bei der angenommenen Querneigung von 2,5% theoretisch mit einer Geschwindigkeit von rund 74 km/h befahrbar.

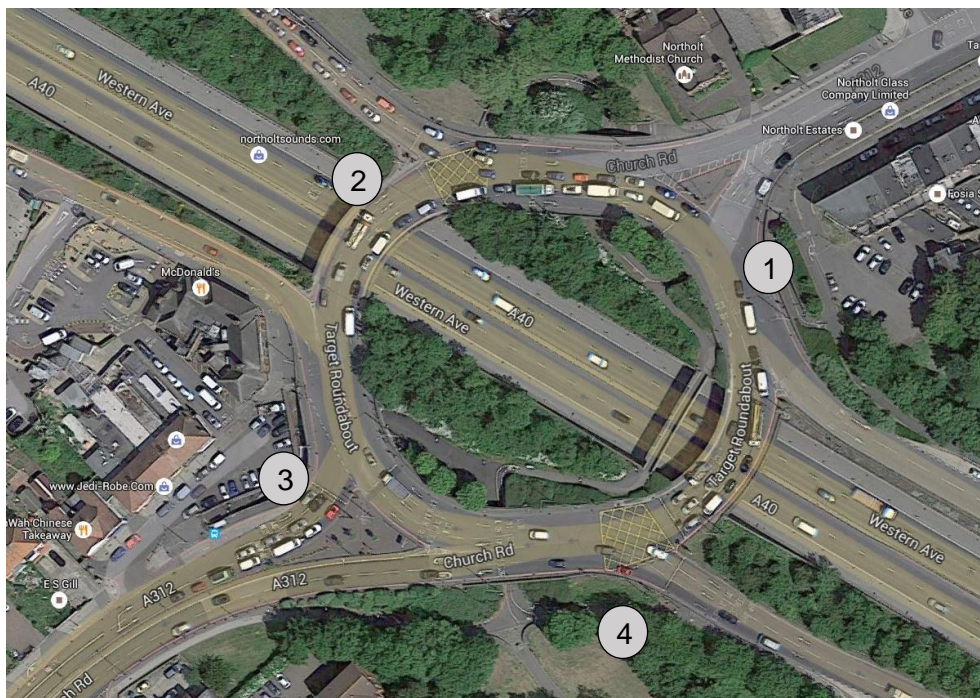


Abbildung 2-13: Luftbild Kreisverkehr London, Target Roundabout Northolt [19]

2.3.6 London, Western Ave

West End Road

Durchmesser ~80m (innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-11 Parameter Kreisverkehr London, Western Ave

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	kein Anprall über Fahrbahn möglich	--	--
Einfahrt 2	17	33	43
Einfahrt 3	19	46	52
Einfahrt 4	17	26	40

Die Radien der Einfahrten des Kreisverkehrs in London, West End Road, begrenzen die Einfahrtsgeschwindigkeit baulich auf ca. 52 km/h, im Kreisverkehr ist rechnerisch eine Durchfahrt mit einer maximalen Geschwindigkeit von 49 km/h möglich. Es besteht allerdings durch die bauliche Anlagensituation und die anschließende Böschung ein geringes Risiko betreffend Unfallfolgen.

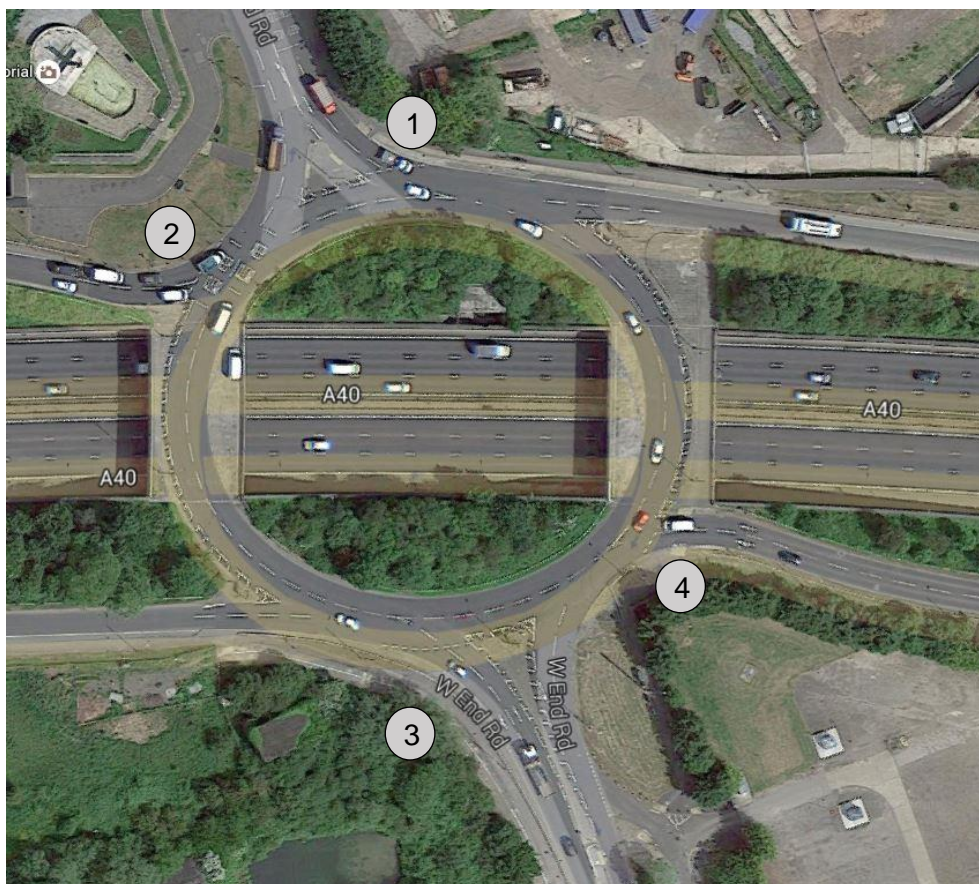


Abbildung 2-14: Luftbild Kreisverkehr London, Western Ave [19]

2.3.7 London, Swakeleys Roundabout

Durchmesser: ~70m (innen)

Zweispurig befahrbar

Tabelle 2-12 Parameter Kreisverkehr London, Swakeleys Roundabout

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	29	35	46
Einfahrt 2	47	30	43
Einfahrt 3	57	--	--
Einfahrt 4	28	27	40

Im zweispurig befahrbaren Kreisverkehr „Swakeleys Roundabout“ in London wird die maximale Einfahrtgeschwindigkeit durch die Einfahrtsradien auf 46 km/h baulich beschränkt, im Kreisverkehr ist theoretisch eine Durchfahrt auch mit 46 km/h möglich. Der Anfahrtswinkel ist mit 57° in Einfahrt 3 sehr steil was zu einer hohen Anprallenergie im Falle eines Unfalles führt, zudem in dieser Einfahrt durch die gerade Ausführung die theoretisch fahrbare Geschwindigkeit nicht durch einen Kreisbogen begrenzt wird. Es besteht allerdings durch die bauliche Anlagensituation und die anschließende Böschung ein geringes Risiko betreffend Unfallfolgen.

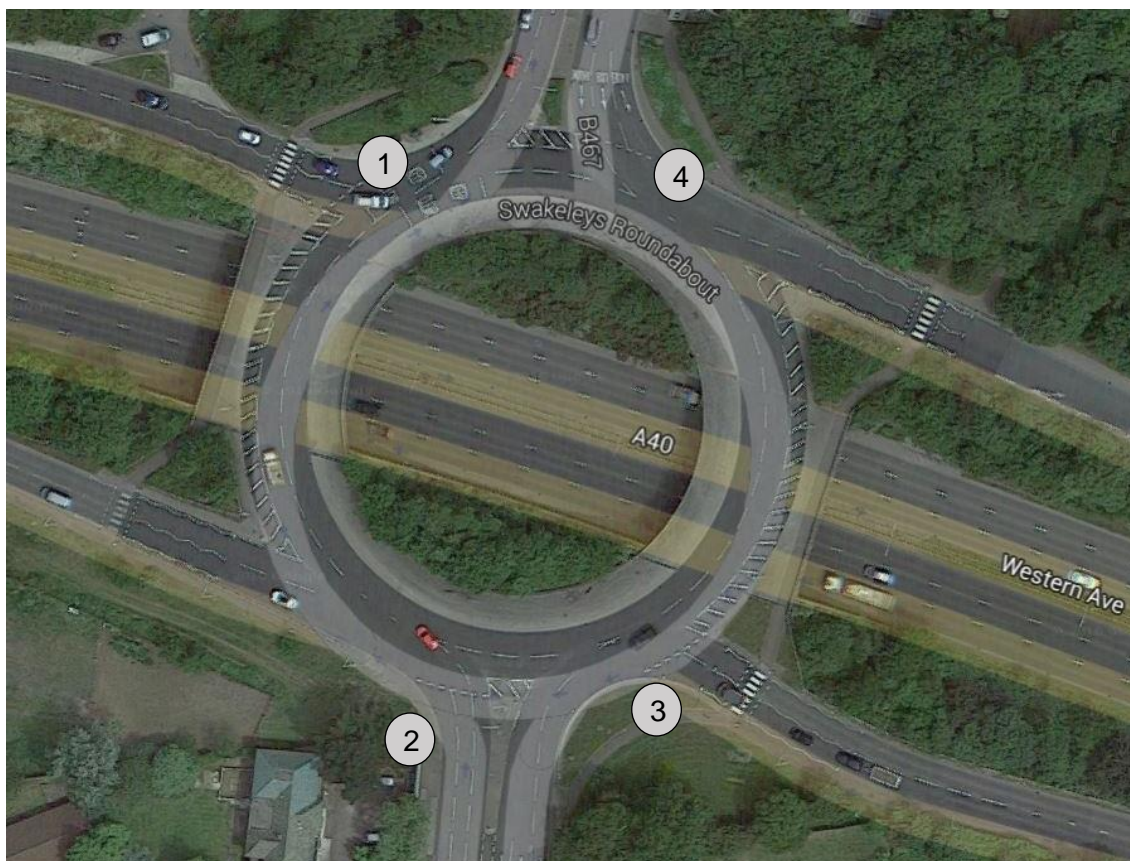


Abbildung 2-15: Luftbild Kreisverkehr London, Swakeleys Roundabout [19]

2.3.8 Krakau, Rondo Mogilskie

Kreisbogen:

$R_1 \sim 28\text{m}$

$R_2 \sim 31\text{m}$

$R_3 \sim 39\text{m}$

Dreispurig befahrbar

Tabelle 2-13 Parameter Kreisverkehr Krakau, Rondo Mogilskie

	Einfahrtswinkel [°]	Einfahrtsradius [m]	max. V in der Einfahrt [km/h]
Einfahrt 1	50	20	35
Einfahrt 2	15	110	81
Einfahrt 3	5	--	--
Einfahrt 4	37	45	52
Einfahrt 5	9	220	--

Der Kreisverkehr „Rondo Mogilskie“ in Krakau ist dreispurig befahrbar. Die Einfahrten 2,3 und 5 lassen eine sehr hohe Einfahrtsgeschwindigkeit zu. Im Kreisverkehr ist die maximale Geschwindigkeit schwer abschätzbar da dieser nicht mit einem durchgehenden Radius ausgeführt ist und sich für den Durchfahrenden immer wieder gerade Abschnitte ergeben. Die maximale Geschwindigkeit in den Kreisbögen liegt bei rund 43 km/h. Ein Absturz auf die darunterliegende Fahrbahn ist aufgrund der Gegebenheiten bei Einfahrt 4 hoch.



Abbildung 2-16: Luftbild Kreisverkehr Krakau, Rondo Mogilskie [19]

2.3.9 Knoten Berlin Westkreuz

Durchmesser: ~200m (innen)

Auf Grund der Größe des Kreisbogens ergeben sich sehr geringe Anfahrwinkel an das Anprallsystem, daher ist dieser Knotenpunkt nicht von der gegenständlichen Problemstellung betroffen. Die Kreisbögen auf den Überfahrtsbrücken sind entsprechend groß ausgebildet, sodass ein Anprall auch bei einer hohen Geschwindigkeit nur mit geringem Winkel erfolgen kann. In dem Zusammenhang ist dieser Verkehrsknoten mit sehr geringem Risiko des Durchbrechens der Rückhaltevorrchtung auf den Überfahrtsbrücken zu beurteilen.

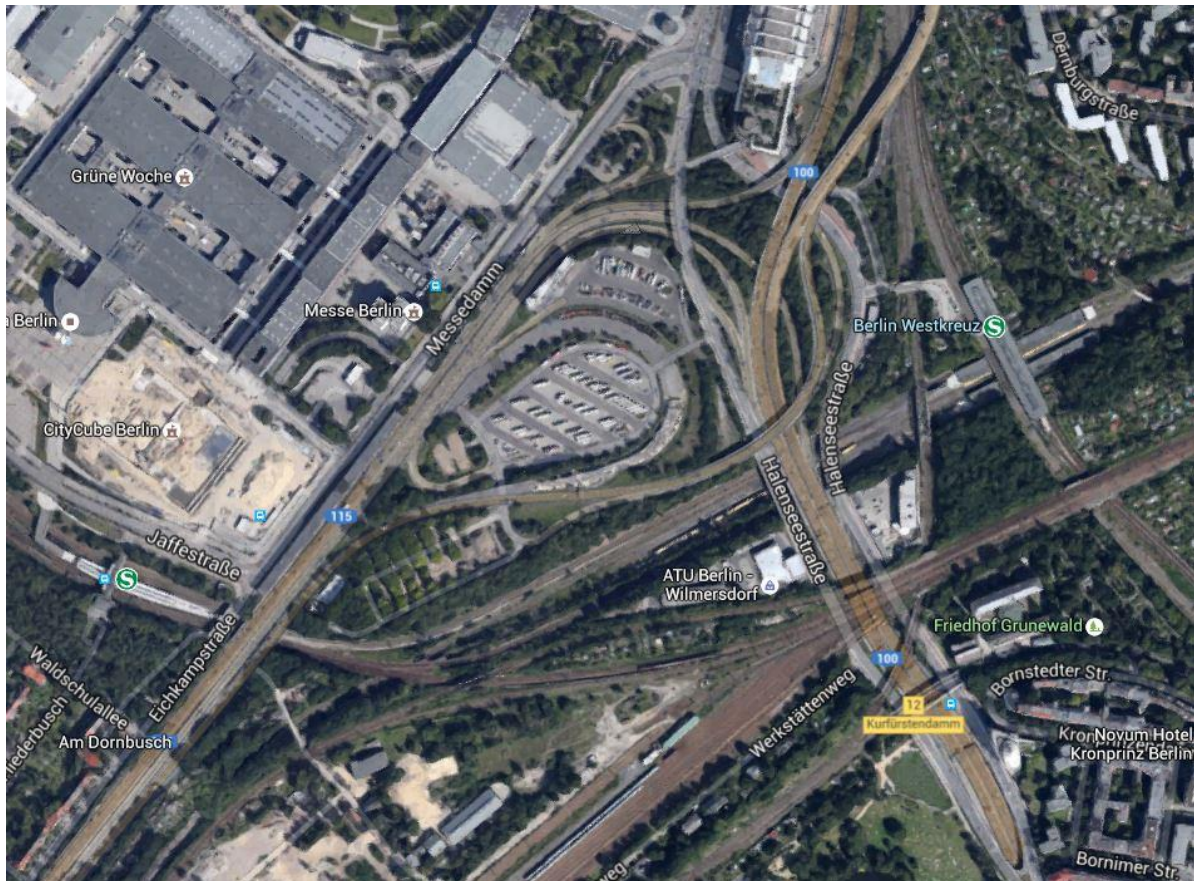


Abbildung 2-17: Luftbild Kreisverkehr Berlin, Westkreuz [19]

2.4 Lösungsansatz Überplattung

Als eine mögliche Lösungsvariante bei Knotenpunkten über hochrangigen Verkehrswegen kann, wie in Kapitel 1.8.2 beschrieben, die Ausführung einer Überplattung gewählt werden. Die Vorteile zeigen sich hier im Wesentlichen durch den geringen Verbrauch an Grundflächen und die sehr kurzen Wege bei den Zubringern und Anschlussstellen. Nachteile der Lösungsvariante sind die mit dem Bauwerk entstehenden Lebenszykluskosten, die mit Zunahme der Tunnellänge infolge der Zunahme der betrieblichen Ausrüstungselemente ansteigen. Der damit entstehende Instandhaltungsaufwand mit allfällig erforderlichen Sperrzeiten ist in die Projektgesamtbetrachtung mit einzubeziehen.

2.4.1 Wien: Leonard Bernstein Straße

Radius: 23 m

2 Spuren

Aufgrund der Überplattung des gesamten Kreisverkehrs und der Wegführung ist diese bauliche Anlage grundsätzlich nicht von der Problemstellung betroffen da ein Absturz durch ein anprallendes Fahrzeug auf ein darunterliegendes Verkehrsnetz bis auf die Auffahrtsrampe in Richtung Stockerau nicht möglich ist. Bei der Auffahrtsrampe in Richtung

Stockerau kann sich ein Anprall mit einem Winkel von ca. 30° mit Absturz des Fahrzeuges auf die darunterliegende Zufahrtsspur ergeben. Allerdings ist bei dieser Situation aufgrund des kleinen Radius von einer geringen Geschwindigkeit auszugehen. Bei einer Verbreiterung der Brücke in dem Bereich würde dieses Restrisiko vermindert werden können.

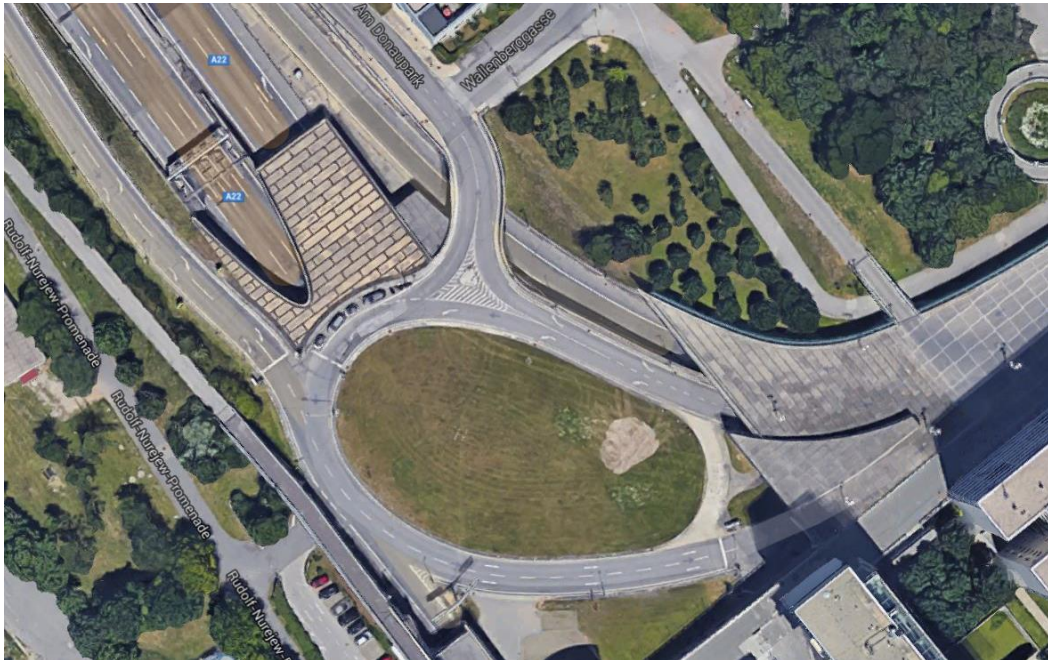


Abbildung 2-18: Luftbild Kreisverkehr Wien, Leonhard Bernstein Straße [19]

2.4.2 Verteilerkreis, A23

Durchmesser: ~200m (innen)

Der Kreisverkehr am Verteilerkreis Favoriten hat einen Innendurchmesser von rund 200 m und ist in den Gefahrenbereichen überplattet. Aus diesem Grund ist er nicht von der Problemstellung betroffen. Auch die Zufahrtsrampen neben den Stützbauwerken haben entsprechend große Radien, sodass ein Anprall mit Winkel unter 20° als unwahrscheinlich zu beurteilen ist.



Abbildung 2-19: Luftbild Kreisverkehr Wien, Verteilerkreis A23 [19]

2.4.3 Hartberg, im Hatric,

Ferdinand-Leihs-Straße

Durchmesser: ~24m (innen)

Wegen Überplattung ist dieser Kreisverkehr nicht von der Problemstellung betroffen. Ein Absturz eines Fahrzeuges auf die darunterliegenden Fahrbahnen kann ausgeschlossen werden. Die vorliegenden geometrischen Randbedingungen zeigen sehr anschaulich die erforderlichen Tunnellängen, die in Zusammenhang mit den Kreisverkehrsüberplattungen entstehen. Für eine erste Abschätzungen ist mit dem 1,5 bis 2,0-fachen Außendurchmesser des Kreisverkehrs als Tunnellänge auszugehen.



Abbildung 2-20: Luftbild Kreisverkehr Hartberg, im Hatric [19]

2.5 Lösungsansatz Entzerrung und Entflechtung

Einen weiteren Lösungsansatz für die vorliegende Problemstellung bietet wie im Kapitel 1.8.3 beschrieben die sog. „Entzerrung“ der Kreisfahrbahn, die von der Kreisform abweicht und sich elliptisch oder durch zwei Halbkreise mit geraden Zwischenfahrbahnen gestalten lässt. Weiterhin lässt sich die Kreuzungssituation auch durch zwei seitlich angeordnete Kreisverkehre lösen (siehe hierzu Kapitel 1.8.4). Vorteile dieser Variante sind, wie bereits erwähnt, einerseits eine sehr einfache Ausbildung der Kreuzungsbauwerke als gerade Brücken und andererseits die Vermeidung der Maßnahmen, die durch die Anforderungen an Tunnelbauwerke gestellt werden. Die damit entstehenden Nachteile liegen in dem Zusammenhang bei dem größeren Grundflächenbedarf und etwaiger Einschränkungen des Verkehrsflusses bei dichtem Verkehr.

2.5.1 Graz Weblinger Gürtel, nahe Nahverkehrsdrehscheibe Puntigam

Der Kreisverkehr am Weblinger Gürtel in Graz ist in den Bereichen über der Fahrbahn stark entzerrt. Dadurch wurde die Gefahr eines Anpralls an das Rückhaltesystem über der Fahrbahn und damit die Gefahr eines Absturzes auf das darunterliegende Verkehrsnetz wesentlich gemindert. Die Kreiseinfahrten sind zwar mit großen Anprallwinkel ausgebildet, jedoch kann aufgrund der größeren Distanz zur darunterliegenden Fahrbahn von einem geringen Risiko für Unfallfolgen ausgegangen werden. Dieser Kreisverkehr ist somit nicht unmittelbar von der Problemstellung betroffen.

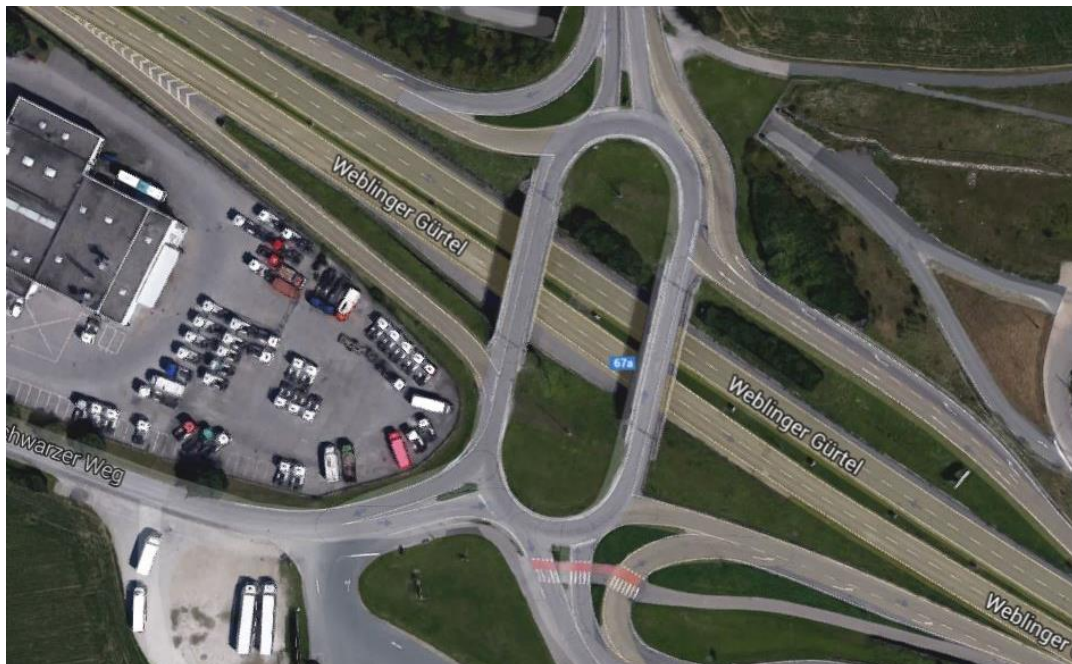


Abbildung 2-21: Luftbild Kreisverkehr Graz, Weblinger Gürtel [19]

2.5.2 Kreisverkehr, Kapellenfeld S1

Im Kreisverkehr Kapellenfeld wurden zwei getrennte Kreisverkehre ausgeführt, welche jeweils Zufahrt und Abfahrt für eine Fahrtrichtung regeln. Über der Fahrbahn - und damit im Gefahrenbereich - ergeben sich aufgrund der geraden Ausführung der Fahrbahn in diesem Bereich sehr geringe Anprallwinkel auf das Rückhaltesystem. Die vorliegende bauliche Situation zeigt eine weitere Möglichkeit der Verhinderung der Absturzgefahr auf die darunterliegende Fahrbahn.



Abbildung 2-22: Luftbild Kreisverkehr Kapellenfeld S1 [19]

2.5.3 S1 Gerasdorf

Auch in dieser Anschlussstelle der S1 in Gerasdorf wurde die Aufteilung auf zwei getrennte Kreisverkehre gewählt. Somit ist er aus oben genannten Gründen nicht von der Problemstellung betroffen. Die vorliegende Situation zeigt beispielhaft eine sehr einfache Lösungsmöglichkeit mit kleinen Kreisverkehren anstelle von klassischen T-Kreuzungen bei planfreien Knotenpunkten.

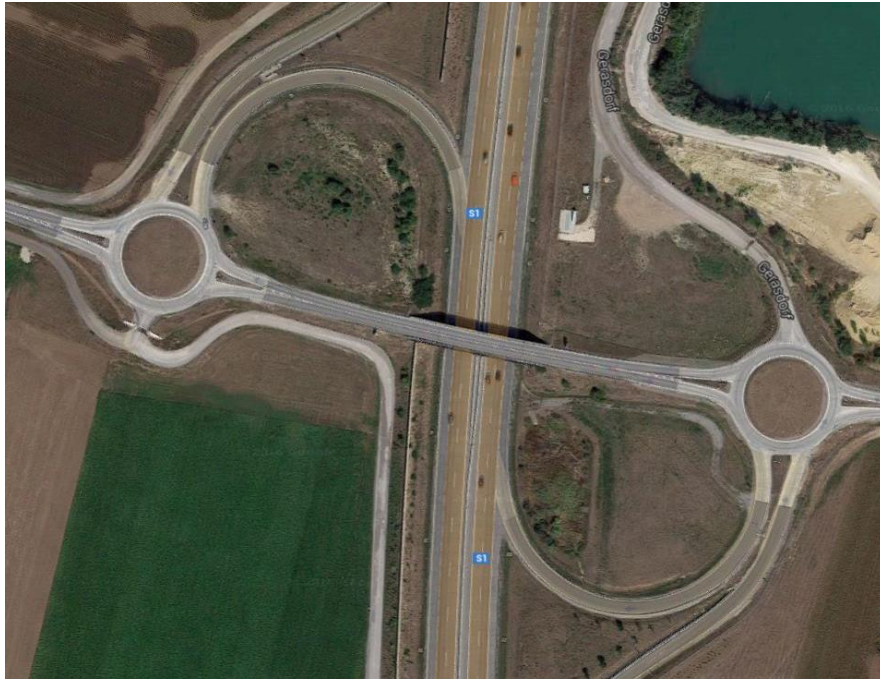


Abbildung 2-23: Luftbild Kreisverkehr Gerasdorf S1 [19]

2.5.4 S1, Hagenbrunn

Auf Grund der Aufteilung auf 2 Kreisverkehre und der Unterführung des niederrangigen Verkehrsweges ergibt sich bei dieser vorliegenden Situation keine Gefahr des Absturzes auf die Fahrbahn der hochrangigen Straßen. In dem Zusammenhang sind bei den seitlich ausgebildeten Kreisverkehren auch mehr als 4 Anbindungen möglich. Aufgrund der notwendigen und für die erforderlichen Sichtverhältnisse verlängerten Zwischengeraden im Bereich der Unterführung ergibt sich ein größerer Platzbedarf. Beispielphaft zeigen sich auch die geschwindigkeitssenkenden Kreisbögen vor den Kreisverkehrseinfahrten nach der Zwischengerade.



Abbildung 2-24: Luftbild Kreisverkehr Hagenfeld S1 [19]

3 AP 3: Ingenieurpraktische Ansätze zum Stoßvorgang

3.1 Allgemeines und Zielsetzung

Arbeitspaket 3 beschäftigt sich mit Berechnung der entstehenden Anprallkräfte auf Rückhaltesysteme mit Hilfe von analytischen Ansätzen. Exemplarisch wird die Anprallenergie, auf welche die unterschiedlichen Rückhaltesysteme geprüft sind, berechnet und jener Anprallenergie gegenübergestellt, welche rechnerisch beim Anprall unterschiedlicher Referenzfahrzeuge entsteht. Zusammenfassend kann hier festgestellt werden, dass Rückhaltesysteme auf geringere Anprallkräfte geprüft werden und auf einen Winkel von 20° beschränkt sind, als sie in möglichen Fällen aufgrund des Winkels und der Anprallgeschwindigkeit des anprallenden Fahrzeugs auftreten können.

Folgende Inhalte sind in Arbeitspaket 3 inkludiert:

- Ergänzungen analytischer Formeln zur Bestimmung von Stoßkräften und Systemreaktionen
- Evaluierung bestehender Formeln
- Anpassung und Erweiterungen für Zusätzliche Festhaltungen an der Unterkonstruktion
- Parametrische Erfassung von statischen Ersatzlasten

3.2 Berechnung der Kräfte auf das Rückhaltesystem

3.2.1 Berechnung der theoretischen Durchschnittskraft auf das Rückhaltesystem

Nach DIN EN 1317 – 1, Ausgabe 1998 kann die Durchschnittskraft, welche bei einem Aufprall auf ein Rückhaltesystem wirkt, nach zwei verschiedenen Theorien berechnet werden.

3.2.2 Berechnung der Durchschnittskraft mit Hilfe der Kinematik

Berechnet man die Durchschnittskraft mit Hilfe der Kinematik, so geht man davon aus, dass die Komponente der Geschwindigkeit des Fahrzeugschwerpunktes rechtwinkelig zur Schutzeinrichtung in der ersten Phase der Kollision auf Null sinkt. Dabei gilt für die Geschwindigkeit:

$$V_n = V \cdot \sin \alpha$$

(3.1)

Bezeichnet man die Durchschnittsbeschleunigung des Fahrzeugschwerpunktes rechtwinkelig zur Schutzeinrichtung mit \bar{a}_n und seine Verschiebungen mit S_n , so ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\bar{a}_n = \frac{V_n^2}{2 \cdot S_n}$$

(3.2)

Nach dem zweiten Newtonschen Axiom ergibt sich aus Gleichung (3.2) die daraus wirkende Durchschnittskraft mit:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot V_n^2}{2 \cdot S_n}$$

(3.3)

3.2.3 Durchschnittskraft aufgrund des Energieausgleichs

Geht man davon aus, dass die kinetische Energie des Fahrzeugs im Moment des Aufpralls ausgeglichen werden muss durch die Arbeit der seitlich auf den Fahrzeugschwerpunkt wirkenden Kraft so gilt für die kinetische Energie:

$$T = \frac{M \cdot V_n^2}{2}$$

(3.4)

Die Arbeit welche verrichtet werden muss erhält man aus dem Produkt von Kraft mal Weg mit:

$$W_n = \bar{F} \cdot S_n$$

(3.5)

Durch den Energieausgleich ergibt sich in weiterer Folge die wirkende Durchschnittskraft:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot V_n^2}{2 \cdot S_n}$$

(3.6)

3.2.4 Berechnung der Durchschnittskraft als Funktion der Verschiebung der Schutzeinrichtung

Die Verschiebung des Massenschwerpunktes des anprallenden Fahrzeuges kann vereinfacht über Winkelfunktionen dargestellt werden (siehe Abbildung 3-1) und lässt sich wie folgt berechnen:

$$S_n = c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b$$

(3.7)

S_b ist dabei idealerweise die Summe aus dynamischer Verformung der Schutzeinrichtung und einem Anteil aus der Verformung des Fahrzeugs.

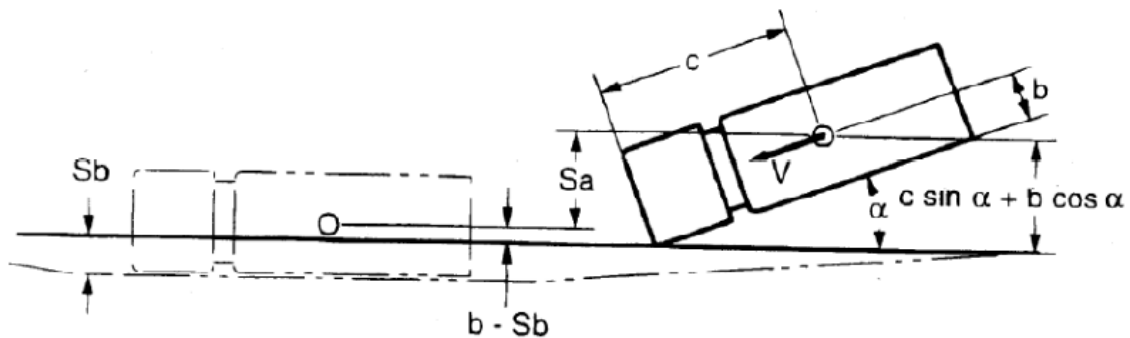


Abbildung 3-1 Verlagerung des Schwerpunktes nach DIN EN 1317 – 1 [3]

Durch eine Kombination der vorangegangenen Gleichungen erhält man die Gleichung für die auf die Schutzeinrichtung wirkende Durchschnittskraft mit

$$\bar{F} = \frac{M \cdot (V \cdot \sin \alpha)^2}{2 [c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b]} \quad (3.8)$$

In Tabelle 1-2 sind die festgelegten Aufhaltestufen mit den dazugehörigen Werten der Fahrzeuge und Geschwindigkeiten dargestellt. Unter Berücksichtigung der Durchbiegung der Rückhaltevorrichtung wurden exemplarisch einige Durchschnittskräfte berechnet.

Da \bar{F} eine bezüglich der seitlichen Verschiebung gemittelte Kraft ist gilt:

$$\bar{F} = \frac{1}{S_n} \cdot \int_0^{S_n} F(s) ds \quad (3.9)$$

Der Höchstwert der wirkenden Kraft, welcher als Maß der Höchststeinwirkung auf die Verankerung der Schutzeinrichtung anzusehen ist, ist allerdings um das 2,5fache höher als die mit Hilfe von Gleichung (3.6) berechnete Kraft.

Tabelle 3-1 Aufhaltestufen und entsprechende kinetische Energie [3]

Aufhaltstufe	Kinetische Energie [kJ]	Durchbiegung auf der dem Verkehr zugekehrten Seite [m]					
		0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
		Durchschnittskraft \bar{F} [kN]					
T1	6,2	16,8	9,3	5,8	4,2	3,3	2,7
T2	21,5	36,5	24,2	16,7	12,7	10,3	8,6
T3	36,6	46,7	33,8	24,7	19,4	16,0	13,6
N1	43,3	59,2	42,0	30,3	23,7	19,4	16,5
N2	81,9	112,0	79,4	57,2	44,7	36,7	31,1
H1	126,6	93,6	76,6	61,7	51,6	44,4	38,9
H2	287,5	133,0	116,8	100,4	88,1	78,5	70,8
H3	462,1	266,4	227,1	189,8	163,0	142,9	127,1
H4a	572,0	311,3	267,6	225,4	194,7	171,4	153,1
H4b	724,6	269,1	242,1	213,6	191,1	172,8	157,8

Aus Tabelle 3-1 geht hervor, dass die wirkenden Kräfte auf die Schutzvorrichtung wesentlich geringer sind, je größer die dynamische Verformung ist. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3-2 für die Rückhaltestufen H2 und H4b bei einem Anprallwinkel von 20° dargestellt.

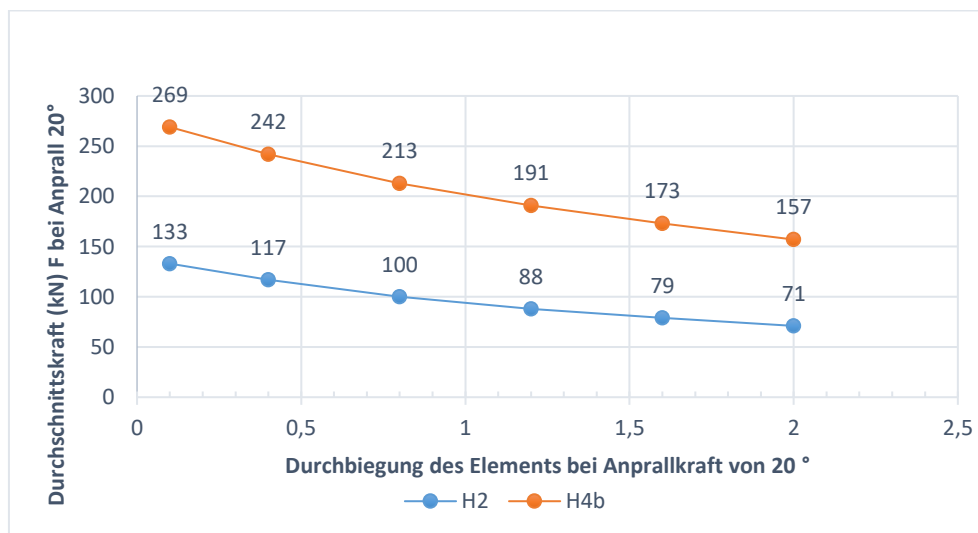


Abbildung 3-2 Durchschnittskräfte für exemplarische Durchbiegungen

3.2.5 Exemplarische Berechnungen

Wie aus 1.3 hervorgeht, sind sowohl Anprallwinkel als auch Anprallgeschwindigkeit für die Prüfung eines Rückhaltesystems festgelegt. Erfolgt beispielsweise die Prüfung eines Rückhaltesystems mit der Prüfung TB 81, wie für Rückhaltesysteme der Stufe H4b üblich,

wird dieses System mit einem Sattelzug mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h bei einem Anprallwinkel von 20° geprüft. Berechnet man die kinetische Energie des Anpralls bei dieser Prüfung nach Formel (3.4) so liegt dieser Wert bei rund 725 Kilojoule (vgl. Abbildung 3-3).



Abbildung 3-3 Kinetische Energie in Abhängigkeit vom Anprallwinkel bei Normgeschwindigkeit

Verändert man rechnerisch den Anprallwinkel, steigt die kinetische Energie, welche auf das Rückhaltesystem wirkt, entlang einer Sinuskurve an. In Abbildung 3-3 sind die freiwerdenden kinetischen Energien für 4 Normprüfungen und deren Anstieg bei Veränderung des Anprallwinkels dargestellt. Die kinetische Energie liegt bei Prüfmodell TB81 im Falle eines Anpralls im Winkel von 90° bei 6194 Kilojoule, dies entspricht dem 8,5-fachen jenes Wertes, auf den das Rückhaltesystem geprüft wird.

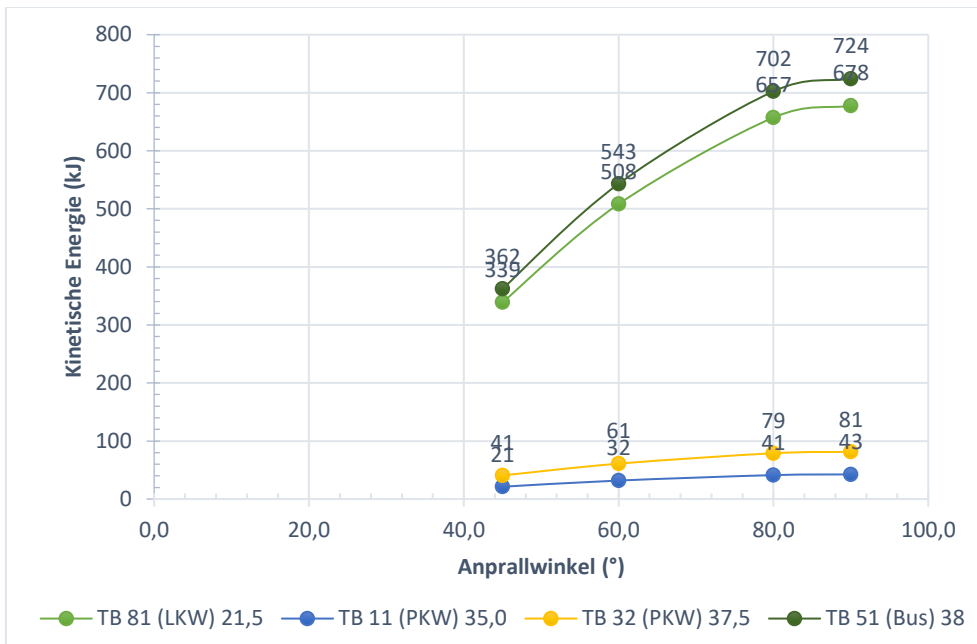


Abbildung 3-4 Kinetische Energie bei reduzierter Geschwindigkeit

Um das Rückhaltesystem bei einem Anprallwinkel von 90° nicht mit einer kinetischen Energie von über 725 Kilojoule zu belasten, müsste die Geschwindigkeit bei größerem Anprallwinkel nach unten angepasst werden. Dies würde im Falle eines Anpralls mit einem Bus mit 13 Tonnen bedeuten, dass dieser bei einem Anprall im Winkel von 90° mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 38 km/h unterwegs sein kann.

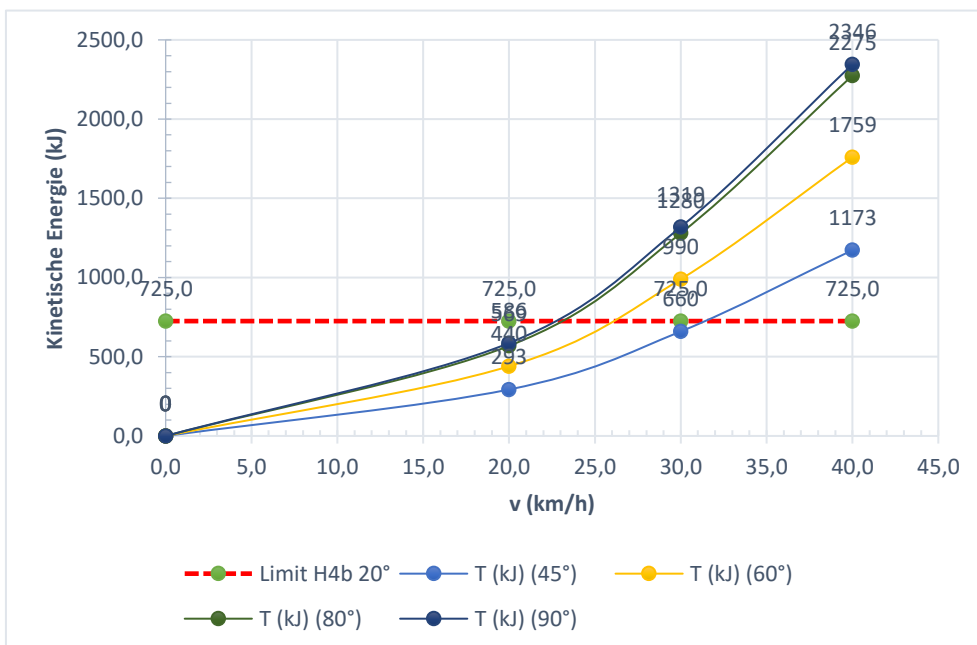


Abbildung 3-5 Grenzgeschwindigkeit für einen LKW mit 38 Tonnen abhängig vom Anprallwinkel

In Abbildung 3-5 ist die freiwerdende kinetische Energie für einen LKW mit 38 Tonnen in Abhängigkeit vom Anprallwinkel sowie das Limit an aufnehmbarer kinetischer Energie eines Rückhaltesystems der Rückhaltestufe H4b dargestellt. Um den Grenzwert von 725 Kilojoule

nicht zu übersteigen, dürfte ein Anprall im Winkel von 80° bzw. 90° nur mit einer Geschwindigkeit von rund 22 km/h stattfinden. Im Falle eines Anprallwinkels von 45° liegt die theoretische Maximalgeschwindigkeit bei rund 31 km/h. Die tatsächliche Geschwindigkeit eines LKWs im Falle eines Anpralls wird allerdings nur in wenigen Fällen - unabhängig vom Anprallwinkel – unter diesem Maximalwert liegen. Die dargestellten Werte berücksichtigen ausschließlich die Fragestellung der Einwirkung auf Rückhaltesysteme in Abhängigkeit eines möglichen Verschiebeweges. Die Fragestellung nach der Verformbarkeit des Fahrzeuges sowie die Auswirkungen auf die Insassen werden dabei nicht betrachtet und sind unabhängig davon im Einzelfall zu untersuchen.

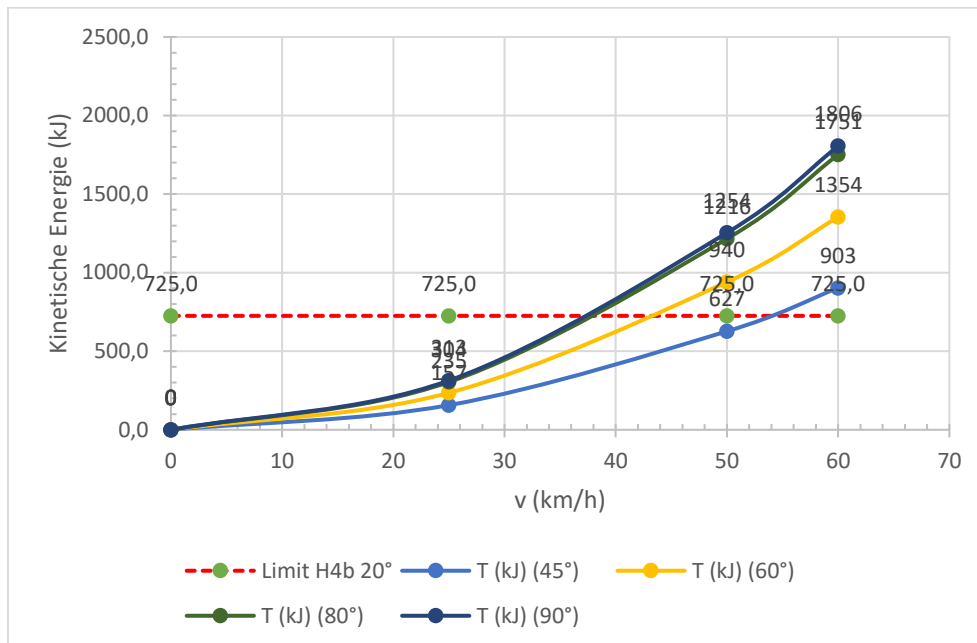


Abbildung 3-6 Grenzgeschwindigkeit für einen Bus mit 13 Tonnen abhängig vom Anprallwinkel

Berücksichtigt man eine Verschiebung des Schwerpunktes, so reduziert sich die auf das Rückhaltesystem wirkende Kraft wie aus Formel (3.8) hervorgeht. In Abbildung 3-7 wurde für den theoretischen Anprallversuch eines LKWs eine Deformation von 1,4 m angenommen, wobei sich diese Verformung idealerweise anteilig zusammensetzt aus einer Verschiebung des Rückhaltesystems und einer Verformung des Fahrzeuges. Durch das nahezu starre Verhalten von Rückhaltesystemen erfolgt der Energieabbau in der Realität allerdings zusätzlich durch eine Verformung am Fahrzeug selbst, wenn der Anprall mit steilerem Winkel auftritt.

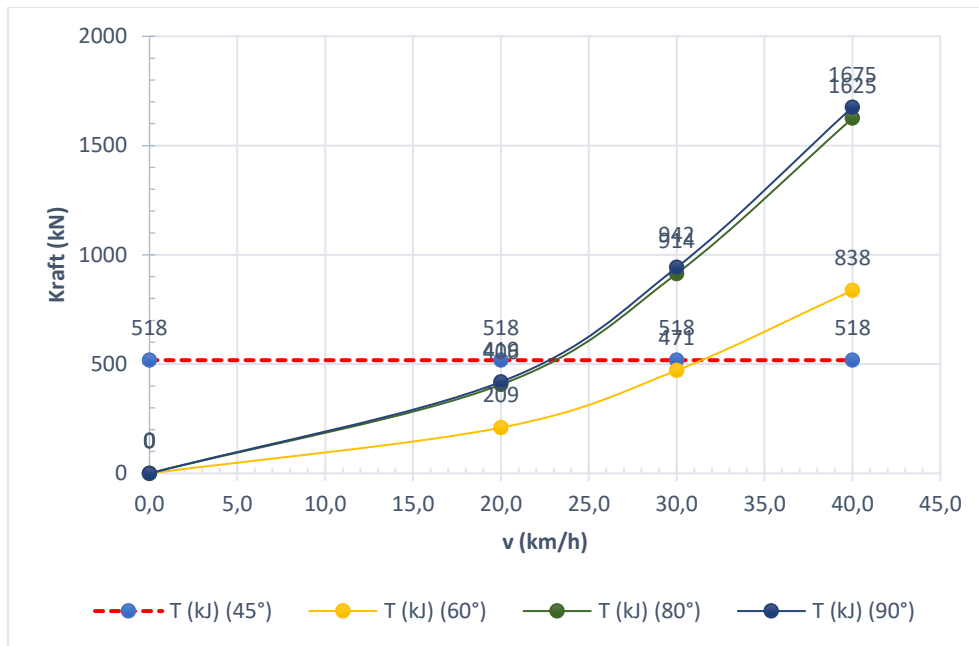


Abbildung 3-7 Grenzgeschwindigkeit für einen LKW mit 38 Tonnen bei 1,4m Deformation

Die aus den Berechnungen aufnehmbaren Kräfte für ein Rückhaltesystem mit einer geprüften Verformbarkeit von 1,4 m ergeben die in der Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 dargestellten Geschwindigkeiten in Abhängigkeit der Anprallwinkel. Es zeigt sich sehr deutlich, dass bereits bei einem Anprallwinkel von 60 ° bei einem 38 Tonnen LKW und einer Geschwindigkeit von 30 km/h von einem Versagen der Rückhaltevorrichtung des Typs H4b auszugehen ist.

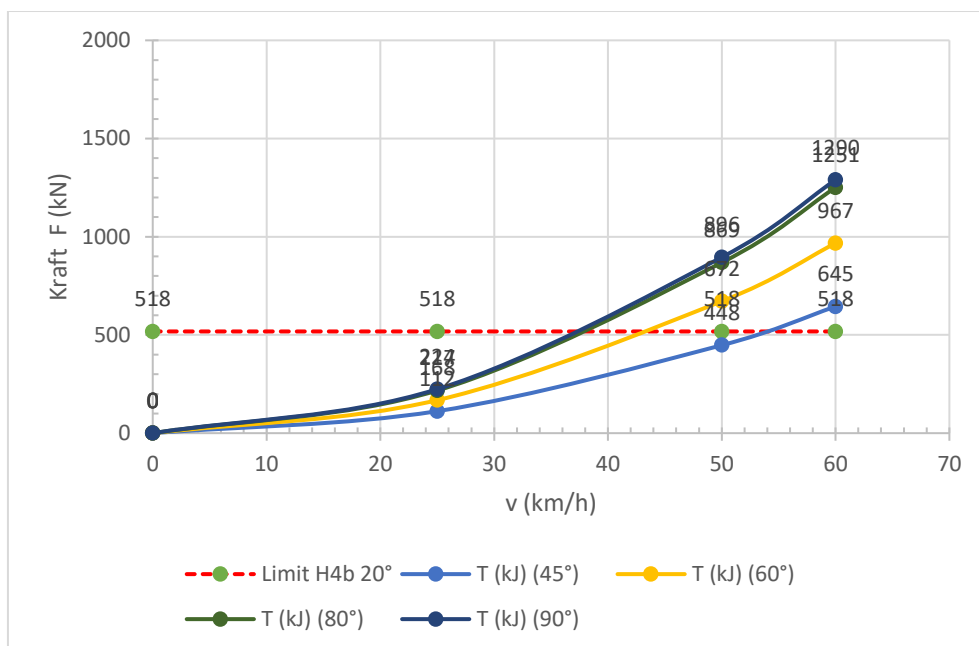


Abbildung 3-8 Grenzgeschwindigkeit für einen Bus mit 13 Tonnen bei 1,4m Deformation

4 AP 4: Nichtlineare Berechnung von Stoßvorgängen

4.1 Allgemeines und Zielsetzung

Arbeitspaket 4 dient der Erweiterung von Arbeitspaket 3, dabei wird insbesondere die Energiedissipation und die zeitliche Dauer des Stoßvorgangs berücksichtigt, um die Ergebnisse zu präzisieren. Durch numerische Simulationen bei steileren Anprallwinkeln wird die Dissipation von Energie über die Reibung zwischen Rückhaltesystem und Untergrund in erster Linie abgeschätzt und analysiert. In einem weiteren Schritt werden die Materialparameter wie Steifigkeit und Materialfestigkeiten des Rückhaltesystems berücksichtigt, um auch diese Nichtlinearität zu berücksichtigen und die Dissipation durch plastische Verformungen in die Berechnungsergebnisse einfließen zu lassen. Dadurch kann die Wirkung eines Rückhaltesystems gut veranschaulicht werden, außer bei sehr hohen Geschwindigkeiten ist das Verhalten von Rückhaltesystem und Fahrzeug in allen Fällen plausibel zu begründen. Beim Anprall mit der Einwirkung TB81 ist man bei 20° Anprallwinkel in der Regel an der Grenze der Einwirkung für ein Rückhaltesystem. Bei einem Anprall unter 70° zeigt sich sehr deutlich, dass diese Grenze überschritten ist und sowohl die Verschiebungen als auch die Kräfte der Einwirkung deutlich über der zugelassenen Einwirkung liegen. Für solche außerordentlichen Anprallkräfte sind gesonderte Systeme zu entwickeln.

Die numerischen Berechnungen dienen zur Erweiterung der Ergebnisse aus dem AP3, da die analytischen Formeln die Energiedissipation und die zeitliche Dauer des Stoßvorganges nicht umfassend berücksichtigt. Diese Eigenschaft der Energiedissipation können die Ergebnisse präzisieren und veranschaulichen die Systemreserve des Rückhaltesystems.

Die zeitliche Dauer des Anpralles korreliert mit der negativen Beschleunigung auf das Fahrzeug die entsteht, wenn das Fahrzeug durch das Rückhaltesystem abgebremst wird. Je höher die Beschleunigung und kürzer die Anprallzeit, desto höher sind die Kräfte die auf das Fahrzeug wirken. Daher sind Rückhaltesysteme so ausgelegt, dass diese zu keinem abrupten abbremsen der Fahrzeugmasse führen, sondern durch die großen Verformungen beim Aufprall Energie über die Reibung zwischen Rückhaltesystem und Untergrund dissipiert. Dieser Vorgang soll durch die numerischen Simulationen bei steileren Aufprallwinkeln in erster Linie abgeschätzt werden.

In einem weiteren Schritt werden die Materialparameter wie Steifigkeit und Materialfestigkeiten des Rückhaltesystems berücksichtigt, um auch diese Nichtlinearität zu berücksichtigen und die Dissipation durch plastische Verformungen in die Berechnungsergebnisse einfließen zu lassen. Das Fahrzeug selbst wird nur als Masse berücksichtigt, da die exakte Fahrzeugmodellierung nicht Teil dieser Untersuchung ist und der ev. Mehrwert sehr fahrzeugspezifisch wäre.

4.2 Begriffsbestimmungen

Die Grundlage für die Modellierung der Bewegungsgleichungen für den Aufprall des Fahrzeuges mit der Geschwindigkeit $v_1 > 0$ auf das stehende Rückhaltesystem ($v_2 = 0$) bildet die Newton'sche Stoßtheorie [9]. Diese klassiert den Stoß und seine Folgen in einer ersten Modellannahme in die Grenzbetrachtungen für den

- elastischen oder weichen Stoß bzw.
- plastischen oder harten Stoß.

Für diese Definitionen wird bei Ersterem angenommen, dass die kinetische Energie des Fahrzeuges für beide Systeme nach dem Stoß erhalten bleibt, d.h., dass die Energie teilweise oder vollständig auf das gestoßene Objekt übergeht ($T = T'$, $v_1' \neq v_2'$). Bei zweiterer Definition wird angenommen, dass Energie durch plastische Deformationen oder Reibung dissipiert. (ΔT , $v_1' = v_2'$). Tatsächlich tritt bei einem Stoßvorgang eine Mischung beider Eigenschaften auf, wobei für die Definition die Stoßfunktion eine wesentliche Rolle spielt.

Die Stoßfunktion bildet den zeitlichen Verlauf der Kontaktkraft zwischen den beiden Objekten während des Stoßvorganges ab. Bei einem elastischen Stoß bildet sich ein stetiger Anstieg mit anschließendem Abfall der Kontaktkraft über eine verhältnismäßig längere Stoßzeit ab, während beim plastischen Stoß ein sehr plötzlicher, kurzer Impuls bezeichnend ist. Die Eigenschaften der beiden Grenzbetrachtungen ist in der Abbildung 4-1 zusammengefasst.

Für die Modellierung nach der Newton'schen Stoßtheorie wäre davon auszugehen, dass das System aus 2 Körper als geschlossenes System zu betrachten ist, d.h. es wirken keine äußeren Kräfte. Da aber eine Reibung zwischen Untergrund und Fahrzeugrückhaltesystem in einer numerischen Berechnung berücksichtigt wird, sind andere Ergebnisse zu erwarten. Die numerische Berechnung berücksichtigt das Überwinden der Haftreibung beim Anprall und das Gleichgewicht mit der Gleitreibung nach dem Stoß.

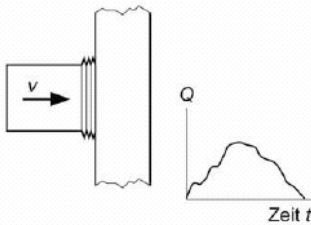
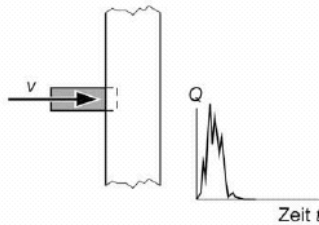
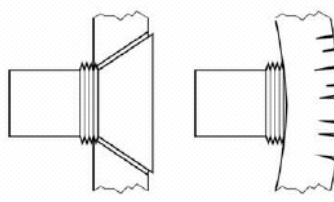
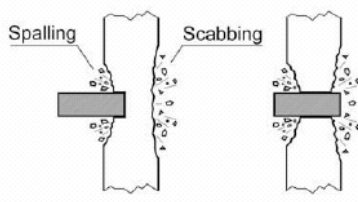
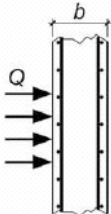

Einwirkung auf Bauteil	Stoßbelastung	
	weicher Stoß	harter Stoß
Physik. Modell, Problemstellung		
Ursachen des Anpralls (anprallender Körper)	<ul style="list-style-type: none"> – Fahrzeugkarosserie – Verkleidungen, Verdecke – wenig steife Ladungen 	<ul style="list-style-type: none"> – sehr harte, steife Ladungen – steife Fahrzeugaufbauten (z.B. Kran, Container)
Versagensarten	 <p>Schubversagen Biegeversagen</p>	 <p>Spalling Scabbing</p> <p>Penetration Perforation</p>
Massnahmen	 <p>Bemessung</p>	 <p>Schutzschicht</p>

Abbildung 4-1 Definitionen von der Stoßbelastung und der zugehörigen Stoßfunktion.

4.1 Bauarten von Fahrzeurückhaltesystemen

Die Einteilung der Fahrzeurückhaltesysteme erfolgt in erster Linie nach dem Material, und dabei kommen Systeme aus

- Stahl und
- Stahlbeton

zur Ausführung. Es ist evident, dass der überwiegende Anteil der Systeme aus Stahlbeton ausgeführt wird und dabei sind sowohl Varianten aus Fertigteilen wie Ortbeton möglich. Bei Fertigteilen haben die Hersteller eine breite Palette an möglichen Größen im Angebot, die dem jeweiligen Verwendungszweck und der Anprallheftigkeitsstufe (ASI) angepasst sind. Diese Produkte sind in der Regel entsprechend den geltenden Regeln getestet [10][11]. Der Fokus der gegenständlichen Untersuchung liegt bei der Untersuchung von Stahlbetonfertigteilen.

Ein wichtiges Detail bei der Ausführung von Stahlbetonfertigteilen ist die Verbindung der einzelnen Elemente, die eine Regellänge von 2, 4 und 6m haben, mit einem Stahlbaueinlegeteil (Abbildung 4-2b). Dies bewirkt durch die Zugbandwirkung eine Dämpfung des Anpralls durch die Aktivierung einer Kette von Reibungselementen. Das heißt, trifft ein Fahrzeug auf ein Element in der Kette wird dies bei ausreichender Anprallkraft aus der Ursprungslage verschoben und über das Verbindungselement werden die Nachbarelemente ebenfalls aktiviert. Dadurch wird einerseits mehr Masse für den Energieübertrag in Bewegung gesetzt und andererseits über die Aufstandsflächen mehr Reibung. Diese stückweise Steigerung des Anprallwiderstandes wirkt sich sehr positiv auf die Anprallheftigkeit aus und die Stoßkräfte werden über eine ausreichend lange Zeit übertragen um die Charakteristik eines „weichen Stoßes“ widerzugeben.

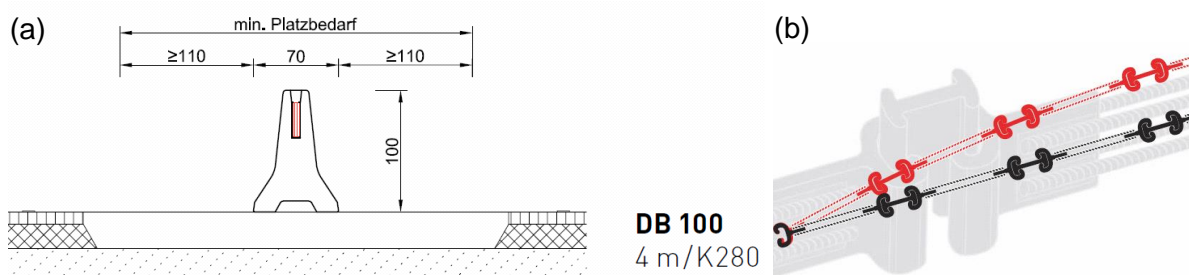


Abbildung 4-2 Beispiel Stahlbeton Rückhaltesystem (a) im Querschnitt (Deltblock DB 100) mit Verbindungsdetail für die Aktivierung der Zugbandwirkung.

4.2 Modellierung

Die numerische Modellierung erfolgt auf Basis einer Finite Element Methode (FEM) und die Lösungen erfolgen unter Berücksichtigung dynamischer Effekte mittels Zeitschrittintegration. Das transiente Ereignis durch den Stoß kann, je nach Eigenschaft des „Solvers“ der verwendeten FEM Software, implizit oder explizit gelöst werden. Implizite „Solver“ lösen jeden Zeitschritt durch eine numerische Integration iterativ zur Berücksichtigung von zeitabhängigen Eigenschaften wie z.B. die Massenträgheit. Dieses Verfahren ist sehr genau und stabil, aber bei einer Vielzahl von Rechenschritten sehr rechenintensiv. Explizite „Solver“ verwenden einen sehr kurzen Zeitschritt ohne Iteration. Dies beschleunigt die Rechenzeit, aber die Lösungen sind nicht immer konvergent. Bei Crash-Simulationen mit nichtlinearem Materialverhalten, z.B. in der Automobilindustrie, werden in der Regel explizite Solver eingesetzt, da zur Erfassung der kurz auftretenden Kontaktkräfte sehr kleine Zeitschritte notwendig sind.

Für sehr einfache Systeme ist eine analytische Lösung der Bewegungsgleichungen möglich, die bei einer geringen Anzahl an Freiheitsgraden von Vorteil ist. Da aber numerische Berechnungsverfahren in ihrer Handhabung zum Standard geworden sind, können diese auch bei einfachen Systemen schnell zu einer Lösung führen.

In weiterer Folge wird für die Berechnungen ein implizites Verfahren verwendet, da die Berücksichtigung der Reibung einen stabilen Solver erfordert. Die Modellierung erfolgt als Mehrkörpermodell für das Fahrzeurückhaltesystem und das Fahrzeug.

4.2.1 Voraussetzungen und Eigenschaften

Die Eigenschaften bei der Berechnung des tatsächlichen Verhaltens eines Anprallvorganges sind sehr vielfältig und komplex. Beginnend beim Fahrzeuglenker der einer Reaktionszeit unterliegt, das Fahrzeug, welches bei einem Aufprall plastisch verformt wird und das Aufprallsystem das infolge verschoben wird und über die Zugbandwirkung das Fahrzeug abfängt (Abbildung 4-3). Betrachtet man die mechanischen Mechanismen für eine möglichst vollständige Abbildung dieser Eigenschaften können bei einer numerischen Berechnung folgende Modelle miteinander verknüpft werden:

- 3D Fahrzeugmodell mit plastischen Materialeigenschaften zur Metallumformung.
- 3D Modell für das Fahrzeurückhaltesystem mit elastisch-plastischen bzw. bruchmechanischen Materialeigenschaften bei der Modellierung von Betonelementen.
- Modellierung der Aufstandsfläche des Fahrzeurückhaltesystems über reibungsbehaftete Elemente zur Abbildung der Haft und Gleitreibung.
- Modellierung von Kontaktflächen zur Übertagung der Kontaktkräfte während des Aufpralls zwischen Fahrzeug und Rückhaltesystem.
- Modellierung von Mehrkörpermodellen mit mehreren Freiheitsgraden für die Berechnung „großer Verformungen“.



Abbildung 4-3 Beispiele von Anprallversuchen zur Veranschaulichung Modellierungskomplexität.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden nicht alle der oben erwähnten Modelleigenschaften berücksichtigt, da nicht alle Parameter dafür erhoben werden können und die Eigenschaften

zu spezifisch wären, um ein allgemeines Verhalten durch ein heuristisches Modell abzuleiten. Die Verformbarkeit des Fahrzeuges wird durch einen Starrkörper ersetzt. Dies erleichtert die Modellierung erheblich und es ist gewährleistet, dass die kinetische Energie durch die Masse und Geschwindigkeit des Fahrzeuges beim Aufprall auf das Anprallsystem wirkt. Bruchmechanische Eigenschaften werden ebenfalls vernachlässigt, da diese in einem massigen Bauteil wie einem Rückhaltesystem aus Beton nur sehr lokal von Bedeutung sind und für das Gesamtverhalten geringen Einfluss haben.

4.2.2 Energiedissipation

Um die Auswirkungen des Anpralls auf das Fahrzeug und das Rückhaltesystem gut abschätzen zu können, muss der Übergang der kinetischen Energie aus der Fahrzeugbewegung in andere Energieformen richtig übersetzt werden. Beim Anprall erfolgt dies durch die plastische Verformung der Komponenten des Fahrzeuges und des Rückhaltesystems und durch Wärmeentwicklung bei der entstehenden Reibung. Bei der mechanischen Modellierung eignen sich dafür Dämpferelemente um dem System Energie zu entziehen. Diese globalen Dämpferelemente ermöglichen somit stellvertretend für Verformung und Wärme die dissipative Charakteristik. Die kinetische Energie für die unterschiedlichen Fahrzeuge und Geschwindigkeiten ergeben sich aus Tabelle 1-2 und nach Formel (3.4). Aus dieser Übersicht ergibt sich als oberer Grenzwert die Einwirkung TB81 bei 20° Aufprallwinkel, Sattelfahrzeug mit 38t und 65km/h. Die kinetische Energie beträgt für dies Einwirkung 724,6 kJ. Den unteren Grenzwert stellt die Einwirkung TB11 dar, ein PKW mit 900kg, 100km/h Aufprallgeschwindigkeit und 20° Winkel. In Abbildung 4-4 ist die Entwicklung der kinetischen Energie mit Zunahme des Aufprallwinkels im Vergleich mit dem oberen Grenzwert dargestellt.

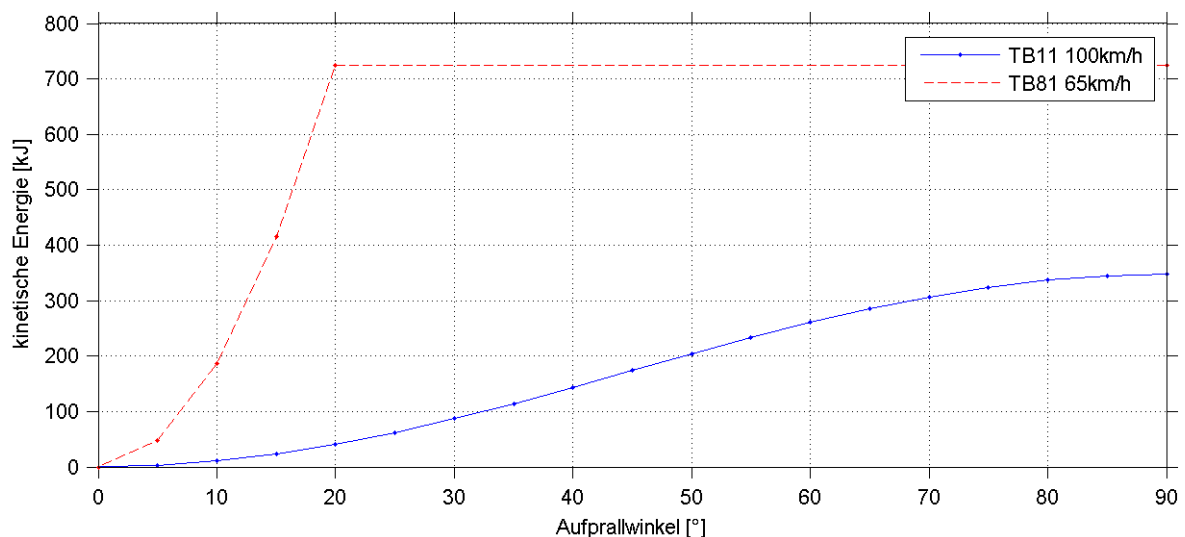


Abbildung 4-4 Kinetische Energie für die Grenzbetrachtung der Einwirkung TB 11 (900kg PKW) und TB81 (38.000kg Sattelfahrzeug).

In der Darstellung ist der dem Stand der Technik entsprechende Grenzwert (TB81) dargestellt der für Rückhaltesysteme bis 20° Anprallwinkel zulässig ist. Es ist auch sehr

deutlich zu erkennen, dass bei einer energetischen Betrachtung des PKW (TB11) selbst bei 90° und 100km/h Aufprallgeschwindigkeit erst die halbe Energie des Sattelzuges auf das Rückhaltesystem einwirkt und somit einen solchen Anprall standhalten sollte. Für die weiteren Berechnungen und Modellberechnungen werden diese beiden Grenzeinwirkungen betrachtet.

Die Kalibration der Energiedissipation für die verwendeten Dämpfer in der Modellierung erfolgt gemäß den Verformungsangaben der Hersteller für die jeweilige Einwirkung. Es finden sich Wandverschiebungen für ein H4b System für den Lastfall TB11 mit 5-10cm und für den Lastfall TB81 mit 70 bis 100cm jeweils bei einem Anprallwinkel von 20°.

4.2.3 Modell

Rückhaltesystem

Für die numerische Berechnung wird ein Mehrkörpermodell aus Starrkörpern, Federn, Dämpfern und Reibungselementen modelliert. Dieses Modell stellt einen heuristischen Ansatz dar auf dessen Basis eine Parametrisierung erfolgt und so das grundsätzliche Systemverhalten für Anprallwinkel größer 20° abgeleitet werden kann. Eine Modellübersicht mit den einzelnen Parametern für 4 gekoppelte Elemente ist in Abbildung 4-5 dargestellt. Alle Parameter ergeben sich aus den Herstellerangaben wie: Masse des Elementes, Federsteifigkeit des Zugbandes und die Dämpfereigenschaften werden auf die Verformungen je nach Einwirkung kalibriert. Die Nichtlinearität ergibt sich aus der Kontaktberechnung des Fahrzeuges mit dem Rückhaltesystem.

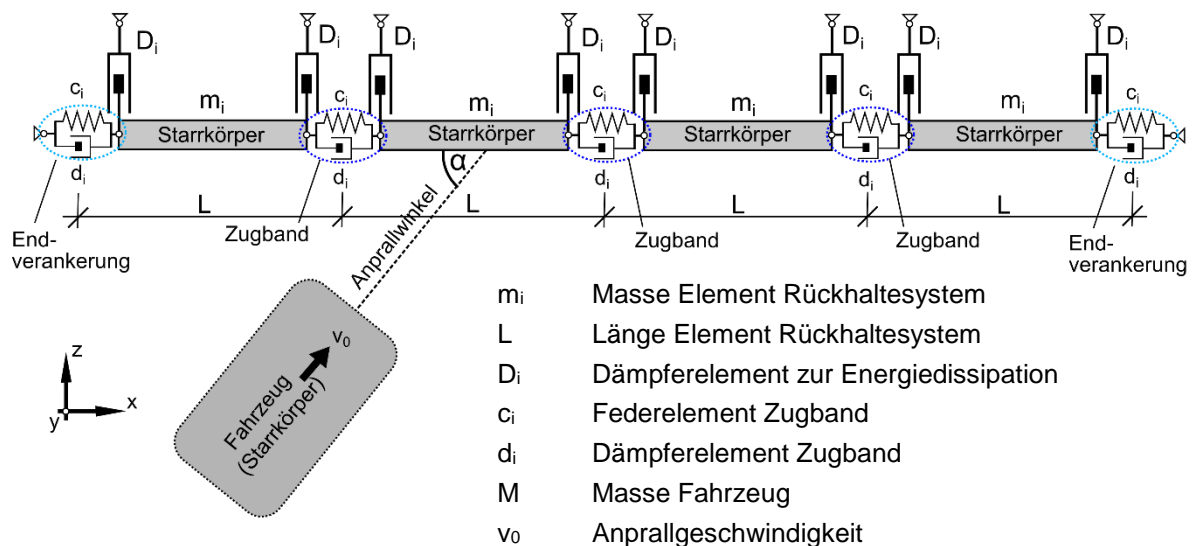


Abbildung 4-5 Starrkörpermodell für das Rückhaltesystem zur numerischen Berechnung mit einer beliebigen Anzahl von Starrkörpern (z.B. 4 Elemente).

Fahrzeuge

Die Fahrzeuge werden als Starrkörper modelliert, wobei die geometrischen Abmessungen sich nach den Angaben aus der Norm EN 1317-1 soweit definiert ergeben. Dabei ist der

Masseschwerpunkt 90cm hinter der Vorderachse anzusetzen. Für die Abmessungen der Fahrzeuge der Einwirkung TB11 und TB81 wurden die Abmessungen gemäß Abbildung 4-6 angewendet. Diese entsprechen einem durchschnittlichen Kleinwagen bzw. einem Sattelzug bestehend aus Zugmaschine und Anhänger. Der zweiteilige Sattelzug ist gelenkig verbunden um die unterschiedlichen Bewegungen von Zugmaschine und Anhänger durch die unterschiedliche Massenverteilung wiederzugeben. Bei allen Starrkörpern sind die Ecken mit einem Radius von 0,2m abgerundet um die Kontaktfläche zwischen Fahrzeug und Rückhaltesystem beim Anprall gleichmäßig abzubilden um keine Singularitäten bei der Kraftübertragung zu provozieren.

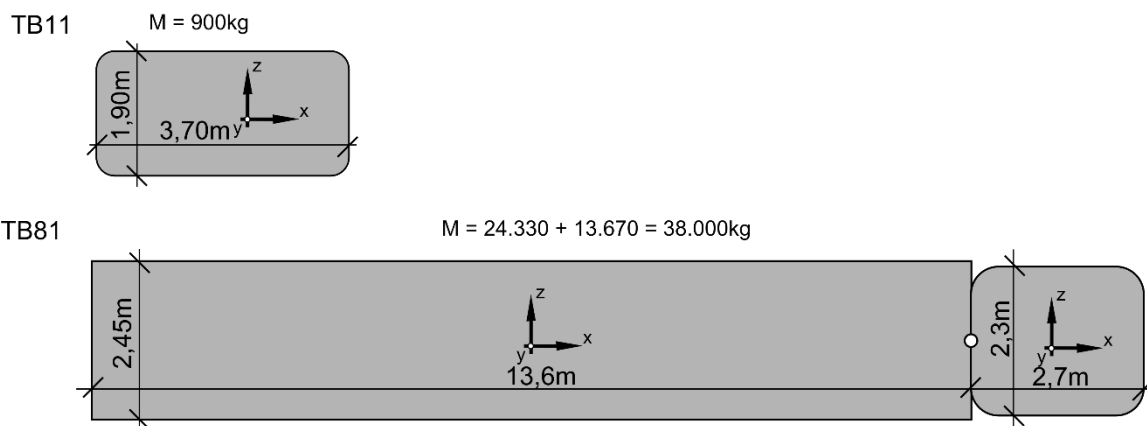


Abbildung 4-6 Starrkörpermodell der Fahrzeuge und abgeleitete Massen

4.3 Berechnung am Beispiel DeltaBlock 100, 4m

Die geometrischen Randbedingungen richten sich nach Abbildung 4-2 für einen Deltablock DB 100 [13] (Rückhaltstufe H4b). Dieser wird 3D modelliert und 5 Mal als gerades Fahrzeugrückhaltesystem berücksichtigt (Abbildung 4-5) und alle weiteren Parameter sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1 Modellparameter für das Rückhaltesystem

Parameter	Wert	Kurzbeschreibung
m_i	3.455kg	Masse DB100, H4b Rückhaltesystem
L	4,0m	Länge DB100
D_i	30.000Ns/m	Dämpferelement Energiedissipation
c_i	1.000.000N/m	Federsteifigkeit Zugband
d_i	100.000Ns/m	Dämpfung Zugband

In Abbildung 4-7 ist das 3D-FE-Modell veranschaulicht in der Umsetzung nach Abbildung 4-5. In der Visualisierung sind zwar die Dämpfer für die Energiedissipation ersichtlich, die Feder-Dämpferelemente zwischen den Betonelementen sind proportional nicht dargestellt. Ergänzend ist darauf hingewiesen, dass die Verschiebungen der einzelnen Körper (Betonelemente und Fahrzeuge) nur in der X-Z Ebene möglich ist, d.h. ein Überschlagen der Fahrzeuge ist nicht möglich.

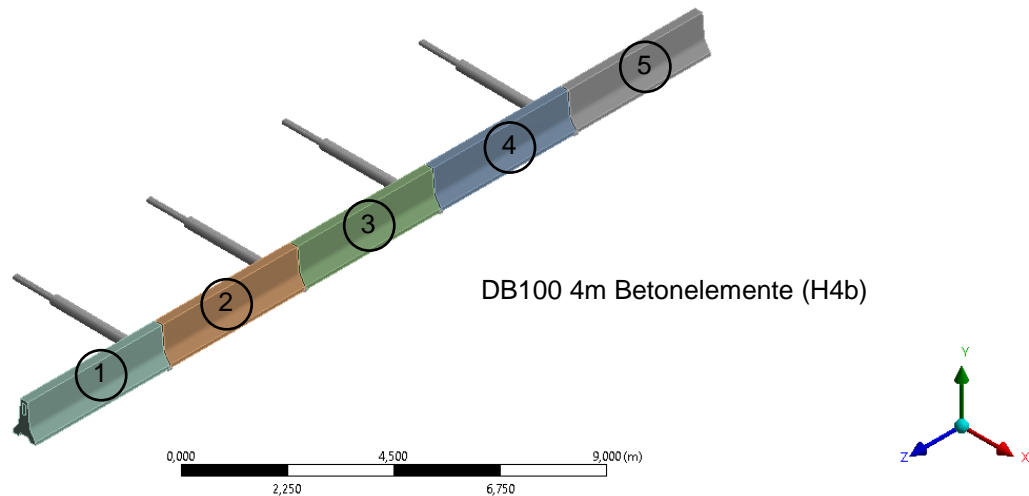


Abbildung 4-7 Starrkörpermodell als 3D-FEM Modell mit 5 DB100 Elementen (L=4m Länge).

4.3.1 Anprall mit TB11 Fahrzeug

Für die Berechnungen mit der Einwirkung TB11 werden die Anprallwinkel von 20 bis 90° in 10° Schritten untersucht. Das Fahrzeug aus Abbildung 4-6 prallt dabei jeweils mit 100km/h auf das Rückhaltesystem und die Zeitschrittintegration umfasst 1s (Anfahrt und Rückprall). Die kinetische Energie für das jeweilige Anprallszenario kann aus Abbildung 4-4 entnommen werden.

Fahrzeugbewegung

Die Fahrzeugbewegung ergibt sich aus dem anfänglichen Impuls und dem Rückprall, der sich aus einer translatorischen und rotatorischen Bewegung des Fahrzeuges zusammensetzt. Die Bewegungen des Fahrzeugschwerpunktes über 1s Bewegung ist in Abbildung 4-8 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass für das leichte Fahrzeug ein deutlicher Rückprall auftritt und für Aufprallwinkel bis 40° das Fahrzeug nicht direkt auf die Fahrbahn zurückgeworfen wird. Auch zu erkennen ist, dass bei diesen „flachen“ Winkeln das Heck des Fahrzeuges ebenfalls auf das Betonelement trifft und dadurch der Rotation verändert wird. Ob das Fahrzeug nach dem ersten Aufprall einen Drehimpuls nach links oder rechts erfährt ist in dieser Darstellung nicht ersichtlich, dies ist in der Abbildung 4-10 bis Abbildung 4-14 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass durch die Lage des Schwerpunktes des Fahrzeuges zum Anprallpunkt auf der Karosserie bei Anprallwinkeln bis 70° eine Rotation im Uhrzeigersinn auftritt. Ab 80° Anprallwinkel entsteht eine Rotation gegen den Uhrzeigersinn. In den Abbildungen ist auch gut zu erkennen, dass die Verschiebungen des Rückhaltesystems mit dem Anprallwinkel zunehmen.

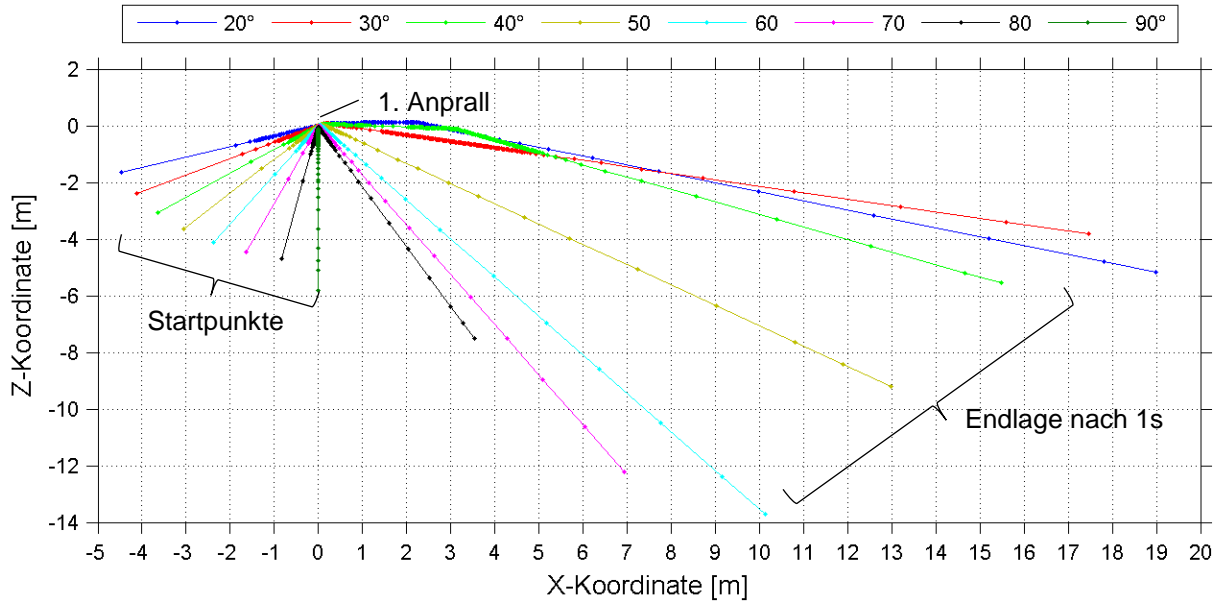


Abbildung 4-8 Zurück gelegter Weg nach 1s des Fahrzeugschwerpunktes TB11 bei Anprall mit 100km/h.

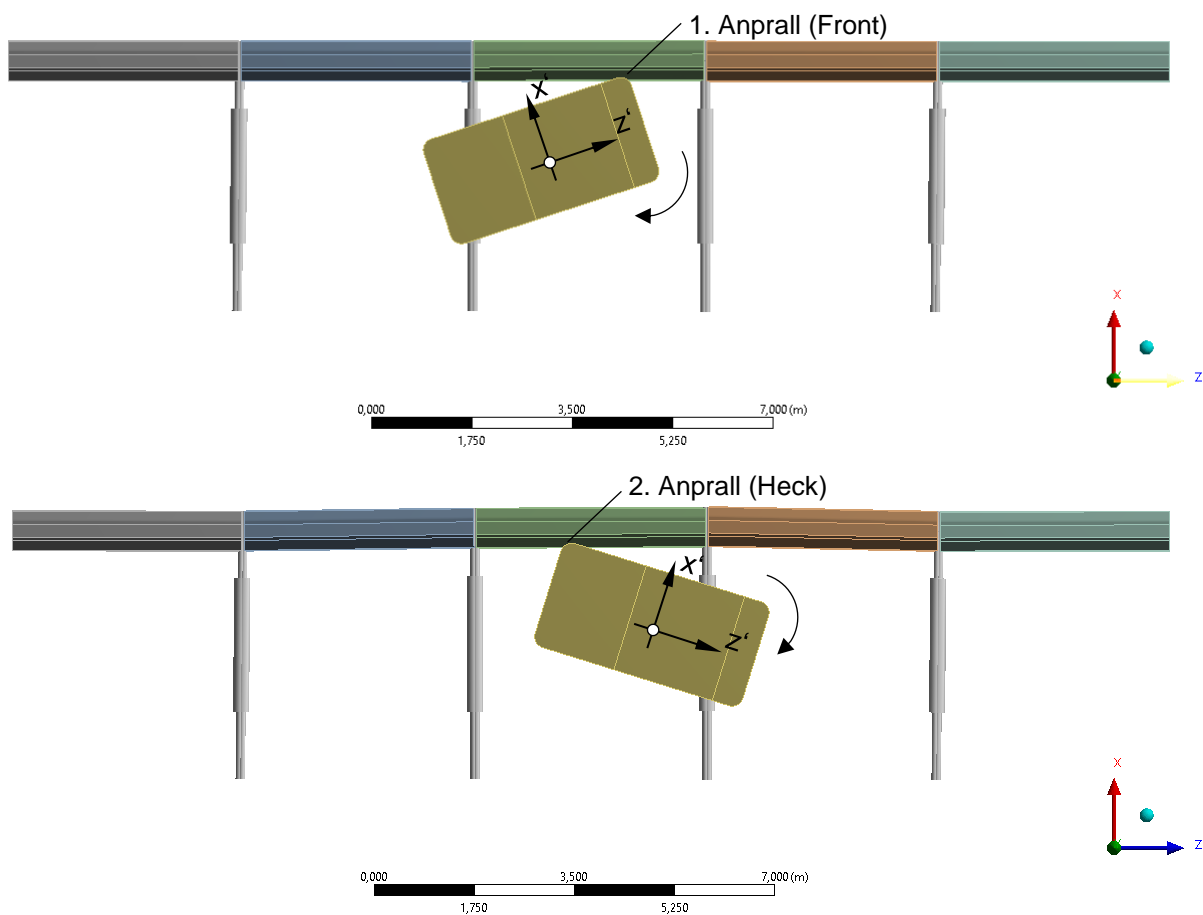


Abbildung 4-9 20° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1 und 2

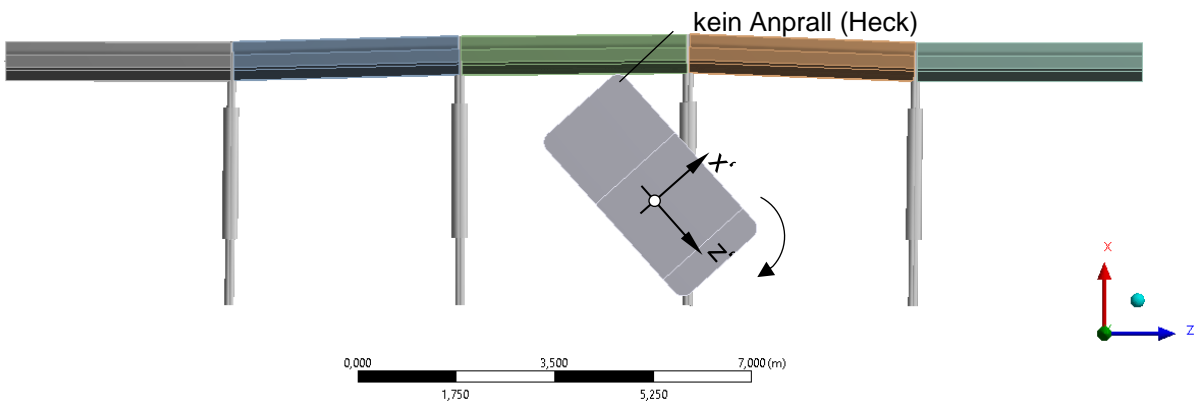
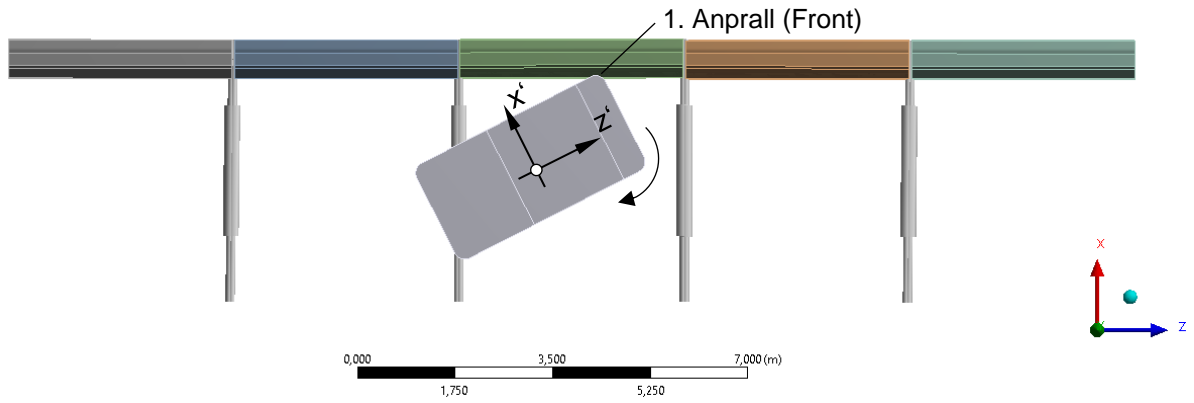


Abbildung 4-10 30° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1

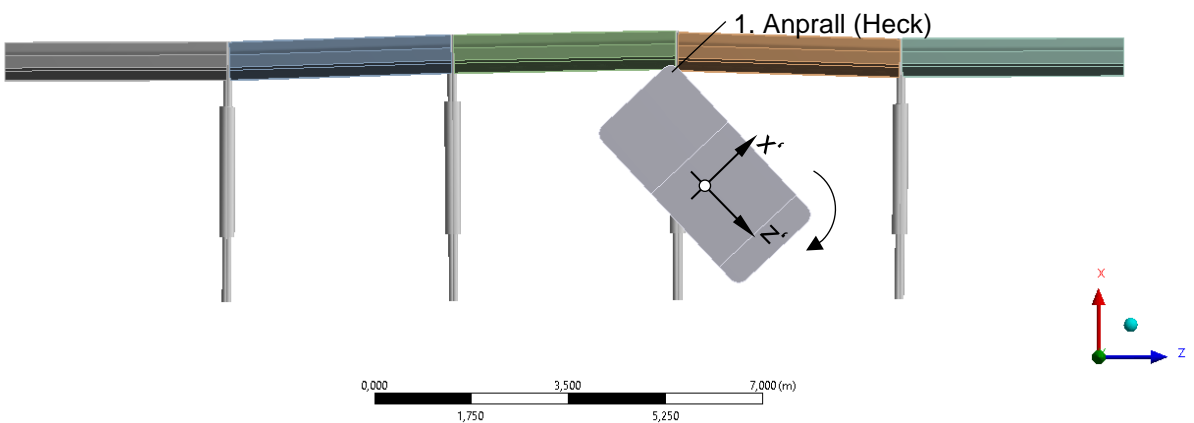
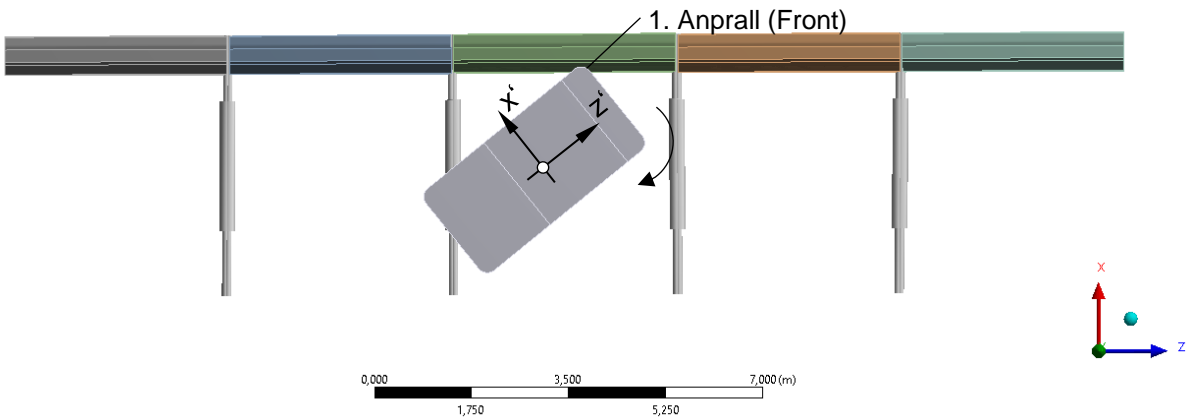


Abbildung 4-11 40° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1 und 2

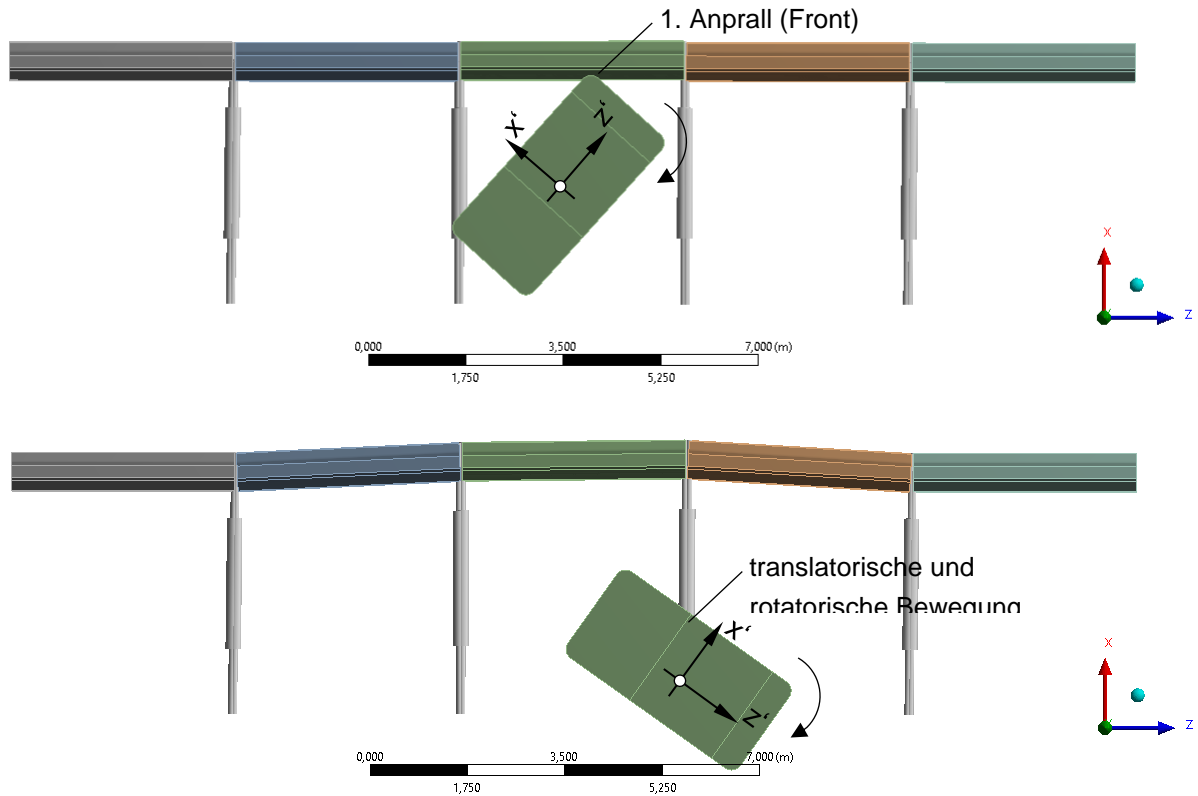


Abbildung 4-12 60° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1

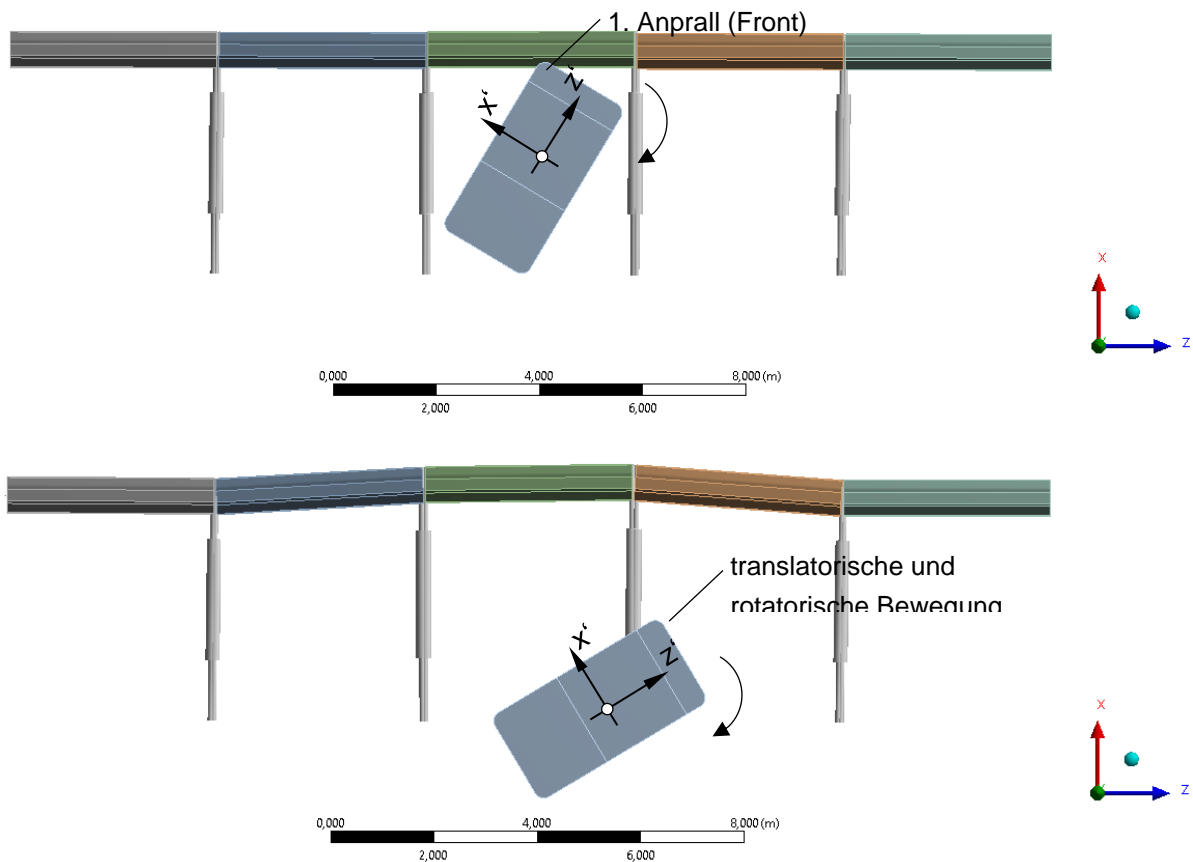


Abbildung 4-13 70° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1

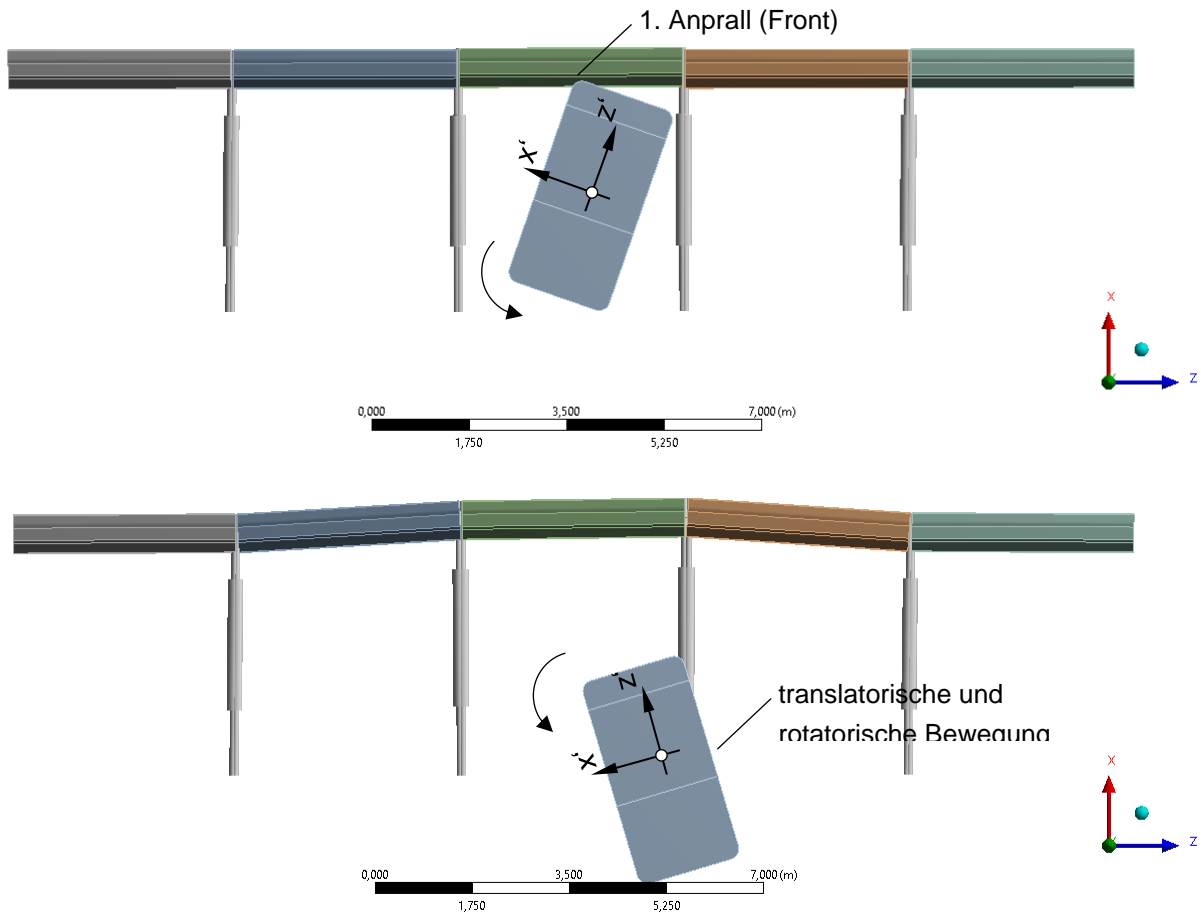


Abbildung 4-14 80° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1

Fahrzeuggeschwindigkeiten nach dem Aufprall

Die Fahrzeuggeschwindigkeiten nach dem Aufprall ist ein Indikator, wie viel Energie durch den Anprall auf das Rückhaltesystem übertragen wird. In Abbildung 4-15 und Abbildung 4-16 ist der Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeit am Schwerpunkt über die Zeit aufgetragen. In den Grafiken wird evident, dass das Rückhaltesystem mit zunehmendem Anprallwinkel mehr Energie übernimmt. Die endgültigen translatorischen Geschwindigkeiten beim Abprall variieren betragsmäßig, da beim Anprall auch Energie in der rotatorischen Bewegung des Fahrzeuges übergeht. Daher kommt es z.B. bei 20° und 40° Anprallwinkel durch die zweite Berührung mit dem Heck zu einer Reduktion der Rotation und die translatorische Geschwindigkeit nimmt wieder zu.

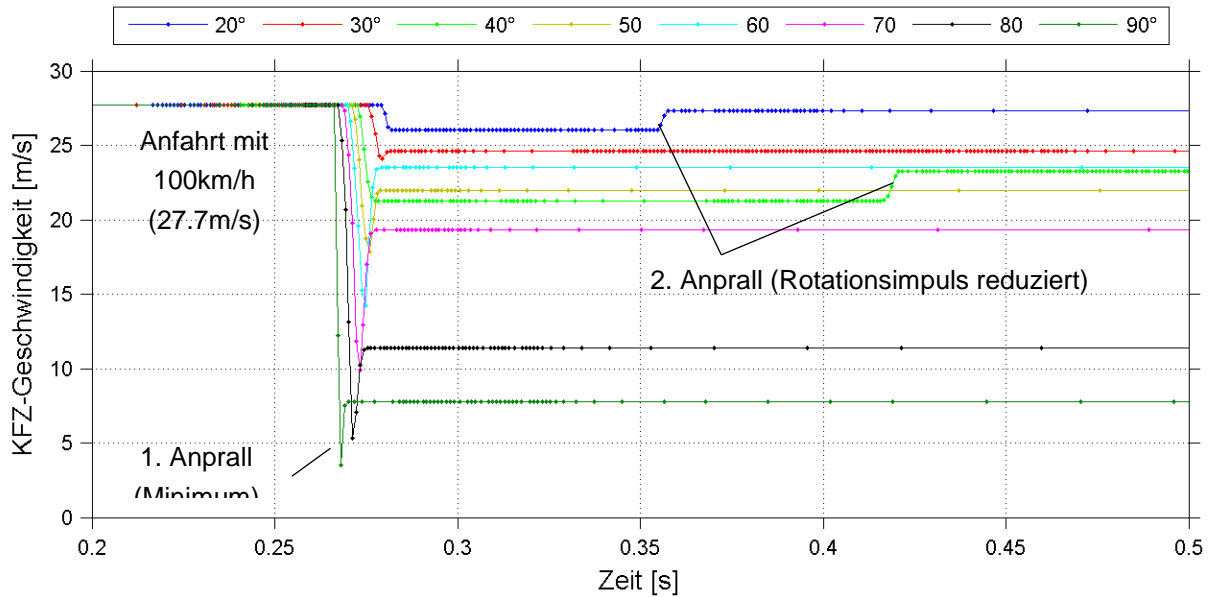


Abbildung 4-15 Verlauf der Geschwindigkeiten (translatorisch) am Fahrzeugschwerpunkt über die Zeit für die Einwirkung TB11.

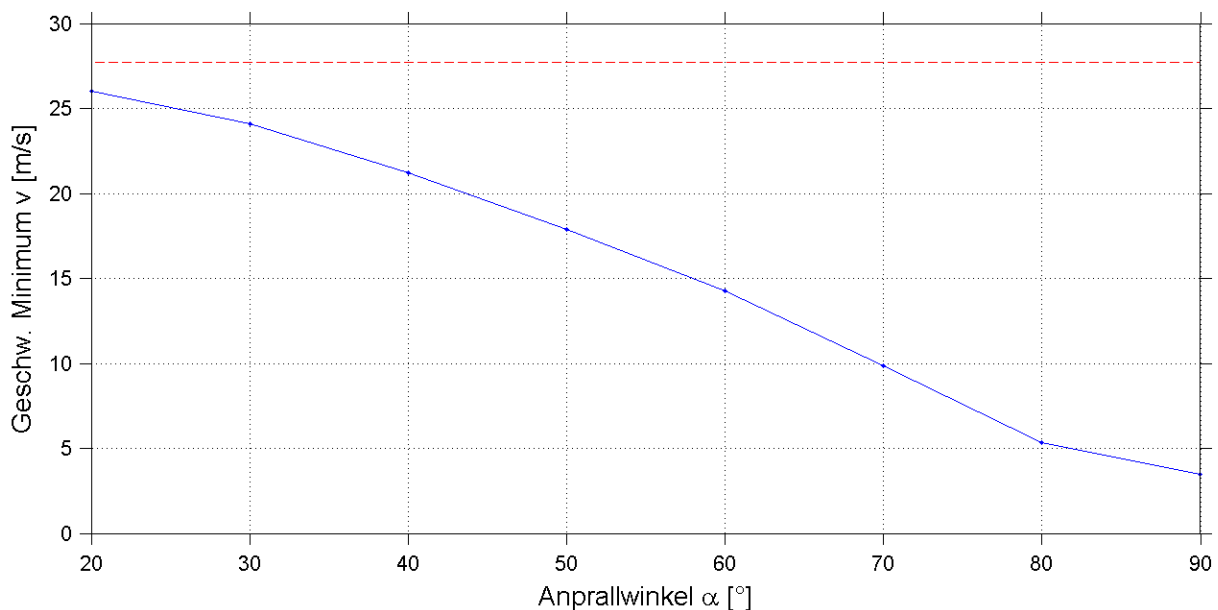


Abbildung 4-16 Minimum der Geschwindigkeit (translatorisch) am Fahrzeugschwerpunkt beim Aufprall.

Bewegung des Rückhaltesystems

Durch den Anprall des Fahrzeuges wird das Fahrzeugrückhaltesystem verschoben beginnend beim Element das vom Fahrzeug als erstes getroffen wird. Die maximalen Verschiebungen in horizontaler Richtung (X-Richtung) sind für alle Anprallrichtungen in Abbildung 4-17 und Abbildung 4-18 zusammengefasst. Die Maximale Wandverschiebung über die gesamte Länge des Rückhaltesystems ist jeweils zum Zeitpunkt der größten Verschiebung angeführt. Es ist zu erkennen, dass bei der Einwirkung TB11 nur die 3 mittleren Elemente aktiviert bzw. größeren Verformungen unterliegen. Die Randelemente werden erst ab einem Anprallwinkel $>70^\circ$ aktiviert, wodurch die Gesamtverformung

reduziert wird. Die Größe der Verformung hängt auch von der Verdrehung des mittleren Elementes ab und daher korreliert die maximale Verformung nicht direkt mit dem steilsten Anprallwinkel.

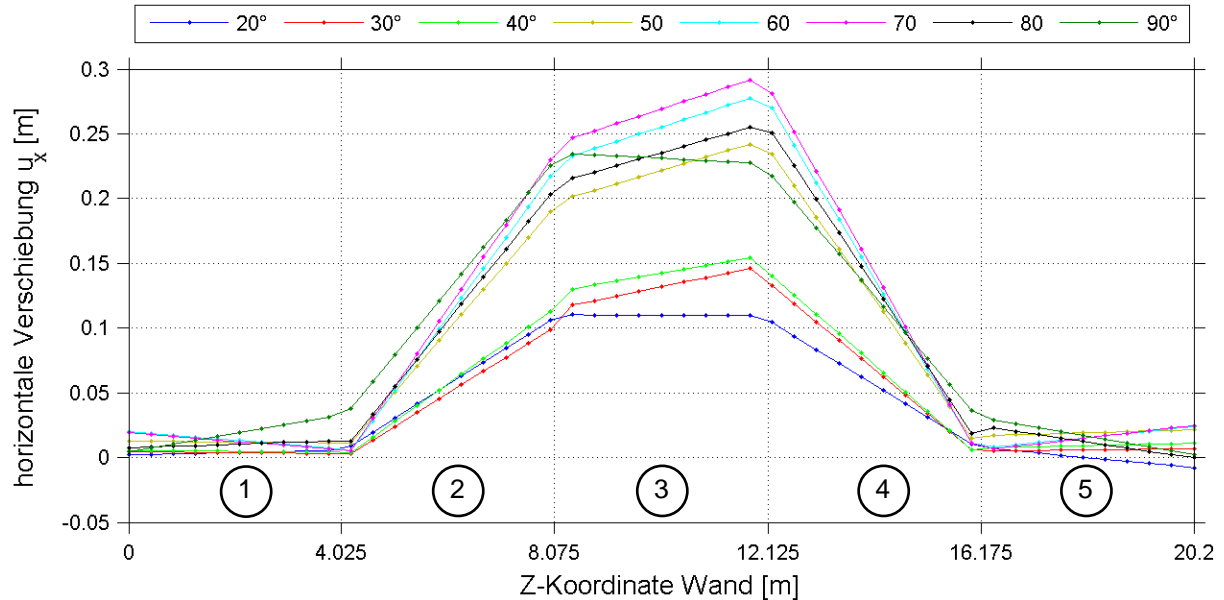


Abbildung 4-17 Maximale horizontale Wandverschiebung (u_x) für die Einwirkung TB11

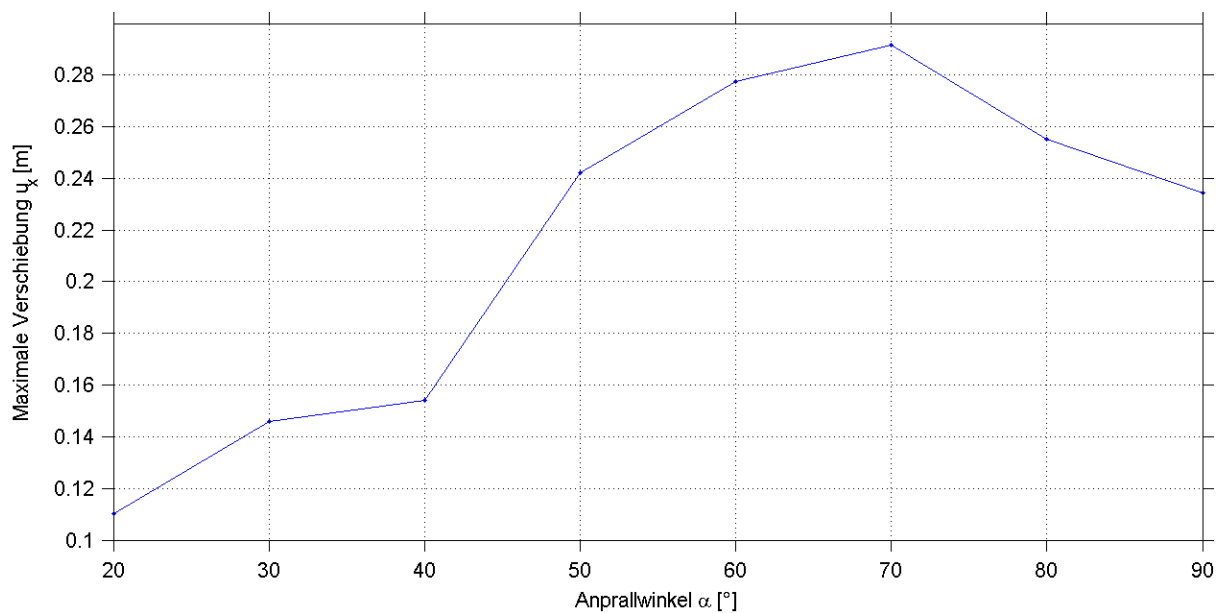


Abbildung 4-18 Maximale horizontale Wandverschiebung (u_x) für unterschiedliche Anprallwinkel für die Einwirkung TB11

Dämpferkräfte - Reaktionskräfte

Die geschwindigkeitsproportionalen Dämpferkräfte werden als Einwirkung des Rückhaltesystems über die Zeit für die Evaluierung der Einwirkung herangezogen. Dazu werden die nach Abbildung 4-17 in die Verschiebung maßgeblich beteiligten Dämpferelemente berücksichtigt, folglich jene die an das mittlere Element angebunden sind. Die zeitlichen Verläufe der Summe der Dämpferkräfte sind in Abbildung 4-19 dargestellt.

Auch bei den Dämpferkräften zeigt sich keine direkte Korrelation mit der einwirkenden Energie durch das anfahrende Fahrzeug und die Systemkräfte haben 70° Aufprallwinkel das Maximum. Der zeitliche Verlauf der Dämpferkräfte kann auch als Stoßfunktion herangezogen werden.

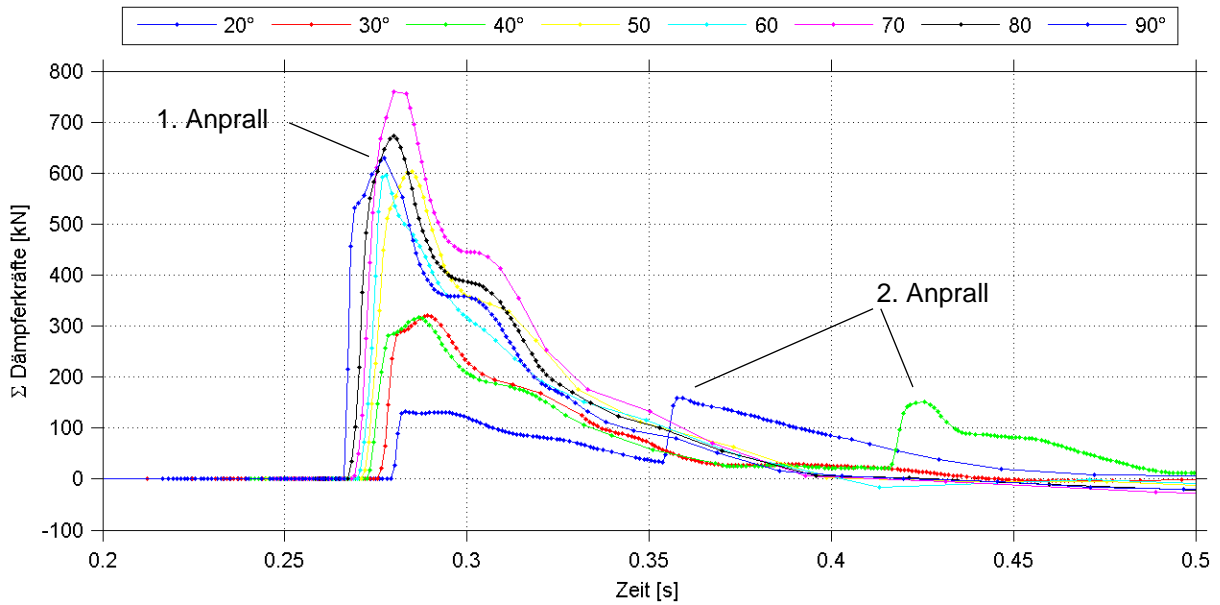


Abbildung 4-19 Dämpferkräfte am mittleren Element für die Einwirkung TB11

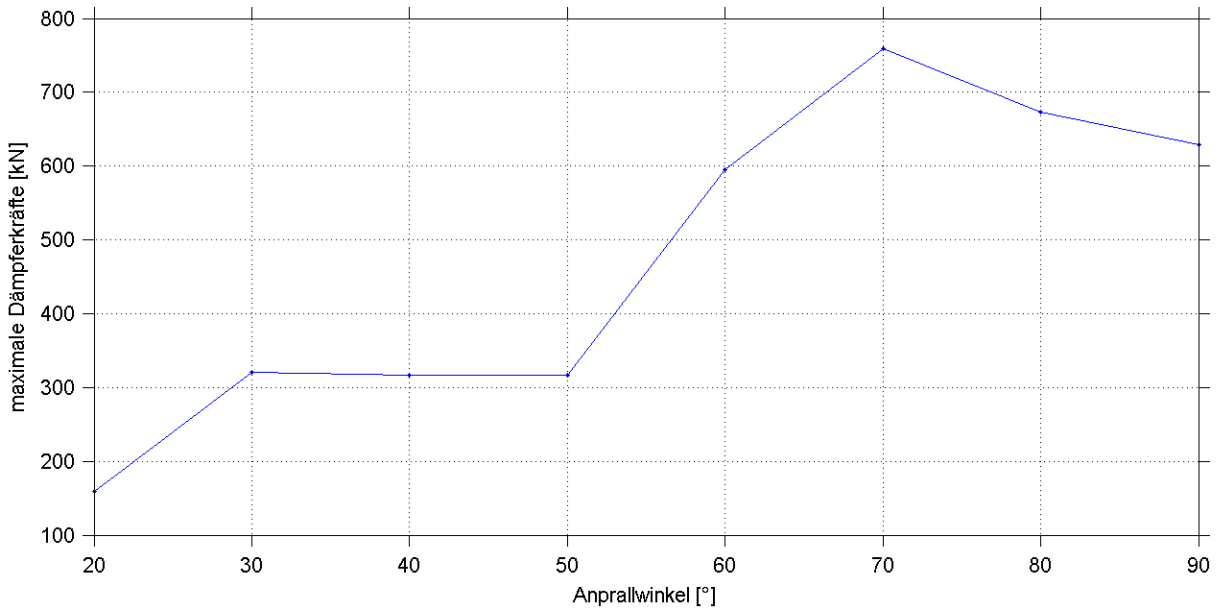


Abbildung 4-20 maximale Dämpferkräfte für Einwirkung TB82

4.3.2 Anprall mit TB81 Fahrzeug

In gleicher Weise wie bei der Einwirkung TB11 wird auch bei TB81 verfahren mit dem Unterschied, dass nur die Anprallwinkel von 20° und 70° untersucht werden. Die Geometrischen Abmessungen für den Starrkörper des Sattelzuges ist in Abbildung 4-6 dargestellt die Geschwindigkeit vor dem Anprall beträgt 65km/h.

Fahrzeugbewegung

Betrachtet man die translatorische Bewegung des Schwerpunktes der Zugmaschine in Abbildung 4-22 so verhält sich bei einem Anprallwinkel von 20° das Fahrzeug normgemäß. Das Fahrzeug verschiebt das Rückhaltesystem um rund 1,0m und geleitet dabei entlang der Betonelemente und wird nicht auf die Fahrbahn zurückgeworfen. Im Gegensatz dazu wird bei einem Anprall Winkel von 70° das Fahrzeug über die Angaben des Herstellers verschoben (>1,10m) und Richtung Fahrbahn gelenkt. Voraussetzung dafür ist, dass das Rückhaltesystem nicht versagt und die Zugbandwirkung erhalten bleibt.

In Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23 ist das Verhalten des Fahrzeuges in Hinblick auf die Bewegung aus Translation und Rotation dargestellt. Es ist das oben beschriebene Verhalten gut zu erkennen. Weiters ist zu erkennen, dass beim Anprallwinkel von 70° die Zugmaschine gegen den Uhrzeigersinn bewegt wird und der Anhänger dann die die Bewegung im Uhrzeigersinn weiterführt. Die Bewegung des Gelenkes ist für die Berechnung ist mit 45° beschränkt.

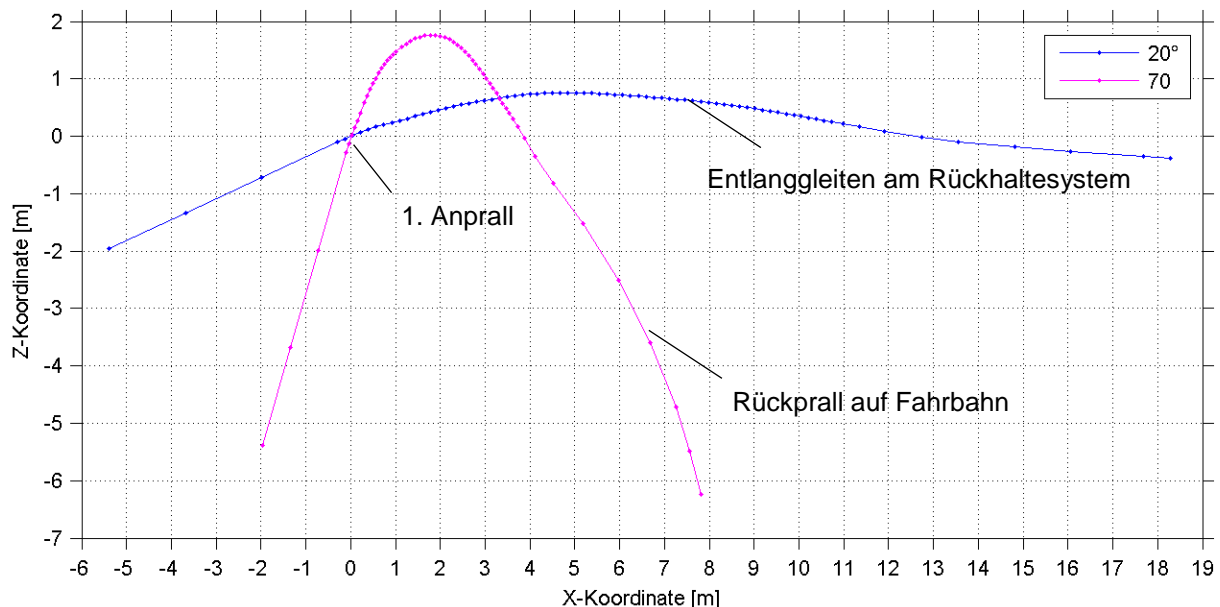


Abbildung 4-21 Zurück gelegter Weg nach 1,5s des Fahrzeugschwerpunktes TB81 bei Anprall mit 65km/h.

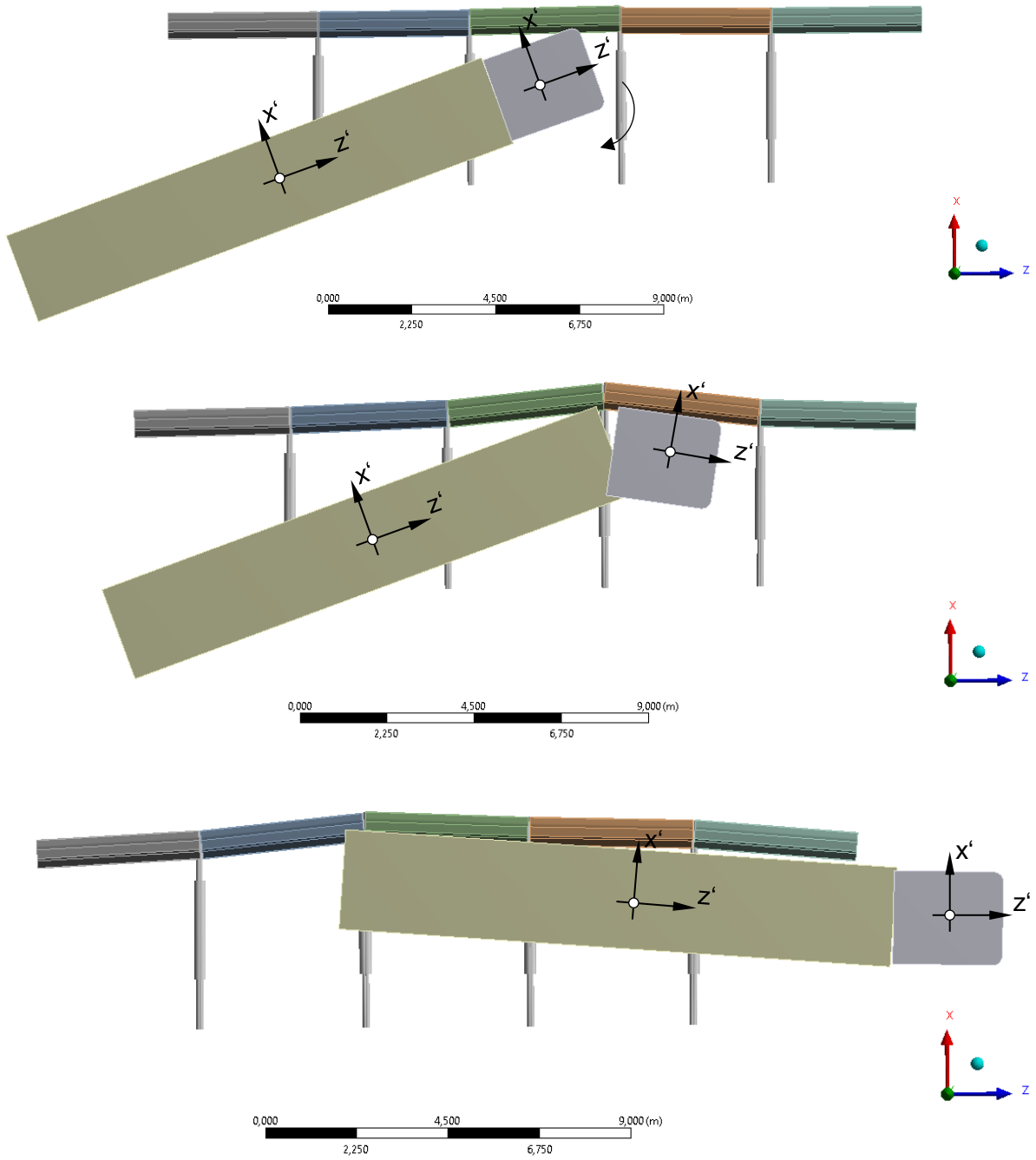


Abbildung 4-22 20° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1, 2 und 3

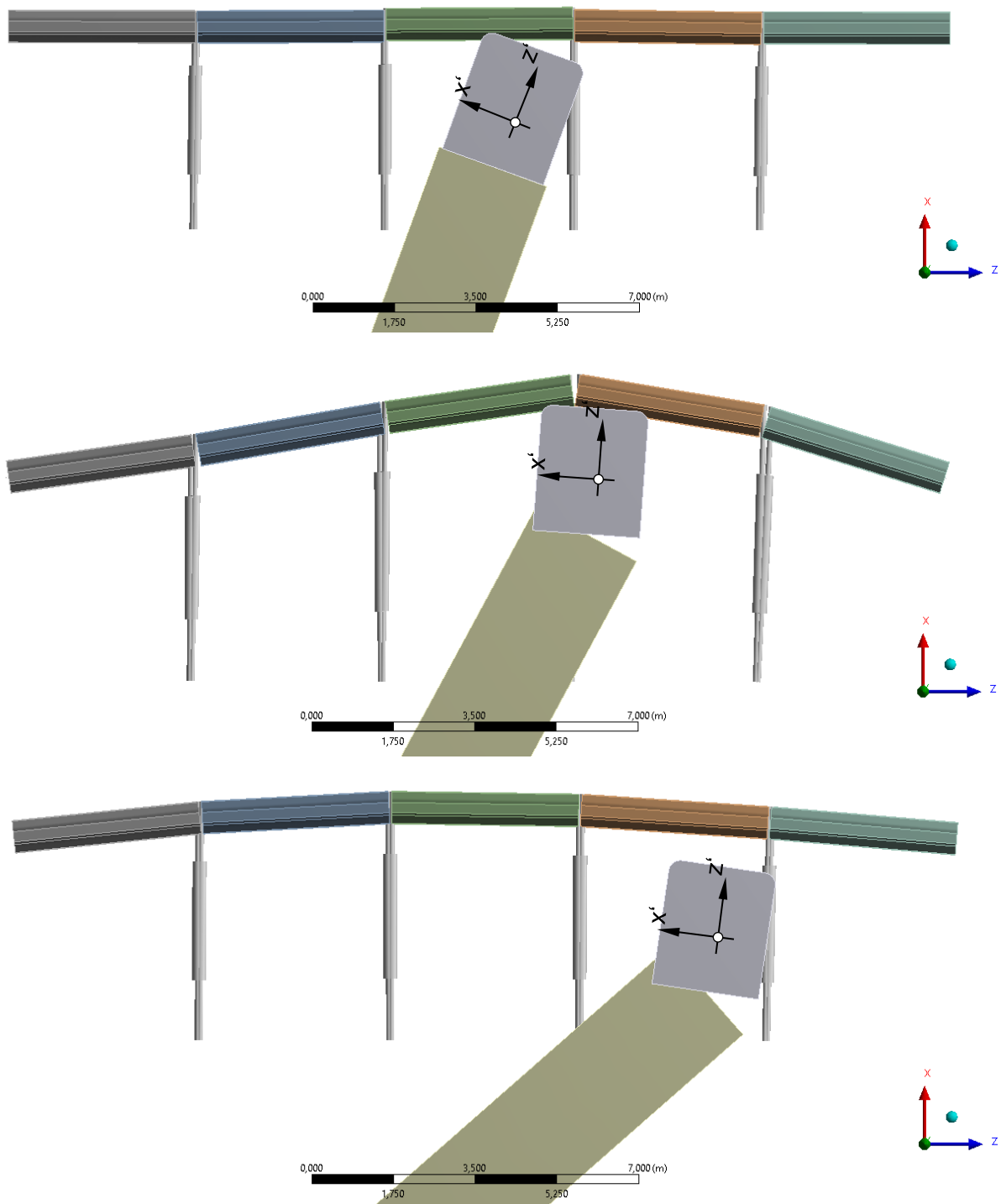


Abbildung 4-23 70° Aufprallwinkel, Fahrzeuganprall 1 und 2

Fahrzeuggeschwindigkeit nach dem Aufprall

In der folgenden Abbildung 4-24 und Abbildung 4-25 sind die zeitlichen Verläufe der translatorischen Geschwindigkeiten der Zugmaschine dargestellt. Durch die fehlenden Reibungskräfte zwischen Wand und Fahrzeug gleit der Sattelzug nur mit geringfügigem Geschwindigkeitsverlust entlang des Rückhaltesystems. Bei steilem Anprallwinkel wird hingegen das Fahrzeug stark abgebremst vorausgesetzt die Zugbandwirkung hält Stand.

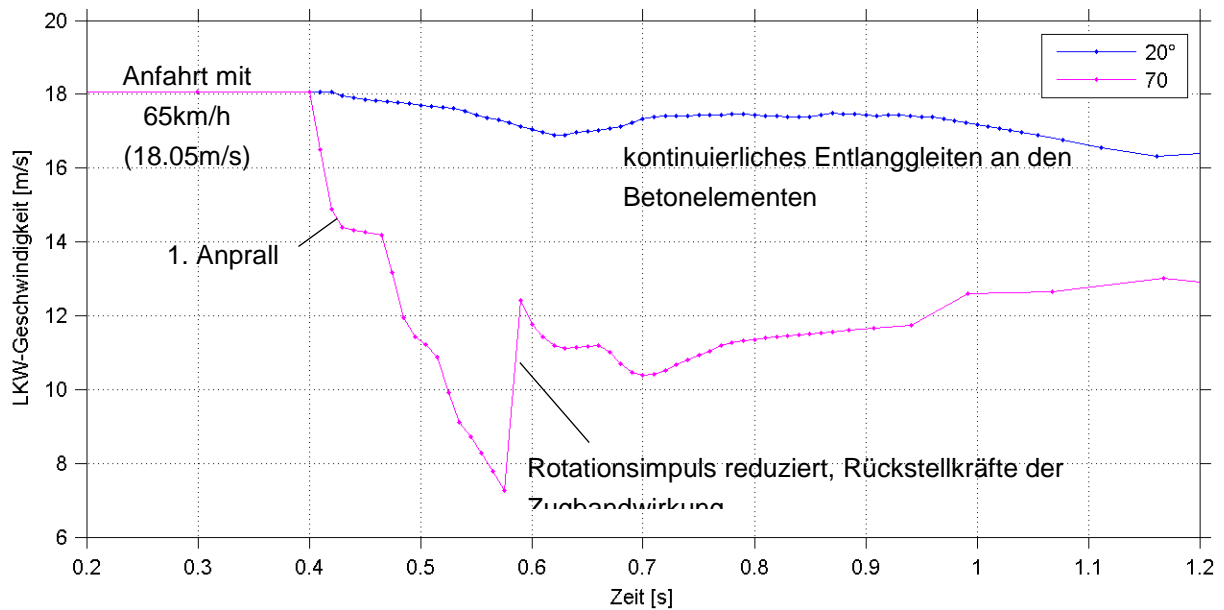


Abbildung 4-24 Verlauf der Geschwindigkeiten (translatorisch) am Fahrzeugschwerpunkt der Zugmaschine über die Zeit für die Einwirkung TB81.

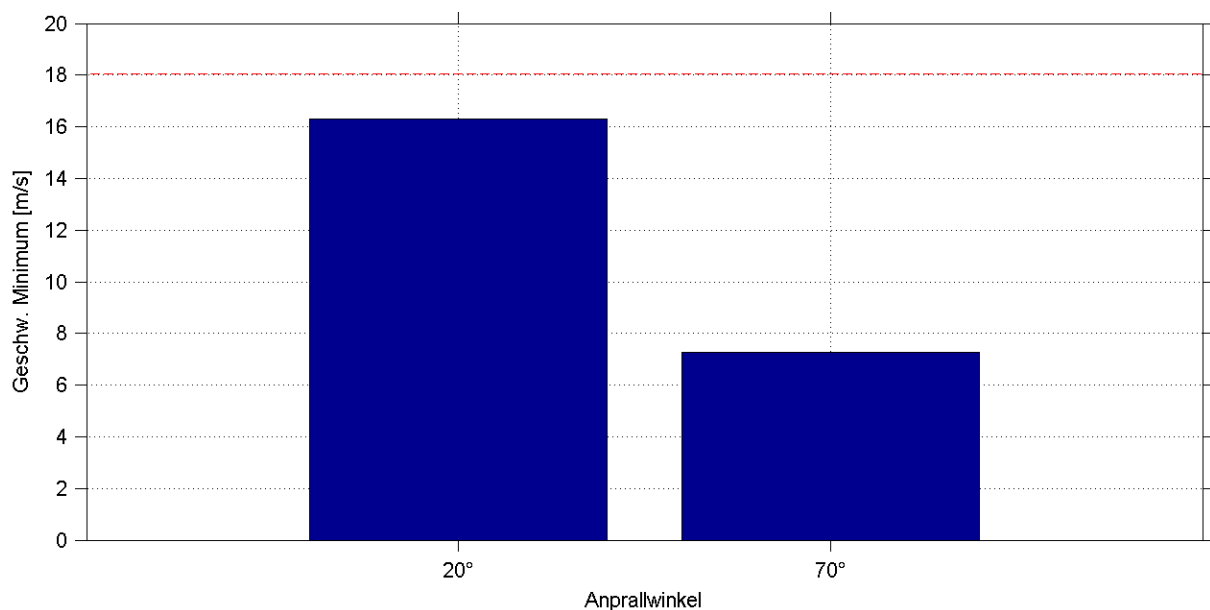


Abbildung 4-25 Minimum der Geschwindigkeit (translatorisch) am Fahrzeugschwerpunkt der Zugmaschine nach dem Aufprall.

Bewegung des Rückhaltesystems

Die Bewegung des Rückhaltesystems umfasst bei der Einwirkung TB81 die Verschiebung aller Elemente und es wird auch die Endverankerung deutlich aktiviert. Beim Anprall unter 20° ergibt sich die größte Verschiebung, wenn der Anhänger beim ausdrehen auf das mittlere Element trifft. Beim Anprall unter 70° ergibt sich eine doppelt so große maximale Verschiebung, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Endverankerung zu stark zum Tragen kommt und die elastischen Zugbänder eine über die Maße rückstellende Wirkung erzielen. Für den Fall, dass mehr Betonelemente modelliert werden, können auch diese aktiviert werden und die Verschiebung wäre noch deutlich größer.

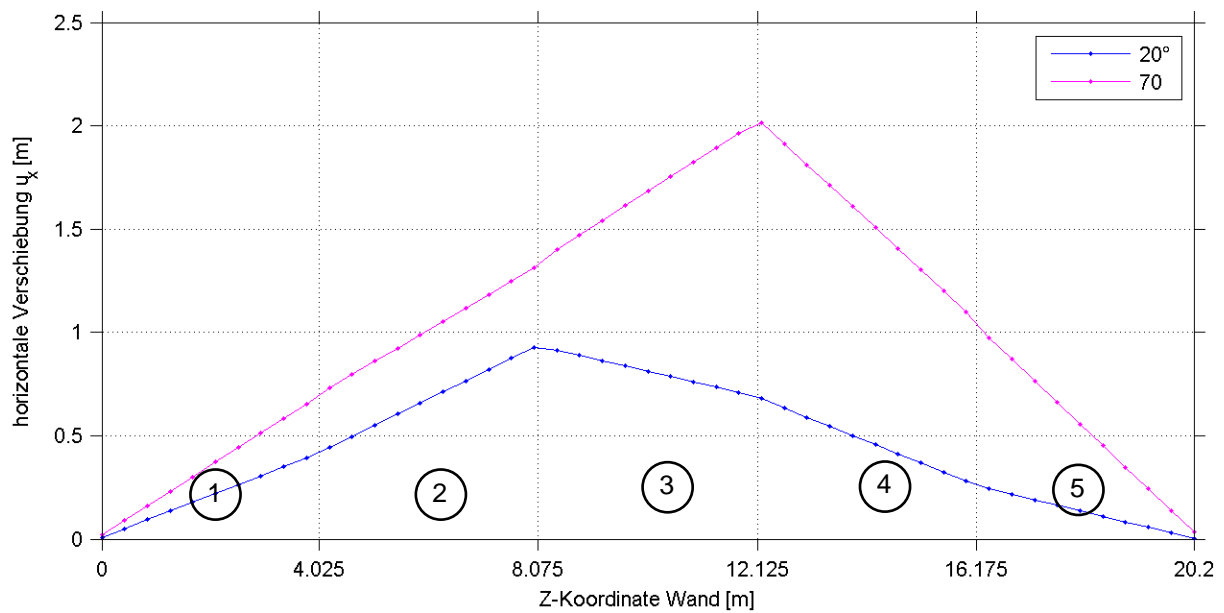


Abbildung 4-26 Maximale horizontale Wandverschiebung (u_x) für die Einwirkung TB81

Dämpferkräfte

Auch für die Einwirkung TB81 werden die Dämpferkräfte als Reaktion des Rückhaltesystems ausgewertet, wobei als Einschränkung angemerkt sein soll, dass die Endverankerung der fünf Betonelemente bei den Verformungen eine grundsätzlich nicht zu vernachlässigende Rolle spielen. Für diese Auswertung werden alle Dämpferelemente aufsummiert um die Reaktionskräfte als Summe aller bewegten Elemente darzustellen. Der Verlauf der Dämpferkräfte und die Veranschaulichung der Stoßfunktion ist in Abbildung 4-27 zusammengefasst.

Für den Anprall mit 20° wird im Vergleich mit der Einwirkung TB11 (90°) eine ähnlich hohe Dämpferkraft erreicht, obwohl die Energie bei der Einwirkung TB81 (20°) doppelt so hoch ist. Grund dafür ist der Verlauf der Stoßfunktion die eine längere Einwirkung und größere Verschiebung zulässt.

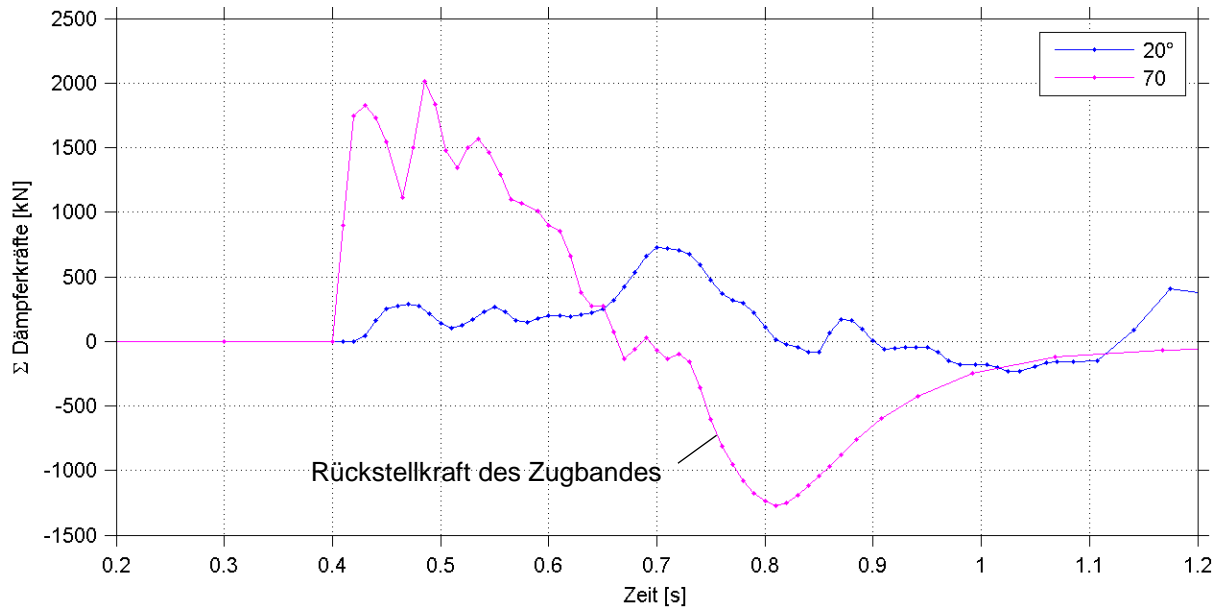


Abbildung 4-27 Verlauf der Summe der Dämpferkräfte auf alle Elemente bei Einwirkung TB81.

4.4 Zusammenfassung

Durch die Entwicklung des heuristischen Modelles für das Rückhaltesystem auf Basis eines Mehrkörpermodells kann die Wirkung des Rückhaltesystems gut veranschaulicht werden. Das Verhalten der Fahrzeuge beim Ablenken und die Verschiebung der Betonelemente zeigt sich bei allen Einwirkungen, außer bei der sehr hohen Einwirkung TB81 (70°), als plausibel.

Für das leichte Fahrzeug mit 900kg und 100km/h (TB11) kann davon ausgegangen werden, dass ein H4b System bei allen Anprallwinkeln Stand hält, aber es ist sehr wahrscheinlich, dass die Anprallheftigkeit speziell für Winkel >40° nicht eingehalten werden kann und die Fahrzeuginsassen nicht ausreichend geschützt sind.

Beim Anprall mit der Einwirkung TB81 ist man bei 20° Anprallwinkel in der Regel an der Grenze der Einwirkung für ein Rückhaltesystem. Bei einem Anprall unter 70° zeigt sich sehr deutlich, dass diese Grenze überschritten ist und sowohl die Verschiebungen als auch die Kräfte der Einwirkung deutlich über der zugelassenen Einwirkung liegen. Für solche außerordentlichen Anprallkräfte sind gesonderte Systeme zu entwickeln.

5 AP 5: Statistische Untersuchung der Unfallergebnisse und Darstellung probabilistischer Ansätze zur Untersuchung

5.1 Allgemeines und Zielsetzung

Arbeitspaket 5 dient der Darstellung der Anprallwahrscheinlichkeit an ein Rückhaltesystem mit darauffolgendem Durchbruch durch das System. Da es nicht möglich war, aus den bestehenden Datenbanken aussagekräftige Ergebnisse für den Anprall an Rückhaltesysteme im Innenbereich von Kreisverkehren auszulesen, wurde ein mathematisches Wahrscheinlichkeitsmodell zur Berechnung einer Anprallwahrscheinlichkeit herangezogen. Eine Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit des Rückhaltesystems wurde aufgrund fehlender Daten hinsichtlich der Einwirkungen nicht durchgeführt.

Folgende Inhalte sind in Arbeitspaket 5 inkludiert:

- Holistische Untersuchung von Unfallvorgängen bei Kreisverkehren
- Ableitung und Erfassung der Unfallrisiken auf unter Berücksichtigen der Variation der Trassierungselemente, Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn
- Darstellung eines probabilistischen Bemessungsansatzes auf Basis der Unfallwahrscheinlichkeit
- Ableitung von notwendigen Systemeigenschaften für die Weiterentwicklung, zielgerichtete Bemessung aufgrund des geforderten Sicherheitsniveaus gem. Eurocode

5.2 Datenauswertung

5.2.1 Datenbank des BMI

Seit 2012 erfolgt die Erhebung und Übermittlung von Unfalldaten in Österreich elektronisch über das „Unfalldatenmanagement“ (UDM). In dieser Datenbank werden nur Unfälle mit Personenschäden dokumentiert, nicht jedoch Unfälle mit Sachschäden.

Die Erfassung der Daten selbst erfolgt durch Organe der Polizei, die ermittelten Daten werden dann an die Statistik Austria zur weiteren Verwendung weitergegeben. Dabei werden die Unfalldaten mithilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) mit räumlichen Koordinaten versehen um die Ermittlung von Häufungsstellen für Unfälle zu erleichtern.

Schwierig gestaltet sich die Auswertung der in der Datenbank hinterlegten Daten. So sind für die Fragestellung vor allem Informationen über Unfälle in Kreisverkehren interessant, insbesondere jene Informationen über Anprallwinkel und Anprallgeschwindigkeit.

Bei der Auswertung der Daten konnten durch gezielte Abfragen Unfälle im Bereich von Kreisverkehren zwar erfasst werden, jedoch zeigte die genaue Analyse dieser Daten, dass es sich bei diesen Unfällen zumeist um Auffahrunfälle im Bereich der Einfahrt in den jeweiligen Kreisverkehr handelt. Da diese Unfälle allerdings ohne direkten Anprall an das Rückhaltesystem ablaufen sind sie für die vorliegende Fragestellung nicht relevant.

Unfälle, welche eindeutig der Problemstellung zugeordnet werden können, konnten durch die Datenabfrage nicht ermittelt werden. Aus diesen Gründen wurde von der abgesicherten statistischen Erfassung der Daten aus der UDM Datenbank Abstand genommen, da eine Auswertung von Unfalldaten aufgrund fehlender Information betreffend der vorliegenden Fragestellung zu ungenau gewesen wäre.

Um relevante statistische Daten zu erhalten sind in diesem Fall insbesondere Anprallwinkel und Geschwindigkeit eines anprallenden Fahrzeuges von Interesse. Diese sind allerdings aus der Datenbank schwer bis nicht auslesbar, da für die agierenden Dienststellen die Erfassung anderer Parameter Priorität hat. Auch die Rückhaltstufe des Rückhaltesystems, welche zur Ermittlung einer Versagenswahrscheinlichkeit herangezogen werden kann, ist am Unfallort schwer zu eruieren und aus diesem Grund im System nicht erfasst. Eine statistische Erfassung der Unfallvorgänge aus den Datenbanken mit detaillierter Aushebung sämtlicher Unfallprotokolle und einer Ortsbesichtigung hätte den Rahmen des Arbeitspaketes überstiegen.

Aus den genannten Gründen sind die vorliegenden Daten für eine umfassende Untersuchung nicht aussagekräftig genug um abgesicherte statistische Eingangsparameter für die Ableitung von Unfallwahrscheinlichkeiten auf quantitativer Basis erhalten zu können.

5.2.2 Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Unfalldaten (ZEDATU)

Das Projekt ZEDATU (Zentrale Datenbank zur Tiefenanalyse von Unfalldaten) ist ein Pilotprojekt der Technischen Universität Graz in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds. Im Gegensatz zur Datenbank des BMI werden die Unfalldaten nicht nur erfasst, sondern mit Hilfe eines Unfallrekonstruktionsprogrammes (PC Crash) vollständig rekonstruiert.

Dadurch werden weitere Unfallparameter wie Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit, Fahrzeiten, Fahrlinie, Reaktionspunkt etc. mit Hilfe der aufgenommenen Unfalldaten aus den Unfallberichten ermittelt. Zusätzlich sind Informationen zur seitlichen Infrastruktur für eine Kollisionsbetrachtung verfügbar.

Der Fokus liegt dabei auf der Analyse von tödlichen Verkehrsunfällen bzw. Verkehrsunfällen mit Personenschäden.

Der wesentliche Unterschied zu Auswertungen der UDM besteht in der Gesamtunfallbetrachtung durch die vollständige Unfallrekonstruktion (Vorkollisionsphase, Kollisionsphase, Nachkollisionsphase) und den darin ermittelten Parametern. Diese können statistisch aufbereitet werden und dienen beispielsweise als Randbedingungen für die Auslegung von Rückhaltesystemen oder als Inputdaten für die Festlegung von Richtlinien und Standards.

Momentan sind in dieser Datenbank insgesamt rund 3200 Unfälle statistisch erfasst und rekonstruiert, davon sind rund 10% Unfälle im Bereich von Autobahnen, die Anzahl der

Unfälle im Bereich von Kreisverkehren konnte im Vorfeld nicht eingegrenzt werden und scheint sehr gering zu sein, da der Schwerpunkt auf eine andere Unfallart gelegt wurde. Aus diesem Grund wurde auf eine Auswertung mit Hilfe der Datenbank ZEDATU im Rahmen dieses Projekts verzichtet.

5.2.3 Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit mit Hilfe mathematischer Modelle

Zur Ermittlung der mathematischen Wahrscheinlichkeit eines Anpralls und der auftretenden Anprallkräfte auf ein Hindernis werden die Modelle des Joint Committee on Structural Safety (JCSS) herangezogen [16].

Mit Hilfe des JCSS Probabilistic Model Code (Part 2: Loadmodels) kann in Abhängigkeit verschiedener Faktoren die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anprallkräfte auf ein Rückhaltesystem bzw. Hindernis sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelnes Objekt seinen vorgesehenen Kurs verlässt und an die Baustruktur anprallt, ermittelt werden.

Das Modell geht davon aus, dass ein Fahrzeug, welches einen beabsichtigten Kurs verfolgt, im Normalfall einen bestimmten Abstand zur Symmetrieachse der Fahrbahn aufweist. Menschliches Versagen kann zu Abweichungen vom beabsichtigten Kurs und, in bestimmten Fällen, zu einer Kollision mit Objekten außerhalb der Fahrbahn führen.

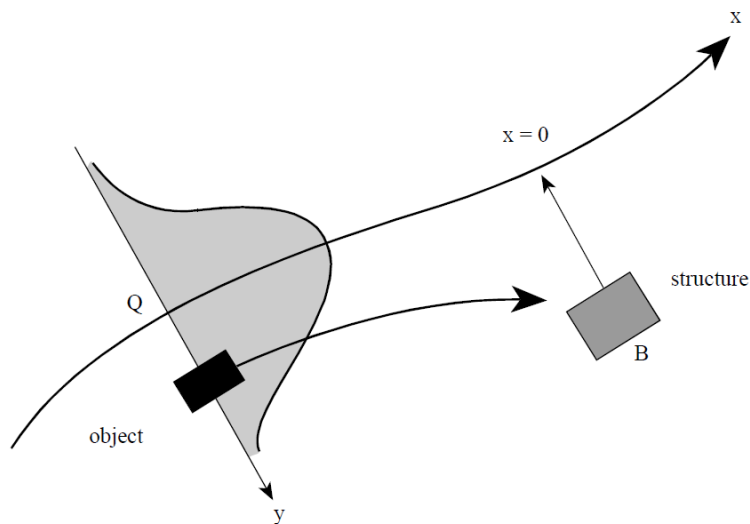


Abbildung 5-1 Häufigkeitsverteilung der Abweichung eines Objekts vom beabsichtigten Kurs [16]

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt, welches sich in x-Richtung bewegt, durch einen technischen oder menschlichen Fehler im betrachteten Bereich an ein Objekt anprallt, kann, für kleine Wahrscheinlichkeiten und unter der Annahme einer konstanten Anzahl an Fahrzeugen, berechnet werden.

Dazu wird vorerst jene Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der ein Fahrzeug in einem bestimmten Bereich – festgelegt durch ein Koordinatensystem (x,y) – einen technischen Defekt erleidet und dieser auch in weiterer Folge zu einem Anprall an ein Objekt führt. Dazu wird die in Abbildung 5-1 dargestellte Häufigkeitsverteilung des sich bewegenden Objekts im Koordinatensystem herangezogen:

$$P_{fq}(x, y) = f_s(y) dy \lambda(x, t) dx \tag{5.1}$$

wobei:

$P_{fq}(x,y)$	Wahrscheinlichkeit eines Abkommens vom Kurs an einer bestimmten Stelle (x,y)
$f_s(y)$	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Objektposition in y-Richtung (vgl. Abbildung 5-1)
$\lambda(x,t)$	Versagenswahrscheinlichkeit als Funktion der x-Koordinate und der Zeit t, Einheit [1/m], berücksichtigt Unterschiede zwischen Sommer/Winter, Tag/Nacht etc.
(x,y)	Koordinatensystem, in dem x der Symmetrieachse der Fahrbahn folgt, y repräsentiert die horizontale Distanz des Objekts zur Symmetrieachse

Die Wahrscheinlichkeit, das im betrachteten Bereich ein Fehler eintritt wird in weiterer Folge dazu herangezogen, um die Anprallwahrscheinlichkeit an ein Objekt innerhalb eines festgelegten Zeitraumes zu berechnen:

$$P_f(T) = nT \lambda \iint P_{fq}(x, y) f_s(y) dy dx \tag{5.2}$$

wobei:

n	Anzahl der Objekte/Fahrzeuge im betrachteten Zeitraum
T	betrachteter Zeitraum
λ	Unfallrate bzw. Versagenswahrscheinlichkeit in 1/m (deterministisch bei 10^{-10} m^{-1})
$P_{fq}(x,y)$	Wahrscheinlichkeit eines Abkommens vom Kurs an einer bestimmten Stelle (x,y)
x,y	Koordinatensystem, in dem x der Symmetrieachse der Fahrbahn folgt, y repräsentiert die horizontale Distanz des Objekts zur Symmetrieachse

Das Fahrzeug verlässt dabei den vorgesehenen Kurs mit einer bestimmten Geschwindigkeit v_0 und in einem bestimmten Winkel. Aus diesen Parametern lässt sich in weitere Folge die zu erwartende Wahrscheinlichkeit ermitteln, mit der die Anprallkraft den Widerstand des Objektes überschreitet.

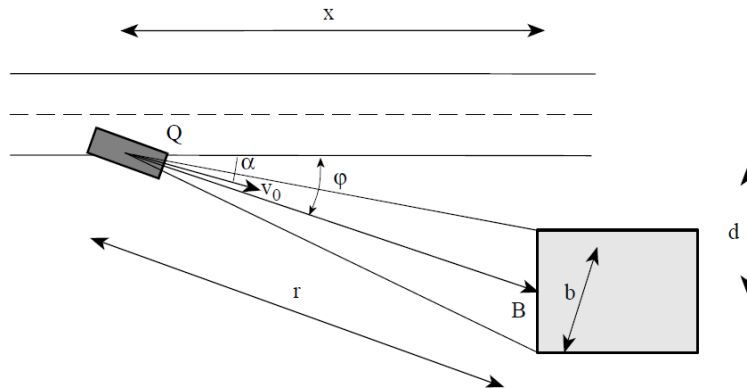


Abbildung 5-2 Relevante Parameter im Falle eines Abkommens [16]

Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher die Anprallkraft auf eine bauliche Struktur einen vorgegebenen Wert übersteigt, kann mit Hilfe von Formel (5.3) berechnet werden.

$$P(F_c > X) = nT\lambda \Delta x P[\sqrt{\{mk(v_0^2 - 2ar)\}} > X]$$

(5.3)

wobei:

n	Anzahl der Fahrzeuge pro betrachteter Zeiteinheit
T	betrachtete Zeiteinheit
λ	Unfallwahrscheinlichkeit pro Längeneinheit/Strecke
Δx	Streckenabschnitt in dem ein möglicher Anprall betrachtet wird
v_0	Geschwindigkeit des Fahrzeuges beim Verlassen der vorgesehenen Fahrspur
a	Verzögerung/Entschleunigung
r	= $d/\sin \alpha$, Abstand vom Punkt des Abkommens des Fahrzeuges bis zum Anprall
d	Abstand des Hindernisses von der Fahrbahn
α	Winkel zwischen dem Kollisionskurs und der vorgesehenen Fahrspur
v	Fahrzeuggeschwindigkeit
k	Fahrzeugsteifigkeit
m	Fahrzeugmasse

Berücksichtigt wird dabei, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Kraft des Fahrzeuganpralls grundsätzlich bei bekannter Masse, Geschwindigkeit, Fahrzeugsteifigkeit, Verzögerung und Abstand zum Hindernis einen bestimmten Wert übersteigt.

Diese Wahrscheinlichkeit wächst mit steigender Masse, Geschwindigkeit und Fahrzeugsteifigkeit an und sinkt durch einen größeren Abstand zum Objekt und einer damit verbundenen möglichen Geschwindigkeitsverzögerung.

Parameter wie Fahrzeugmasse und Fahrzeugsteifigkeit sind Größen, deren statistische

Verteilung bekannt ist. So kann für die Masse eines PKW ein Mittelwert von 1500 kg mit einer Standardabweichung von 400 kg und für einen LKW ein Mittelwert 20 t mit einer Standardabweichung von 12 t angenommen werden.

Berücksichtigt man diese statistische Verteilung, so ist davon auszugehen, dass 6,6% aller LKW eine Masse von über 38 t besitzen. Dies ist jene Masse, welche zur Durchführung einer Anprallprüfung für Rückhaltesysteme der Rückhaltstufe H4b herangezogen wird.

Die Fahrzeuggeschwindigkeit ist in der Realität ebenfalls von der jeweiligen Verkehrssituation abhängig, statistisch kann von einer Verteilung wie folgt ausgegangen werden:

Tabelle 5-1 Statistische Verteilung der Fahrzeuggeschwindigkeit

Fahrzeuggeschwindigkeit	Verteilung	Mittelwert	Standardabweichung
Freilandstraße	Lognormal	80 km/h	10 km/h
Innerstädtischer Bereich	Lognormal	40 km/h	7 km/h

Der Ausdruck $\lambda \cdot \Delta x$ bezieht sich allgemein darauf, mit welcher Wahrscheinlichkeit auf einem festgelegten Streckenabschnitt der Länge Δx ein Fahrzeug die beabsichtigte Fahrspur verlässt.

Die Länge des Streckenabschnitts lässt sich für die jeweiligen baulichen Gegebenheiten aus geometrischen Faktoren herleiten, die Unfallwahrscheinlichkeit pro Meter ist deterministisch mit 10^{-10} m^{-1} festgelegt (vgl. Abbildung 5-2).

In weiterer Folge wird dieser Wert mit der allgemeinen Unfallwahrscheinlichkeit, der Länge des betrachteten Streckenabschnitts und dem Verkehrsaufkommen sowie der betrachteten Zeiteinheit multipliziert. Da diese Größen vom jeweiligen Kreisverkehrs abhängig sind, kann eine Berechnung einer Anprallwahrscheinlichkeit nur in Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrssituation erfolgen.

Anprall kann als eine Interaktion zwischen dem anprallenden Objekt und der Baustruktur betrachtet werden. Es ist allerdings schwierig, die beiden Funktionen für Widerstand und Einwirkung – wie im semiprobabilistischen Sicherheitskonzept üblich – aufzustellen.

Zur Ermittlung einer Versagenswahrscheinlichkeit des Rückhaltesystems selbst muss neben der Verteilungsfunktion der auftretenden Anprallkräfte auch die Verteilungsfunktion der maximal aufnehmbaren Kräfte durch ein Rückhaltesystem bekannt sein. Damit kann der Überschneidungsbereich der beiden Funktionen – und damit eine Versagenswahrscheinlichkeit des Systems – berechnet werden. Diese Vorgehensweise ist in Abbildung 5-3 schematisch dargestellt.

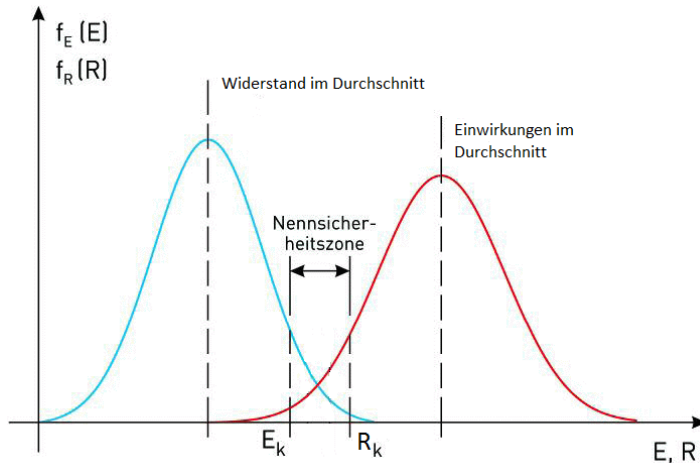


Abbildung 5-3 Schema der Berechnung einer Versagenswahrscheinlichkeit

Für die Verteilungsfunktion der maximal aufnehmbaren Kräfte durch ein Rückhaltesystem müssen diese experimentell ermittelt werden. Über eine n-fache Anzahl an direkten Anprallprüfungen lässt sich ein Mittelwert für die maximal aufnehmbare Anprallkraft und in weiterer Folge eine Verteilungsfunktion bestimmen.

Da diesbezüglich keine Versuchswerte aus den Anprallversuchen vorliegen und eine Ermittlung im Projektumfang nicht vorgesehen ist, kann die Versagenswahrscheinlichkeit eines Rückhaltesystems aufgrund fehlender statistischer Daten nicht ermittelt werden.

Für die nachfolgend durchzuführenden Systemvorschläge sowie für Ermittlung und Weiterleitung von Anprallvorgängen wird vorgeschlagen eine Bemessung auf Basis des semiprobabilistischen Konzeptes durchzuführen. Da die Unfallvorgänge von der Einwirkung mit Extremwertverteilungen zu betrachten sind, ist die Anprallsituation im Rahmen des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts als außergewöhnliche Einwirkung zu erfassen.

Für die Fragestellung, an welchen Stellen und an mit welchen Winkeln die Rückhaltesysteme zu bemessen wären ist aufgrund der baulichen Situation und der vorliegenden Linienführung projektspezifisch festzulegen. Eine Variation bzw. Erfassung eines charakteristischen Anprallwinkels abweichend vom einem mittleren Anprallwinkel, der aus der vorgelagerten Linienführung entsteht wird mit gemäß den Ansätzen des JCSS Probabilistic Model Code empfohlen [16].

6 AP 6 und AP 7: Entwicklung von Systemvorschlägen und Entwicklung Bemessungsvorschläge für die Anprallsituation

6.1 Allgemeines und Zielsetzung

Bei der Vorgehensweise für die Projektierung von Kreisverkehren im Zuge von planfreien Knotenpunkten bzw. Anschlussstellen von hochrangigen Straßen ist gem. Arbeitspaket **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** nach folgender Vorgangsweise vorzugehen:

1. Verschiebung des Knotenpunktes bzw. Einfahrt auf die freie Strecke
2. Ausbildung von Flächen im Kreisinneren, sodass ein Absturz zur tieferliegenden Fahrbahn oder Verkehrsfläche nicht möglich ist
3. Ausbildung eines Randes für den erforderlichen Anprallwinkel, Anfahrtschwindigkeit und Masse unter Berücksichtigung der Kriterien für den Insassenschutz.

Zielsetzung des Arbeitspaketes 6 ist die Entwicklung von Systemvorschlägen für Vorgangsweise Punkt 3.

In Arbeitspaket 6 wurden aufbauend auf den mechanischen und trassierungstechnischen Grundlagen alternative innovative Rückhaltevorrückungen für den Innenrand entwickelt. Diese wurden so konzipiert, dass sie über ein ausreichendes Vermögen zur Energiedissipation verfügen. Ebenfalls im Mittelpunkt der konstruktiven Überlegungen standen die Wirtschaftlichkeit, Auswechselbarkeit und Sanierbarkeit der entwickelten Rückhaltevorrückungen.

Folgende Inhalte sind in Arbeitspaket 6 inkludiert:

- Entwicklung von Systemvorschlägen in Abhängigkeit der Geometrie, Randbedingungen und Trassierungselemente
- Konzept A: Konstruktive Lösungsvorschläge aus Beton mit der Möglichkeit der Ausbildung von sekundären Tragmechanismen
- Konzept B: Kombination von bestehenden Betonleitwänden mit energiedissipierenden Zwischenelementen
- Analyse der Lösungsvorschläge A und B in Hinblick auf Zuverlässigkeit, Robustheit, Erhaltungsfreundlichkeit und Auswechselbarkeit

6.1.1 Aufgabenstellung

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den vorangegangenen Arbeitspaketen werden in diesem Arbeitspaket Lösungsansätze entwickelt, welche besonders im Falle eines Anpralls mit großer Geschwindigkeit und großer Masse (LKW oder Bus) die entstehenden Anprallkräfte aufnehmen können.

Im Mittelpunkt steht dabei, die entstehenden Anprallkräfte durch Energiedissipation gering zu halten um den Insassenschutz zu gewährleisten und alle Kriterien für eine Anprallprüfung gemäß ÖNORM (siehe 1.3.5) einzuhalten. Dies soll mittels energie-umwandelnder

Komponenten und unter Verwendung von Konstruktionen mit hoher Verformungsmöglichkeit gewährleistet werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die wirtschaftliche Gestaltung des Systems, insbesondere im Hinblick auf die Auswechselbarkeit bzw. Sanierbarkeit nach einem Anprallereignis.

6.2 Konzept A

Für Anprallvorgänge, die gem. Kap. 3 und 4 höhere bzw. die doppelte Anprallkraft in Abhängigkeit von Anprallgeschwindigkeit und Anprallwinkel erzeugen, ist eine Kombination von in Reihe geschalteten und gekoppelten Rückhaltesystemen eine Lösungsmöglichkeit. Die Zwischenräume sollen so ausgebildet werden, dass der maximale Verschiebeweg für das Intaktbleiben der Rückhaltevorrichtung nach Prüfkriterien des Herstellers (dem Anprallereignis zugewandtes System) möglich ist. Der Zwischenraum ist durch Schotter und einer Abdeckung zur Sicherung von Körnern in Form von verankerten Vlies bzw. Netzauflagen sicherzustellen.

Es werden grundsätzlich 2 Kombinationen vorgeschlagen:

1. Kombination H4b und H2 innen
2. Kombination H4b und H4b

Bei dem vorgeschlagenen Konzept A wird einerseits eine Verformung zur Reduktion von Anprallenergie ermöglicht um den Insassenschutz zu erhöhen, andererseits ermöglicht das gekoppelte System eine Erhöhung der Anprallkräfte, da beide System in Reihe wirken. Das Konzept A eignet sich allerdings nur für die Fälle mit geringen Abweichungen zu den bestehenden und geprüften Systemen und ist im Einzelfall durch Versuche bzw. durch rechnerische dynamische Simulation nachzuweisen. Bei der projektspezifischen Untersuchung besteht die Möglichkeit, die baulichen Randbedingungen einfließen zu lassen.

6.3 Konzept B

6.3.1 Systemskizze und Kurzbeschreibung

Das Grundprinzip von Konzept B beruht darauf, die Anprallenergie, welche vom bestehenden H4b-System nicht aufgenommen werden kann, von einem zusätzlichen, verformbaren System aufnehmen zu lassen.

Diese zusätzliche Betonanprallwand wird in Ortbetonbauweise am Rand der Tragplatte bewehrt ausgeführt und kraftschlüssig mit der Unterkonstruktion (Platte) verbunden. Im Falle einer zeitgleichen Herstellung der Betonanprallwand mit der Platte erfolgt die Anschlussbewehrung direkt über die Randbewehrung der Platte.

Die Elemente selbst haben eine Wandstärke von 60 bis 80cm, sie werden in einer Länge von 6 Metern abgefugt hergestellt. Der Querschnitt dieser Betonelemente kann in unterschiedlichen Varianten ausgebildet werden, eine rechtwinkelige Ausführung ist genauso denkbar wie eine Ausführung in einem Winkel von rund 135° (siehe Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2). Die Vordimensionierung wurde auf Basis der erhaltenden Kräfte aus Kap. 4 durchgeführt.

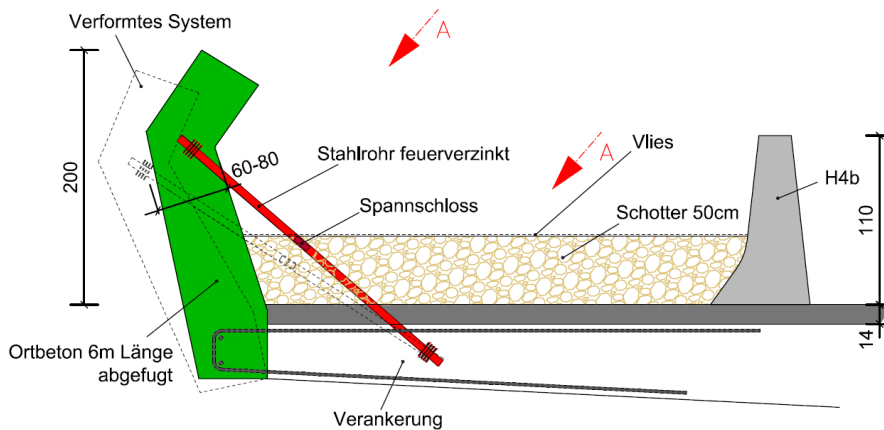


Abbildung 6-1 Systemskizze mit Querschnitt des Rückhaltesystems

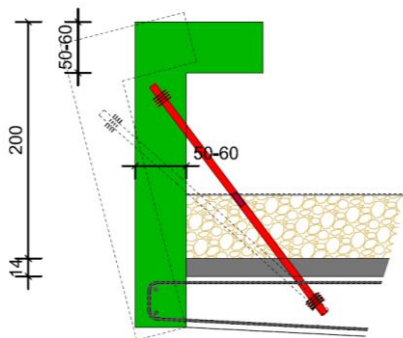


Abbildung 6-2 Alternativer Querschnitt des Rückhaltesystems

Die Betonelemente werden zusätzlich mit einbetonierten Stahlhohlprofilen verankert. Zur Ermöglichung der Verschiebung des Systems sind diese gebogen (Kaltverformung + Normalisierung) ausgeführt, je zwei sind über Spannschlösser und kreisförmige Zwischenelemente mit einem Durchmesser zwischen 80 und 100cm miteinander verbunden (siehe Abbildung 6-3). Die Stahlrohre sind sowohl in der Stahlbetonkonstruktion als auch in die Betonanprallwand verankert und haben im unverformten System keine stützende Funktion. Die Anschlussbewehrung ist für den vorgegebenen außergewöhnlichen Lastfall nicht auf Biegung sondern nur für die Übertragung der Zugkräfte zu bemessen. Die zu übertragende Zugkraft muss von der unteren Lage der Bewehrung aufnehmbar sein. Die Vorbemessung der Konstruktion wurde unter der Annahme einer üblichen baulichen Situation mit einer geometrisch nichtlinearen Berechnung durchgeführt.

Der Abstand zwischen bestehendem H4b-System und der Anprallwand liegt bei etwa 2 – 3 m, in diesem Zwischenraum ist ein Schotterbett mit einer Stärke von 50cm vorgesehen, welches mit einem verankerten Seilnetz bzw. Vlies abgedeckt wird um eine Sicherung der Schotterkörner zu gewährleisten.

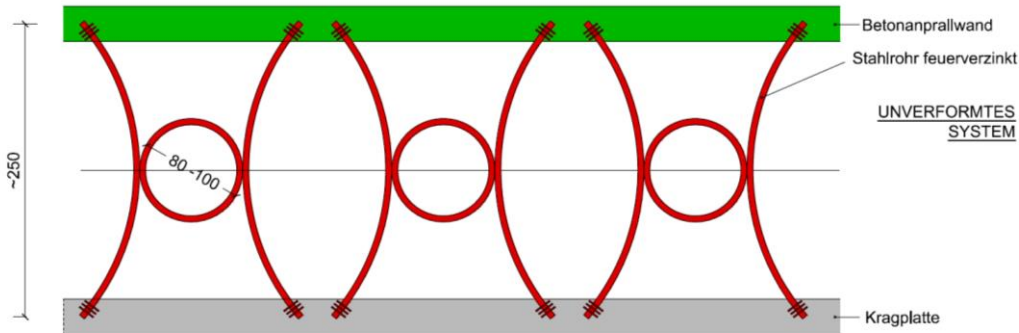


Abbildung 6-3 Ansicht A-A des unverformten Systems

Die Funktionsweise ähnelt den Vorrichtungen für Lawinen- und Steinschlagschutznetzen, die mittels Federn aus verzinkten Stahlelementen ausgebildet werden. Die erforderlichen Verbindungen zu den Zwischenelementen werden nicht in geschweißter Ausführung sondern mittels Schraub- und Klemmelementen ausgebildet.

6.3.2 Funktionsweise des Systems

Im Falle eines Anpralls durch ein Fahrzeug mit großer Masse (LKW oder Bus) bei großem Anprallwinkel oder mit großem Anprallwinkel wird die entstehende Anprallenergie vorerst vom H4b-System aufgenommen. Aufgrund der wesentlich höheren Anprallkräfte im Vergleich zu einem Anprall mit einem Sattelzug mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h im Anprallwinkel von 20° - wie bei der Prüfung des Rückhaltesystems vorgesehen (vgl. 3.2.5) – wird das System diesem Anprall nicht widerstehen. Die Zugbandwirkung des Systems ist nicht ausreichend um das Fahrzeug aufzuhalten, es gibt nach und verschiebt sich.

Das Schotterbett wird gegen die Betonanprallwand zusammengeschoben, in weiterer Folge verformt die Betonanprallwand an der Fuge zur Platte nach hinten. Die Stahlrohre fangen diese Bewegung ab und verformen sich dabei wie in Abbildung 6-4 ersichtlich ist, sie werden beinahe vollständig gestreckt. Die Stahlrohre und die untere Anschlussbewehrung verhindern ein vollständiges Versagen der Anprallwand.

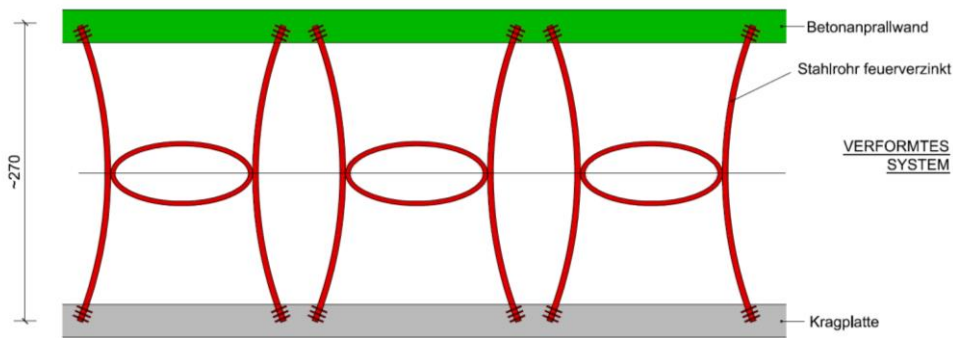


Abbildung 6-4 Ansicht A-A des verformten Systems

Durch die Verformung des Systems und die erfolgte Verformung sowie die Umlagerung des Schotters kommt es zu einer gänzlichen Dissipation der Anprallenergie. Das Fahrzeug wird vollständig abgebremst, die Betonanprallwand verhindert zudem ein Abstürzen des Fahrzeugs auf etwaige darunterliegende Verkehrswege.

6.3.3 Sanierung im Falle eines Anpralls

Im Falle eines Unfalls, in dem die Betonanprallwand starke Verformungen erleidet oder beschädigt wird, wird dieser Bauteil bis zum Ende der schadhaften Anschlussbewehrung vollständig mit Hochdruckwasserstrahlen abgeschrämt und neu hergestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Bewehrung zu erneuern und mittels Übergreifungsstoß anzuschließen ist. Aufgrund der Abfugung der Elemente mittels Dehnfugen sind nur jene Teile zu erneuern, die von dem Anprallvorgang beschädigt wurden.

In dem Zusammenhang muss angemerkt werden, dass der Austausch der schadhaften Elemente bei der Haupttragkonstruktion der Brücke nur eine sekundäre Funktion übernimmt (z.B. Kragarm oder mehrstegige Konstruktion), sodass eine Erneuerung der Elemente wenig Auswirkung auf die Haupttragkonstruktion hat.

Bei Anfahrtschäden geringeren Ausmaßes ohne Beschädigung der Anprallwand kann – unabhängig davon - die konventionelle Betonleitwand erneuert werden. Die Anprallwand ist somit für häufiger vorkommende Schäden geschützt.

Der Umfang und die Art der Sanierungsmethode ist jedoch im Zuge der Schadensfeststellung individuell festzulegen. Das vorliegende System stellt somit eine robuste Rückhaltevorrückung für hohe Anprallkräfte bei LKW Anprall mit Winkeln über 20° dar und kann im Schadensfall einer Erneuerung zugeführt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM EN 1317 – 1: Rückhaltesysteme an Straßen, Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren, Austrian Standards Institute, 2010, Wien
- [2] ÖNORM EN 1317 – 2: Rückhaltesysteme an Straßen, Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen, Austrian Standards Institute, 2011, Wien
- [3] Bundestanalt für Straßenwesen, bast: Einsatzempfehlungen für Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Bergisch Gladbach, Stand 04/2014
- [4] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr: Wörterbuch Verkehrswesen Begriffsbestimmungen der RVS sowie der darin zitierten Gesetze, Normen und Richtlinien, 2. Ausgabe Mai 2011
- [5] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (Hrsg.): RVS 02.01.11. Grundsätze der Verkehrsplanung. 01.03.2013
- [6] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (Hrsg.): RVS 02.02.37. Grundsätze der Verkehrsplanung. 01.02.2015
- [7] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr (Hrsg.): RVS 03.05.14. Grundsätze der Verkehrsplanung. 01.10.2010
- [8] Prachersdorfer, Werner; Weninger-Vycudil, Alfred: Studienblätter Vorlesung Verkehrswegebau. – Wien: fh-campus wien. WS 2016
- [9] Petersen, Christian: Dynamik der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag 2000
- [10] ÖNORM EN 1317 – 3: Rückhaltesysteme an Straßen, Teil 3: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anpralldämpfer, Austrian Standards Institute, 2011, Wien
- [11] ÖNORM EN 1317 – 5: Rückhaltesysteme an Straßen Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und -bescheinigung für Fahrzeugrückhaltesysteme, Austrian Standards Institute, 2008, Wien
- [12] Wetschnig, Natatlie: Fahrzeugrückhaltesysteme im Bereich von Kreisverkehren, Bachelorarbeit, FH-Campus Wien, 2016.

- [13] Deltabock: Datasheet DB100
http://deltabloc.com/sites/default/files/products/db_100/pd015db_en_product_data_sheet_-_db_100.pdf, Web – 2016
- [14] Schneider, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, Werner Verlag , 20. Auflage, 2012
- [15] Pröll, Manuel; Strnad, Bernd; Tomasch, Ernst: Sichere Leitung. Verkehrssicherheitspotentiale seitlicher Fahrzeugrückhaltesysteme im Autobahnen- und Schnellstraßen-Netz der ASFiNAG – Endbericht, 2013
- [16] JCSS PROBABILISTIC MODEL CODE, Part 2, Joint Committee on Structural Safety, 2001.
- [17] Bundesanstalt für Straßenwesen, Einsatzfreigabeliste für Fahrzeugrückhaltesysteme in Deutschland, Bergisch Gladbach, 2013.
- [18] Bundesamt für Strassen, Richtlinie: Anprall von Strassenfahrzeugen auf Bauwerksteile von Kunstbauten, Ergänzungen zur SIA 261, Einwirkungen auf Tragwerke, BBL, Bern, 2005.
- [19] Kartenausschnitte <https://www.google.at/maps/>. Zugriff 2016_07_10