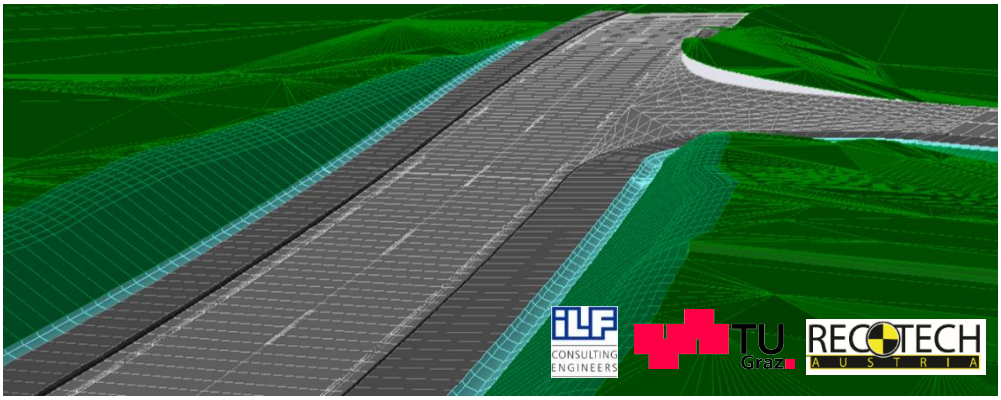
3-dimensionale Verkehrsinfrastrukturplanung und Berücksichtigung von fahrdynamischen Aspekten und menschlichen Faktoren

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2015 (**VIF2015**)

Mai 2018



Impressum:

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

ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien

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

Für den Inhalt verantwortlich:
ILF Consulting Engineers Austria GmbH
Firmenbuch Nr. 106300z
Feldkreuzstraße 3
6063 Rum

Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12
8010 Graz

Reco-Tech GmbH
Firmenbuch Nr. 403670h
Feistritz ob Bleiburg 109
9143 St. Michael bei Bleiburg

Programmmanagement:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien

3-dimensionale Verkehrsinfrastrukturplanung und Berücksichtigung von fahrdynamischen Aspekten und menschlichen Faktoren

Ein Projekt finanziert im Rahmen der

Verkehrsinfrastrukturforschung

(VIF2015)

AutorInnen:

DI Martin SEIDEL

Heinz Hoschopf

DI Marianne KRAUT

DI Dr. Ernst TOMASCH

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

ILF Consulting Engineers Austria GmbH

Technische Universität Graz

Reco-Tech GmbH

REVISIONSVERZEICHNIS

0					
Rev.	Datum	Ausgabe, Art der Änderung	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 9

1.1 Aufgabenstellung 9

1.1.1 Stand des Wissens und der Technik 9

1.1.2 Themenstellung gemäß Ausschreibung 11

1.1.3 Schwerpunkte 12

1.2 Umsetzung der Projektziele im Rahmen der Forschungsarbeit 14

1.2.1 Zielsetzungen 14

1.2.2 Begründung der Zielsetzungen 14

1.2.3 Überprüfung im Rahmen der Forschungsarbeit 16

2 Vorgehensweise 17

2.1 Erfordernis der Interdisziplinarität 17

2.2 Vorgehensweise Forschungsauftrag 18

2.3 Methodik Nutzen-Abwägung 18

3 Status Quo bei 3-dimensionalen VerkehrsinfrastrukturProjekten (Ist-analyse) 21

3.1 Geländeaufnahme, Vermessung und 3D Geländemodell 22

3.1.1 Vermessungstypen 22

3.1.2 Erstellung 3D Geländemodell 25

3.1.3 Analyse Status Quo bei Vermessungen und 3D Geländemodellen 30

3.2 Datenaustausch Trassierungsprogramme 33

3.2.1 Trassierungsprogramme Österreich + Ausland (Software) 33

3.2.2 Weitergabe von Trassierungsdaten (Datenaustausch) 33

3.3 Einbautenerhebung 42

3.3.1 Analyse Status Quo der Einbautenerhebung 42

3.3.2 Mängelanalyse 45
3.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung) 47
3.5 Fahrdynamische Untersuchungen 52
3.5.1 Fahrdynamik 52
3.5.2 Schnittstelle: Datenweitergabe Straßenplanung – Fahrdynamische Untersuchungen 52
3.6 Visualisierung 55
3.6.1 Typen 55
3.6.2 Erstellung Modellierung 56
3.6.3 Analyse Visualisierung 57
3.7 Zusammenfassung der Defizite auf Basis der aktuellen Vorgehensweise 57
3.7.1 Geländeaufnahme (Vermessung) 57
3.7.2 3D Geländemodell 58
3.7.3 Einbautenerhebung 59
3.7.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung) 59
3.7.5 Datenaustausch Trassierungsprogramme 59
3.7.6 Fahrdynamische Untersuchung 60
3.7.7 Visualisierung 60
4 Entwicklung der Methode zur 3D-Planung unter Berücksichtigung von fahrdynamischen Effekten 61
4.1 Methode zur Erstellung 3D Geländemodell 61
4.1.1 Erstellung 3D Geländemodell – Optimierter Prozess 61
4.1.2 Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Erstellung 3D Geländemodell 62
4.2 Datenaustausch Trassierungsprogramme 66
4.2.1 Schnittstelle Trassierungsprogramme (3D Datenaustausch) 66

4.2.2 Weitergabe von Trassierungsdaten – Optimaler Prozess 77

4.2.3 Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Weitergabe 3D Trassierungsdaten 77

4.3 Erhebung Bestandseinbauten – Aufbereitung in 3D 79

4.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung) 80

4.4.1 Gesamtkoordination Einbautenplanung Vorportalbereich 80

4.4.2 Einheitliche Planungstiefe 84

4.4.3 3D Planung der Einbauten 86

4.5 Fahrdynamikuntersuchungen 87

4.5.1 Verkehrssicherheit 88

4.5.2 Fahrdynamik 89

4.5.3 Fahrdynamische Untersuchung auf Basis der bautechnischen Planung 92

4.5.4 Sichtweitenuntersuchung 112

5 Anwendungsbeispiel A 8 ASt Wimpassing 113

5.1 Allgemeine Beschreibung des Anwendungsbeispiels 113

5.2 Fahrdynamik 117

5.2.1 Vorgabe und Beurteilung 117

5.3 Human Factors 137

6 3-dimensionale Verkehrsplanung im internationalen Vergleich 139

7 Nutzen-Untersuchung 142

7.1 Zielsetzungen der Planung 142

7.1.1 3D Vermessungen 142

7.1.2 3D-Geländemodell 144

7.1.3 Einbautenerhebung 147

7.1.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung) 149

7.1.5 Datenaustausch Trassierungsprogramme 152
7.2 Zielsetzung Betrieb: Fahrdynamikuntersuchungen 154
7.2.1 Fachliche Beurteilung 154
7.2.2 Aufwand / Mitteleinsatz 154
7.2.3 Abwägung 155
7.3 Zielsetzung Bau: Stabilität Ausführungsplanung 156
7.3.1 Fachliche Beurteilung 156
7.3.2 Aufwand / Mitteleinsatz 156
7.3.3 Abwägung 157
7.4 Zielsetzung Kommunikation: Grundlage Visualisierung 157
7.4.1 Fachliche Beurteilung 157
7.4.2 Aufwand / Mitteleinsatz 158
7.4.3 Abwägung 158
7.5 Übersicht der Nutzen und Kosten 159
8 Ausblick bei 3-dimensionaler Verkehrsplanung 161
9 Schlussfolgerung und Empfehlung 163
10 Zusammenfassung 166
11 ANHANG 170
12 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN 179
13 LITERATURVERZEICHNIS 181
14 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 184
15 TABELLENVERZECIHNIS 188

1 EINLEITUNG

1.1 Aufgabenstellung

Ausgangslage für die Aufgaben bzw. Themenstellung ist der aktuelle Stand des Wissens und der Technik. Auf dessen Basis wurde die Themenstellung für einen Forschungsauftrag formuliert, der zur Bearbeitung ausgeschrieben wurde. Die Arbeitsgemeinschaft aus ILF Consulting Engineers Austria GmbH / Technische Universität Graz / Reco-Tech GmbH hat im Rahmen der Einreichung des Arbeitskonzepts im Zuge der Anbotslegung Schwerpunkte und Zielsetzungen definiert.

Die hier skizzierten Schritte der Entwicklung von der Ausgangslage über Themenstellung zu den Schwerpunkten und Zielen wird im Folgenden dokumentiert.

1.1.1 Stand des Wissens und der Technik

Vor allem bei größeren Infrastrukturprojekten (Planungen von Autobahnen und Hochleistungseisenbahnen) ist es grundsätzlich Stand der Technik, auf Basis von 3D-Daten eine 3-dimensionale Streckenplanung zu erstellen. In den ersten Planungsphasen (Machbarkeitsstudien – Trassenauswahlverfahren und Vorprojekten) erfolgt die Trassierung in der Regel auf der Grundlage von einer Photogrammetrie (3-dimensionalen Punktwolken), in den weiteren Planungsphasen werden die 3D-Daten durch eine 3-dimensionale Tachymetrie (Punkte und Bruchkanten) ergänzt.

Bei praktisch allen Projekten erfolgt eine 3-dimensionale Trassierung der Gradiente. Abweichungen in der Planungstiefe treten aber schon bei der Projektierung beziehungsweise Darstellung der Fahrbahnränder sowie Böschungen, Einschnitten und Stützkonstruktionen auf. Komplexere Bereiche und Nebenanlagen werden in den seltensten Fällen berücksichtigt.

Ein großer Unterschied in der Ausarbeitungstiefe ist bei 3D Planungen auch zwischen den verschiedenen Streckentypen (Freie Strecke, Tunnel, Knoten, etc.) festzustellen. Bei freien Streckenabschnitten ist eine 3-dimensionale Planung sowie Darstellung bereits Stand der Technik wohingegen bei komplexen Bereichen (Anschlussstellen, Knoten, Kreuzungen, Übergangsbereichen von Fahrstreifen etc.) diese nur sehr selten erfolgt.

Die aktuellen Standards bei Planung und Projektierung von Einbauten (Entwässerung, E&M, Tunnel, VLSA und Einbauten Dritter – Gas, Kanal, Fernwärme etc.) sind sehr unterschiedlich und jeweils abhängig von der Projektgröße, Komplexität sowie von den Vorgaben der Auftraggeber. Bei kleinen Projekten gehört eine zum Teil sehr umfangreiche 3D Planung von Einbauten (vor allem bei VLSA Projekten) sogar in recht frühen Planungsphasen (im Zuge des Einreichprojektes) bereits zum Stand der Technik. Bei Großprojekten hingegen erfolgt die 3D Planung, wenn überhaupt, erst sehr spät. Weiters werden auch relevante Rahmenbedingungen für Einbauten erst in späten Projektphasen (Ausschreibungs-, und Detailplanung) geplant beziehungsweise festgelegt.

Die 3D Trassierung der Straße wird derzeit nur bedingt als Basis für Visualisierungen, für Lärm- und Luftplaner genützt, welche durch einen eigenen Fachplaner umgesetzt wird.

Bei Verkehrssicherheitsuntersuchungen, Road Safety Inspections (RSI) und Road Safety Audits (RSA) finden fahrdynamische Aspekte bis dato keine wesentliche Berücksichtigung [1] [2] [3] [4]. Stand der Technik bei Projektierungen und der Gestaltung des Straßenraumes in Österreich sind die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS).

Die Vorschriften und Richtlinien für das Road Safety Audit in Deutschland [5] bzw. USA [6] weisen ebenfalls bis dato keine detaillierte Betrachtung und Berücksichtigung von fahrdynamischen Aspekten im Zuge eines Audits auf.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt sind fahrdynamische Untersuchungen der Linienführung sowie der Human Factors [6] [7]. Hierbei werden sowohl kinematische Parameter im Zuge der Befahrung eines Streckenabschnittes durch Probanden untersucht, als auch die Relevanz und der Einfluss von Sichteinschränkungen, Sichtweiten und Human Factors auf die Detektion von Mängeln in einer Verkehrssicherheitsuntersuchung. Es werden beispielsweise das Sichtfeld sowie die Erkennbarkeit untersucht und mittels Simulation repräsentativer Fahrzeuge (PKW, LKW, Motorrad) nicht nur die fahrzeugspezifische Fahrdynamik, sondern durch Abbildung der Straßenoberfläche auch die streckenspezifische Fahrdynamik berücksichtigt. Die unterschiedlichen Sichthöhen einzelner Fahrzeuge bzw. Sichteinschränkungen finden hierbei ebenfalls Berücksichtigung. Des Weiteren werden

in derartigen Untersuchungen durch Blickerfassung und die Anwendung eines psychologischen Fragebogens unmittelbar nach den Testfahrten die Wahrnehmbarkeit und die Wahrnehmungsgrenzen der Probanden analysiert [8].

1.1.2 Themenstellung gemäß Ausschreibung

Die Anforderungen an die Straßenplanung in Hinblick auf Inhalte und Darstellung steigt laufend. Die Informationsdichte gerade bei Knotenbereichen und im Tunnelbereich ist enorm und geht zu Lasten der Lesbarkeit. Die zunehmende Menge an Ausrüstung Verkehrstechnischer- oder sonstiger Infrastruktur von Straßenabschnitten und der dadurch notwendigen Bearbeitung durch unterschiedliche Gewerkeplaner im Planungsprozess führt vermehrt zu Fehler.

Durch die rasche Entwicklung der Rechnerleistungen von Planungssoftwaren werden in anderen Bereichen bereits im Standard 3D Planungen gemacht (Maschinenbau, Hochbau, Industriebau). Für den Straßenbau existieren ebenso Softwarelösungen am Markt. Auftraggeber für Straßenbauprojekte sind in Österreich sehr begrenzt in der Anzahl, eine Entwicklung auf dem freien Markt ist daher nur mit Verspätung zu erwarten (keine Nachfrage – kein Angebot). Die Entwicklung ist daher unter laufender Evaluierung durch die Auftraggeber zu starten.

Die zu erwarteten Vorteile einer 3-dimensionalen Planung sind ein frühzeitiges Erkennen von Defiziten bei Sichteinschränkungen, Wahrnehmung und Erkennbarkeit (Human Factors):

- **Planung:** geringere Verfahrensrisiken durch mehr Planungssicherheit
- **Bauausführung:** geringeres Realisierungsrisiko durch höhere Planungsgenauigkeit
- **Kommunikation:** verbesserte Möglichkeiten der Visualisierung

Demgegenüber stehen höhere Aufwendungen am Projektbeginn, vor allem an der Beschaffung des digitalen Geländemodells.

Anhand praktischer und realer Aufgaben sollen die technischen und finanziellen Auswirkungen realistisch abgeschätzt und den Vorteilen objektiv gegenübergestellt werden.

1.1.3 Schwerpunkte

Anhand der übergreifenden Betrachtung der Arbeitsfelder Infrastrukturplanung und Fahrdynamik sollen wichtige Synergien genutzt werden, um einerseits neue Erkenntnisse zur Qualitätssteigerung und Planungssicherheit zu gewinnen und andererseits gesamtheitlich betrachtet die Projektkosten (einschließlich der Realisierungskosten), vor allem bei komplexen Projekten, zu minimieren.

Entsprechend wurden von der Arbeitsgemeinschaft „erwartbare Ergebnisse“ als Zielsetzung formuliert, an Hand derer eine zukunftsorientierte Methode unabhängig von vorhandenen Rahmenbedingungen bei Planungen von Infrastrukturprojekten entwickelt und die Vorteile von 3-dimensionalen Planungen aufgezeigt werden kann.

Die Arbeitsgemeinschaft wurde auch unter dem Aspekt, die fahrdynamischen Aspekte der Planung im Rahmen der Forschungsarbeit zu berücksichtigen, mit den entsprechenden Kompetenzen besetzt.

In Abstimmung mit der FFG wurden die seitens der Arbeitsgemeinschaft formulierten Ziele gefiltert und Untersuchungsschwerpunkte Themen festgelegt, bei denen Entwicklungspotentiale im Hinblick auf die Themenstellung erkannt wurden. Die Themen beziehen sich einerseits auf die Planung als zu optimierender Prozess aber auch auf den Betrieb, für den man bereits in der Planung Benefits erzielen kann. Ebenfalls in die Betrachtung einbezogen wird der Bau der Infrastruktur, der letztlich auf einer (qualitativen) Planung aufbaut.

Schwerpunkte der Untersuchung sind folgende:

- 3D Vermessung und 3D Geländemodell

  Für diesen Schwerpunkt wird für den Fachbereich Straße (ASFINAG) der Prozess / die Methode zur Erstellung bis zu einem 3D-Geländemodell erstellt / entwickelt / dargestellt. Weiters werden die nötigen Leistungen, Aufwände und Vorgaben, welche für die ASFINAG nötig sind, dargestellt, damit der Prozess auch in der Praxis angewendet werden kann.

- Datenaustausch 3D Trassierungsdaten

  Die Schnittstelle zwischen Provi und Civil-3D (Vestra) wird auf ihre Umsetzbarkeit für die Weitergabe von 3D-Trassierungsdaten (Qualität, Zeit, Aufwand, etc.) an Hand eines Beispiels überprüft.

- Einbautenerhebung und Vorportalbereich

  Der Schwerpunkt Einbauten ist weniger ein 3D-Thema. Der Vorteil liegt bei Neuplanungen und nicht bei Bestandsplanung, da viele maßgebende Daten im Bestand nicht bekannt bzw. vorhanden sind. Relevant ist vor allem der Prozessablauf und in welcher Planungsphase bzw. in welcher Tiefe die Einbautenplanung erfolgt. Für die Einbautenplanung (Beispiel Vorportalbereich) wird der Prozessablauf dargestellt.

- Fahrdynamische Untersuchungen und Anwendungsbeispiel

  Durch die frühe Umsetzung und Berücksichtigung von fahrdynamischen Untersuchungen in den Planungsprozess wird von Einsparungen durch Erhöhung der Planungssicherheit und deren Auswirkungen (wie geringere Verfahrensrisiken, Reduktion von Umtrassierungen und deren Auswirkungen, etc.), ausgegangen. Ein großes Einsparungspotential besteht auch in späteren Phasen durch Steigerung der Verkehrssicherheit und damit die Reduktion von volkswirtschaftlicher Unfallfolgekosten und Umbaumaßnahmen.

  Als Anwendungsbeispiel für die fahrdynamischen Untersuchungen wird die A 8 ASt Wels Wimpassing herangezogen.

- Bewertung und Nutzen-Untersuchung

  Eine Nutzen-Untersuchung im Sinne der Umsetzung gem. RVS 02.01.22 Nutzen-Untersuchungen ist für die Untersuchungsschwerpunkte nur bedingt möglich. Da es sich um eine Bewertung von Planungsmethoden und Planungsinstrumenten handelt, sind Kriterien, Bewertungssysteme und auch Formen der Monetarisierung gem. der o.a. RVS nicht anwendbar. Es werden vor allem Nutzen analysiert und diskutiert, ob diese den erforderlichen Aufwand rechtfertigen. Im Weiteren wird daher von einer „Nutzen-Analyse“ gesprochen.

1.2 Umsetzung der Projektziele im Rahmen der Forschungsarbeit

1.2.1 Zielsetzungen

Auf Basis der o.a. Schwerpunkte wurden folgende Zielschwerpunkte mit Zielformulierungen versehen:

- Zielsetzungen in der Planung
  - Grundlage – 3D Vermessung (Geländeaufnahme)
  - Grundlage –3D Geländemodell
  - Grundlage – Erhebung Bestandseinbauten und Aufbereitung in 3D Daten
  - Einbautenplanung – Vorportalbereich
  - Datenaustausch Trassierungsprogramme – Weitergabe von 3D Trassierungsdaten
  - Schnittstellen/Datenaustausch – zwischen Trassierung und fahrdynamische Untersuchung

- Zielsetzungen in der Planung und für den Betrieb
  - Fahrdynamische Untersuchung

- Zielsetzungen für den Bau
  - Umsetzung – Stabilität der Ausführungsplanung (Gesamtheitliche Betrachtung)

- Zielsetzung für die Kommunikation
  - Grundlage für Visualisierung

1.2.2 Begründung der Zielsetzungen

Die Formulierung der fachlich-inhaltlichen Ziele wurde – wie o.a. – auf Basis der „erwartbaren Ergebnisse“ aus der Einreichung sowie den daraus folgenden Untersuchungsschwerpunkten entwickelt. Um die potentiellen Vorteile gemäß der Aufgabenstellung abbilden zu können, wurden diese gemeinsam mit Vertretern der

FFG abgestimmt. Diese wurden durch Erkenntnisse und Überlegungen während der Erarbeitung ergänzt und geschärft.

Die technische Planung als potentieller Entwicklungsbereich bietet verschiedene Ansätze. Diese zu verfolgen wird als besonders wichtig angesehen, da die Erfahrung lehrt, dass keine Phase bei einem Vorhaben besser zur Kosteneinsparung beiträgt als eine solide Projektentwicklung und gute Planung.

Die Planung ihrerseits ist ein Prozess mit vielen Beteiligten und besteht nicht aus einer singulären Aufbereitung eines Einzelnen. Daher wird der Ursprung aller 3D Daten, die Vermessung (Geländeaufnahme), an den Anfang der Betrachtung gestellt und die Koordination und Berücksichtigung der Schnittstellen als wesentlich erachtet.

Die Bauphase sollte möglichst ohne neue Erkenntnisse aus Planung oder deren Grundlagen auskommen. Änderungen während der Bauphase sind meist mit erheblichen, zusätzlichen Kosten und oft auch unpopulären Verzögerungen verbunden. Es gilt folglich Risiken im Vorfeld zu minimieren.

Letztlich soll das Vorhaben nicht nur gebaut sondern auch betrieben werden. Der sichere Betrieb, d.h. ein möglichst hohes Maß an Verkehrssicherheit, kann durch entsprechend Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Aspekte in der Planungsphase sichergestellt werden. Das Bedarf der Prüfung von Sichtverhältnissen und fahrdynamischen Untersuchungen im Rahmen der Projektentwicklung.

Können sicherheitsrelevante Themen frühzeitig berücksichtigt werden, ist das Potential für Einsparungen bei Planung (Umplanung / Neuplanung), Bau (Umbau) und im Betrieb (unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten) durch Reduktion von Unfallraten und daraus entfallenden Unfallfolgekosten (Verletzung, Behinderung, Tod) möglich. Diese Aspekte sind zwar v.a. mit Ausblick auf den späteren Betrieb relevant werden allerdings hier – wie oben angeführt – in der Planungsphase aufgenommen, weshalb der Themenblock nachstehend vor die Bauphase gereiht wird.

Die Kommunikation bleibt als – vergleichsweise – Soft-Fact als weiterer Punkt erhalten, sind doch Infrastrukturentwicklungen zumeist im öffentlichen Interesse und sollen daher auch entsprechend kommuniziert werden (können).

1.2.3 Überprüfung im Rahmen der Forschungsarbeit

Die übergeordnete Zieldefinition im Rahmen der Forschungsarbeit ist gemäß der allgemeinen Aufgabenstellung die Überprüfung,

- ob mit 3D Planung ein Mehrwert erzielt werden kann,
- unter welchen Voraussetzungen dieser Mehrwert erzielt werden kann,
- ob der erzielbare Benefit in Abwägung mit den dazu erforderlichen Leistungen verfolgt werden soll.

Kurz: kann ein Vorteil aus der 3D Planung erzielt werden und rechtfertigt dieser den erforderlichen Aufwand?

Die fachlich-inhaltlichen Ziele sind jene, die es in hohem Maße zu erreichen gilt. Diesen Zielen werden die jeweils erforderlichen Leistungen zur Zielerreichung gegenübergestellt. Wie bereits in Kapitel 1.1.3 erläutert erfolgt keine Belegung mit Kosten sondern lediglich eine Abschätzung der erforderlichen Leistungen. Die Methodik der hier angesprochenen Gegenüberstellung sowie der o.a. Abwägung im Sinne einer Gesamtbewertung werden im Kapitel 2.3 Bewertungsmethodik erläutert.

2 VORGEHENSWEISE

2.1 Erfordernis der Interdisziplinarität

Aufbauend auf die Beurteilung des Stands der Technik und anhand eines Praxisbeispiels wird eine Methode zur Optimierung der 3D Planung unter Berücksichtigung von fahrdynamischen Effekten entwickelt. Neben Ausarbeitung und Definition der Schnittstellen, 3D Grunddaten, 3D Straßenplanung und fahrdynamischen Untersuchungen wird der Fokus auch auf die Untersuchung der 3-dimensionalen Einbautenplanung gelegt. Durch das Unternehmen ILF Consulting Engineers GmbH, das sich schon seit Jahrzehnten als kompetenter Partner mit der Planung komplexer Infrastrukturprojekte beschäftigt, werden im Zuge dieses Forschungsprojektes aktuelle Praxisbeispiele und Einsatzmöglichkeiten analysiert. Ziel dabei ist es, die Vorteile bzw. Voraussetzungen für die 3-dimensionale Verkehrsinfrastruktur- sowie Einbautenplanung auszuarbeiten. Um in der 3D Planung einen optimalen Planungsprozess zu gewährleisten ist die Entwicklung der Methode zur 3D Planung ein wesentlicher Punkt. Dabei stellen die Analyse sowie die Definition der Schnittstellen zwischen Qualität der Planungsgrundlagen (3D Grunddaten), der 3D Straßenplanung und der fahrdynamischen Untersuchungen sowie der Einbautenplaner untereinander einen zentralen Kernpunkt dar. Federführend wird diese Schnittstellenanalyse vom Institut für Fahrzeugsicherheit (VSI) der TU Graz als wissenschaftlicher und überaus erfahrener Forschungspartner durchgeführt. Aufbauend auf die 3-dimensionale Trassierung werden fahrdynamische Untersuchungen durch Reco-Tech durchgeführt, wodurch die Planungssicherheit vor allem in frühen Planungsphasen erhöht wird und die Verkehrssicherheit bei RSA und RSI gegenüber derzeitigen Audits gesteigert werden kann. Die Reco-Tech GmbH zieht hierbei nicht nur bautechnische Gegebenheiten in Betracht, berücksichtigt neben der strecken- und fahrzeugspezifischen Fahrdynamik auch die Menschlichen Faktoren.

Anhand der übergreifenden Betrachtung der Arbeitsfelder Infrastrukturplanung und Fahrdynamik können wichtige Synergien genutzt werden, um einerseits neue Erkenntnisse zur Qualitätssteigerung und Planungssicherheit zu gewinnen und andererseits gesamtheitlich betrachtet die Projektkosten (einschließlich der Realisierungskosten), vor allem bei komplexen Projekten, zu minimieren. Das gegenständliche Forschungsprojekt spiegelt eine zukunftsorientierte Methode, unabhängig von vorhandenen Rahmenbedingungen, bei Planungen von

Infrastrukturprojekten und die Vorteile von 3-dimensionalen Planungen wider. Eine abschließende Nutzen-Analyse stellt die neuen Erkenntnisse zur Qualitätssteigerung und Planungssicherheit dar.

2.2 Vorgehensweise Forschungsauftrag

Am Anfang einer Forschungsarbeit steht die zu untersuchende These: Mit 3D Planung kann ein Mehrwert erzielt werden. Dieser Mehrwert bzw. Nutzen ist gemäß der eingangs angesprochenen Problemstellung die qualitative Verbesserung der Straßenplanung bei steigenden inhaltlichen Anforderungen. Ergebnis der Forschungsarbeit ist es, die These zu belegen, indem Methoden zur Umsetzung geprüft, bewertet und empfohlen werden. Damit wäre der Nutzen der 3D Planung erwiesen und der Beleg erbracht.

Die Folgerichtigkeit der Schritte ist wesentlich, weshalb der Ablauf wie folgt gewählt ist:

- Analyse des Status Quo bzw. des Ist-Zustands (Kapitel 3):

  Basis für Verbesserungspotential und Problemanalyse

- Methodenentwicklung zu den einzelnen Problemen bzw. Zielen (Kapitel 4)
- Prüfung an Hand eines Anwendungsbeispiels (Kapitel 5)
- Nutzen-Analyse (Kapitel 7)

  Die Methodik der 3D Planung als Maßnahme der technischen Zielerreichung wird an Hand der gewonnenen Erkenntnisse abgewogen. Alle relevanten Parameter fließen in eine holistische Gesamtbetrachtung ein. Diese bildet die Grundlage für eine darauf aufbauende Empfehlung.

- Schlussfolgerung (Kapitel 9)

  Hier werden die Empfehlungen für die Lösung der einzelnen Problemstellungen bzw. Ziele ausgesprochen.

2.3 Methodik Nutzen-Abwägung

Die Untersuchungen an Hand von laufenden Planungsprozessen und auf Basis von Erfahrungen aus bereits abgewickelten Projekten zeigen hinsichtlich der in Kapitel 1.2.1 angeführten Ziele jeweils eine bereits etablierte Vorgehensweise, die zum Teil von den Vorgaben des AG, zum Teil von technischen Rahmenbedingungen (z.B. gewählte

Softwarelösung) oder individuellen Lösungsansätzen abhängen. Diese heterogenen Ansätze sind möglich bei gleichzeitigem Berücksichtigen von Normen, Richtlinien und anderen bindenden (rechtlichen oder technischen) Vorschriften.

Es wurde daher jeweils ein „best case“ als qualitative Zielsetzung oder idealisierter Workflow entwickelt. Dieser „best case“ bildet die Erreichung der jeweils sektoral entwickelten Ziele (Vermessung, Planung, Betrieb, Bau, Kommunikation) ab. Um bewerten zu können, ob ein Verfolgen eines Ziels auch im Sinne des Auftraggebers zielführend ist wird wie folgt vorgegangen:

Je Zielsetzung

1. fachliche Beurteilung
   - Auflistung von technischen Vor- und Nachteilen
   - Gegenüberstellung von Vor und Nachteilen
2. Aufwand / Mitteleinsatz
   - Auflistung von Aufwänden und Einsparungen (ohne Monetarisierung)
   - Gegenüberstellung von Aufwänden und Einsparungen
3. argumentative Abwägung der fachlichen Vorteile gegenüber dem Mitteleinsatz

Gesamtbewertung

Die Maßnahmen, die zu den einzelnen Zielerreichungen führen, betreffen unterschiedliche Planer und können zum Teil unabhängig voneinander umgesetzt werden. Es ist folglich nicht erforderlich, 3 D Planung in allen Aspekten oder in keinem Aspekt zur Anwendung zu empfehlen.

Die Bewertung gibt allerdings die Möglichkeit, besonders nützliche Themen als prioritär hervorzuheben oder Themen mit voraussichtlich geringerem Nutzen (bei ev. höherem, erforderlichen Aufwand) zurückzustellen.

Die Einstufung der Vor- und Nachteile erfolgt gleichermaßen wie die des „Aufwandes / Mitteleinsatzes“ und letztlich die Abwägung. Jede der Bewertungen erfolgt in einem 5-stufigem Schema (siehe Tabelle 1):

++	Die Vorteile überwiegen die Nachteile deutlich. Der Charakter der Vorteile legen ein verfolgen der Umsetzung nahe.
+	Es bestehen gleichermaßen Vor- und Nachteile, wobei die Nachteile geringfügig einzustufen sind oder nur einmalig auftreten. Die Vorteile überwiegen bzw. stellen einen dauerhaften Nutzen dar.
o	Vor- und Nachteile sind ausgewogen.
-	Die auftretenden Vorteile sind geringfügig. Es treten Nachteile auf, die durch die Vorteile nicht rechtzufertigen sind oder die deutliche Erhöhungen des Aufwands erfordern.
--	Die Nachteile sind schwerwiegend bzw. überwiegen die Vorteile deutlich. Von einer Umsetzung sollte abgesehen werden.

Tabelle 1 – Methodik

3 STATUS QUO BEI 3-DIMENSIONALEN VERKEHRSINFRASTRUKTURPROJEKTEN (IST-ANALYSE)

Ausgehend von bisher durchgeführten beziehungsweise umgesetzten Planungen und Projekten werden in dem Kapitel die derzeit üblichen Qualitäten sowie Standards bei 3 dimensionalen Verkehrsinfrastrukturprojekten dargestellt. Die Analyse des Status quo beziehungsweise dem Stand der Technik erfolgte für nachfolgende Hauptschwerpunkte

- Geländeaufnahmen (Vermessungen) und 3D Geländemodell,
- Datenaustausch bei 3DPlanungen von Infrastrukturprojekten,
- Einbautenerhebung und Vorportalbereich (Einbautenplanung),
- Fahrdynamische Untersuchungen und
- Visualisierung

an unterschiedlichen Straßenkategorien, an verschiedenen Streckentypen und bei verschiedenen Auftraggebern (ASFINAG, ÖBB, etc.).

Als Anwendungsbeispiel für die Umsetzung der fahrdynamischen Untersuchungen wurde das Projekt A 8 Innkreis Autobahn ASt Wels – Wimpassing herangezogen.

Für die Beurteilung des derzeitigen Standards bei Trassierungen von Straßen- und Schieneninfrastrukturprojekten wurde als Basis das Trassierungsprogramm „Provi“ von Obermayr [9] herangezogen.

3.1 Geländeaufnahme, Vermessung und 3D Geländemodell

3.1.1 Vermessungstypen

Die hier beschriebenen Vermessungstypen sind sinngemäß in Anlehnung an die RVS 06.01.11 [10] dargestellt. Ergänzend wurde auf die Website von Vermessungsbüros zurückgegriffen [11] [12] [13]. Die Geländeaufnahme im Zuge von Infrastrukturprojekten im Bereich Straße und Schiene wird grundsätzlich mit den im Folgenden beschriebenen drei Methoden der Technischen Vermessung realisiert. Entsprechend der geforderten Informationstiefe der Geodaten und der Genauigkeit werden alle Verfahren dem Zweck entsprechend eingesetzt. Für den Fall, dass das terrestrische (vom erdfesten Standpunkten aufgenommene) Verfahren auf Grund der Geländeklasse / Schwierigkeitsklasse und Bewuchs nicht möglich ist, wird die Gewinnung von Informationen über der Erdoberfläche mittels Flugzeug und Satellit herangezogen.

3.1.1.1 Photogrammetrie

Unter Photogrammetrie versteht man das berührungslose Vermessen von Objekten aus (photographischen) Bildern dieser Objekte (z.B. die Erstellung von Karten aus Luftbildern).

Ergebnisse photogrammetrisch aufgenommener Bildern sind vor allem:

- Digitales Orthophoto (georeferenzierte entzerrte photographische Bilder)
- 3D Koordinaten (Punkt- und Strichauswertung)
- Höhenschichtlinien (digitale Höhenmodelle)
- 3D Objekte (in der Regel von Gebäuden)

Arten von Photogrammetrischen Aufnahmen

- Aerophotogrammetrie (für Projekte größerer Ausdehnung)

  Hier werden die Luftbilder von einem i.d.R. bemannten Fluggerät aufgenommen. Dabei werden auf vorgegeben Flugpfaden Bilder lückenlos erstellt und in weiterer Folge ausgewertet. Der Vermessungstyp wird derzeit vor allem bei Machbarkeitsstudien und Vorprojekten eingesetzt. Die Verwendung bei Einreichprojekten ist in Abhängigkeit des Geländes und der Genauigkeit nur bedingt sinnvoll. Neben dem bemannten Fluggerät besteht auch die Möglichkeit mittels unbemannten Fluggeräten (Drohne) Luftbilder aufzunehmen. Für

großräumige Untersuchungen kann auch die Satellitenphotogrammetrie eingesetzt werden.

- Terrestrische Photogrammetrie (für Projekte geringer Ausdehnung)

  Messbilder werden vom erdfesten Standpunkt aus aufgenommen. Es entstehen großmaßstäbliche Aufnahmen kleiner Gebiete. Der Einsatzbereich der Terrestrischen Photogrammetrie ist auf Einzelobjekte oder begrenzte Gebiete abgesteckt. Der Einsatz in Verkehrsinfrastrukturprojekten ist nur in Ausnahmefällen relevant (Massenermittlung, Dokumentation, Bauüberwachung).

Die erzielbaren Genauigkeiten hinsichtlich der Präzision sind in der Photogrammetrie sehr unterschiedlich und von den entsprechenden Aufnahmen abhängig (Mikrophotogrammetrie bis Satellitenaufnahmen).

3.1.1.2 Laserscanning

Durch den Laserscanner werden Laserimpulse zur Gelände- bzw. Objektoberfläche gesendet. Durch die Reflektion des Impulses und die Laufzeit wird das Gelände errechnet. Folgende Daten können aus einem 3D Laserscan erstellt werden:

- Digitales Geländemodell (DGM)
- Digitales Oberflächenmodell (DOM)
- Höhenschichtlinien (digitale Höhenmodelle)

Die Definitionen des digitalen Geländemodells und des digitalen Oberflächenmodells erfolgt im Kapitel 3.1.2.

Arten von Laserscanns

- Airborne Laserscan ALS (für Projekte großer Ausdehnung)

  Die Aufnahme der Geländeoberfläche erfolgt über einen Flugzeug-Laser-Scanner. Der Einsatz in der Infrastrukturplanung ist in den Projektphasen – Machbarkeitsstudie (wenn Laserscan bereits vorhanden), Vorprojekt, Einreichprojekt und Bauprojekt (in Abhängigkeit des Geländes und der erforderlichen Genauigkeit) sinnvoll.

- Terrestrischer Laserscan (für Projekte geringer Ausdehnung)

Hier handelt es sich um ein statisches Verfahren wobei der Laser unbewegt ist. Das Gelände wird von mehreren Standpunkten aus abgetastet. Die Positionen der Standpunkte orientieren sich am zu scannenden Objekt und den Hindernissen wie Vegetation, Fahrzeuge, Maschinenanlagen etc. Hierfür gibt es Laserscanner mit unterschiedlicher Reichweite und Genauigkeit. Zunehmend wird dieses Verfahren als Ersatz für terrestrische Photogrammetrie heran gezogen. Der Einsatz in der Infrastrukturplanung ist in den Projektphasen – Machbarkeitsstudie (wenn Laserscan bereits vorhanden), Vorprojekt, Einreichprojekt und Bauprojekt (in Abhängigkeit des Geländes und der erforderlichen Genauigkeit) sinnvoll.

- Mobiler Laserscan (z.B. für Objekte entlang von Straßen / Autobahnen)

  Mobile-Mapping ist ein Verfahren zur Erfassung von großflächigen räumlichen Daten durch einen mobilen Träger wie z. B. einen Pkw. Dieses Verfahren kommt in der Infrastrukturplanung bisweilen kaum zum Einsatz.

Die erzielbare Genauigkeit hinsichtlich der Präzision von Terrestrischen Laserscanns liegt im Dezimeter- bis Millimeterbereich und ist vor allem abhängig von Scanner, Entfernung und der Geländeoberfläche.

3.1.1.3 Tachymetrie

Hier wird die Aufnahme von Punkten in Lage und Höhe mittels elektronischen Tachymeters (Totalstation) und die Ausgabe eines Lage- und Höhenplans (mit Höhenkoten und Höhenlinien) verstanden. Die Detailfülle (Dichte der Punktwolke, Linienkante, Bruchkante) ist vom Aufnahmezweck abhängig und umfasst beispielsweise:

- Straßenraum: Randsteine, Bodenmarkierungen, Verkehrszeichen etc.
- Gebäude: Mauern, Zäune, Eingänge, Einfahrten, Stiegen, etc.
- Infrastruktur: Laternen, Ampelanlagen, Kanaldeckel, Einlaufgitter etc.
- Leitungen: Hochspannungsleitungen (inkl. Durchhang / Temperatur) etc.
- Gelände: Böschungen, Dämme, Gräben, Bruchkanten, etc.
- Vegetation: Bäume, Büsche, etc.

Diese Daten bilden gewöhnlich die Grundlage im Hoch- und Tiefbau und sie werden in allen Projektphasen (Vorprojekte, Einreichprojekte und Bauprojekte) von Infrastrukturprojekte benötigt. Die erzielbaren Genauigkeiten hinsichtlich der Präzision sind grundsätzlich sehr hoch.

3.1.2 Erstellung 3D Geländemodell

In den letzten Jahren fand eine kontinuierliche Weiterentwicklung von graphisch-interaktiven Programmsystemen für dreidimensionales Projektieren von Verkehrsinfrastrukturprojekten (kurz Trassierungsprogrammen) in den Bereichen Straße und Schiene statt. Die dreidimensionale Planung und Projektierung der Verkehrsinfrastruktur erfolgt auf dem in den Trassierungsprogrammen verwendete bzw. erstellten Geländemodell. Um ein durchgängiges und komplettes dreidimensionales Modell des geplanten Verkehrsinfrastrukturprojektes zu erhalten ist ein zweidimensionales Geländemodell nicht ausreichend sondern es muss ein 3D Geländemodell der Planung zugrunde gelegt werden. Eine einheitliche Definition für ein 3D Geländemodell (für die Verkehrsinfrastrukturplanung) ist derzeit nicht vorhanden. Daher wird in weiterer Folge nachfolgende Begriffsbestimmung definiert:

3D Geländemodell

Ist eine dreidimensionale, digitale, modellhafte Abbildung der Erdoberfläche mit allen für die Verkehrsinfrastrukturplanung relevanten darauf befindlichen Objekten welches in Trassierungsprogrammen verwendet bzw. dargestellt (sowie in der Datenbank gespeichert) wird. Eine Speicherung ist auch in unterschiedlichen anderen Datenformaten (LandXML, AutoCad, etc.) möglich. Das 3D Geländemodell wird auf Basis der Geländeaufnahme bzw. der digitalen grafischen Darstellung des Geländes für bzw. in den Trassierungsprogrammen erstellt. Das Geländemodell bildet nicht nur die Grundlage für die Trassierung der Infrastrukturplaner (Straße und Schiene) sondern auch für die Berechnungen und Planungen der andere Fachplaner (z. B. Lärm- und Luftplaner). Seit 1. Mai 2017 gibt es in Österreich durch die FSV (Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehrs) gemäß RVS 06.01.11 (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) Ziel- und Aufgabenbeschreibung (für Leistungsbilder, Planung – Neubau, Vermessungswesen und Geoinformationen) nachfolgende weitere Definitionen. In der FSV wird der Stand der Technik in Form von den Richtlinien (RVE/RVS) für das Straßen- und Eisenbahnwesen festgeschrieben.

Digitales Geländemodell (DGM) [10]

Digitales (= numerisches) Modell der Geländehöhen und –formen. Im Gegensatz zum digitalen Oberflächenmodell (DOM) stellt das DGM keine Objekte auf der Erdoberfläche, wie z.B. Vegetation und Gebäude, dar.

Digitales Oberflächenmodell (DOM) [10]

Digitales (= numerisches) Modell der Höhe der Erdoberfläche. Im Gegensatz zum digitalen Geländemodell (DGM) beschreibt das DOM in bebauten und bewachsenen Gebieten nicht die Höhe des natürlichen Erdbodens (Gelände), sondern die Höhe der Oberfläche der auf der Erde befindlichen natürlichen und künstlichen Objekten, wie z.B. Vegetation und Gebäude.

3.1.2.1 Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (Allgemein)

Wie eingangs dargestellt wird ein 3D Geländemodell vor allem auf Basis der Geländeaufnahme erstellt.

Geländeaufnahme

Ist eine digitale grafische Darstellung des Geländes und erfolgt auf Basis einer messtechnischen Erfassung der Geländeform. Gegenwärtig liegen zwei unterschiedliche Typen von Geländeaufnahmen für die Erstellung von 3D Geländemodellen bei Verkehrsinfrastrukturprojekten vor. Dadurch lassen sich auch zwei verschiedene Prozesse für die Erstellung von 3D Geländemodellen herleiten, wobei einerseits die Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung (Abbildung 1) und andererseits zusätzlich die Geländeaufnahme – 3D Vermessung die Grundlage (Abbildung 2), darstellen.

Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung

Die Geländeaufnahme 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung ist ein Lage- und Höhenplan mit Höhenkoten und Höhenlinien sowie zusätzlichen Profilen. Die Linienverbindungen (Bruchkanten) zwischen den aufgenommenen Punkten (mit Höhenkoten) im Lageplan besitzen keine Höhenangaben (2D Polylinien im AutoCad).

Geländeaufnahme – 3D Vermessung

Die Geländeaufnahme 3D Vermessung ist ein Lage- und Höhenplan mit Höhenkoten, 3D Linienverbindungen (Bruchkanten) und Höhenlinien. D. h. es werden alle raumbezogenen CAD-Elemente (Linienverbindungen) in den 3D-Raum gehoben (3D Polylinien im AutoCad) und in der Regel wird eine höhere Aufnahmedichte von Punkten

als bei der Geländeaufnahme 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung (wie z.B. Bordsteinunterkanten und Bordsteinoberkante) benötigt.

In beiden Prozessen erfolgt die Erstellung sowohl der Geländeaufnahme – 2,5D kombinierten Lage- und Höhenmessung als auch der Geländeaufnahme – 3D Vermessung immer durch den Geodäten unter Berücksichtigung von Vorgaben des Auftraggebers (Interne Vorgaben soweit vorhanden wie z.B. Pflichtenheft der ÖBB). Die Erstellung des 3D Geländemodells hingegen erfolgt in der Regel durch den Infrastrukturplaner (Fachplaner).

In Abbildung 1 ist der Prozess zur Erstellung eines 3D Geländemodells auf Basis einer 2,5 D Vermessung abgebildet. Die Erstellung des 3D Geländemodells erfolgt hier durch den Infrastrukturplaner (Fachplaner).

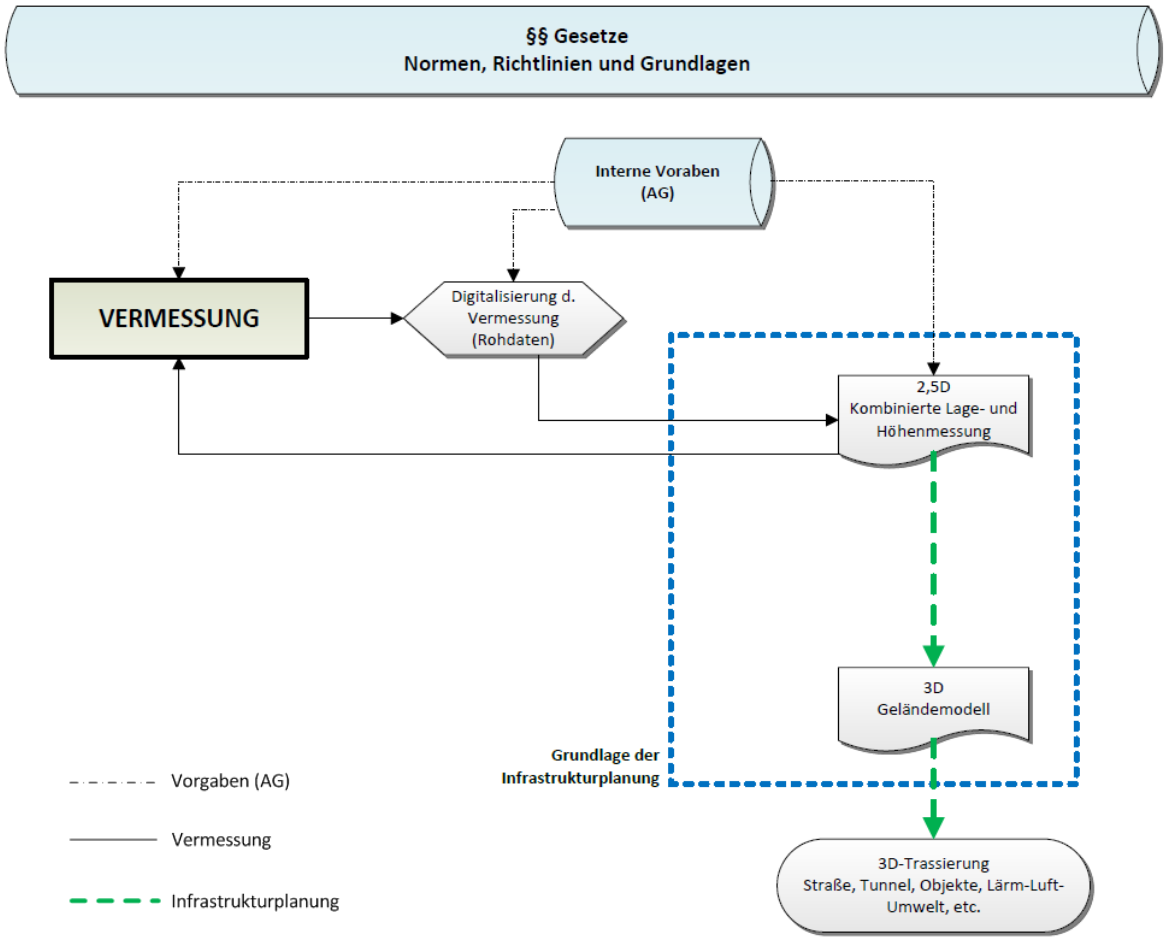


Abbildung 1: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo I (Allgemein)

Der Prozess zur Erstellung des 3D Geländemodells auf Basis einer 3D Vermessung ist in Abbildung 2 dargestellt.

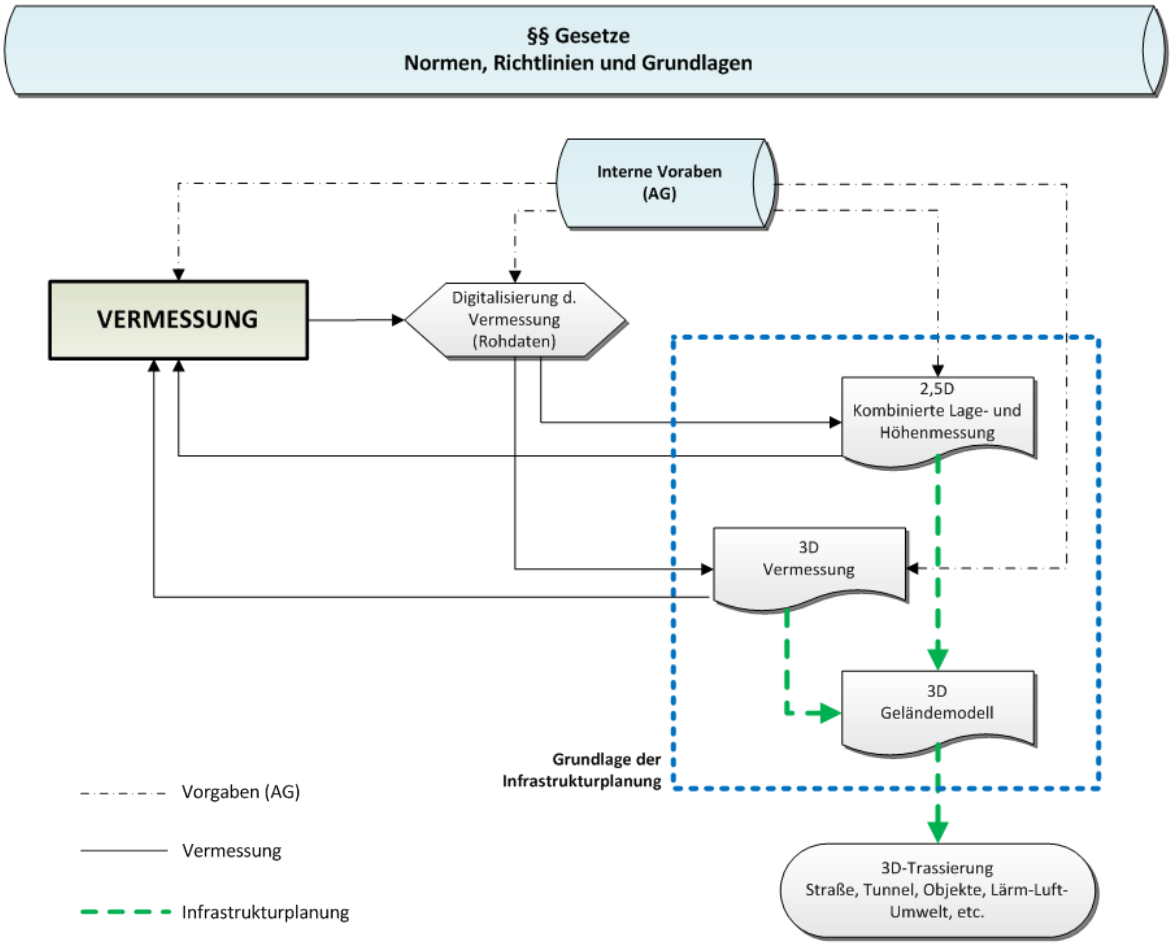


Abbildung 2: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo II (Allgemein)

3.1.2.2 Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG)

Grundsätzlich ist bei ASFINAG Projekten der aktuelle Prozess für die Erstellung von 3D Geländemodellen gleich wie bei anderen Gesellschaften im Verkehrsinfrastrukturbereich (entsprechend dem allgemeinen Prozess). Der wesentliche Unterschied sind die teilweise fehlenden beziehungsweise unzureichenden internen Vorgaben für die Erstellung der 3D Vermessung. Der derzeitige übliche Prozess für die Erstellung von 3D Geländemodell bei der ASFINAG ist in der Abbildung 3 dargestellt.

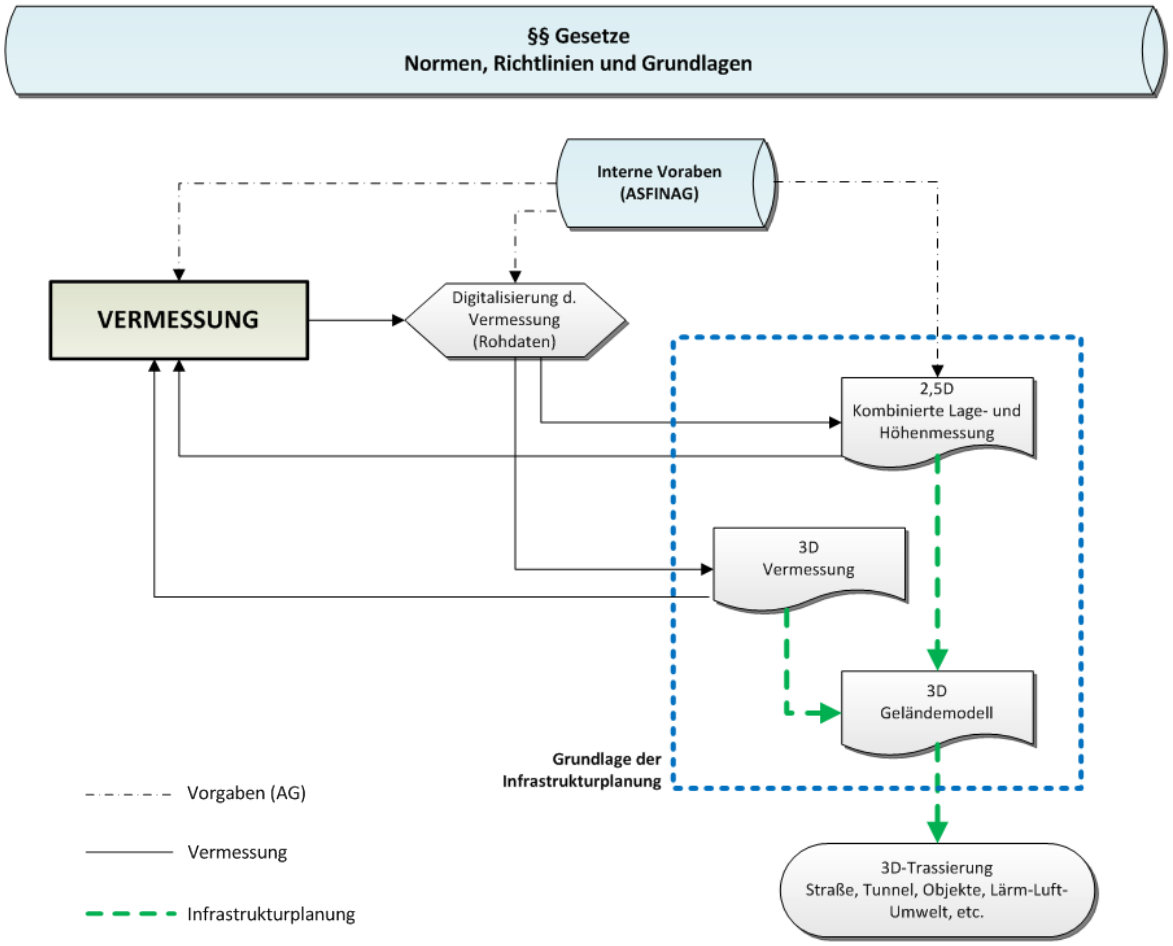


Abbildung 3: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG)

Die derzeit wesentlichen internen Vorgaben der ASFINAG werden in den nachfolgenden Dokumenten geregelt:

- Vermessung zum Einreichprojekt und Bauprojekt; D.3 Leistungsbeschreibung (Entwurf 2017)
- Vermessung zum Einreichprojekt und Bauprojekt; D.5 Leistungsverzeichnis (Entwurf 2017)
- Dokumentationsrichtlinie für Naturbestandsaufnahmen – Technische Richtlinie (01.10.2016)
- Dokumentationsrichtlinie für Naturbestandsaufnahmen – Technische Richtlinie Änderungsdokument (01.10.2016)

3.1.3 Analyse Status Quo bei Vermessungen und 3D Geländemodellen

Die Analyse des Status Quo bei der Erstellung von Geländeaufnahmen (Vermessungen) und 3D Geländemodellen wird vor allem unter Bezug auf die ASFINAG, durchgeführt.

In Abbildung 4: Analyse Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG) sind die derzeitig fehlenden und unzureichend definierten oder nicht optimalen umgesetzten Prozessabläufe in „rot“ dargestellt. Diese Prozesse werden im Folgenden in Hinblick auf die jeweils spezifischen Defizite analysiert.

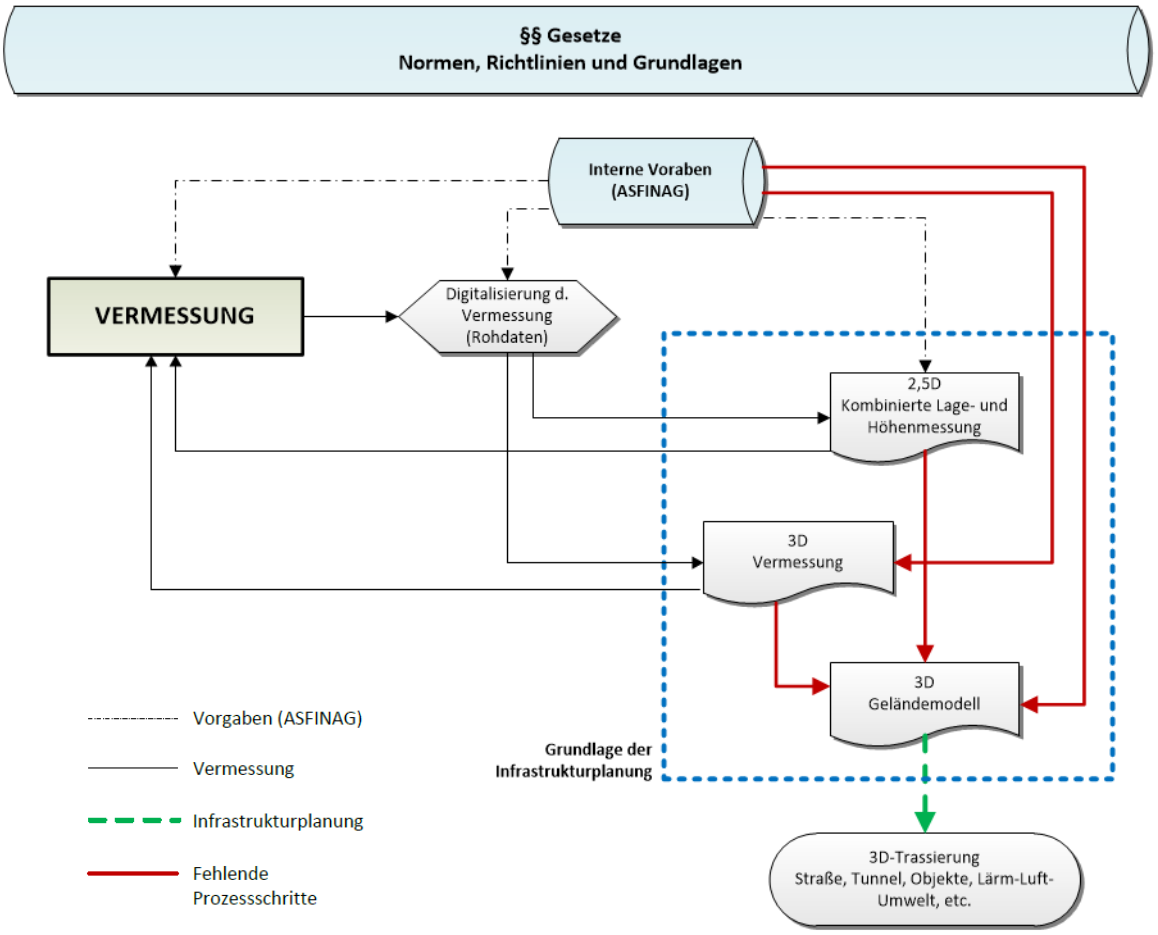


Abbildung 4: Analyse Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG)

Prozessschritt: „Interne Vorgabe (ASFINAG)“ ► „3D Vermessung“

Die derzeit vorhandenen internen Vorgaben bei der ASFINAG für die Erstellung von 3D Vermessungen welche in den Dokumenten Dokumentationsrichtlinie für Naturbestandaufnahmen [14] und Leistungsbeschreibung für Vermessung [15]

festgelegt sind bzw. geregelt werden, liegen zwar vor, führen aber aufgrund unzureichender Festlegungen und Definitionen zu unterschiedlichen Qualitäten der Geländeaufnahmen – 3D Vermessung bei einzelnen Projekten.

Nachfolgend sind wesentliche Textauszüge für Vorgaben zur 3D Vermessung für aus der Leistungsbeschreibung der ASFINAG für Vermessungen [15] aufgelistet:

„3.2.5 Modul: 3d-Planerstellung auf Basis eines 2,5d-Lage- und Höhenplanes

(Interne Anmerkung: die Vermessung erfolgt gem. PlaDok als 2,5d-Lage- und Höhenplan. Ist ein Geländemodell bzw. eine 3d-Planerstellung erwünscht kommt folgende Position zur Ausschreibung)

Diese Position ist als Aufzahlungsposition zur Pos. 3.2.4 „Kombinierte Lage- und Höhenmessung – Geländeaufnahme“ zu sehen. Keinesfalls ist damit gemeint, außer es wird in der Ausschreibung anders definiert, dass bereits vorhandene Vermessungen in einen 3d-Plan umgearbeitet werden sollen.

Leistungsumfang gem. RVS

Folgender Bereich ist in Abstimmung mit dem technischen Planer als 3d-Plan zu erstellen: Xxx

Die Abrechnung erfolgt in Pauschalen.“

Bei anderen Gesellschaften beziehungsweise Unternehmen im Verkehrsinfrastrukturbereich sind die Vorgaben für die Erstellung von 3D Vermessungen ausführlicher und exakter. Z.B. hat die ÖBB ein eigenes Pflichtenheft für terrestrische Vermessungen [16] entwickelt, welches die Rahmenbedingungen für 3D Vermessungen mit ausreichender Qualität für die Erstellung von 3D Geländemodellen liefert.

Prozessschritt: „ Interne Vorgabe (ASFINAG)“ ► „3D Geländemodell“

Bei der ASFINAG aber auch bei anderen Gesellschaften beziehungsweise Unternehmen im Verkehrsinfrastrukturbereich fehlt die exakte einheitliche Definition des 3D Geländemodells (für die Verkehrsinfrastrukturplanung) und andererseits sind praktisch keine Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Erstellung eines 3D Geländemodells festgelegt.

Prozessschritt: „2,5D Kombinierte Lage- und Höhenmessung“ ► „3D Geländemodell“

Die Erstellung des 3D Geländemodells auf Basis einer Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung ist zwar grundsätzlich möglich aber aufgrund unzureichender Genauigkeit der Geländeaufnahme hinsichtlich „Vereinfachung der grafischen Darstellung“, nur bedingt zielführend. In der Regel werden bei 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung nicht genug Punkte aufgenommen um ein 3D Geländemodell mit der erforderlich Qualität für Infrastrukturplanungen zu erhalten. D.h. es müssen für die Erstellung des 3D Geländemodells Annahmen (teilweise automatisch durch Programme oder händische Korrekturen und Ergänzungen) getroffen werden (z.B. zusätzliche Punkte wie Bordsteinoberkante, zusätzliche Punkte bei Böschungsverschnitten, Verlauf von zusätzlichen benötigten Bruchkanten, etc.) die nicht vom Geodäten vor Ort vermessen wurden.

In der Regel erfolgt derzeit die Erstellung des 3D Geländemodells durch die jeweiligen Fachplaner (Straße, Tunnel, Bauwerke, Lärm, Luft, etc.) wodurch unterschiedliche 3D Geländemodelle bei ein und derselben Geländeaufnahme entstehen. Diese Unterschiede und Abweichungen ergeben sich dadurch, dass die Fachplaner doch zahlreiche Annahmen für die Erstellung des 3D Geländemodells zu treffen haben.

Prozessschritt: „3D Vermessung“ ► „3D Geländemodell“

Die Erstellung des 3D Geländemodells auf Basis einer Geländeaufnahme – 3D Vermessung ist im Vergleich zu einer Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung einfacher und exakter. Grund dafür ist die Genauigkeit der Grundlage hinsichtlich „Vereinfachung der grafischen Darstellung“ wodurch eine geringere Anzahl von Annahmen durch den Ersteller des 3D Geländemodells getroffen werden müssen. Weiters haben diese Annahmen in der Regel auch geringer Auswirkungen auf das 3D Geländemodell.

In der Regel erfolgt auch hier derzeit die Erstellung des 3D Geländemodells durch die jeweiligen Fachplaner (Straße, Tunnel, Bauwerke, Lärm, Luft, etc.) wodurch auch unterschiedliche 3D Geländemodelle bei ein und derselben Geländeaufnahme entstehen. Diese Unterschiede und Abweichungen sind im Vergleich zum Prozess 2,5D Kombinierte Lage- und Höhenmessung“ ► „3D Geländemodell“ zwar geringer aber trotzdem möglich und vorhanden.

3.2 Datenaustausch Trassierungsprogramme

Der Datenaustausch bzw. die Weitergabe von Planungen bzw. Planunterlagen bei Verkehrsinfrastrukturprojekten (Straße und Schiene) tritt in der Regel am Ende der Projektphasen (z.B. Einreichprojekt) auf wobei die Planungen bzw. Planunterlagen in analoger Form (Farbplots) und in digitaler Form (.pdf-Dateien und .dwg-Dateien) dem Auftraggeber zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt werden. Weiters werden im Planungsprozess einer Projektphase die Planungen bzw. Planunterlagen zwischen Projektanten weitergegeben.

3.2.1 Trassierungsprogramme Österreich + Ausland (Software)

Aufbauend auf die Literaturrecherche werden ausgewählte, derzeit verwendete Trassierungsprogramme nachfolgend aufgelistet:

- Civil-3D (Weltweit)
- 12D (z.B. UK, Australien, Neuseeland)
- InRail, Microstation, MXROAD (von Bentley) (Weltweit)
- ProVi (Österreich, Deutschland, Schweiz)
- Topo Rail (SBB eigens entwickeltes Programm, Schweiz)
- Vestra (Österreich, Deutschland, Schweiz)
- RoadEng (Canada)
- Civil CAD (bzw MAGNET)
- Trimble Novapoint (Skandinavien)
- Civil Designer (z.B. Südafrika)
- Diolkos (z.B. Griechenland)
- SierraSoft Roads (z.B. Italien)

3.2.2 Weitergabe von Trassierungsdaten (Datenaustausch)

Im Zuge der Weitergabe von Planungen bzw. Planunterlagen bei Verkehrsinfrastrukturprojekten werden bzw. müssen auch Trassierungsdaten übermittelt werden. Die Definition der Trassierungsdaten wird in Anlehnung der RVS 03.03.23 [17] durchgeführt.

Trassierungsdaten

Trassierungsdaten sind Entwurfselemente der Straße und werden unterschieden in Lage der Achse (Gerade, Kreisbogen, Übergangsbögen), der Höhe der Achse (Bezugslinie, Längsneigung, Änderung der Längsneigung) und des Querschnittes (Querneigung, Anrampung und Verwindung, Fahrflächenbreite, Bankettbreite, etc.).

Der Datenaustausch von Trassierungsdaten erfolgt derzeit über den AG und umfasst nur die Weitergabe als 2D Daten. In den folgenden Punkten wird der Status Quo der Datenübermittlung aufgezeigt und analysiert, und schlussendlich ein möglicher, optimaler Prozess für die Übergabe als 3D Daten aufgezeigt.

3.2.2.1 Weitergabe von Trassierungsdaten – Status Quo: Datenweitergabe via AG

Das in Abbildung 5 dargestellte Flussdiagramm stellt den aktuellen gelebten Prozess der Weitergabe von Trassierungsdaten in Straßenplanungsprojekten dar. Hier abgebildet ist der Prozess der Projektübergabe von einer Projektphase in die Nächste (zum Beispiel das Vorprojekt wird zum Einreichprojekt).

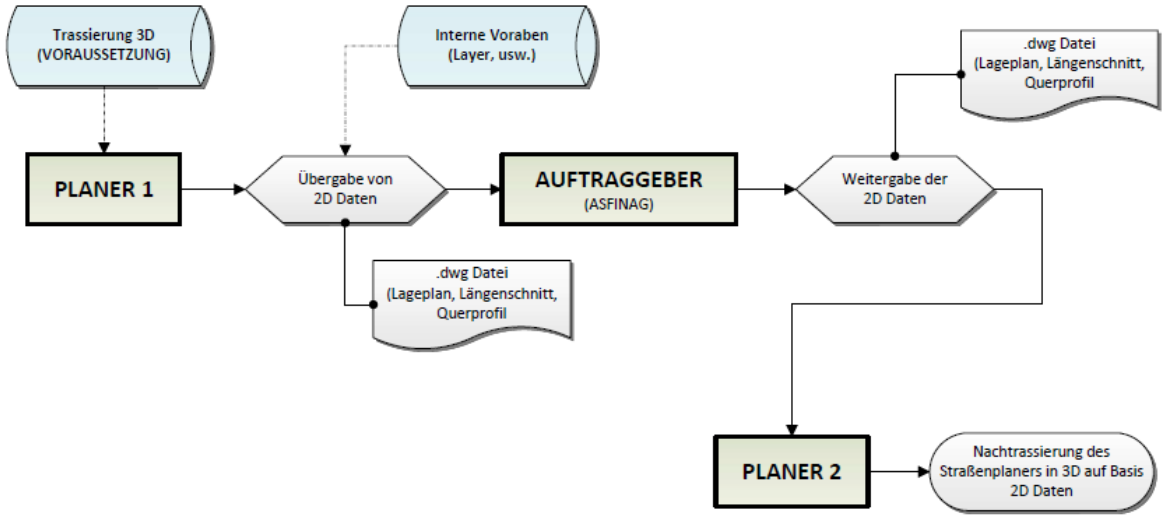


Abbildung 5: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Status Quo I

Der Planer 1 hat seinen Auftrag (z.B. das Vorprojekt) abgeschlossen und übergibt die Planunterlagen (im Regelfall .pdf- und .dwg-Dateien mit den entsprechenden Layout-Vorgaben) dem Auftraggeber. Der vom Auftraggeber beauftrage Planer 2 (z.B. für das Einreichprojekt) erhält diese Daten für die weitere Planung. Planer 2 startet die Nachtrassierung (in 3D) anhand der übermittelten 2D Daten. Bei der Nachtrassierung

wird das gesamte Vorprojekt grundlegend neu aufbereitet und dadurch auch dessen Plausibilität geprüft.

3.2.2.2 Weitergabe von Trassierungsdaten – direkte Datenweitergabe

Demgegenüber steht der direkte Datenaustausch (auf Anfrage und Entgegenkommen unter den Planer) – siehe Abbildung 6. Die 3D Daten können entsprechend der Planungsprogramm-Kompatibilität (siehe Kapitel 3.2.2.3) direkt übernommen und weiter bearbeitet werden (siehe dick gestrichelte Linien in Abbildung 6 – Weitergabe 3D Daten).

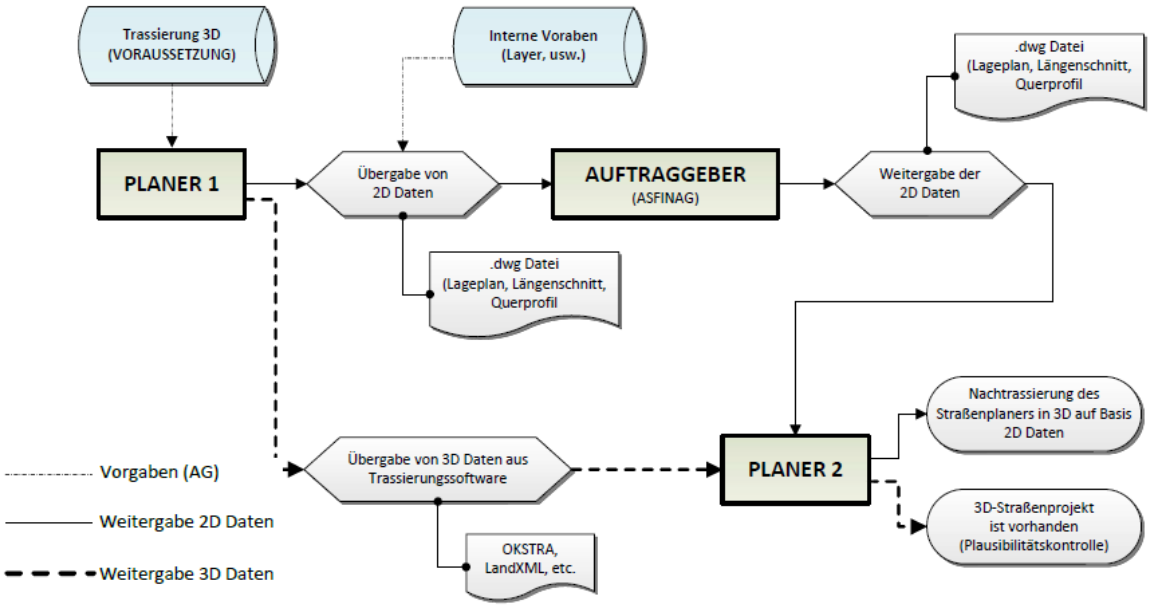


Abbildung 6: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Status Quo II

Für die direkte Übermittlung von 3D Trassierungsdaten sind derzeit keine einheitlichen üblichen Standards und Vorgaben festgelegt.

3.2.2.3 Schnittstelle Trassierungsprogramme (3D Datenaustausch)

Der Datenaustausch zwischen einzelnen 3D Softwareprogrammen ist nicht selten problematisch, zwar sind teilweise Schnittstellen vorhanden, erlauben aber meistens nur eine eingeschränkte Weitergabe der Trassierungsdaten. Eine komplette und vollständige Weitergabe ist natürlich zwischen der gleichen Trassierungssoftware möglich.

In Tabelle 2 sind die derzeit zur Planung und Trassierung verwendeten repräsentativen Software-Pakete im deutschsprachigen Raum und deren Kompatibilität zueinander aufgelistet. Vertieft wurden die Programme Civil 3D 2018 und Provi 5.5 SP1 geprüft. Wobei hier die Konzentration auf den wesentlichen Schnittstellen lag. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und bei Bedarf müssen Kompatibilitäten im Einzelnen und im Detail geprüft werden (Abhängigkeiten vom verwendeten System und Softwareversionen).

Programm		Civil 3D		Provi		12D		Bentley	
		imp.	exp.	imp.	exp.	imp.	exp.	imp.	exp.
	Hersteller								
12d	12da (Ascii)	x*	x*						
ALC Format	Plasser & Theurer				x				
Bentley	Geopak	x	x						
	Geopak	x	x						
	Inroads	x	x						
	Inroads	x	x						
CARD/1; ProSig				x	x				
Civil 3D	Autodesk			x	x	x	x	x	x
DB_GIS	DB AG			x	x				
GEOgraf	HHK				x				
GSI Fomat	Leica			x	x				
IDMVU				x	x				
IGLEIS	ÖBB			x	x				
InRail/InRoads	Bentley			x	x				
ISYBAU	Typ K	x	x	x	x				
	Typ LK	x	x	x	x				
	Typ H	x		x	x				
LandXML		x	x	x	x				
M5, R4, R5, Rec500	Zeiss			x	x				
OKSTRA	Okstra	x	x	x	x				
REB	REB - IBM KA040	x	x						
	REB DA050	x	x						
	IBM KA021	x	x						
	REB DA066	x	x	x	x				
	REB DA045, DA058, DA049	x	x	x	x				
	REB DA21, D21, D20			x	x				
	REB DA55			x	x				
	REB DA54			x	x				
S30	VESTRA/VERBUND				x				
SDR	Sokkia			x	x				
Stratis / Card									
TIN	ems-i			x					
TopCon Magnet		x	x						
TOPORAIL	SBB			x	x				
Trimble Nova		x	x						
VERM.ESN	DB AG			x	x				
Vestra		x	x						

x* ... mit Zusatztool

Tabelle 2 – CAD-Software Kompatibilität

Die unterschiedlichen Formate sind zum Teil Firmen- bzw. Betreibereigene Softwaretools und unterscheiden sich dementsprechend voneinander:

- **ALS-Format:** Das Programm ALC Export ermöglicht den Export von Achs- und Gradientendaten sowie Gleisverschiebewerten für das ALC-Format der Automatischen Leitcomputer von Plasser & Theurer. [18]
- **BENTLEY InRail / InRoads:** Mit den Bentley-Trassierungsprogrammen können Achsen und Gradienten auch im ASCII-Format ausgetauscht werden. (Achse nach InRail/InRoads; InRail/InRoads nach Achse; Gradiente nach InRail/InRoads; InRail/InRoads nach Gradiente) [18]
- **CARD/1 ProSig:** Das Programm ASCIBAHN ermöglicht den Datenaustausch mit CARD/1 und ProSig. Es erlaubt sowohl das Importieren von Daten aus einer Schnittstellendatei als auch die Erzeugung einer Datei, die in den Fremdsystemen eingelesen werden kann. Die Schnittstelle kann für Straßen, Eisenbahn- und Magnetbahnprojekte verwendet werden. Im Straßenbau können Achs- und Gradientendaten sowie Geländelängsprofile ausgetauscht werden, im Eisenbahnbau zusätzlich Überhöhungsdaten und Weichen. Bei Magnetbahn werden die Überhöhungen durch Querneigungen ersetzt. Außerdem können Raumstationen und Geschwindigkeitsdaten berücksichtigt werden. [18]
- **CIVIL 3D:** Das Programm CIVILOUT ermöglicht den Export von Achsen, Gradienten und Längsprofilen nach Autodesk Civil 3D. Das Programm kann nur angewendet werden, wenn Civil 3D anstelle des normalen AutoCAD vorliegt. "Das Programm CIVILIN ermöglicht den Import von Achsen und Längenschnitten (Gradienten und Längsprofile) von Autodesk Civil 3D. Das Programm kann nur angewendet werden, wenn Civil 3D anstelle des normalen AutoCAD vorliegt. [18]
- **DB-GIS:** "DBGISIN / DBGISOUT ermöglicht den Import / Export von Daten des bei der DB AG gebräuchlichen GIS-System DB-GIS nach ProVI. In DB-GIS sind geometrische und topologische Gleisnetzdaten gespeichert und können dort mit den vorhandenen Funktionen erstellt und modifiziert werden. [18]
- **GEOgraf:** ist ein CAD-Programm von HHK Datentechnik, das seit 1986 vor allem für die Vermessungstechnik entwickelt wird. Deshalb beschränken sich alle bisher entwickelten Module/Erweiterungen auf den Bereich Vermessung. Dialogbox zur Konvertierung von Achsdateien und Gradientendateien ins GGR-

Format (Ausgabe von Kleinpunkten einer Achse für das Vermessungsprogramm GEOgraf). [18]

- **GSI Format:** Konvertierung von Punktdateien in Dateien im GSI-Format von Leica (Punktdatei importieren / exportieren). [18]
- **IDMVU:** "Das Programm IDMIN ermöglicht den Import von Daten im Format des Infrastruktur-Daten-Managements für Verkehrsunternehmen IDMVU (siehe www.idmvu.org). Achsen (Gleis oder Strecke) inkl. Kilometersprüngen und Überhöhung, Gradienten und Bauwerke können eingelesen werden. "Das Programm IDMOUT ermöglicht den Export von Achsen (Gleis oder Strecke) inkl. Kilometersprüngen und Überhöhung, Gradienten, Weichen und Bauwerken im Format des Infrastruktur-Daten-Managements für Verkehrsunternehmen IDMVU (siehe www.idmvu.org). [18]
- **IGLEIS:** Das Programm IGLEISIN ermöglicht den Import von Achs- und Gradientendaten aus der Gleisdatenbank der ÖBB (Datenschnittstelle iGleis). Das Programm IGLEISOUT ermöglicht den Export von Achs- und Gradientendaten zur Gleisdatenbank der ÖBB (Datenschnittstelle iGleis). [18]
- **ISYBAU:** Die ISYBAU-Austauschformate ermöglichen den uniformen und konsistenten Austausch digitaler Daten von allen abwassertechnischen Anlagen. Diese werden nach den Objektarten. (Haltungen; Leitungen; Rinne; Gerinne; Schächte; Anschlusspunkte; Sonderbauwerke) [18]
- **LandXML:** "Das Programm LANDOUT ermöglicht den Export von Achsen, Gradienten, Längs- und Querprofilen sowie Punktdateien und Geländemodellen im LandXML-Format, einem internationalen Standard für den Datenaustausch (siehe www.landxml.org). Applikationen, an die mit LandXML Daten übergeben werden können, sind beispielsweise Civil3D und verschiedene Vermessungsgeräte (z.B. Leica, Trimble). Das Programm LANDIN ermöglicht den Import von Daten im LandXML-Format, einem internationalen Standard für den Datenaustausch (siehe www.landxml.org). Neben Achsen, Gradienten, Längs- und Querprofilen können auch Geländemodelle und Punktdaten verarbeitet werden. [18]
- **M5, R4, R5, Rec50:** Konvertierung von Punktdateien in die Formate M5, R4, R5 und Rec500 von Zeiss (Punktdatei importieren / exportieren). [18]

- **Okstra:** Mit dem Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen, kurz OKSTRA®, besteht in Deutschland zum ersten Mal ein umfassender Standard, der alle Bereiche vom Straßenentwurf über die Bestandsdokumentation bis zur Erfassung von Verkehrsdaten umfasst. (Digitales Geländemodell; eine Böschung (als fachlich modelliertes Objekt); Achse, Gradiente und Längsprofil; Achse und Querprofil; http://www.okstra.de/) [18]
- **REB:** "Regelungen für die Elektronische Bauabrechnung". Die Regelungen beschreiben die Berechnungsmethoden und Methoden zum Austausch von Daten. Es gibt GAEB-Verfahrensbeschreibungen (GAEB-VB) und REB-Verfahrensbeschreibungen (Vermessung; Digitales Geländemodell; Straße). [18]
- **S30:** Konvertierung von Achsdateien in Dateien der Datenart S30. Die Datenart S30 wird vom Programm VESTRA/VERBUND als Achsdateiformat (mit Elementtyp "Fest", "Koppel", "Puffer") verwendet. [18]
- **SDR:** Konvertierung von Dateien im Format SDR33 von Sokkia in Punktdateien (Punktdatei importieren / exportieren) [18]
- **TIN:** Konvertierung von TIN-Geländemodelldateien der Firma ems-i (Environmental Modeling Systems, Inc.) in Punktdateien und Dreiecksdateien. [18]
- **TOPORAIL**: Das Programm TOPORAILIN / TOPORAILOUT ermöglicht den Import / Export von Daten aus dem Programm Toporail, das bei den Schweizer Bundesbahnen (SBB) eingesetzt wird. Neben dem aktuellen XTR-Format wird auch das veraltete Format "Toporail 2.0" unterstützt. "Achsen mit Überhöhung und Geschwindigkeit, Gradienten und Punktdaten können eingelesen werden. Außerdem kann eine Kilometrierungsachse importiert werden, wobei auch Kilometersprünge enthalten sein können. [18]
- **VERM.ESN:** Das Programm VERMIN ermöglicht den Datenimport von Daten, die mit dem bei der DB AG gebräuchlichen Vermessungsprogramm VERM.ESN erzeugt wurden. Die Schnittstellendateien müssen Binärdateien sein, da es sich dabei um die internen Dateiformate von VERM.ESN handelt, und diese einen reibungsloseren Datenaustausch ermöglichen. "Beim Datenimport können Achsen, Gradienten und Koordinatendateien ins Programmsystem ProVI

übernommen werden. Das Programm VERMOUT ermöglicht den Datenexport von ProVI Daten, die dann mit dem bei der DB AG gebräuchlichen Vermessungsprogramm VERM.ESN weiter bearbeitet werden. Die Schnittstellendateien können dabei entweder ASCII- oder Binärdateien sein, wobei letztere einen reibungsloseren Datenaustausch ermöglichen, da es sich um die internen Dateiformate von VERM.ESN handelt. [18]

3.2.2.4 Analyse Status Quo bei der Weitergabe von Trassierungsdaten

Die Analyse des Status Quo bei der Weitergabe von 3D Trassierungsdaten zeigt, dass eine Weitergabe als 3D Trassierungsdaten teilweise praktiziert wird. Grundvoraussetzung ist eine 3D Trassierung des Straßenprojektes welche aber durchwegs bei Verkehrsinfrastrukturprojekten gängige Praxis ist. Der Datenaustausch zwischen einzelnen 3D Softwareprogrammen ist nicht selten problematisch, zwar sind teilweise Schnittstellen vorhanden erlauben aber meistens nur eine eingeschränkte Weitergabe der Trassierungsdaten. Eine komplette und vollständige Weitergabe ist natürlich zwischen der gleichen Trassierungssoftware möglich. Eine geordnete und inhaltlich festgelegte Weitergabe von Trassierungsdaten zwischen einzelnen Projektphasen stellt die Basis für eine korrekte fortschreitende Planung dar. Beim standardisierten Prozess der Weitergabe als 2D Daten wird die Nachtrassierung des gesamten Projekts grundlegend neu durchgeführt wodurch auch in der Regel die Plausibilität der Projektierung bzw. Planung des Straßenprojektes geprüft wird. Mängel können dadurch erkannt und ausgebessert werden.

Bei der direkten Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten entfällt die Nachtrassierung und dadurch ergibt sich eine Zeitersparnis im Vergleich zum standardisierten Prozess. Durch diese Vorgangsweise besteht das erhöhte Risiko, dass Daten leichtfertig kopiert werden und eine sogenannte „Black-Box“ entsteht und dadurch die Trassierungsdaten ungeprüft (und womöglich mangelhaft) in die weitere Planung übernommen werden. Im Umkehrschluss bedeutet das aber auch, dass mögliche Fehler durch die Neutrassierung umgangen werden können.

In Abbildung 7 sind die fehlenden, oder unzureichenden Prozessschritte und Vorgaben des Status Quo der Weitergabe von Trassierungsdaten in „rot“ dargestellt. Diese Schritte werden im Folgenden aufgezeigt und erläutert.

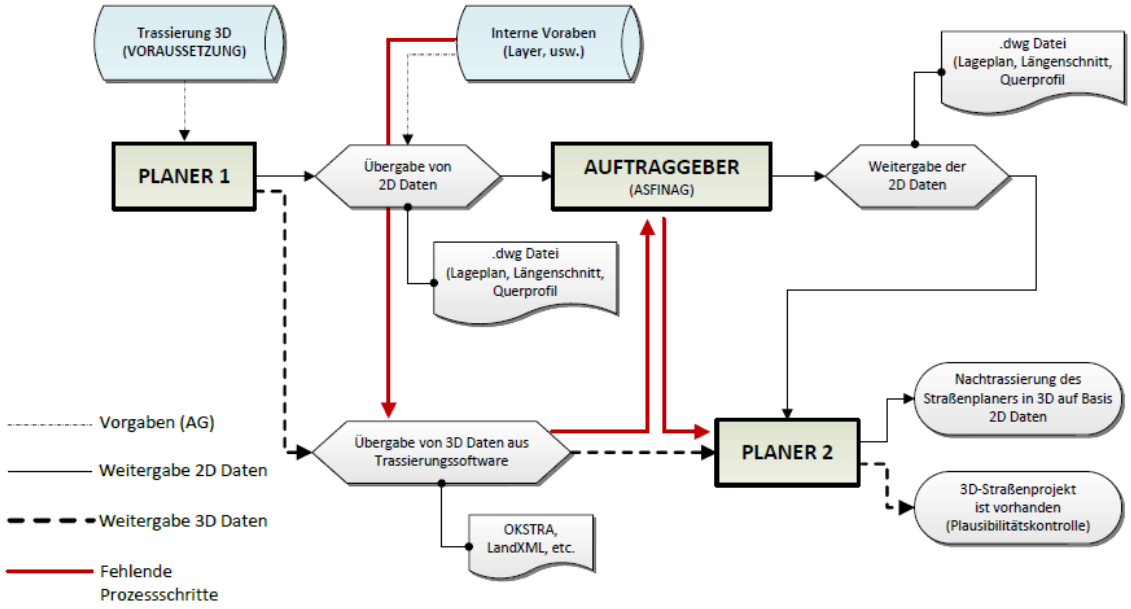


Abbildung 7: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Fehler im Status Quo

Prozessschritt: „Interne Vorgabe (Layer, usw.)“ ► „Übergabe von 3D Daten“

In diesem Schritt fehlen die Vorgaben für einen einheitlichen Standard der Übergabe von 3D Trassierungsdaten. Ohne konkrete Vorgaben und Festlegungen wie z.B. zum Dateiformat und der Schnittstelle zwischen Projekt und Bestand (d.h. die Terrassierungen entsprechen in den Rand- und Übergangsbereichen zwischen Projekt und Bestand derzeit nicht den digitalen (.dwg-Dateien) und vor allem nicht den anlogen Plänen (Farbplots). Durch diesen Umstand setzt jeder Planer einerseits seinen eigenen (einfachsten) Standard um und andererseits ist bei der Weitergabe von 3D Trassierungsdaten von Kompatibilitätsproblemen in den Software-Programmen auszugehen.

Prozessschritt: „Übergabe von 3D Daten“ ► „Auftraggeber“ ► „Planer 2“

Eine Weitergabe der 3D Trassierungsdaten soll geordnet über den Auftraggeber zum nächsten Planer erfolgen – und nicht auf Absprache unter den einzelnen Planern.

3.3 Einbautenerhebung

3.3.1 Analyse Status Quo der Einbautenerhebung

3.3.1.1 Übersicht Anlaufstellen und Ablauf der Bestandseinbautenerhebung in Österreich

Die übermittelten Datengrundlagen sind bei Bestandseinbauten in sehr unterschiedlicher Qualität vorhanden (Angaben zur Lage, Höhen, Neigungen, Dimension, etc.). Diese richtet sich in hohem Maße nach dem Errichtungsjahr bzw. dem Betreiber der jeweiligen Einbauten.

3.3.1.1.1 Bundesweit bzw. Bundesländerübergreifend tätige Einbautenträger

Hier sind Einbautenträger gemeint die nicht nur regional begrenzt bzw. überhaupt nur in einer Gemeinde oder Stadt tätig sind. Als solche wären zum Beispiel folgende zu nennen:

- A1 Telekom
- OMV
- Liwest
- KelAG

Die Einbauten solcher Träger sind Großteils über Onlineportale abrufbar. Die Verfügbarkeit der Datenformate richtet sich hauptsächlich nach dem Errichtungsjahr dieser Leitungen (dwg, dxf, pdf). Die PDF Dateien werden in der Regel automatisch bei Anforderung übermittelt, hingegen müssen die DWG Dateien gesondert angefordert werden.

3.3.1.1.2 Bestandseinbautenerhebung einzelner Bundesländer

Da die Möglichkeiten und Abläufe der Einbautenerhebung von Bundesland zu Bundesland bzw. auch regional unterschiedlich von statten gehen, sind in diesem Kapitel einige Beispiele angeführt.

Oberösterreich

In größeren Städten (Linz, Wels, Steyr) ist meist ein Haupteinbautenträger vorhanden und somit ist eine gesammelte Anfrage möglich.

- LinzAG (Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme)

- E-Werk Wels (Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme)
- Stadtbetriebe Steyr / Gas – Wasserwerk Steyr (Gas, Wasser)
- Netz OÖ (Strom, Gas, Telekom)

In kommunalen Bereichen ist keine gesammelte Abfrage möglich. Es ist eine Einbautenträgerliste gem. Tiefbauabteilung der jeweiligen Gemeinde anzufordern. Jede Gemeinde hat dabei oft eigene Einbautenträger und Verbände bzw. liegt die Zuständigkeit oft bei der Gemeinde selbst.

Beispiele:

- St. Florian
    - Elektro Karrer GesmbH (Kabel TV)
    - Alcatel – Lucent Austria AG (Datenversorgung)
    - Telia Sonera (Kabel TV)
    - Stockinger (Beleuchtung)
- Grieskirchen
    - Reinhaltungsverband Trattnachtal
    - Wasserverband Grieskirchen
    - Bäuerliche Bioenergie Fröling
- Vöcklamarkt
    - ASAK Kabelfernsehen
    - Kanal-, Wasserleitungen und Beleuchtung Gemeinde

Für Wasserleitungen und Kanäle ist im kommunalen Bereich ein Leitungskataster vorhanden.

Wien

In Wien gibt es den Zentralen Leitungskataster (ZLK) welcher durch die MA28 (Straßenverwaltung und Straßenbau) koordiniert wird. Die jeweiligen Einbautenträger liefern in vorgegebener Form Unterlagen gem. „ZLK Bestimmungen“ (lage- und höhenmäßig).

Je nach Errichtungsjahr sind auch 3D Daten vorhanden. Die Datenausgabe erfolgt in DXF, Shape oder Analog.

Der Antrag (kostenlos) erfolgt über ein Antragsformular der MA 28 https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/leitungskataster/auskunft.html

Niederösterreich

In Niederösterreich ist keine gesammelte Abfrage möglich. Die Einbautenträgerliste liegt bei der jeweiligen Gemeinde auf und diese sind dann gesondert beim Einbautenträger abzufragen.

Tirol

In Tirol ist ein Leitungskataster für Wasserleitungen und Kanäle im kommunalen Bereich vorhanden. Die Abfrage ist über das iKB Online Portal möglich (Tiroler Netze GmbH, Innsbrucker Kommunalbetriebe AG, Erdgas Tirol GmbH). Allerdings sind hier Einbauten Dritter oder anderer Einbautenträger nicht enthalten und müssen gesondert abgefragt werden.

3.3.1.1.3 Kosten

Für öffentliche Auftraggeber sind die Abfragen bzw. die Erhebung der Einbauten meist kostenlos (ausgenommen bei kommunalen Betreibern). Bei privaten Abfragen fällt in der Regel ein Unkostenbeitrag an der über Laufmeter Leitungslänge oder pauschal abgerechnet wird. Es gibt allerdings kein einheitliches Entgelt-System und somit obliegt es jedem Einbautenträger selbst welcher Betrag bei der Erhebung anfällt.

3.3.1.2 Ablauf Bestandseinbautenerhebung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten

Bei Kleinprojekten erfolgt eine Anfrage an die jeweilige Gemeinde oder das Magistrat. Hierbei wird entweder gem. einer vorhandenen Liste bzw. auf Verdacht abgefragt. Parallel dazu erfolgt die Straßenplanung. Die Planung der VLSA- und Beleuchtung wird in Abstimmung mit den Einbautenträgern und Gemeinden durchgeführt. Eventuell werden Einbautenträger miteinbezogen welche während der Bauzeit ebenfalls Leitungen mitverlegen wollen (Detailprojekt bzw. Einreichprojekt).

Die Einbautenerhebung bei Großprojekten erfolgt meistens sobald zumindest das Trassenauswahlverfahren oder ein Grundkonzept für das Projekt steht. In den meisten Fällen erfolgt diese bereits durch den Vermesser wobei dieser die Erkenntnisse aus den Abfragen in einem dwg bzw. bearbeitbaren Format zusammenfasst.

Die Anfragen werden bei relevanten Großbetreibern welche in ganz Österreich tätig sind durchgeführt bzw. in kommunalen Bereichen erfolgt die Erhebung wie oben für Kleinprojekte beschrieben.

3.3.1.3 Unterschiede Hinsichtlich der Örtlichkeit

Innerstädtisch

Die Dichte der Einbauten ist hier in der Regel deutlich höher als im Freiland. Aufgrund des begrenzten Raumes und der höheren Dichte ist es sinnvoll die Einbauten bereits in frühen Phasen detaillierter in die Planung mit einzubeziehen.

Freiland („grüne Wiese“)

Im Freiland sind Einbauten gewöhnlich in wesentlich geringerem Ausmaß vorhanden. Aufgrund der geringen Bebauung sind eventuell nötige Verlegungen einfacher durchzuführen. Die Einbauten müssen daher in frühen Phasen noch nicht in der selben Tiefe wie Innerstädtisch berücksichtigt werden.

3.3.1.4 Vergleich mit Deutschland

Deutschland ist in so genannte Gemarkungen (=Bezirke in Österreich) unterteilt. Jede Gemarkung hat ihre eigenen Spatenplaner, welche grundsätzlich in Versorgung (z.B. Wasserleitung) und Entsorgung (z.B. Kanal) unterschieden werden.

Prinzipiell erfolgt die Einbautenerhebung in Deutschland ähnlich wie die in Österreich. Je nach Projekt erfolgt die Einbautenerhebung durch den Auftraggeber oder den Auftragnehmer. Wie in Österreich sind die einzelnen Betreiber zu recherchieren, danach ist eine Datenabfrage erforderlich. Die erhobenen Daten sind ebenfalls in sehr unterschiedlicher Qualität vorhanden.

3.3.2 Mängelanalyse

Bei den Einbauten ergeben sich für die 3D Planung aufgrund verschiedener Faktoren einige Schwierigkeiten, die zum Teil nur mit hohem zeitlichem und finanziellem Aufwand zu beheben sind.

- Da es in der Regel keine gesamtheitliche Aufzeichnung über die vorhandenen Einbauten gibt, ist eine vollständige Erhebung der Einbauten im Vorfeld meist schwierig und zum Teil überhaupt nicht möglich.

- Auch wenn man zumindest die Art der Einbauten vollständig erheben kann, ist die Qualität der vorhandenen Unterlagen sehr unterschiedlich. Vor allem bei älteren Einbauten sind meist keine genauen Aufzeichnungen vorhanden. Somit sind Lage, Höhe und oftmals auch das genaue Ausmaß der Leitung nur grob oder gar nicht vorhanden. Obwohl die Höhen bei den Kanälen oftmals vorhanden sind gibt es bei anderen Einbauten meist gar keine Höhenangaben.
- Eine ausreichende Rücksichtnahme auf bestehende Einbauten erfolgt meist erst in späteren Planungsphasen. Dies hat oftmals eine Änderung der Planung zur Folge die unter Umständen sehr aufwendig werden kann bzw. auch die Planungsqualität darunter leidet. Es können Anpassungen nötig sein, die bei Berücksichtigung in einer früheren Phase in einer besseren Qualität lösbar gewesen wären.
- Derzeit gibt es in der Planung in der Regel keinen Einbautenkoordinator die den Überblick über die gesamten Einbauten hat (Bestand + Planung) wodurch es teilweise keine ausreichende Abstimmung gibt und Kollisionen möglich sind, welche dann in den späten Planungsphasen aufwendig behoben werden müssen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Datenqualität bei Bestandseinbauten in sehr unterschiedlicher und teilweises nur mit geringer Genauigkeit und Vollständigkeit vorhanden sind. 3D Angaben zu den Bestandseinbauten (zur Lage, Höhen, Neigungen, Dimension, etc.) sind überhaupt nur sehr selten (vor allem im kompletten Umfang) vorhanden und daher ist eine Berücksichtigung von Bestandseinbauten in der 3D Planung derzeit nur bedingt möglich und zielführend. Erschwerend kommt hinzu, dass die erhobenen und der Planung zugrunde gelegten Bestandseinbauten, nicht der Realität bzw. wie sie bei der Bauausführung vorgefunden werden, entsprechen.

3.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung)

Aufbauend auf die Erkenntnisse aus dem Kapitel 3.3 Einbautenerhebung erfolgt die Analyse des Status Quo hinsichtlich des Themas Einbauten für den Vorprotalbereich bei Straßeninfrastrukturprojekten.

Unter Einbauten in Vorportalbereich werden im gegenständlichen Bericht alle Bauwerk unter dem Gelände bzw. der Oberfläche (d.h. unterirdische Gewerke) wie

- Leitungen (Wasser, Strom, Versorgung, etc.),
- Schächte,
- Fundamente (Lichtmasten, Verkehrszeichenträger, etc.)
- und sonstiges Einbauten (wie z.B. Steher von Fahrzeugrückhaltesystemen, etc.)

verstanden.

Aufgrund der zahlreichen Anforderungen an den Bereich der Vorportale (Verkehrsleitung, Verkehrssteuerung, Verkehrssicherheit, betriebliche Einrichtungen, Platz für Rettungseinsätze, etc.) auf einem beschränkten Raum und der vielen unterschiedlichen Fachplaner, ist dieser Abschnitt durch zahlreiche komplexe räumliche und zeitliche Abhängigkeiten gekennzeichnet. Man kommt schnell zu dem Schluss, dass der Vorportalbereich nur zu einem bestimmten Maß durch 3D Planung beeinflussbar ist.

Um die komplexen Abhängigkeiten im Vorportalbereich besser zu veranschaulichen, werden diese in einem Flussdiagramm (Abbildung 8) dargestellt.

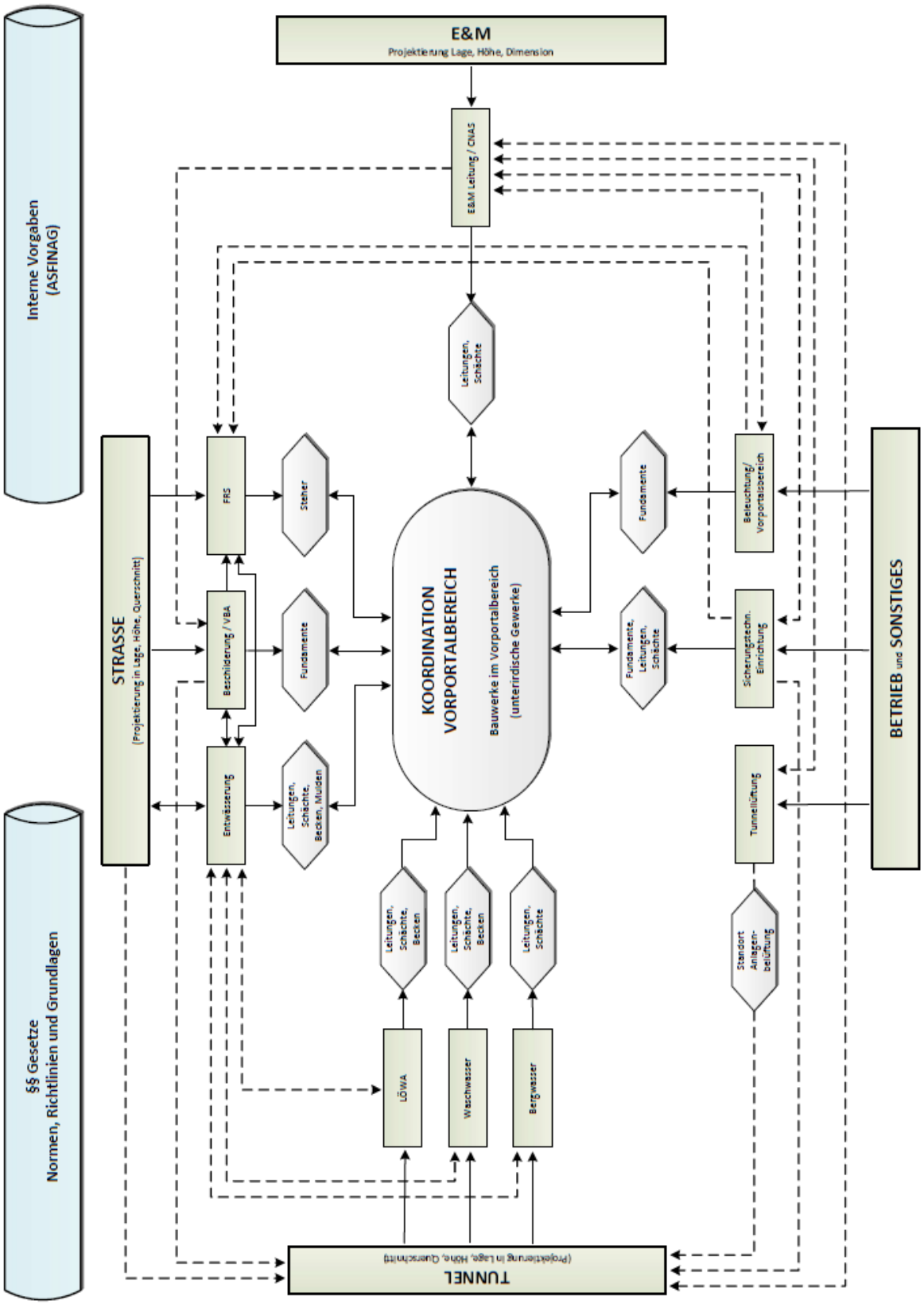


Abbildung 8: Abhägigkeiten im Vorportalbereich hinsichtlich Einbauten

Der Vorportalbereich wird dabei in 4 Hauptbereiche (Straße, Tunnel, E&M und Betrieb und Sonstiges) unterteilt. Übergeordnet stehen Gesetze, Normen, Richtlinien und Grundlagen sowie Interne Vorgaben und Rahmenbedingungen des Auftraggebers. Die in Abbildung 8 dargestellten Abhängigkeiten durch Zweirichtungspfeile bedeuten eine gegenseitige Abhängigkeit und die Richtungspfeile eine Vorgabe. Die zeitlichen Zusammenhänge stellen neben den räumlichen Abhängigkeiten eine nicht zu unterschätzende Komponente dar. Dem Themenbereich Einbauten wird zu Beginn eines Straßenbauprojektes (bis inklusive Einreichprojekt) eher wenig bis kaum eine Aufmerksamkeit geschenkt. Die Projektentwicklung bzw. der Planungsinhalt ist anfänglich vor allem auf rechtliche Sachthemen und umweltrelevante Auswirkungen (UVP udgl.) konzentriert, um das Projekt zeitgerecht und behördenkonform umzusetzen. Weiters ist die Projektlaufzeit vor allem bei Großprojekten sehr lange und oft kaum abschätzbar.

Aufgrund der oben beschriebenen Punkte lässt sich zusammenfassend nachfolgende Schlussfolgerung bzw. Mängelanalyse für den Vorportalbereich erstellen:

- Dem Themenbereich Einbauten wird zu Beginn des Straßenbauprojektes (bis inklusive Einreichprojekt) eher wenig Aufmerksamkeit geschenkt.
- Konflikte und Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken kommen aufgrund komplexer, räumlicher und zeitlicher Abhängigkeiten sowie zahlreicher Schnittstellen häufig vor.
- Die Einbautenplanung der mitwirkenden Fachplaner stehen in direkter und indirekter starker Wechselwirkung zueinander. Es handelt sich um einen iterativen Planungsprozess.
- Fehlende Gesamtkoordination bzw. teilweise fehlende Definition der Zuständigkeiten und Schnittstellen.
- Unterschiedliche Beauftragungstiefe in den Projektphasen bei den einzelnen Fachplanern.
- Rasche Änderungen bzw. Weiterentwicklung der Standards vor allem im Bereich E&M stehen im Widerspruch zu einer hohen Planungstiefe in frühen Projektphasen.
- Durch 3D Planung sind nur zu einem bestimmten Maß im Vorportalbereich Vorteile oder Optimierungen erzielbar.

- Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken werden oft erst in späteren Planungsphasen oder gar erst bei der Herstellung erkannt und führen daher teilweise zu qualitativ schlechteren und teureren Lösungen (wie z.B. keine RVS-konforme Aufstellung der Fahrzeugrückhaltesystem mehr möglich)

In Abbildung 9 werden jene Bereiche dargestellt (rot markiert) bei welchen derzeit vor allem in der Projektphase Einreichprojekt, geringere Planungstiefen vorhanden sind.

Die Bereiche sind Straße (Fahrzeugrückhaltesystem und Beschilderung / VBA), E&M (E&M Leitung / CNAS) und Betrieb und Sonstiges (Sicherungstechnische Einrichtung und Beleuchtung / Vorportalbereich).

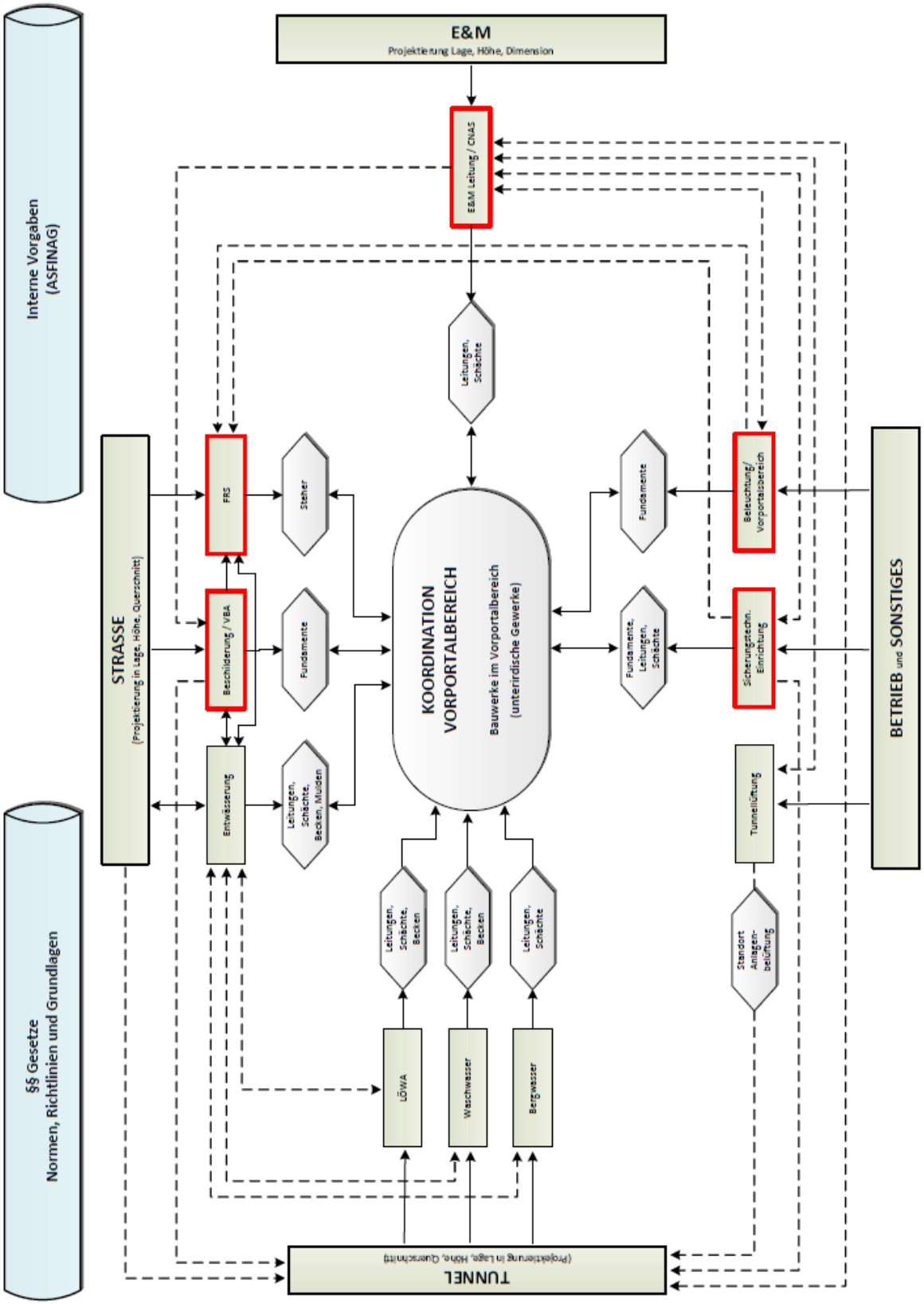


Abbildung 9: Geringere Planungstiefe Einbauten (Einreichprojekt)

3.5 Fahrdynamische Untersuchungen

3.5.1 Fahrdynamik

Vereinfachte fahrdynamische Untersuchungen kommen im Rahmen von Infrastrukturprojekten vereinzelnd zum Einsatz und sind nicht als Standard im Planungsprozess etabliert, wie es beispielsweise die Erstellung von Verkehrssicherheitsaudits sind.

Aktuell werden fahrdynamische Untersuchungen in der hier vorgestellten Form im Rahmen von Unfallsimulationen und Road Safety Inseptections (RSI) nur fakultativ erstellt, d.h. an Hand eines konkreten Anlassfalles. Das bedeutet, dass mit der Evidenz einer potentiell fahrdynamisch problematischen Situation eine fahrdynamische Untersuchung veranlasst wird. Das Ziel dahinter ist die konkrete Lösung eines spezifischen Sachverhalts.

Mit einer Implementierung von fahrdynamischen Analysen im Planungsprozess von Verkehrsinfrastrukturprojekten könnte ein serieller Ablauf der Schritte (Planung – Erkenntnis Problemlage – Fahrdynamische Untersuchung – Anpassung Planung) im Workflow berücksichtigt werden, wodurch nachfolgende Benefits erzielt werden könnten:

- Erkenntnisse über die Planung / Planungsvariante über einzelne Problempunkte hinaus,
- systematisches und objektivierbares Erkennen von fahrdynamischen Themen während der Planung statt nachgelagerter Analyse,
- Zeiteffizienz durch Implementierung in den laufenden Planungsprozess,
- graduelle Vor- und Nachtteile bei Variantenentscheidungen detektierbar,
- frühzeitige Behebung von Problempunkten statt nachgelagertem Korrigieren,
- dadurch insgesamt Erhöhung der Planungssicherheit.

3.5.2 Schnittstelle: Datenweitergabe Straßenplanung – Fahrdynamische Untersuchungen

Grundsätzliche gibt es weltweit einige Unfallrekonstruktions- und Fahrdynamiksimulationsprogramme, welche auch über die Möglichkeit verfügen, fahrdynamische Untersuchungen zu berücksichtigen. Dazu werden folgend

bespielgebend einige genannt: „Virtual Crash“ (vCRASH, Americas, Inc.) [1], HVOSM (Highway-Vehicle-Object Simulation Model)[2]; EDVSM (Engineering Dynamics Vehicle , Simulation Model)[3], PHASE (heavy vehicle simulation program); EDVDS (Engineering Dynamics Vehicle Dynamics Simulation)[4], veDYNA [5], SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions); EDSMAC und CarMaker[6]. Dies Unfallrekonstruktions- und Simulationsprogramme hinsichtlich ihrer Eignung für die Durchführung einer fahrdynamischen Untersuchung und der Schnittstellenkompatibilität für die Datenweitergabe aus der Straßenplanung zu prüfen, war nicht Teil des Forschungsvorhabens.

Für die fahrdynamische Untersuchung und Analyse des vorliegenden Projektes wurde das Unfallrekonstruktionsprogramm PC-Crash[7] der Firma Dr. Steffan Datentechnik GmbH - DSD verwendet. Grundsätzlich gibt es laut Hersteller die folgenden Möglichkeiten um die notwendigen Daten aus der Straßenplanung in das Programm zu importieren:

- Die erste Möglichkeit wäre in Form einer DXF Zeichnung, in Metern skaliert. Eine weitere Möglichkeit ist ein Import im VRML Format, mit der Dateiendung *.WRL oder in Form einer 3D Zeichnung, bei welcher die Oberflächen in Form von dreieckigen Polygonen mit nach oben gerichteten Normalvektoren verwendet werden. Aus Polygonen und Linien können Flächen erzeugt werden, welche als Neigungspolygone behandelt und für eine Fahrdynamiksimulation verwendet werden können. Der 2 dimensionale Import einer DXF-Zeichnung, und eine folgende Triangulation ist ebenfalls möglich. Hierbei wird die Fahrfläche an sich als Polygon importiert und der Längenschnitt in Form von definierten Höhenlinien als Achse.
- Eine weitere Variante wäre der Datenimport von Laserscanner-Daten. Diese Variante scheidet für das Anwendungsbeispiel (Kapitel 5) aber dadurch aus, da

[1] vCRASH, Americas, Inc.; www.vcrashusa.com
[2] Segal, David J, Highway-vehicle-object simulation model-1976.Volume2: programmers manual, https://catalog.hathitrust.org/Record/005470494
[3] Day, T D, Validation of the EDVSM (Engineering Dynamics Vehicle Simulation Model); 1997; https://trid.trb.org/view/635542
[4] Donald E. Struble, Automotive Accident Reconstruction, Practices and Principles, 2014
[5] veDYNA, TESIS GmbH, https://www.tesis-dynaware.com/produkte/vedyna/uebersicht.html
[6] IPG Automotive, https://ipg-automotive.com/de/anwendungsgebiete/fahrdynamik/
[7] PC Crash, DSD, Dr Steffan Datentechhnik, http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=323:pc-crash-deutsch&catid=53&Itemid=175&lang=de

es mit dieser Methode nur möglich ist, Laserscanner-Daten von bereits bestehende Straßen und Streckenabschnitte zu erzeugen und diese dann in Form einer DXF Zeichnung zu importieren. Für die Anwendung in einem Road Safety Audit ist diese Variante also nicht geeignet.

- Auch der Import einer DXF Zeichnung im .txt Format (xyz oder xyzrgb) aus dem entsprechenden Straßenplanungsprogramm ist möglich. Hier können sowohl Position als auch Farbinformation importiert werden. Es erfolgt eine Ausgabe von Tabellen mit den entsprechenden Koordinaten (x, y, z). Wobei die Koordinaten (XYZ) einer DXF Datei als Textdatei ausgeben werden und die Koordinaten (XYZ) einer DWG Datei entsprechend in einer Text-bzw. ASCII-Datei.

Die dargestellten Importmöglichkeiten wurden anhand eines kürzeren Streckenabschnittes mit größerer Längs- und Querneigung, mit einem Teilstück in Dammlage und einem Teilstück im Einschnitt getestet und hinsichtlich der Verwendung für einen schnellen und möglichst einfachen Import aus der Straßenplanungsprogramm in das Rekonstruktionsprogramm analysiert. Die umfangreiche Analyse ergab, dass im Hinblick auf eine effiziente fahrdynamische Analyse sowie eine optimale Nutzung der importierten Daten aus dem Straßenplanungsprogramm, der Import durch eine entsprechend aufbereitetes .txt Format die günstigste und zielführendste Variante ist. Folglich wurden auch die Daten mittels beschriebener Variante aus dem Straßenplanungsprogramm exportiert und in das Rekonstruktionsprogramm importiert und für eine fahrdynamische Untersuchung entsprechend aufbereitet. Um eine Aufbereitung der ausgelesenen .txt Datei für einen Import in das Rekonstruktionsprogramm zukünftig einfacher zu gestalten und um (im Weiteren) eine entsprechende Zeitersparnis zu bewirken, könnte eine entsprechende Vereinfachung der Schnittstelle im Rekonstruktionsprogramm vorgesehen werden. Dies zum Beispiel in Form der automatisierten Umwandlung der, aus dem Planungsprogramm ausgespielten .txt Datei zur direkten Implementierung in PC Crash.

In Abbildung 10 wird ein Auszug aus dem Rekonstruktionsprogramm „PC-Crash“ dargestellt, mit dem Datenimport durch eine .txt-Datei.

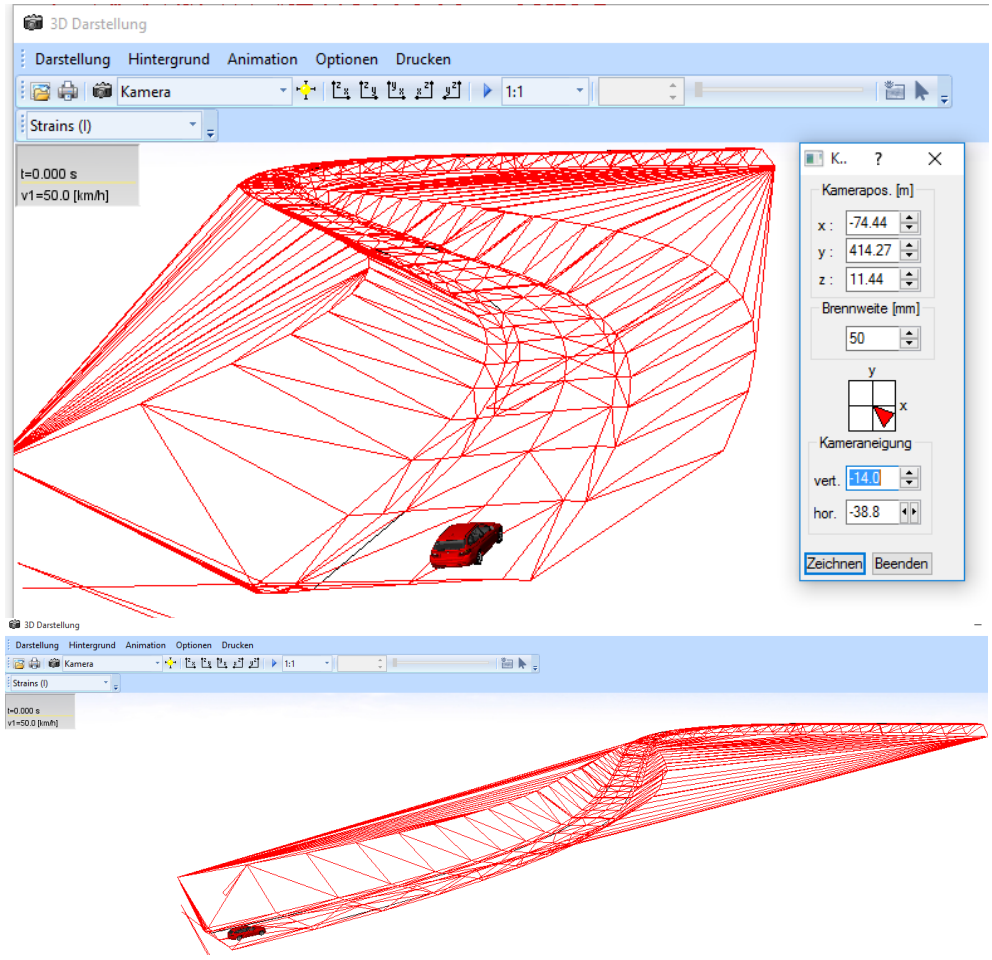


Abbildung 10: Import .txt Datei in PC Crash

3.6 Visualisierung

3.6.1 Typen

Visualisierungen werden im Rahmen von Planungsprojekten in unterschiedlichen Formen angeboten. Meist sind es allerdings entweder statische Bilder oder interaktive Modelle. Bei statischen Bildern ist – so diese nicht ein Nebenprodukt einer Modellierung sind – meist das geplante Vorhaben in eine bestehende Aufnahme oder Perspektive montiert. Hierbei handelt es sich um eine Technik, die überwiegend einer Fotomontage gleich kommt und hinsichtlich der Darstellungstreue Anpassungen bedarf. Allerdings sind im Rahmen von Fotomontagen Korrekturen und Anpassungen somit Teil der Erstellung, womit hier etwaige Unstetigkeiten oder Schnittstelleproblemen zwischen Vermessung und Planung nicht zu Tage treten oder ohnehin im Rahmen der

Bearbeitung korrigiert werden. Im Zentrum der Betrachtung steht hier folglich die Erstellung eines interaktiven Modells. Das ist im Rahmen von Verkehrsinfrastrukturplanung auch deshalb zielführend, weil durch die Dimension bzw. große Längserstreckung meist das Vorhaben nicht gut in einem Bild dargestellt werden kann.

3.6.2 Erstellung Modellierung

Üblicherweise wird an Hand der verfügbaren Vermessungsdaten eine Grundlage geschaffen. In manchen Fällen werden die vorliegenden Daten noch durch zusätzliche Datenrecherchen ergänzt. Unabhängig von der Verwendung der Vermessung oder einer weiteren Ergänzung erstellt auch der Visualisierer sein eigenes 3D Geländemodell. In dieses Geländemodell wird anschließend wiederum die Planung durch den Visualisierer eingearbeitet. Um eine gute Aufbereitung mit geringerem Interpretationsspielraum und eine Zeitersparnis sicherzustellen, werden dem Ersteller der Visualisierung nicht nur die 2D Daten sondern auch die 3D Daten vom Verkehrsinfrastrukturprojekt zur Verfügung gestellt (sofern vorhanden). Die relevanten Daten für die Erstellung der Visualisierung sind die Achse, Fahrbahnränder, Geländekanten (wie z.B. Böschungsober- und Unterkante), Stützkonstruktionen und werden in der Regel als 3D Polylinien übergeben. Eine noch größere Genauigkeit und Erleichterung für den Visualisierer kann durch die Übergabe des Vorhabens als 3D Geländemodell erzielt werden.

Das Modell der Visualisierung bzw. dessen Erstellung ist vorwiegend abhängig von der Qualität und Aufbereitung der Grundlagendaten, d.h. wie ist die Geländeaufnahme (Vermessung) qualitativ aufbereitet. Da die Modellierung nicht nur die Oberfläche abbildet, sondern auch auf räumliche Besonderheiten wie senkrechte Flächen, Durchlässe, Brücken,… Rücksicht nimmt, ist die Datengrundlage entscheidend für den Aufwand und die Nachbearbeitung.

Die Einarbeitung des technischen Projekts ist wiederum abhängig vom Umfang der verfügbaren Trassierungsdaten. Üblicherweise wird die Hauptanlage bis zur Anbindung an das nachrangige Netz trassiert und steht somit als 3D-Daten zur Verfügung. Bei Wirtschaftswegen, Begleitwegen, Ausrundungsdetails oder auch Gelände-modellierungen ist die Verfügbarkeit von 3D-Daten nicht Standard und fordert folglich – abhängig von eben diesen verfügbaren Daten bzw. deren Qualität – wiederum eine Aufbereitung im Rahmen der Visualisierung.

3.6.3 Analyse Visualisierung

Im Rahmen der Visualisierung treten gemäß der oben skizzierten Vorgehensweise 3 Punkte auf, die Entwicklungspotential einerseits hinsichtlich des Aufwandes bei der Erstellung und andererseits bei Qualität bzw. Schlüssigkeit zum technischen Projekt, bieten:

- Zentrale Erstellung eines 3D Geländemodells

  statt der dezentralen Aufbereitung (d.h. jeder der ein 3D Geländemodell benötigt, erstellt dieses selbst) eine zentrale Erstellung nach qualitativen Standards und technischen Vorgaben.

- Übermittlungsform von Grundlagendaten

  Übermittlung als 3D Geländemodell und als 3D Vermessung mit einer entsprechenden Aufbereitung der Geländeaufnahme, um die Objekte in der Visualisierung besser entwickeln zu können.

- Technisches Projekt

  Abstimmung über den Umfang der verfügbaren 3D Daten (wie z.B. separate Aufnahme von Details von Brücken, Stützkonstruktionen, Durchlässen, etc.) bzw. im Umkehrschluss Abstimmung über jene Inhalte, die nicht in 3D verfügbar sind, um eine korrekte Modellierung zu ermöglich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Produkt des Geodäten die Qualität und den Aufwand vom Visualisierer definiert. Entsprechend ist es auch als zielführend, die Anforderungen an die 3D Vermessung und das 3D Geländemodell aus Sicht der Visualisierung einen Standard zu definieren.

3.7 Zusammenfassung der Defizite auf Basis der aktuellen Vorgehensweise

3.7.1 Geländeaufnahme (Vermessung)

Vermessungsdaten können auf unterschiedlichste Weise (Photogrammetrie, Laserscan, Tachymetrie,...) erstellt werden. Dazu sind die Anforderungen je nach Rahmenbedingungen im Vorhaben und Projektphase unterschiedlich. Die Anforderungen werden entsprechend anlassbezogen definiert und anschließend vom jeweiligen Geodäten umgesetzt. Das führt zu Grundlagendaten aus der Vermessung,

die projektübergreifend als heterogen eingestuft werden können. Die Geländeaufnahme bzw. die digitale grafische Darstellung des Geländes stellt die Basis für das 3D Geländemodell dar. Für die Erstellung eines 3D Geländemodells sind Anforderungen hinsichtlich technischer Aufbereitung und auch der Datengenauigkeit (Datenqualität) erforderlich – eine sogenannte 3D Vermessung. Um eine entsprechende Qualität der 3D Vermessung für die unterschiedlichen Anforderungen der Fachplaner gewährleisten zu können, wäre es zielführend einen einheitlichen Standard zu schaffen und zu etablieren. Die „klassische“ Geländeaufnahme welche auch als Planhintergrund mit z.B. Angaben über die Oberflächenbeschaffenheit, Beschriftungen, etc. verwendet wird, kann durch eine 3D Vermessung nicht ersetzt werden bzw. entfallen.

3.7.2 3D Geländemodell

In den letzten Jahren fand eine kontinuierliche Weiterentwicklung von Trassierungsprogrammen statt, wodurch die 3D Trassierung von Straßenprojekten durchwegs gängige Praxis wurde. Die Trassierungsprogramme arbeiten mit 3D Geländemodellen welche auf Vermessungsdaten (Geländeaufnahmen) aufbauen. Das 3D Geländemodell bildet daher die Grundlage für weitere Planungen aber auch Beurteilungen. Es wird folglich nicht nur von einem Planer sondern von einigen Technischen Planern und auch Umweltfachbeitragserstellern verwendet. In vielen Fällen baut auch noch zusätzlich die Visualisierung auf einem 3D Geländemodell auf.

Es wird folglich von mehreren Fachplanern in der Regel mit unterschiedlichen Softwarelösungen ein 3D Geländemodell geschaffen. Weiters sind – je nach Genauigkeit – teilweise automatisch (durch Programme) oder händische Korrekturen und Ergänzungen erforderlich. Das führt dazu, dass in einem Vorhaben auf gleicher Vermessungsbasis unterschiedliche 3D Geländemodelle erstellt werden. Diesem erhöhten, dezentralen Aufwand und dieser potentiellen Fehlerquelle kann man durch eine einmalige, zentrale und vor allem qualifizierte Erstellung mit entsprechenden einheitlichen zu definierten Standards und Vorgaben, entgegenwirken. Weiters muss, um eine entsprechende Qualität des 3D Geländemodells zu gewährleisten, eine exakte und eindeutige Definition „3D Geländemodell“ für den Bereich Verkehrsinfrastrukturplanung (Straße) erfolgen.

3.7.3 Einbautenerhebung

Bei der Analyse des Status Quo der Erhebung von Bestandseinbauten ist festzuhalten, dass die Datenqualität bei Bestandseinbauten in sehr unterschiedlicher und teilweises nur mit geringer Genauigkeit und Vollständigkeit vorhanden sind. 3D Angaben zu den Bestandseinbauten (zur Lage, Höhen, Neigungen, Dimension, etc.) sind überhaupt nur sehr selten (vor allem im kompletten Umfang) vorhanden und daher ist eine Berücksichtigung von Bestandseinbauten in der 3D Planung derzeit nur bedingt möglich und zielführend. Erschwerend kommt hinzu, dass die erhobenen und der Planung zugrunde gelegten Bestandseinbauten nicht der Realität entsprechen.

3.7.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung)

Bei der Analyse des Status Quo bei der Einbautenplanung im Vorportalbereich kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass durch 3D Planung nur zu einem bestimmten Maß im Vorportalbereich Vorteile oder Optimierungen erzielbar sind. Dies ist begründbar aufgrund komplexer, räumlicher und zeitlicher Abhängigkeiten sowie zahlreicher Schnittstellen bei einer Vielzahl unterschiedlicher Fachplaner. Weiters fehlen oft die Definition der Zuständigkeiten und Schnittstellen sowie die Gesamtkoordination, wodurch es zu Konflikten und Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken kommt. Diese werden oft erst in späteren Planungsphasen oder gar erst bei der Herstellung erkannt und führen daher teilweise zu qualitativ schlechteren und teureren Lösungen. Auch steht eine hohe Planungstiefe im Widerspruch zur raschen Änderung bzw. Weiterentwicklung der Standards, vor allem im Bereich E&M. Dem Themenbereich Einbauten wird zu Beginn eines Straßenbauprojektes (bis inklusive Einreichprojekt) eher wenig bis kaum eine Aufmerksamkeit geschenkt. Die Projektentwicklung bzw. der Planungsinhalt ist anfänglich vor allem auf rechtliche Sachthemen und umweltrelevante Auswirkungen (UVP udgl.) konzentriert, um das Projekt zeitgerecht und behördenkonform umzusetzen.

3.7.5 Datenaustausch Trassierungsprogramme

Die Analyse des Status Quo bei der Weitergabe von 3D Trassierungsdaten zeigt, dass eine direkte Weitergabe als 3D Trassierungsdaten zwischen den Planern teilweise praktiziert wird. Grundvoraussetzung ist eine 3D Trassierung des Straßenprojektes welche aber durchwegs bei Verkehrsinfrastrukturprojekten gängige Praxis ist. Bei der

direkten Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten entfällt die Nachtrassierung und dadurch ergibt sich eine Zeitersparnis im Vergleich zum standardisierten Prozess. Durch diese Vorgangsweise besteht das erhöhte Risiko, dass Daten leichtfertig kopiert werden und eine sogenannte „Black-Box“ entsteht und dadurch die Trassierungsdaten ungeprüft (und womöglich mangelhaft) in die weitere Planung übernommen werden. Der Datenaustausch zwischen einzelnen 3D Softwareprogrammen ist nicht selten problematisch, zwar sind teilweise Schnittstellen vorhanden erlauben aber meistens nur eine eingeschränkte Weitergabe der Trassierungsdaten. Eine komplette und vollständige Weitergabe ist natürlich zwischen der gleichen Trassierungssoftware möglich.

3.7.6 Fahrdynamische Untersuchung

Insgesamt zeigt sich, dass die technischen Voraussetzungen für die Durchführung von fahrdynamischen Untersuchungen bereits sehr weit gediehen sind. In den Schnittstellen der technischen Grundlagen und Planung zur Fahrdynamik gibt es funktionierende Abläufe und Möglichkeiten, wobei hier durchaus noch Potential für Verbesserungen und Vereinfachungen bestehen, die im Weiteren auch zur Zeiteffizienz beitragen können. Fachlich hat man zwar bisher die Funktionalität der fahrdynamischen Untersuchung erkannt und setzt diese entsprechend ein, allerdings ist das Potential als Werkzeug im Rahmen des Planungsprozesses noch nicht bewusst. Sowohl die fachlichen Einsatzbereiche als auch die Integration in den Planungsprozess bieten Möglichkeiten für die Entwicklung der Qualität und Stabilität der Planung, die nicht zu Lasten von Zeitplänen oder Planungskosten gehen.

3.7.7 Visualisierung

Da für die 3D Vermessung sowie für das 3D Geländemodell kein einheitlicher Standard hinsichtlich Visualisierung definiert ist, ist einerseits die Aufbereitung der Grundlage für die Visualisierung unterschiedlich aufwändig und andererseits die Qualität der Visualisierung. Wie auch bei anderen Planern wird hier wiederum ein eigenes 3D Geländemodell erstellt, was erneuten Aufwand bedeutet und gerade beim Ersteller der Visualisierung zahlreiche händische Anpassung und Ergänzungen erforderlich macht und auch (kleinräumig) unterschiedliche Modelle liefert (Verschiedene Software, Algorithmen). Eine qualitative und vor allem technische Standardisierung wäre im Hinblick auf die Schlüssigkeit und den Arbeitsaufwand förderlich.

4 ENTWICKLUNG DER METHODE ZUR 3D-PLANUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON FAHRDYNAMISCHEN EFFEKTEN

4.1 Methode zur Erstellung 3D Geländemodell

Aufbauend auf die Analyse des Status Quo bei Vermessungen (Geländeaufnahmen) und 3D Geländemodellen (Kapitel 3.1) wird unter dem Gesichtspunkte der ASFINAG, ein optimierter Prozesses (Methode) zur Erstellung von 3D Geländemodellen entwickelt. In den letzten Jahren fand eine kontinuierliche Weiterentwicklung der 3D Planung und Projektierung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten statt. Das 3D Geländemodell stellt die zentrale bzw. essenzielle Grundlage der 3D Planung dar. Das wesentliche Ziel des optimierten Prozesses ist es daher eine einheitliche standardisierte Methode zur Erstellung von 3D Geländemodellen zu entwickeln. Weiters sollen die dafür benötigten fehlenden Rahmenbedingungen aufgezeigt und dargelegt werden.

4.1.1 Erstellung 3D Geländemodell – Optimierter Prozess

In der Abbildung 11 ist der optimierte Prozess zur Erstellung von einem 3D Geländemodell dargestellt.

Der Prozess lässt sich in 3 Bereiche untergliedern:

- Interne Vorgaben für die Geländeaufnahme (Vermessung) und das 3D Geländemodell
- Erstellung Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung und die Geländeaufnahme – 3D Vermessung
- Erstellung 3D Geländemodell

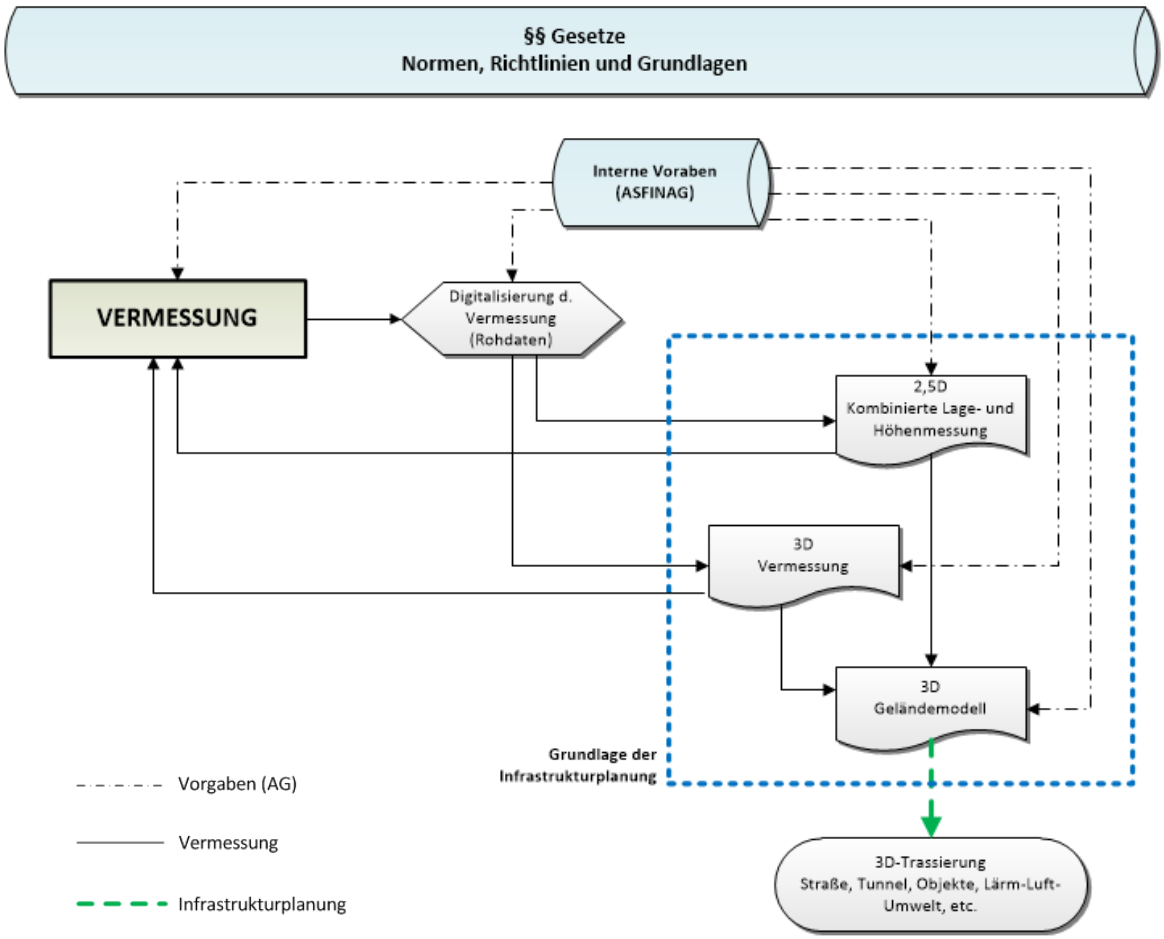


Abbildung 11: Erstellung 3D Geländemodell – Optimierter Prozess (ASFINAG)

4.1.2 Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Erstellung 3D Geländemodell

Um eine einheitliche standardisierte Methode zur Erstellung von 3D Geländemodellen zu entwickeln sind nachfolgende Unterlagen in denen die benötigten Vorgaben und Rahmenbedingungen definiert sind, zu erstellen. Grundsätzlich können die erforderlichen Vorgaben und Rahmenbedingungen in einer Leistungsbeschreibung und einem ergänzenden Pflichtenheft definiert bzw. festgelegt werden.

4.1.2.1 Definition 3D Geländemodell

Grundvoraussetzung für den Prozess ist die exakte und eindeutige Definition „3D Geländemodell“ für den Bereich Verkehrsinfrastrukturplanung (Straße). Als Basis kann die im gegenständlichen Bericht festgelegt Definition herangezogen werden wobei auf

jeden Fall der Begriff „mit allen für die Verkehrsinfrastrukturplanung relevanten darauf befindlichen Objekten“ zusätzlich ausführlich erläutert gehört.

3D Geländemodell

Ist eine dreidimensionale, digitale, modellhafte Abbildung der Erdoberfläche mit allen für die Verkehrsinfrastrukturplanung relevanten darauf befindlichen Objekten welches in Trassierungsprogrammen verwendet bzw. dargestellt (sowie in der Datenbank gespeichert) wird. Eine Speicherung ist auch in unterschiedlichen anderen Datenformaten (LandXML, AutoCad, etc.) möglich.

4.1.2.2 Vorgaben für 3D Geländemodell

Ergänzend zur Definition vom 3D Geländemodell sind zusätzliche Vorgaben und Rahmenbedingungen für 3D Geländemodell zu erstellen bzw. zu definieren:

- Die Genauigkeit des 3D Geländemodells in Abhängigkeit der Projektphase.
- Die Leistungsbeschreibung.
- Der Lieferumfang und die Datenformate.

Aufbauend auf die Definition und die Vorgaben erfolgt die Erstellung des 3D Geländemodells durch den Geodäten. Damit kann gewährleistet werden, dass

- Nicht mehrere abweichende Geländemodelle im Planungsprozess aufgrund unterschiedlicher verwendeter Programme und Projektanten, zur Anwendung kommen.
- Die benötigten Entscheidungen und Abwägungen (z.B. welcher Punkt mit gleichen x und y Koordinaten und unterschiedlicher Höhe für das 3D Geländemodell herangezogen wird) einerseits für eine bestmögliche Genauigkeit sorgen und andererseits minimiert werden können. Zusätzlich besteht für den Geodäten die Möglichkeit bei Bedarf relativ unkompliziert und einfach zusätzliche und ergänzende Punkte aufzunehmen.
- Die Erstellung vom Projektanten mit dem größten Vorwissen (Geodät) zum Gelände und der Geländeaufnahme (wenn in einer Hand) durchgeführt wird und so die Qualität des 3D Geländemodell gesteigert werden kann.

Als zielführend zur Erstellung der Vorgaben zur 3D Geländemodell wird eine Arbeitsgruppe mit den Teilnehmern ASFINAG, Vermesser, Straßenplaner, Bauwerksplaner, Tunnelplaner, Umweltplaner (vor allem Lärm und Luft) empfohlen.

4.1.2.3 Vorgaben für Geländeaufnahme – 3D Vermessung

Die Vorgaben zur Geländeaufnahme – 3D Vermessung stellen den Kern des Prozesses dar. Als Grundlage bzw. Muster kann das Pflichtenheft der ÖBB (Terrestrische Vermessung, Photogrammetrie und Laserscanning) [16] verwendet werden. Zusätzlich zu bestehenden Festlegungen bei der ASFINAG sind für die 3D Vermessung vor allem nachfolgende Bereiche zu erstellen bzw. zu definieren:

- Die Genauigkeit der Geländeaufnahme in Abhängigkeit der Projektphase.
- Welche Objekte und Bereiche sind für die Verkehrsinfrastrukturplanung relevante und sind (z.B. Bordsteinoberkante) oder sind nicht (z.B. Vegetation) aufzunehmen.
- Die Vorgangsweise bei übereinanderliegenden Ebenen wie z.B. bei Brücken (Geländemodell mit Brückentragwerk und ausgespartem Brückentragwerk), Geländeüberhänge, etc.

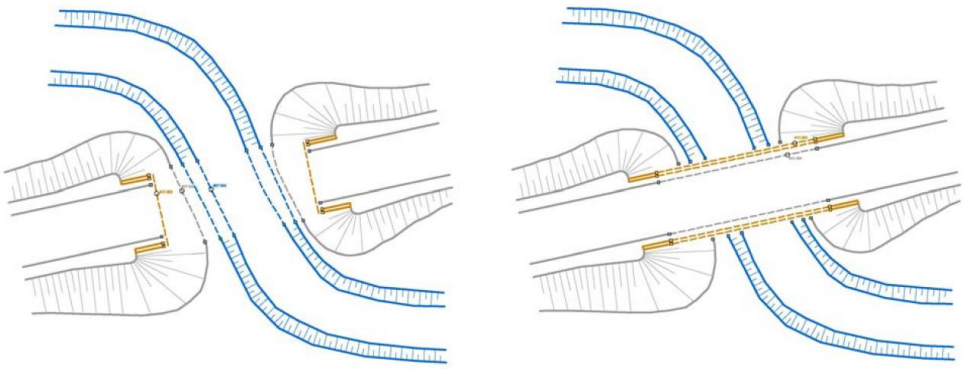


Abbildung 12: Darstellung Geländemodell mit und ohne Brückentragwerk aus Pflichtenheft der ÖBB [16]

- Die Leistungsbeschreibung.
- Der Lieferumfang und die Datenformate.

Aufbauend auf den Vorgaben erfolgt die digitale grafische Darstellung des Geländes sowie der Geländeaufnahme – 3D Vermessung durch den Geodäten.

Als zielführend zur Erstellung der Vorgaben zur 3D Geländemodell wird eine Arbeitsgruppe mit den Teilnehmern ASFINAG, Vermesser, Straßenplaner, Bauwerksplaner, Tunnelplaner, Umweltplaner (vor allem Lärm und Luft) empfohlen.

4.1.2.4 Vorgaben für Koordination Erstellung 3D Geländemodell

Vor allem bei großen langlaufenden Projekten fallen zahlreiche Koordinierungstätigkeiten an die um größtmögliche Synergien zu erzielen, auch vom Geodäten übernommen werden sollten. Nachfolgend werden die wesentlichen Koordinierungstätigkeiten sowie die Leistungsbeschreibung aufgelistet:

- Dokumentation der erstellten bzw. gelieferten Geländeaufnahmen gemäß einer Checkliste.

Bezeichnung der Unterlagen	**Erstellt**		**Übermittelt**		**Inhalt/ Grundlage**
	am	durch	am	an	
☑ Gesamtvermessung Projekt XXX	27.09.2015	H. Muster	15.10.2015	ASFINAG,	• Tachymetrie
Anmerkungen	Gesamtvermessung des Projektes XXX				
Dateinname	Gesamtverm_AX_20150503.pdf und Gesamtverm_AX.dwg				
Schnittstelleninformation	Die Gültigkeitsbereiche der einzelnen Vermessungen (Schnittstellen) sind im DWG unter dem Layer „XYZ“ dargestellt				
☐	.....	.....	.....	.....	.....
Anmerkungen	.....				
Dateiname	.....				
Schnittstelleninformation	.....				

Abbildung 13: Beispiel Muster Checkliste Dokumentation Geländeaufnahmen

- Überprüfung der Genauigkeit von Geländeaufnahmen für 3D-Planungen.
- Zusammenspielen der einzelnen Geländeaufnahmen bzw. der Geländeaufnahmen welche im Laufe des Projektes zusätzlich und ergänzend erstellt werden. D.h. es gibt immer nur eine Gesamtgeländeaufnahme (Vermessung) bzw. eine Datei in welcher die aktuellsten Vermessungsdaten enthalten sind. Vor allem bei mehreren Vermessungsbüros bei einem Projekt ist die Einsetzung eines Vermessungskoordinators zu empfehlen.

  Zusätzlich ist eine Dokumentation der Bereichsgrenzen der unterschiedlichen Geländeaufnahmen (Gültigkeitsbereiche) einerseits in dem Vermessungsfile (AutoCAD – eigener Layer) und andererseits in einem Kurzbericht zu dokumentieren.

Weiters ist eine koordinierte Verteilung der Gesamtgeländeaufnahme (Vermessung) erforderlich. D.h. jeder Projektbeteiligte (Planer) arbeitet mit der gleichen (aktuellen) Geländeaufnahme bzw. dem 3D Geländemodell.

- Erstellung des 3D Geländemodells aus der Gesamtgeländeaufnahme.
- Änderungen bei der Gesamtgeländeaufnahme und bei 3D Geländemodellen können erhebliche zeitliche und kostenintensive Auswirkungen für Projektanten und den Projektablauf haben und sollten daher in Koordinationsbesprechungen erläutert werden.

Wie oben bereits dargelegt, sollte die Koordination aufgrund erzielbarer Synergien vom Geodäten durchgeführt werden. Weiters sind Fachkenntnisse für das Zusammenspielen von Geländeaufnahmen und beim Erstellen von 3D Geländemodellen nötig, welche in der Regel nur der Geodäten aufweist. Als zielführend zur Erstellung der Vorgaben bzw. des Leistungsbildes zur Koordination wird eine Arbeitsgruppe mit den Teilnehmern ASFINAG, Vermesser, Straßenplaner empfohlen.

4.2 Datenaustausch Trassierungsprogramme

In diesem Abschnitt wird auf Basis des unter Kapitel 3.2 analysierten Status Quo beim Datenaustausch zwischen Trassierungsprogramme einerseits die Schnittstelle zwischen unterschiedlichen Trassierungsprogrammen bei einer Weitergabe von 3D Trassierungsdaten geprüft bzw. getestet und andererseits der entwickelte Prozess für die Weitergabe von 3D Trassierungsdaten dargestellt, sowie deren Auswirkungen erläutert.

4.2.1 Schnittstelle Trassierungsprogramme (3D Datenaustausch)

Es wurde als Beispiel die Komplexität und Qualität eines Datenaustausches zwischen der Software OBERMEYER ProVi 5.5 SP1 (Aufsatz auf AutoCAD 2016 SP1) und der Autodesk Software Civil 3D 2018 untersucht.

Dabei wurde der Austausch mit folgenden Schnittstellen betrachtet:

- OKSTRA (Objekt Katalog für das Straßen- und Verkehrswesen - http://www.okstra.de/)

  Der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA®) ist eine Sammlung von Objekten aus dem Bereich des Straßen- und Verkehrswesens.

Er wurde mit dem Ziel ins Leben gerufen, ein gemeinsames Verständnis dieser Objekte in den betroffenen Fachbereichen zu erreichen. Als direktes Ergebnis erhält man z.B. ein gemeinsames Austauschformat für verschiedenste Softwareapplikationen aus dem Straßen- und Verkehrswesen [19].

- LandXML (http://www.landxml.org/)

  LandXML ermöglicht den Im-/ Export von Achsen, Gradienten, Längs- und Querprofilen sowie Punktdateien und Geländemodellen im LandXML-Format, einem internationalen Standard für den Datenaustausch [18].

Zur Untersuchung wurde jeweils eine Achse in ProVi und eine in Civil 3D verwendet.

4.2.1.1 Schnittstellen

Bei ProVi sind die jeweiligen Schnittstellen ohne zusätzliche Installation verfügbar. Bei der Software Civil 3D ist um diese Schnittstellen zur Verfügung zu haben gegebenenfalls die Installation der Extension „DACH Extension for AuroCAD® Civil 3D®“ erforderlich wobei dieser Aufsatz kostenlos über Autodesk zu beziehen ist.

4.2.1.2 Schnittstelle OKSTRA

Ergebnisse OKSTRA Export

Der Export in ProVi erfolgt über ein Dialogfeld, in dem verschiedene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Neben verschiedenen OKSTRA Versionen können hier auch Konfigurationsdateien (Deutsche Bundesländer) sowie Koordinatensysteme und die Art der Daten (Achse, Gradiente usw.), die ausgegeben werden sollen, bestimmt werden.

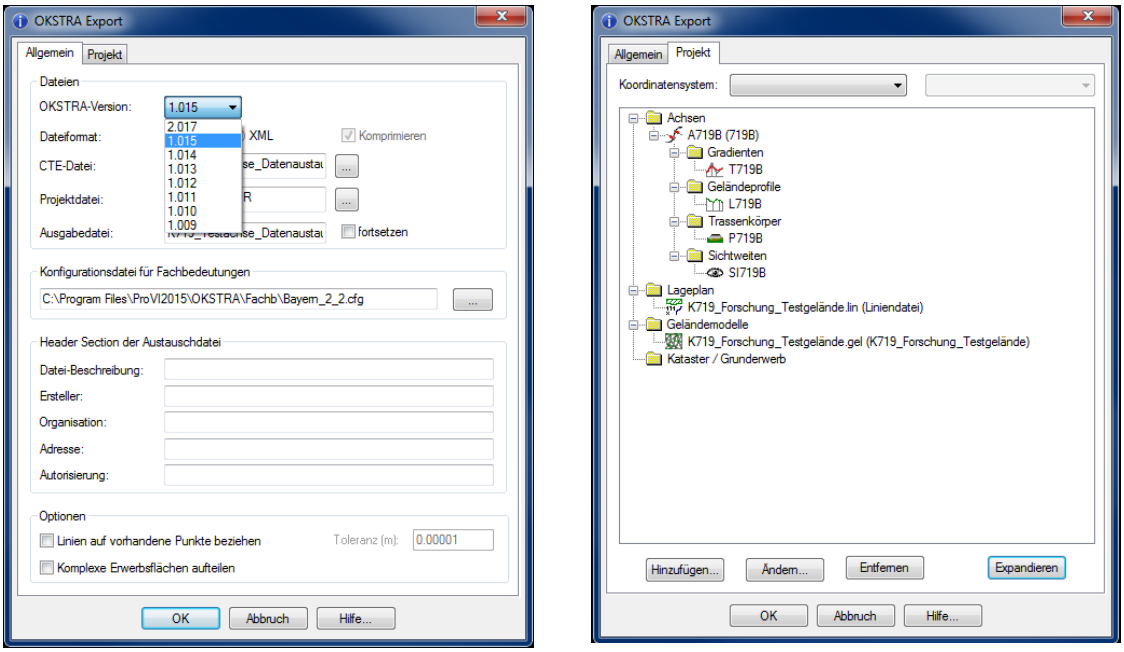


Abbildung 14: OKSTRA Export ProVi 5.5 SP1

Der Export in Civil 3D erfolgt ebenfalls über ein Dialogfeld in dem die Art der Daten (Achse, Gradiente usw.) die ausgespielt werden sollen angegeben werden kann. Eine Auswahlmöglichkeit bezüglich den OKSTRA Versionen bzw. zu Konfigurationsdateien besteht hier nicht. Wobei Civil 3D 2018 die OKSTRA Version 1.014 erstellt.

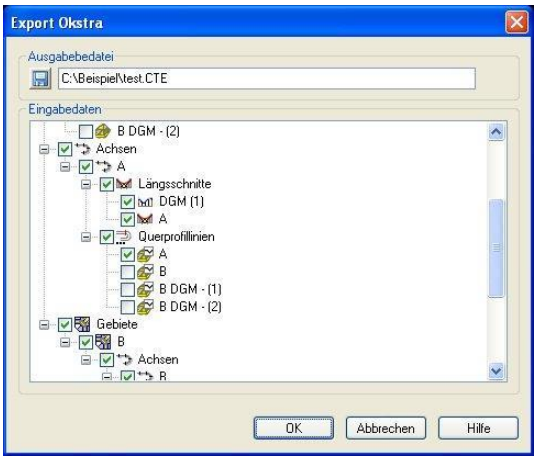


Abbildung 15: OKSTRA Export Civil 3D 2018

Bei den vorliegenden Softwareversionen von ProVi und Civil 3D besteht somit eine Kompatibilität da beide die Version 1.014 unterstützen. Wobei anzumerken ist das bei

ProVi bereits die Möglichkeit besteht Daten im aktuellen 2.017 XML Format auszugegeben. Diese Möglichkeit besteht bei der verwendeten Civil3D Version noch nicht. Sollte bei anderen Softwareversionen oder generell anderer Software als der getesteten eine Kompatibilität nicht gegeben sein kann unter http://www.okstra.de/ ein Tool heruntergeladen werden (OKSTRA® – Werkzeug) das die Möglichkeit hat OKSTRA -Daten im XML- und CTE-Format einzulesen, anzuzeigen, zu modifizieren, zu prüfen und zwischen verschiedenen Versionen zu migrieren und ausgeben zu lassen.

Sowohl ProVi als auch Civil 3D erstellen einen Fehlerbericht der Probleme beim Export anzeigt. (Beispiel ProVI)

```
Austauschdatei···:·K719_Testachse_Datenaustausch_3D_1009_Nur·Achse.cte¶
OKSTRA-Version···:·1.009¶
Fachbed.-Datei···:·C:\Program·Files\ProVI2015\OKSTRA\Fachb\Bayern_2_2.cfg¶
Fachbed.-Version:·Bayern·2.2¶
Beschreibung·····:·¶
Ersteller·········:·¶
Organisation·····:·¶
Adresse···········:·¶
Programm·········:·ProVI·5.5¶
Autorisierung····:·¶
¶
¶
Exportierte·Daten:¶
¶
Achse·A719B¶
··Bezeichnung·········:·719B¶
··Fachliche·Bedeutung:·1·-·Hauptachse¶
··Bestandsstatus·····:·3·-·geplant/neu¶
··Informationstext···:·Testachse_Datenaustausch_3D¶
··Straßenkategorie···:·Sonstiges¶
··Entwurfsgeschwind.·:·65-90¶
Export·erfolgreich!¶
```

Abbildung 16: Beispiel Fehlerbericht Provi 5.5 SP1 OKSTRA

Ergebnisse OKSTRA Import

Bei einigen Datenarten wie Punktobjekten und Querprofildateien war eine Übergabe in beide Richtungen (ProVi → Civil 3D; Civil 3D → ProVi) nicht möglich da hier Fehler aufgetreten sind. Die Behebung der Fehler war bei den verwendeten Versionen nicht möglich.

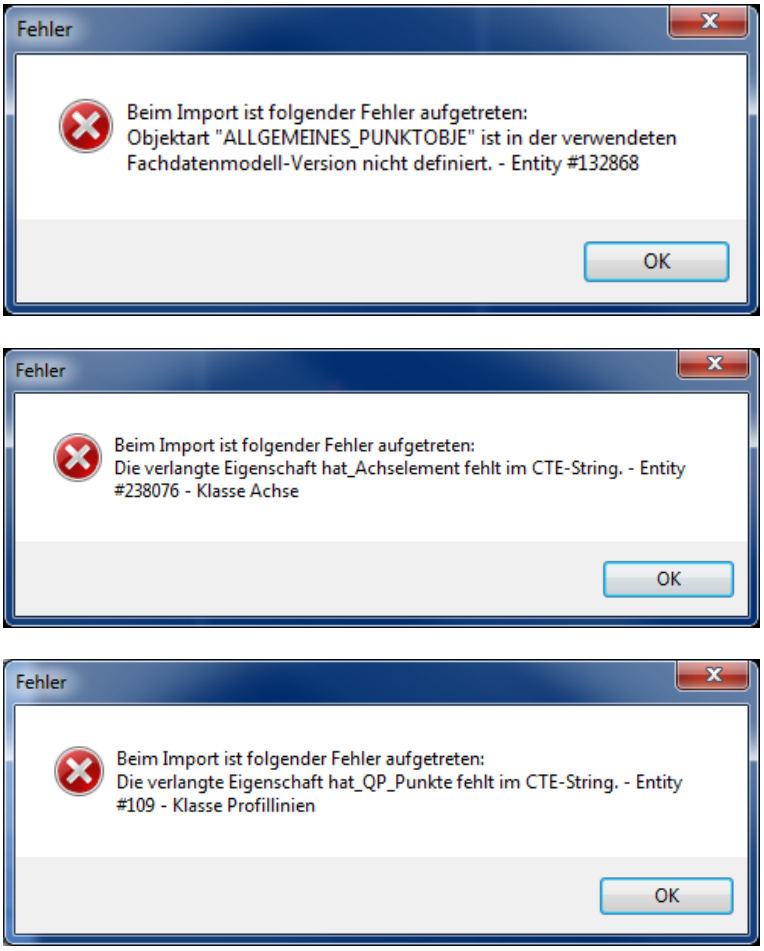


Abbildung 17: Fehler OKSTRA Import

Ergebnisse OKSTRA Import ProVi 5.5 SP1

Die Folgende Tabelle zeigt welche Daten über die OKSTRA Schnittstelle in ProVi 5.5 SP1 importiert werden konnten und es weder Fehlermeldungen noch offensichtliche Fehler bei einer manuellen Überprüfung der Importdaten gab.

Datenart	Import	Anmerkung
Achsen	✓	
Gradienten	✓	
Längsprofile	✓	
Geländemodelle	✓	Sowohl Urgelände als auch Geländemodelle von Straßen möglich
Trassenprojekte (Querprofile)	X	Kein Import möglich

Tabelle 3 Möglicher Import von Daten in ProVi 5.5 SP1

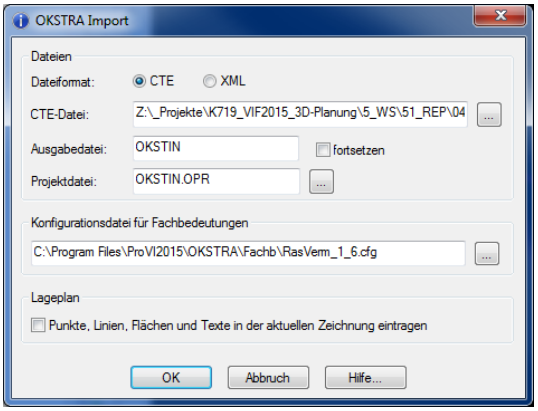


Abbildung 18: OKSTRA Import ProVi 5.5 SP1

Ergebnisse OKSTRA Import Civil 3D 2018

Die Folgende Tabelle zeigt welche Daten über die OKSTRA Schnittstelle in Civil 3D 2018 importiert werden konnten und es weder Fehlermeldungen noch offensichtliche Fehler bei einer manuellen Überprüfung der Importdaten gab.

Datenart	Import	Anmerkung
Achsen	✓	
Gradienten	✓	
Längsprofile	✓	
Geländemodelle	✓	Sowohl Urgelände als auch Geländemodelle von Straßen möglich
Trassenprojekte (Querprofile)	X	Kein Import möglich

Tabelle 4 Möglicher Import von Daten in Civil 3D 2018

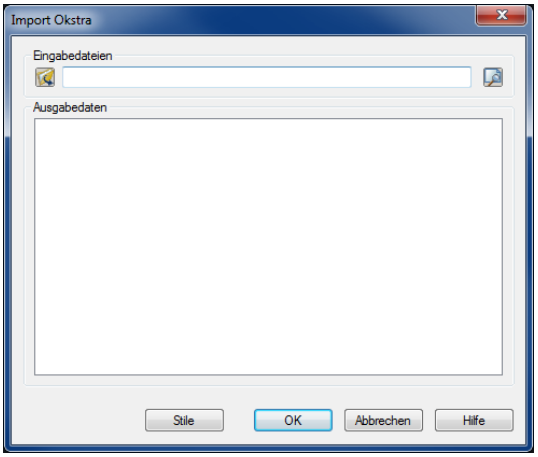


Abbildung 19: OKSTRA Import Civil 3D 2018

4.2.1.3 Schnittstelle LandXML

Ergebnisse LandXML Export

Der Export in ProVi erfolgt über ein Dialogfeld in dem verschiedene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Neben verschiedenen LandXML Versionen können hier auch die Art der Daten (Achse, Gradiente usw.) die ausgegeben werden sollen bestimmt werden.

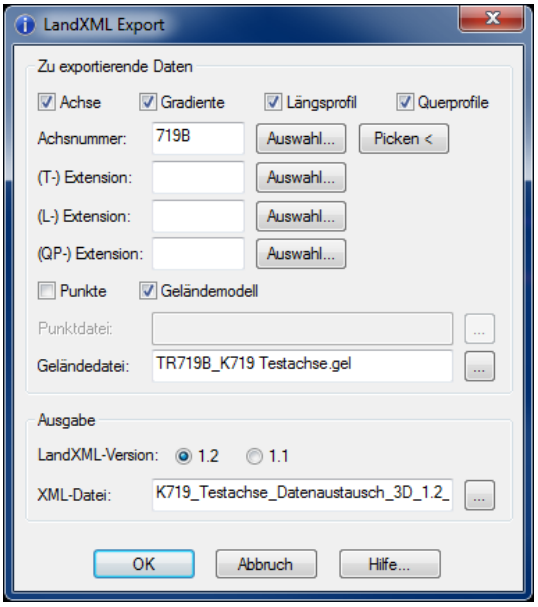


Abbildung 20: OKSTRA Export ProVi 5.5 SP1

Der Export in Civil 3D erfolgt ebenfalls über ein Dialogfeld, in dem die Art der Daten (Achse, Gradiente usw.), die ausgespielt werden sollen, angegeben werden kann.

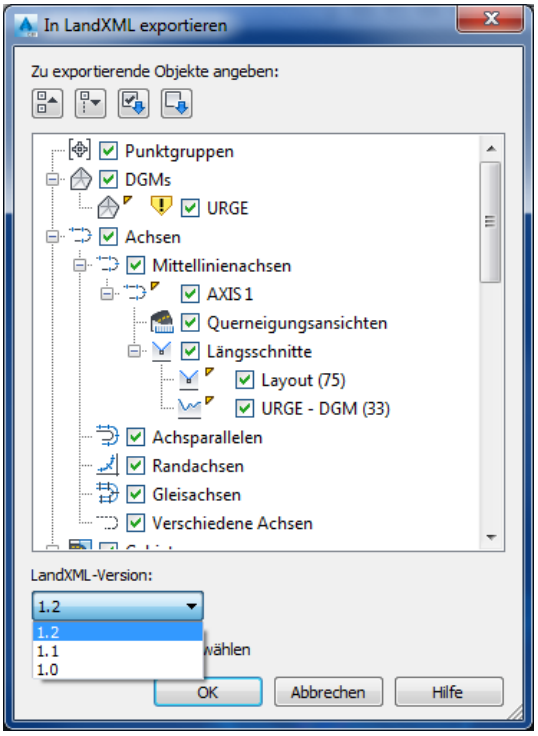


Abbildung 21: OKSTRA Export Civil 3D 2018

Bei den vorliegenden Softwareversionen von ProVi und Civil 3D besteht somit eine Kompatibilität, da beide die Version 1.1 und 1.2 unterstützen. http://www.landxml.org/

Ergebnisse LandXML Import

Bei einigen Datenarten war eine Übergabe in beide Richtungen (ProVi → Civil 3D; Civil 3D → ProVi) nicht möglich da hier Fehler aufgetreten sind. Die Behebung der Fehler war bei den verwendeten Versionen nicht möglich.

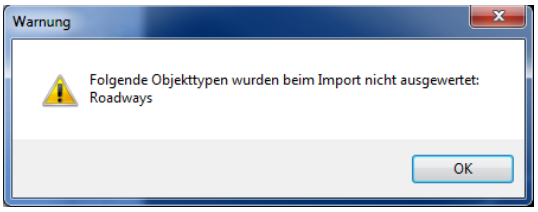


Abbildung 22: Fehler LandXML Import

- **Ergebnisse LandXML Import ProVi 5.5 SP1**

Datenart	Import	Anmerkung
Achsen	✓	
Gradienten	✓	
Längsprofile	✓	
Geländemodelle	✓	Sowohl Urgelände als auch Geländemodelle von Straßen möglich
Trassenprojekte (Querprofile)	X	Kein Import möglich

Tabelle 5 Möglicher Import von Daten in ProVi 5.5 SP1

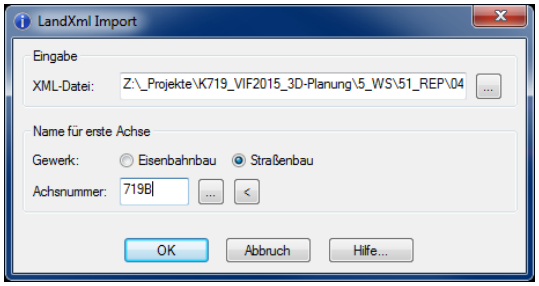


Abbildung 23: LandXML Import ProVi 5.5 SP1

- **Ergebnisse LandXML Import Civil 3D 2018**

Datenart	Import	Anmerkung
Achsen	✓	
Gradienten	✓	
Längsprofile	✓	
Geländemodelle	✓	Sowohl Urgelände als auch Geländemodelle von Straßen möglich
Trassenprojekte (Querprofile)	X	

Tabelle 6 Möglicher Import von Daten in Civil 3D 2018

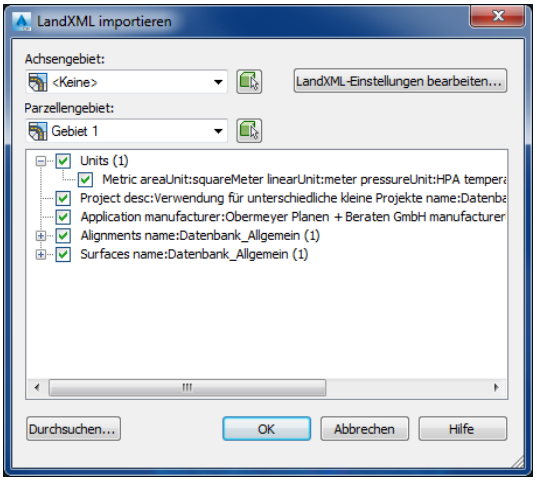


Abbildung 24: LandXML Import Civil 3D 2018

4.2.1.4 Schlussfolgerung

Ein 3D Datenaustausch ist derzeit nur begrenzt möglich. Eine Weitergabe von Achsen, Gradienten und Geländemodellen ist ohne größere Schwierigkeiten machbar. Eine Weitergabe der Querschnitte ist mit den getesten Schnittstellen nur insofern möglich, als das ein Geländemodell der Straße weitergegeben werden kann. Eine sinnvolle Weitergabe bzw. deren Bearbeitung ist bei den Querprofilen damit aber nicht möglich. Ein wesentliches Problem stellen die unterschiedlichen Versionen der Schnittstellen, die von den Softwarepaketen zur Verfügung gestellt werden, dar. Hier kann es bei der weiteren Verwendung der Daten zu Problemen kommen, die teilweise mit von den Schnittstellenbetreibern zur Verfügung gestellten Tools behoben werden können. Hierfür sind aber Konvertierungen erforderlich, die eine weitere Fehlerquelle darstellen. Weiters kommt es beim Export über die Schnittstellen zu geringfügigen Genauigkeitsverlusten, da Rundungen stattfinden. Diese Verluste sind aber sehr gering (in der 5. bis 7. Kommastelle) und sind damit vernachlässigbar.

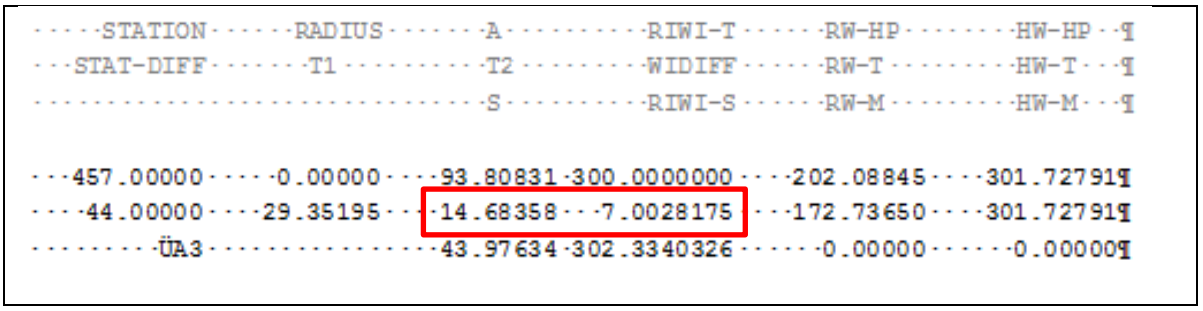


Abbildung 25: Beispiel Genauigkeitsverlust - Achse bei Export

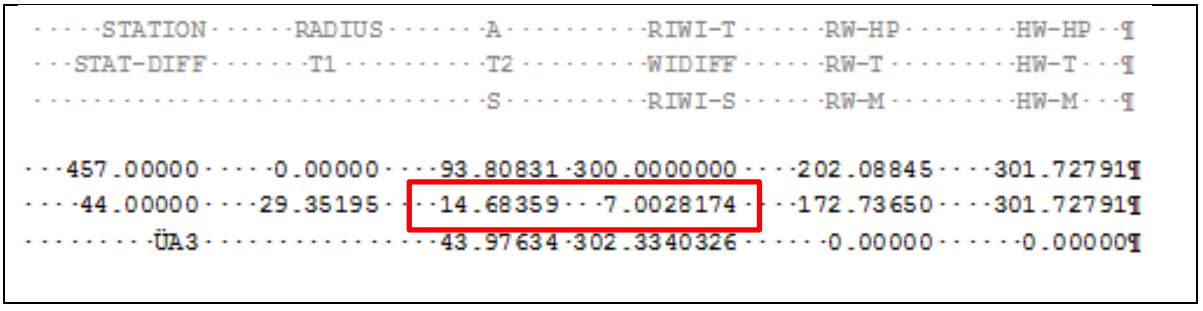


Abbildung 26: Beispiel Genauigkeitsverlust - Achse nach Import

4.2.2 Weitergabe von Trassierungsdaten – Optimaler Prozess

In der Abbildung 27 ist der optimierte Prozess für eine Weitergabe von 3D Trassierungsdaten dargestellt.

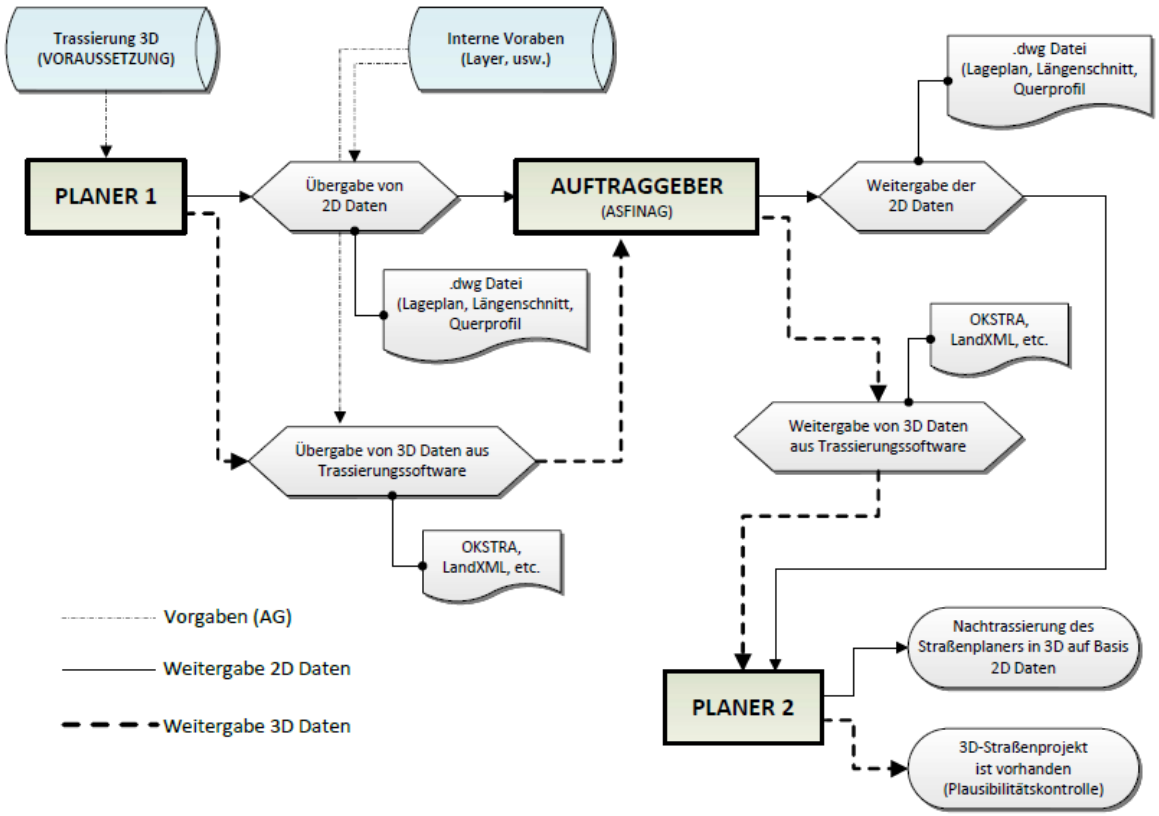


Abbildung 27: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Optimaler Prozess

Im Flussdiagramm sind zwei Prozesse dargestellt welche unabhängig voneinander betrachtet werden können und parallel ablaufen. Der aktuell gelebte Prozess, die Weitergabe von 2D Daten (durchgezogene Linie) wird nicht angepasst. Hingegen optimiert wird der Prozess der Weitergabe von 3D Daten (dick gestrichelte Linie).

4.2.3 Vorgaben und Rahmenbedingungen zur Weitergabe 3D Trassierungsdaten

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben sind die Schnittstellen zwischen den Trassierungsprogrammen zwar teilweise vorhanden erlauben aber meistens nur eine eingeschränkte Weitergabe der Trassierungsdaten. Um eine einheitliche standardisierte

Methode zur Weitergabe von 3D Trassierungsdaten zu gewährleisten wäre festzulegen bzw. sind nachfolgende Vorgaben und Rahmenbedingungen zu definieren:

- welche Trassierungsprogramme durch die Planer zugelassen bzw. verwendet werden,
- welche Schnittstellen und Dateiformate (zwischen den Programmen) zugelassen bzw. verwendet werden,
- die Schnittstelle zwischen Projekt und Bestand (Projektabgrenzung im Trassierungsprogramm),

  d.h. die Trassierung entspricht in den Rand- und Übergangsbereichen zwischen Projekt und Bestand derzeit nicht den digitalen (dwg-Dateien) und vor allem nicht den anlogen Plänen (Farbplots).
- dass die Trassierung durch den Projektanten in 3D durchgeführt wird,
- dass die Weitergabe der 3D Trassierungsdaten immer über den Auftraggeber und nicht direkt zwischen den Planern, erfolgt
- und der Lieferumfang.

Selbst bei der Umsetzung der oben beschriebenen Punkte ist eine komplette Übergabe von 3D Trassierungsdaten aufgrund fehlender Schnittstellen, derzeit nur zwischen der gleichen Trassierungssoftware möglich. Es befinden sich zwar internationale Schnittstellen (wie. z.B. IFC-Austauschformat) in Ausarbeitung, wodurch eine Weitergabe von 3D Trassierungsdaten in Zukunft erleichtert wird. Aufgrund der großen Anzahl an Beteiligten und deren unterschiedlichen Interessen ist das Voranschreiten der Entwicklung der Schnittstellen, schwer abschätzbar.

Mit diesen Vorgaben können die unter Kapitel 3.2.2.4 erwähnten Fehlerquellen bei der Übernahme von 3D Daten reduziert, jedoch keineswegs ausgeschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Eingabe von Parameterwerten in der 3D Trassierungssoftware sehr individuell ist und selbst bei der Übergabe einer Datei im gleichen Programmen, ein gewisses Black-Box-Modell immer bestehen bleiben wird. Weiters kann die Weitergabe bzw. die Erstellung der Planunterlagen sowie der 2D Trassierungsdaten in analoger Form (Farbplots) und in digitaler Form (pdf-Dateien und dwg-Dateien) aufgrund der Benötigung von Dritten (wie Behörden, externe Fachplaner, etc.), nicht entfallen.

4.3 Erhebung Bestandseinbauten – Aufbereitung in 3D

Aufbauend auf die Analyse des Status Quo bei der Erhebung von Bestandeinbauten (Kapitel 3.3) wird in diesem Abschnitt der Ablauf bzw. die Vorgangsweise zur Aufbereitung der Bestandsdaten in 3D Daten, entwickelt bzw. beschrieben. Um ein ansprechendes Ergebnis bei der Aufbereitung der Einbauten als 3D Daten zu erhalten, ist die Erhebung der Bestandseinbauten und die Gesamtkoordination der Aufbereitung als 3D Daten durch nur einen Projektdaten, zielführend. Im ersten Schritt sollten durch den Koordinator einerseits die Dokumentation der gelieferten Unterlagen und andererseits die Überprüfung der Unterlagen hinsichtlich der 3D Qualität der Daten, erfolgen. D.h. ist die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben (Lage, Höhen, Neigungen, Dimension, etc.) für eine 3D Darstellung ausreichend. Die Dokumentation der Bestandseinbauten könnte gemäß der in Abbildung 28 dargestellten Beispiels erfolgen.

Unterlage	vorh	nicht vorh	Stand (gem. Plankopf)	Erhalten / Übermittler	3D Daten Vorhanden	**Erklärung** (wie genau sind 3D Daten vorhanden, bzw. warum nicht)
Wels Strom						
☐ Strom	✓		31.02.2017	Linz AG	☐ JA ☐ NEIN	
Anmerkungen:						
☐ Gas					☐ JA ☐ NEIN	
Anmerkungen:						
☐ Wasser					☐ JA ☐ NEIN	
Anmerkungen:						
.....						
☐					☐ JA ☐ NEIN	
Anmerkungen:						

Abbildung 28: Beispiel Muster Checkliste Dokumentation Bestandseinbauten

Da die Datenqualität bei Bestandseinbauten, vor allem hinsichtlich 3D Darstellung in sehr unterschiedlicher und teilweise nur mit geringer Genauigkeit und Vollständigkeit vorhanden sind, müssen fehlende Ergänzungen und Annahmen getroffen werden. Die benötigten Daten können zwar durch zusätzliche Vermessungen (z.B. Sohle) und eventuelle Suchschlitze ergänzt und geschärft werden, jedoch bleibt immer ein gewisses Maß an Annahmen (wie z.B. fehlende Höhenangaben, Dimensionen, etc.)

übrig. Weiters ist festzuhalten, dass die erhobenen planlichen Bestandseinbauten einem gewissen Fehler unterliegen d.h. die dargestellten Bestandseinbauten in den übermittelten Planunterlagen stimmen nicht mit der Realität (der wirklichen Lage, etc.) überein. Damit kann zwar schlussendlich eine 3D Darstellung der Bestandseinbauten erzeugt werden, welche als Grundlage für die 3D Planung dient aber es besteht die Gefahr einer vorgetäuschten Genauigkeit. Diese Gefahr erhöht sich wenn die Unterlagen sich längere Zeit im Umlauf befinden und weitergereicht werden weil das Bewusstsein für die Annahmen zeitbezogen abnimmt. Um das Risiko zu minimieren ist unbedingt eine eindeutig Kennzeichnung und Dokumentation der Annahmen nötig. In kritischen bzw. sensiblen Bereichen in den Neuplanungen von Einbauten vorgenommen werden und 3D Darstellungen von Bestandseinbauten (unter den oben beschriebenen Vorgaben) konstruiert werden, können durch 3D Planungen etwaige Konflikte und Kollisionen früher erkannt werden und in Summe damit der Planungsprozess optimiert werden. Sinnvoll erscheint auf jeden Fall bei zukünftigen Projekten die gebauten Einbauten mit entsprechender Genauigkeit und in 3D zu erfassen.

4.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung)

Aufbauend auf die Analyse des Status Quo bei der Einbautenplanung im Vorportalbereich (Kapitel3.4) und des Kapitels 4.3 Erhebung Bestandseinbauten – Aufbereitung in 3D wird das Optimierungspotenzial des komplexen Ablaufes (Prozess) bei der Einbautenplanung Vorportalbereich dargelegt. Die Optimierungen und Verbessrungen lassen sich für den Vorportalbereich in 3 wesentliche Bereiche unterteilen:

- Gesamtkoordination Einbautenplanung,
- Einheitliche Planungstiefe / Beauftragungstiefe
- und 3D Planung der Einbauten

4.4.1 Gesamtkoordination Einbautenplanung Vorportalbereich

Die zahlreichen komplexen räumlichen und zeitlichen Abhängigkeiten des komplexen Vorportalbereichs, der sich aufgrund der zahlreichen diversen Anforderungen (Verkehrsleitung, Verkehrssteuerung, Verkehrssicherheit, betriebliche Einrichtungen, Platz für Rettungseinsätze, etc.) ergibt, kann in 4 Hauptbereiche (Straße, Tunnel, E&M

und Betrieb und Sonstiges) unterteilt werden. Die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen den Fachplanern und der unterschiedlichen Gewerke stehen in direkter und indirekter Abhängigkeit und bewirken einen iterativen Planungsprozess, der in der Abbildung 29 dargestellt wird.

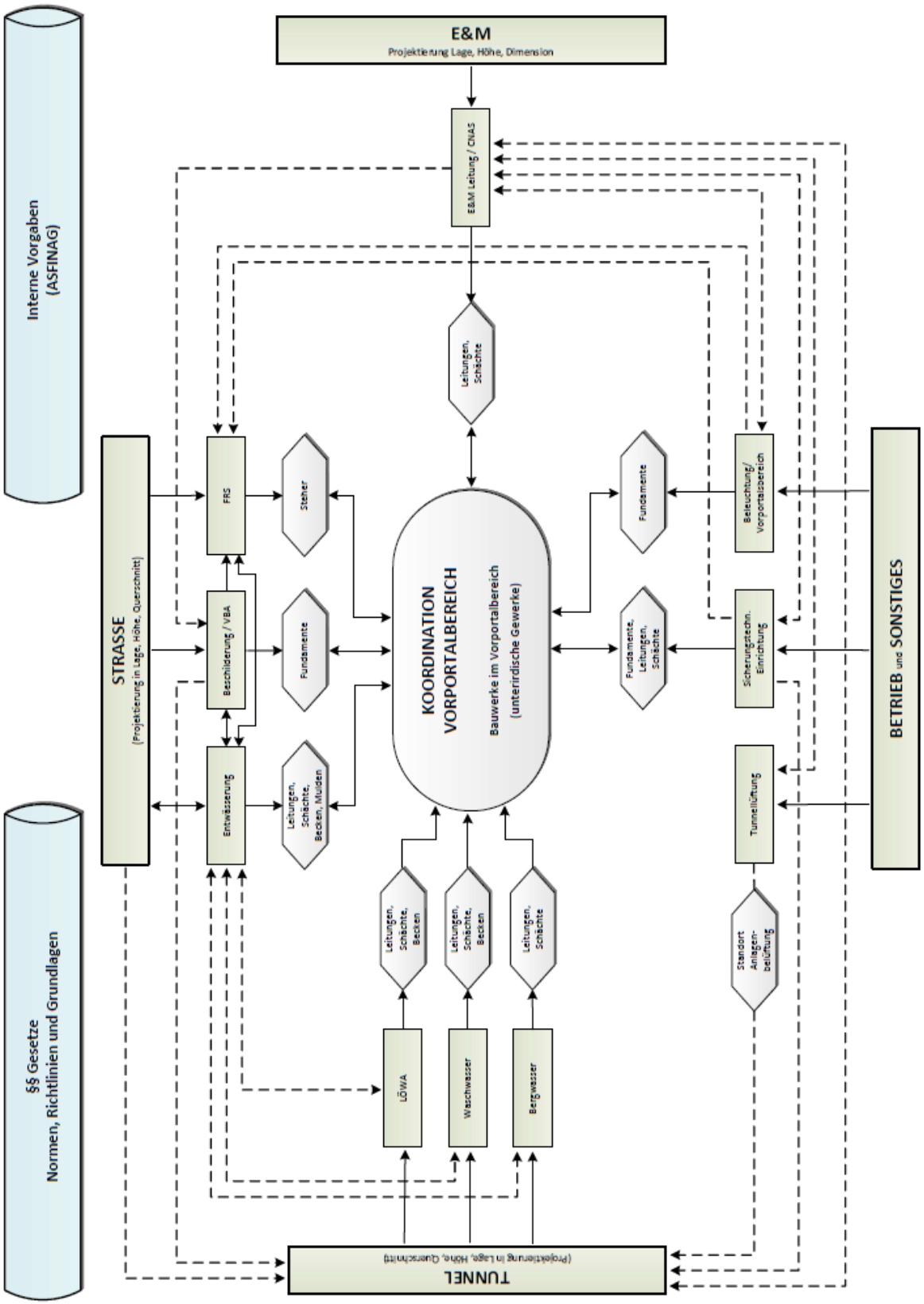


Abbildung 29 – Abhägigkeiten im Vorportalbereich hinsichtlich Einbauten

Übergeordnet stehen Gesetze, Normen, Richtlinien und Grundlagen sowie Interne Vorgaben und Rahmenbedingungen des Auftraggebers. Die dargestellten Abhängigkeiten durch Zweirichtungspfeile bedeuten eine gegenseitige Abhängigkeit und die Richtungspfeile, eine Vorgabe. Viele Konflikte und Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken entstehen aufgrund der zahlreichen Schnittstellen und der teilweise fehlenden Festlegung der Zuständigkeiten. In der Abbildung 30 werden die wesentlichen unterirdischen Einbauten und Gewerke im Vorportalbereich dargestellt.

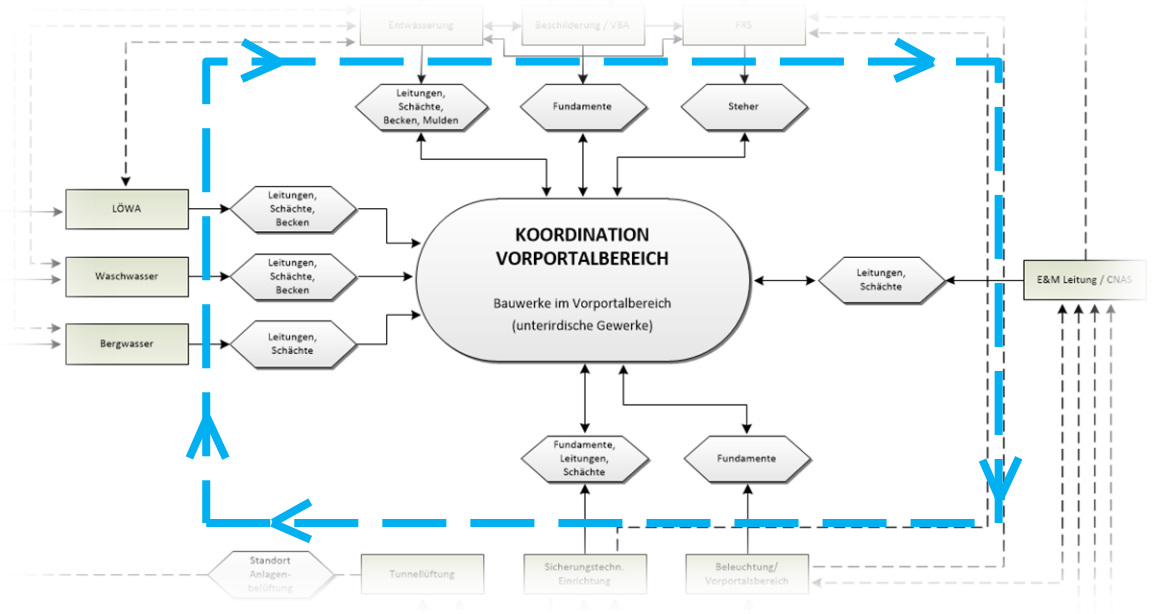


Abbildung 30: wesentliche unterirdische Einbauten im Vorportalbereich

Unabhängig des Themas 3D Planung der Einbauten stellt daher die Koordination bei der Einbautenplanung im Vorportalbereich einen der wesentlichen Voraussetzungen für einen effektiven und unter den Rahmenbedingungen, optimalen Prozessablauf dar. D.h. die derzeit fehlende Gesamtkoordination bzw. die teilweise fehlende Definition der Zuständigkeiten und Schnittstellen kann durch die Einsetzung eines Gesamtkoordinators mit definiertem Leistungsbild entgegengewirkt werden. Folgende Verbesserungen und Optimierungen im Planungsablauf können durch eine Koordination der Einbauten im Vorportalbereich erzielt werden:

- Erhöhung des Problembewusstseins hinsichtlich der Themenstellung bei allen Prozessbeteiligten.

- Sicherung der Einhaltung eines klaren Planungsablaufs und zeitliche Zuordnung für die einzelnen Planer.
- Geringere Reibungsverluste in der Abstimmung.
- Festlegung und Zuordnung von Leitungstrassen für die einzelnen Fachplaner.
- Überprüfung von auftretenden Konfliktbereichen bei den Gewerken (der unterschiedlichen Planer).
- Reduzierung der Konflikte und Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken.

4.4.2 Einheitliche Planungstiefe

Bei der Analyse hat sich gezeigt, dass derzeit vor allem in der Projektphase Einreichprojekt verschiedene Planungstiefen in unterschiedlichen Fachbereichen vorhanden sind. Vor allem in den Bereichen Straße (Fahrzeugrückhaltesystem und Beschilderung / VBA), E&M (E&M Leitung / CNAS) und Betrieb und Sonstiges (Sicherungstechnische Einrichtung und Beleuchtung / Vorportalbereich) sind geringer Planungstiefen aufgrund der Beauftragungssituation vorhanden. Wie schon mehrfach beschrieben sind im Vorportalbereich komplexe, räumliche und zeitliche Abhängigkeiten sowie zahlreiche Schnittstellen bei einer Vielzahl unterschiedlicher Fachplaner vorhanden, welche in direkter und indirekter starker Wechselwirkung zueinander stehen. Es handelt sich daher um einen iterativen Planungsprozess und es liegt in der Natur der Sache, um ein Optimum unter diesen Rahmenbedingungen erzielen zu können, dass bei allen Gewerken eine einheitliche (gleiche) Planungstiefe vorherrschen sollte. Zusammenfassend bedeutet das, dass alle Prozessschritte, welche unterirdische Gewerke (Fundamente, Schächte, Rohrleitungen, Steher, etc.) zur Folge haben zum Zeitpunkt „X“ (sinnvollerweise in der Einreichprojektphase) in gleicher Tiefe (Lage, Höhe und Dimension) geplant sein müssen. Ansonsten ist dieser Ablauf nicht optimal zu realisieren und die Aufwendungen für nachträgliche Adaptionen sind eventuell eminent hoch. In Abbildung 31 ist der finanzielle (Planungs-) Aufwand in Abhängigkeit der Zeit unter Berücksichtigung einer einheitlichen bzw. nicht einheitlichen Planungstiefe dargestellt.

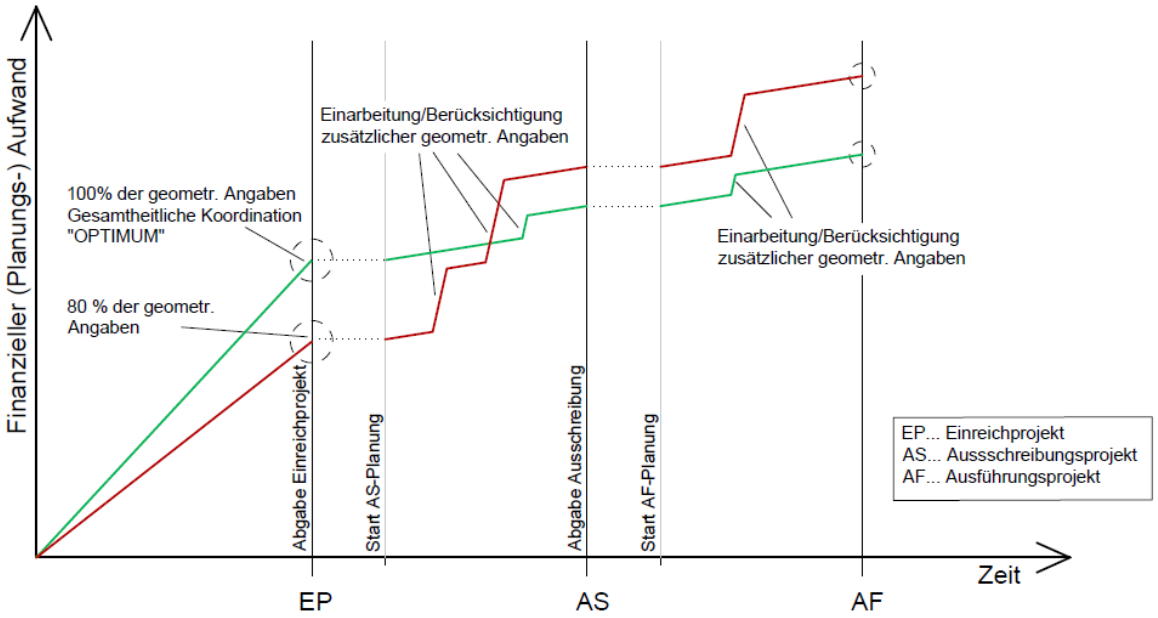


Abbildung 31 – Finanzieller (Planungs-) Aufwand in Abhägigkeit der Zeit und der Planungstiefe

Die grüne Kurve in Abbildung 31 zeigt den Planungsaufwand für den Optimalfall, mit allen erforderlichen geometrischen Angaben bei den wesentlichen Gewerken, wodurch auch ein Optimum bei der gesamtheitlichen Koordination erzielt werden kann. In diesem Fall ist zum Einreichprojekt die Geometrie (Lage. Höhe und Dimension) aller Einbauten in gleichen Maßen festgelegt (d.h. mit gleicher Planungstiefe bei allen Gewerken). Zu Beginn ist der entstehende Aufwand durch die teilweise zusätzlichen Planungen (im Vergleich zur jetzigen Situation) und den erhöhten Koordinationseinsatz größer. Die anfängliche Mehrleistung hat aber den Vorteil, dass die folgenden Planungsphasen (AS – Ausschreibung und AF – Ausführung) in der Regel ohne größere nochmalige Aufwendungen (hinsichtlich Verschiebung der schon geplanten Einbauten in Lagen und Höhen) abgewickelt werden können. Demgegenüber steht der Prozess mit teilweise geringeren Planungstiefe (bzw. fehlenden geometrischen Angaben) zum Zeitpunkt – Einreichprojekt (in rot). In der Einreichphase bedeutet das weniger Aufwand (durch geringere Beauftragungshöhen und fehlende Koordinierung), jedoch sind die nachträglich einzuarbeitenden bzw. zu berücksichtigenden geomantischen Angaben mit ungleich höherer Planungsleistung verbunden als zu Beginn. Je später fehlende geometrische Angaben nachgereicht werden umso schwerer ist deren Einarbeitung. Diese wirken sich nicht selten auch zu Lasten der

Qualität (d.h. teilweise zu qualitativ schlechteren und teureren Lösungen) im Vorportalbereich aus. Im ungünstigsten Fall werden noch in der Ausführungsphase geometrische Angaben ergänzt oder geändert wodurch der Aufwand noch weiter steigt. Zusammenfassend lässt sich anhand der oben dargestellten Graphik verdeutlichen, dass fehlende geometrische Angaben höhere Kosten in der Planungsphase als auch (durch notwenige Sonderlösungen) in der Bauphase verursachen und die Qualität der Gesamtplanung sinkt. Zusätzlicher Mehraufwand kann auch immer dann entstehen, wenn zwischen den einzelnen Projektphasen die Beteiligten Organe wechseln und so sich die Rahmenbedingungen und Vorgaben eventuell ändern.

Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass der Ablauf nicht so trivial ist wie oben dargestellt. Vor allem bei Großprojekten ist die Länge der Projektlaufzeit schwer abschätzbar. Durch die große Zeitspanne steht speziell im Bereich E&M die hohe Planungstiefe aufgrund rascher Änderungen bzw. Weiterentwicklung der Standards und Normen, im Widerspruch. D.h. Änderungen der Standards und Normen können den höheren Mitteleinsatz in frühen Planungsphasen zunichtemachen bzw. in Summe sogar höhere Planungskosten verursachen. Auf jeden Fall erhöht eine Gesamtkoordination des Projektes im Vorportalbereich sowie eine einheitliche Planungstiefe (der geometrischen Angaben) aller Gewerke über lange Zeit und unter Summe mehrerer Projekte betrachtet, die Gesamtqualität im Vorportalbereich. Die Höhe der Kosteneinsparungen durch eine verbesserte Koordinierung und vor allem aufgrund des früheren Mitteleinsatzes ist schwer abschätzbar aber über lange Sicht gesamtheitlich betrachtet, höchstwahrscheinlich.

4.4.3 3D Planung der Einbauten

Die Qualität kann bei Vorprotalbereichen durch eine 3D Planung der Einbauten sicher auch zu einem gewissen Maß erhöht werden. Vor allem da in der Regel alle Einbauten neu geplant werden und damit bei einer 3D Planung nur unwesentliche unmittelbare höhere Planungskosten verursacht werden. Durch die erhöhte Datenqualität und einer 3D Darstellung der Einbauten in sensiblen Bereichen wie im Vorportalbereich, können etwaige Konflikte und Kollisionen der unterirdischen Gewerke frühzeitig erkannt werden. Vor allem erlaubt die 3D Darstellung der Einbauten die Beurteilung auch in der Höhe was bei 2D Plänen ungleich aufwendiger und schwieriger ist. Weiters werden durch Darstellung der Dimensionen der Einbauten auch möglich Konflikte zwischen einzelnen Einbauten sichtbar und das frühzeitige Erkennen der Kollisionen zusätzlich

erleichtert. Dadurch kann damit in Summe der Planungsprozess hinsichtlich Zeit und Kosten optimiert werden.

4.5 Fahrdynamikuntersuchungen

In den letzten Jahren hat die Verkehrssicherheit zunehmend an Bedeutung gewonnen. Verkehrssicherheitsuntersuchungen von bestehenden Straßen sowie von Neu- und Umplanungen von Straßenabschnitten haben eine entsprechende Auswirkung auf etwaige Wartungsstrategien, Instandsetzungen und vor allem auf die initiale Sicherheitsebene. Für Neu- und Umplanungen sind geometrische Design-Standards definiert und Richtlinien vorhanden, welche berücksichtigt werden müssen. Die Definition dieser erfolgt oft empirisch. Für bestehende Infrastruktur und Straßenabschnitte werden entsprechendes Fachwissen, Statistiken und Messungen der Straßeneigenschaften herangezogen, um dafür erforderliche Strategien für die Wartung und Sicherheitsmaßnahmen zu definieren. Geometrische Entwurfs-Standards und Straßeneigenschaften spielen dabei eine tragende Rolle in Sicherheitsfragen. Jedoch ist es zukünftig erforderlich, die drei Komponenten Fahrzeug/Fahrer/Infrastruktur gleichermaßen noch detaillierter zu berücksichtigen, um die Sicherheit nachhaltig zu verbessern. In der Vergangenheit wurde die Fahrzeugsicherheit durch die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wie beispielsweise Anti-Blockier System (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP), usw. zur Unfallvermeidung und zur Reduktion der Unfallschwere beispielsweise Gurt, Airbag, etc. verbessert [20]. Wenn es nun darum geht, den Fahrer des Fahrzeug-Fahrer-Infrastruktur-Systems „weiterzuentwickeln“ wird es etwas komplizierter. Es ist schwieriger, sein exaktes Verhalten vorherzusehen oder effektiv zu ändern oder zu verbessern. Das menschliche Verhalten muss jedoch bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Fahrzeug-Fahrer-Infrastruktur-Systems auch Berücksichtigung finden und dies vor allem dabei, wenn Fahrzeug und Infrastruktur entworfen und verbessert werden. Betreffend das Fahrzeug, sind zwei Eigenschaften von großer Bedeutung, dies sind einerseits die Handhabung und andererseits die Stabilität des Fahrzeuges. Das Fahrzeugverhalten sollte sicher sein. Dies bedeutet, dass die Eingabe vom Fahrer nicht zu einer übermäßigen Fahrzeugreaktion führen sollte, die das Fahrzeug für den Fahrer unkontrollierbar macht. Außerdem hat jedes Fahrzeug bestimmte physikalische Grenzen, die berücksichtigt werden müssen, z.B. wenn die Reibungsgrenzen bei einem der Reifen überschritten wird, kann ein vollständiges Gleiten dieses Reifens auftreten. Dies muss vermieden

werden und der Hauptregler des Fahrzeugs dazu ist der Fahrer. Dies bedeutet, dass der Fahrer das Fahrzeugverhalten ständig überwacht, um jedes kritische Fahrzeugverhalten zu beurteilen und darauf zu reagieren [21].

4.5.1 Verkehrssicherheit

Das Sicherheitssystem, um eine nachhaltige Steigerung der Verkehrssicherheit zu gewährleisten, besteht also aus den drei Komponenten Fahrzeug, Fahrer und Umgebung. Jedes Fahrzeug bildet zusammen mit dem Fahrer und der gegebenen Umwelt/ der Straße ein individuelles geschlossenes Regelsystem. Wesentliche Bestandteile bei der Gestaltung der aktiven Sicherheit sind auch das Fahrverhalten und die Fahrstabilität eines Fahrzeuges. Die Bewertung des Fahrverhaltens ist – wie schon erwähnt – besonders schwierig, weil das Gesamtsystem durch das Zusammenwirken der einzelnen, schon einzeln für sich komplexen Elemente Fahrer, Fahrzeug und Umwelt gekennzeichnet ist [22]. Die Verbesserung der Fahrzeugstabilität und Fahrzeugkontrolle sind nur möglich, wenn bestimmte Fahrzeugparameter wie Geschwindigkeit, Rollwinkel, Gierrate, Schlupfwinkel, Gewicht des Fahrzeugs und Rad-Boden-Kräfte bekannt sind.

Zusammenfassend kann die Verkehrssicherheit nun also durch Maßnahmen die Infrastruktur betreffend verbessert werden, wie z.B. durch Änderung der Straßengeometrie, die Optimierung von Fahrbahnrändern oder anderer repressiver Maßnahmen. Als Beispiel für repressive Maßnahmen haben die meisten europäischen Länder Geschwindigkeitsbeschränkungen eingeführt, welche auch zu einer Abnahme der mittleren Geschwindigkeit und damit des Tötungsrisikos geführt haben [23] [24]. Jedoch scheint auch diese Maßnahme mit der Zeit an Wirkung zu verlieren.

Um eine Verbesserung der Verkehrssicherheit zu erwirken, müssen aber auch Maßnahmen gesetzt werden, welche den Fahrer unterstützten und die Wahrnehmung von komplexen Situationen erleichtern. Nicht nur das Fahrzeug an sich und dessen Weiterentwicklung sowie der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen können zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit beitragen, sondern auch die Analyse der Fahrdynamik repräsentativer Fahrzeuge, kann unter anderem Mängel hinsichtlich der Quer- oder Längsneigung einer Straße oder ungünstige Radienfolgen aufzeigen, welchen zwar den entsprechenden gängigen Richtlinien entsprechen, in Kombination mit der gewählten Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrlinienwahl des Fahrzeuglenkers

aber zu einer Gefahrenstelle führen. Im Folgenden werden die Begriffe Fahrdynamik, Fahrgrenzen, Fahreigenschaften und Fahrverhalten kurz erläutert.

4.5.2 Fahrdynamik

Neben der Quer-, Längs- und Vertikaldynamik kann die Fahrdynamik auch in die Steuerung und die Reaktion unterteilt werden. Der Fahrer hat seine Bedienelemente und gibt durch diese die Steuerung des Fahrzeugs vor. Daraus folgt, dass nun das Fahrzeug nach seinem charakteristischen Übertragungsverhalten reagiert. Die Steuerung kann noch weiter unterteilt werden. Einerseits bestimmt der Fahrer die Längsdynamik eines ungeregelten Fahrzeugs über die Pedale und die Wahl des Ganges. Andererseits wird die Querdynamik über das Lenkrad gestaltet. Eine dynamische Reaktion des Fahrzeugs wird, unter Berücksichtigung zusätzlicher Einflüsse aus der Umgebung und aus den Regelsystemen, in erster Linie von der Steuerung durch den Fahrer bestimmt. Die Fahrzeugreaktionen müssen daher getrennt von der Steuerung betrachtet werden, obwohl die Steuerelemente den Reaktionsrichtungen zugeordnet werden können. Die Kriterien der Längsdynamik lassen sich vorwiegend durch reine Messwerte definieren, dennoch gibt es weitere Kriterien, die als Regelgröße den Fahrer enthalten oder die ein subjektives Empfinden objektivieren müssen. Bei der Längsdynamik gibt es als einzigen Freiheitsgrad die translatorische Bewegung in Längsrichtung, bei der Querdynamik muss jedoch auch die translatorische Bewegung in Querrichtung sowie die Rotation um die Fahrzeughochachse (Gieren) Berücksichtigung finden [25].

Der Begriff Vertikaldynamik beschreibt das Verhalten des Fahrzeuges in z-Richtung, also vertikal. Hierbei noch anzuführen sind die Radlasten. Kommt es zu Schwankungen der Radlasten hat dies einen negativen Einfluss auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs. Dies erfolgt deshalb, weil die Reifenkräfte dann individuell in tangentiale Richtung und Umfangsrichtung übertragen werden.

4.5.2.1 Fahrgrenzen

Als Fahrgrenze wird ein Fahrzustand beschrieben, bei welchem der Kraftschluss zwischen Rad und Fahrbahn gerade noch existiert, der Fahrzustand also gerade noch zu realisieren ist. Vorgegeben wird die Fahrgrenze vom Kamm'schen Kreis, dies ist die maximal übertragbare Kraft zwischen Reifen und Fahrbahn [22].

4.5.2.2 Fahreigenschaft

Als Fahreigenschaft wird die Eigenschaft eines Fahrzeuges bezeichnet, welches auf eine physikalische Eingabe ebenfalls physikalisch reagiert. Das bedeutet, dass das Fahrzeug objektiv auf die Eingabe des Fahrers reagiert, wobei dabei die Umgebungseinflüsse mit berücksichtigt werden. Als Beispiel für eine Fahreigenschaft sei der Eigenlenkgradient genannt [22].

4.5.2.3 Fahrverhalten

Das Fahrverhalten wird beschrieben, indem man die Fahreigenschaften subjektiv bewertet und ist einerseits von den Erfahrungen des Fahrzeuglenkers und dem Auslegungsziel eines Beurteilers abhängig, andererseits wird es durch das subjektive Empfinden des Fahrers bestimmt [22].

Um die Fahrdynamik des Fahrzeuges zu beschreiben ist noch das Verständnis weiterer Erkenntnisse notwendig. So ist das „Kraftfahrzeug“, als reales Schwingungssystem, ein kontinuierliches System und es schwingen räumlich ausgedehnte Bauteile mit einer unendlichen Zahl von Freiheitsgraden [26].

4.5.2.4 Fahrdynamikmessung

Für die Abbildung der Fahrdynamik sind Messungen und entsprechende Sensoren für folgende Parameter notwendig

- Wegmessung
- Geschwindigkeitsmessung
- Schwimmwinkelmessung
- Beschleunigung
- Kraft (Rad)
- Drehmoment (Rad)
- Druck (Rad)
- Korrektur (Pfadverfolgung)
- Radaufstandskräfte
- Überprüfung von ESP-Systemen
- ABS Regelkreisen

- ESR-Regelungen

Die Aufgabe eines Stabilisierungssystems besteht vorrangig darin, das Fahrzeug nicht vom beabsichtigten Verhalten, welches vom Fahrzeuglenker vorgegeben wird, nennenswert abweichen zu lassen, wie dies etwa beim Übersteuern und Untersteuern des Fahrzeuges passiert. Dies ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, da die tatsächliche Absicht des Fahrers bei den Handhabungsgrenzen, die das Fahrzeug an sich setzt, nicht gemessen werden kann. Deshalb kann auch das Steuerungssystem nicht so einfach den Absichten des Fahrzeuglenkers folgen und deshalb muss dieses Problem in einer anderen Art und Weise gelöst werden. Bei Produktionsstabilitätsregelsystemen wird dies so gehandhabt, dass ein lineares Modell durch die Ableitung des gewünschten Fahrzeugverhaltens des Fahrzeuglenkers erstellt wird und eine Auswahl an Sensormessungen erfolgt. Die entsprechenden Messungen werden mit Schätzungen der Reifen und Straßenzustände (Reibungskoeffizient) ergänzt und anschließend mit dem zuvor erstellten linearen Modell verglichen. Es werden daraus dann Kontrollmaßnahmen ergriffen, sobald es zu einer signifikanten Abweichung kommt. Allerdings hat diese Methode zwei Nachteile, welche genannt werden müssen. Einerseits erlaubt das Stabilitätskontrollsystem nur Dynamiken, welche dem linearen Modell entsprechen, andererseits wird das System erst dann aktiv, wenn das Fahrzeugverhalten außerhalb des stabilen Regimes liegt. Dies ist deshalb so, um unnötige Eingriffe des Systems zu vermeiden [27].

Schwimmwinkel

Als Schwimmwinkel wird jener Winkel (β) bezeichnet, welcher sich zwischen der Bewegungsrichtung des Fahrzeugs im Schwerpunkt und der Fahrzeuglängsachse befindet. Sind die Lenkradeinschläge relativ klein und die Querbeschleunigungen hoch, so ist der Schwimmwinkel ein Maß für die Beurteilung des Fahrverhaltens des Fahrzeuglenkers, sowie für die Beherrschbarkeit von Fahrzeugen [28]. Treten größere Änderungen in der Tendenz des Schwimmwinkels oder der Absolutbeträge auf, so wird dies für den Fahrzeuglenker als ungünstig empfunden [29]. Als stabiles Fahrverhalten, unter Annahme einer trockenen Fahrbahn, sind Winkel < 5° anzunehmen [30].

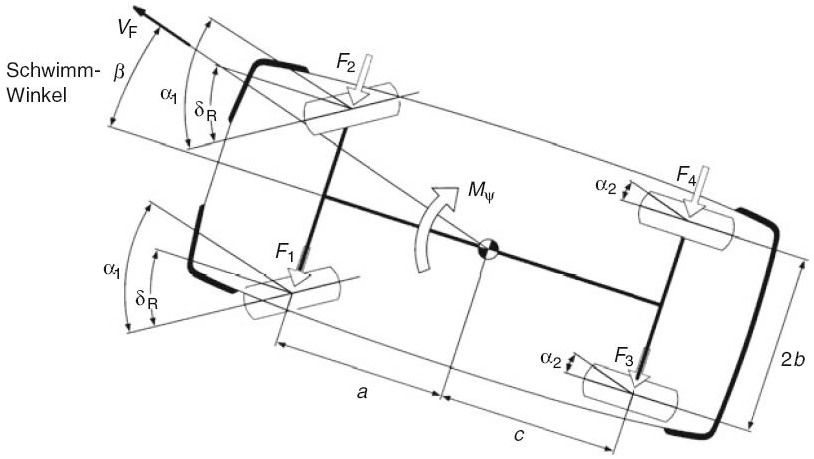


Abbildung 32: Schwimmwinkel (Quelle: Breuer B., Bill K.H.; Bremsenhandbuch [31])

4.5.3 Fahrdynamische Untersuchung auf Basis der bautechnischen Planung

Dabei geht es um die Analyse von Auswirkungen der bautechnischen Planung auf das Fahrzeugverhalten und das Verhalten bzw. die Beeinflussung des Fahrers. Mittels Simulation mit entsprechenden Fahrdynamikmodellen können so bereits in der Planungsphase von neuen Streckenabschnitten kritische Bereiche und somit unter Umständen auch Unfallhäufungsstellen vermieden werden. Für diese Untersuchung wurde das Unfallrekonstruktionsprogramm PC-Crash [32] verwendet, eine Software für die dreidimensionale Rekonstruktion und Simulation von Verkehrsunfällen, welches auch alle gängigen und repräsentativen Fahrzeuge samt untersuchungsrelevanter Daten enthält. Dies sind unterschiedliche Fahrzeuge, vom einfachen Pkw bis zu mehrachsigen Lkws und Anhängern, welche den Berechnungen und Analysen zugrunde gelegt werden können. Sämtliche darin enthaltenen Algorithmen wurden speziell entwickelt, um Fahrzeugbewegungen zu simulieren. Ein kinetisches Fahrmodell berücksichtigt dabei dynamische Einflüsse wie Feder- und Reifencharakteristik, sowie Gewichtsverlagerungen. Zusätzlich können unterschiedliche Straßenverhältnisse (trocken, nasse, eisige Fahrbahnoberfläche) und verschiedene Fahrzeuglenkerreaktionen der Simulation hinterlegt werden.

Die Automobilindustrie verwendet aktuell mehrere Simulationsmodelle, um das Fahrverhalten der Fahrzeuge zu untersuchen. Diese industriellen

Simulationsprogramme für Fahrzeugdynamik [33] [34] [35] sind dahingehend optimiert, dass unter optimal definierten Ausgangs- und Begrenzungskonditionen, das Fahrverhalten vorauszusagen ist. Dementsprechend bedarf es für die Verwendung dieser Modelle, der Eingabe etlicher Eingabe-Parameter. In der Praxis steht im Normalfall kein detailliertes Wissen in Bezug auf Federung, Reifen und Straßenverhältnisse, beispielsweise für die Rekonstruktion eines Fahrzeugunfalles zur Verfügung. Außerdem sind oftmals auch das Lenkverhalten und das Ausmaß der Bremsung weitgehend unbekannt. Daher ist es schwierig diese genannten Simulationsmodelle für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen einzusetzen. PC-Crash wurde speziell dafür entwickelt, Sachverständige bei der Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls, basierend auf den zur Verfügung stehenden physikalischen Daten, bestmöglich zu unterstützen [32]. PC-Crash bietet dem Anwender Modelle, um fahrdynamische Untersuchungen vorzunehmen, wobei sowohl Fahrzeugparameter variiert werden können, als auch die Straße samt Umgebung dreidimensional dargestellt und unterschiedliche Parameter, die die Fahrzeugumgebung beschreiben, variiert werden können.

4.5.3.1 Möglichkeiten der Darstellung von Fahrbahn, Umgebung, sowie statischer und dynamischer Objekte und Fahrzeugen in PC-Crash

Es können grundsätzlich die folgend beschriebenen Details von Fahrbahn und Umgebung sowie statische und dynamische Objekte in PC-Crash übernommen bzw. im Programm erstellt und entsprechend für die Analyse der Straßenplanung verwendet und herangezogen werden. Die Fahrbahn an sich sowie auch die entsprechenden Böschungen oder Straßengräben können im PC-Crash als 3-dimensionales Objekt erzeugt bzw. durch die in Kapitel 4.5.3.3.2 beschriebenen Möglichkeiten aus dem Straßenplanungsprogramm importiert und anschließen durch Triangulation erstellt werden. Dabei können die folgenden Details Berücksichtigung finden bzw. angepasst und geändert werden.

- Fahrbahn
    - Straßenverlauf, Linienführung
    - Krümmungsverlauf, Krümmungshalbmesser, Übergangsbereiche (Gerade, Kreis, Klothoide)
    - Längs- und Querneigung

- Kuppen, Wannen
- Kreuzungen, Knoten und Zufahrten
- Sichtweiten
- Querschnittgestaltung (s. RVS 3.31 und RVS 3.93)
- Querschnittaufteilung
- Fahrbahnbreite
- Anzahl der Fahrstreifen
- Abmessungen
- Fahrbahnbefestigung
- Beschaffenheit
- Zustand

Auch sämtliche folgend aufgezählte Verkehrsleiteinrichtungen können erstellt und abgebildet werden und in der Analyse Berücksichtigung finden.

- Leiteinrichtungen
  - Horizontale Leiteinrichtungen
    - Bodenmarkierungen (Schutzwege, Sperrlinien, Leitlinien, Begrenzungslinien, Randlinien u. a.).
  - Vertikale Leiteinrichtungen
    - Verkehrszeichen
    - Wegweiser
    - Leitbaken
    - Leitplanken
    - Leuchtsäulen, Leitschienen, Leitpflöcke, Schneestangen u. a.).
  - Verkehrsregelung
    - Verkehrslichtsignalanlagen
    - Überwachungseinrichtungen (Geschwindigkeit, Rotlichtüberfahrung) Art und Lage der Signalgeber, Fahrstreifensignale, Zusatzsignale (Grünpfeil, Gelblicht, Signale für den öffentlichen Verkehr), Phasenabläufe, Umlaufzeit, Umfeldblenden, Zwischenzeiten, (Schutzzeiten), Koordinierung, Umstellzeiten auf Blinkbetrieb, Ausschaltungen, Umfelderkennbarkeit, (Kontrast), Baustellenregelungen u. a.

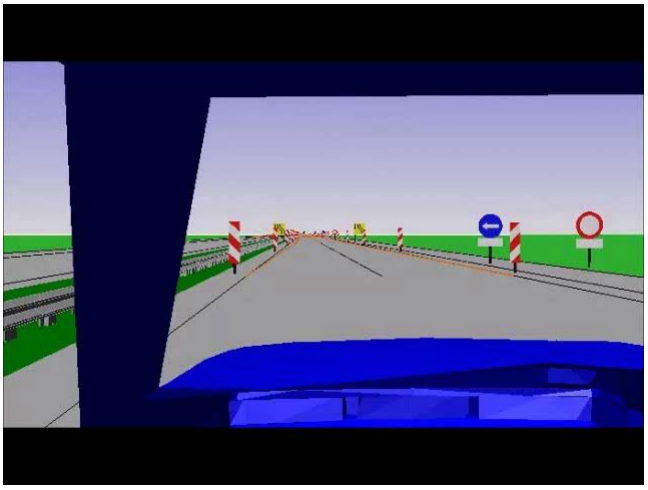


Abbildung 33: Leiteinrichtungen

Prinzipiell ist es möglich den gesamten Straßenraum sehr detailreich darzustellen, im Detail heißt das, es kann das Straßenumfeld so abgebildet werden, dass neben statischen Objekten wie Gebäuden auch sämtliche Bepflanzungen sowie auch Werbe- und Ankündigungstafeln dargestellt werden können.

- Straßenumfeld
    - Optische Straßenbreite (Baulinienabstand, Höhe der Gebäude)
    - Bepflanzung, Bewuchs; Sichtfelder
    - Werbe- und Ankündigungsflächen
    - Sichtbehinderungen
    - Nutzung und Infrastruktur (Wohngebiet, Geschäfte)
    - Sonstige Kriterien der optischen Führung (Allee, Beleuchtung, Schienen u. a.)

Einen erheblichen Vorteil in der Beurteilung der Verkehrssicherheit bildet auch die Möglichkeit der Abbildung von Lichtverhältnissen im Bereich der Straße. Dies bedeutet im Detail die folgenden Möglichkeiten einer Untersuchung:

- Lichtverhältnisse
    - Straßenbeleuchtung
    - Reklamebeleuchtung
    - sonstige Lichtquellen
    - Blendung durch Sonne
    - Sonnenreflex

- reflektierende Gegenstände und Gegenverkehr
- Licht-Schatten-Verhältnisse (Adaptation)

Abbildung 34: Lichtverhältnisse – Tunnel

Für die Definition eines starren Objekts gibt es prinzipiell mehrere Möglichkeiten abhängig von der Anforderung, ob es als Kollisionsobjekt oder nur zur Visualisierung verwendet werden soll. Man kann in PC-Crash ein Objekt „Mauer“ definieren, das wie ein Fahrzeug auch für die Kollisionsberechnung berücksichtigt wird oder man hat die Möglichkeit, die Objekte nur zur Visualisierung als dxf-Zeichnung oder als Zeichenobjekt einzufügen.

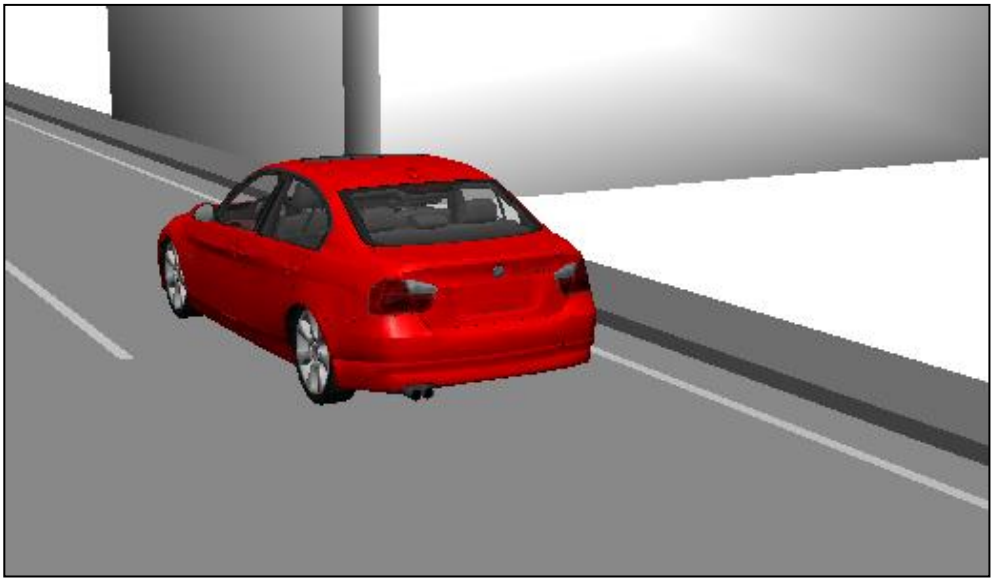


Abbildung 35: Mauer, Definition als Objekt

Abbildung 36: Mauer, Definition als Zeichenobjekt

Rückhaltesysteme gehören zu den passiven Sicherheitseinrichtungen und sind prinzipiell durch die EN 1317 „Rückhaltesysteme an Straßen“ [36] definiert. Neben Betonleitwände, Stahlleitschienen aber auch Seilsystemen, aus gespannten Stahlseilen gehören auch Anpralldämpfer zu den Objekten, welche bei einer Analyse berücksichtigt werden können. Bei Betonleitwänden und Stahlleitschienen gibt es eine Vielzahl an Ausführungen und Typen wobei in PC-Crash für beide der gleiche Modellansatz, verwendet wird. Dies bedeutet es werden mehrere Objekte miteinander über Kugelgelenke, die unterschiedliche Steifigkeiten in allen Koordinatenrichtungen aufweisen können, verkoppelt. Die Definition der einzelnen Elemente erfolgt analog zur Fahrzeugdefinition. Eine Einschränkung besteht dahingehend, dass derzeit nur eine begrenzte Anzahl an Fahrzeugen in der Analyse verwendet werden kann, also der Streckenabschnitt hinsichtlich der untersuchten Abschnitte in Teilstücke unterteilt werden muss, sofern es sich um einen längeren zu untersuchenden Streckenabschnitt handelt. Anpralldämpfer können über das klassische Stoßmodell durch geeignete Annahme der Parameter berechnet werden, allerdings sind dafür Validierungssimulationen erforderlich.

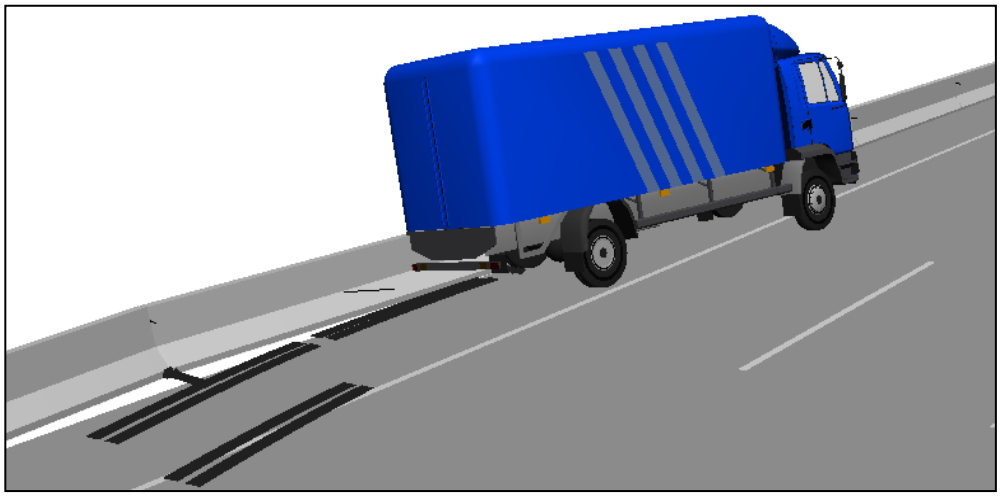


Abbildung 37: Betonrückhaltesystem, Definition Objekt (Quelle: VSI, TU Graz)

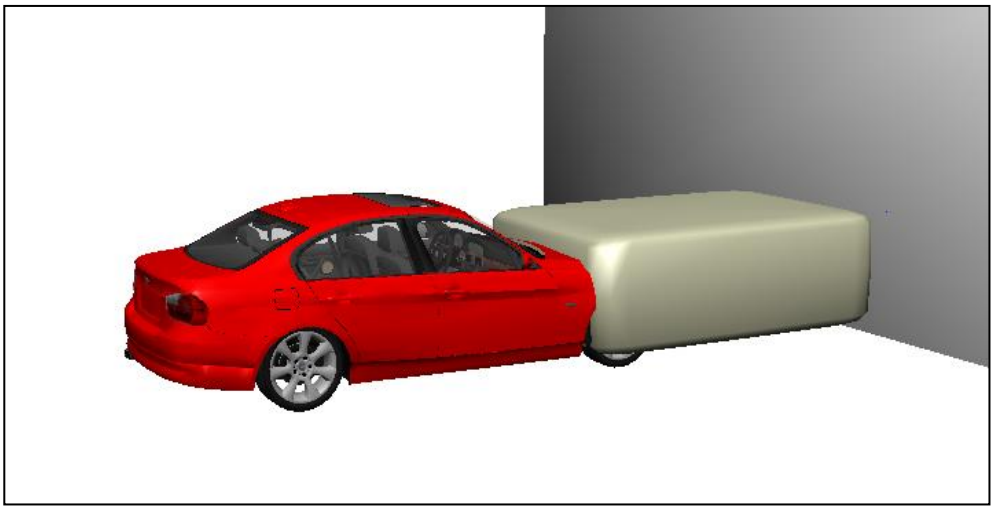


Abbildung 38: Anpralldämpfer, Mehrkörpersystem

Auch hier gibt es wieder die Möglichkeit die Objekte nur zur Visualisierung als dxf-Zeichnung oder als Zeichenobjekt einzufügen.

Ebenfalls können Schotterflächen oder andere Oberflächen abseits der Fahrbahn in der Sicherheitsanalyse und Fahrsimulation berücksichtigt werden und durch verschiedene Ansätze oder Methoden für die Berücksichtigung der Auswirkung in Bezug auf die Fahrdynamik herangezogen werden. Neben der Möglichkeit von Reibungspolygonen, um veränderte Verzögerungen zu berücksichtigen, gib es noch einen Ansatz (soft soil), um das ‚Eingraben' der Räder, z.B. auf Sand zu berücksichtigen.

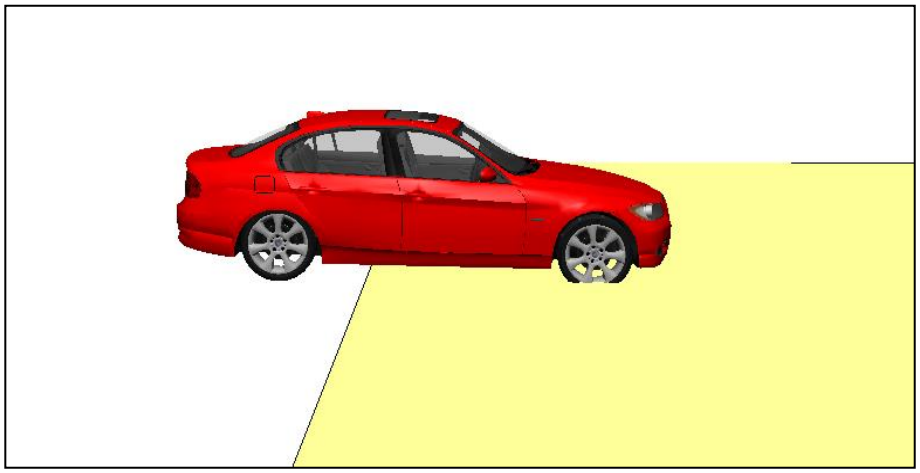


Abbildung 39: Sandfläche, „soft soil“ Modell (Quelle: VSI, TU Graz)

4.5.3.2 Fahrzeuge

Fahrzeuge gehören neben Tieren, Radfahrern und Fußgängern zu den beweglichen also dynamischen Objekten und werden über Anfangskoordinaten, Ausdehnung und Ausrichtung definiert. Als Fahrzeuge werden in PC-Crash alle Objekte bezeichnet, die mittels Kraftquelle angetrieben werden oder mit einem angetriebenen Fahrzeug gekoppelt werden. Nicht nur wegen der Fahrdynamik sondern auch wegen des Crashverhaltens muss zwischen verschiedenen Fahrzeugklassen unterschieden werden. Auch hierbei wird noch innerhalb der Fahrzeugklassen, z.B. was die Art des Aufbaues betrifft, unterschieden.

Als Fahrzeugtyp stehen neben dem PKW, der LKW, das Zweirad sowie gelenkte und ungelenkte Anhänger und Sattelauflieger für die Analysen zur Verfügung. Nach Zulassung bzw. Genehmigung werden in der EU verschiedene Fahrzeugklassen unterschieden. Die Definition der Fahrzeugklassen erfolgt dabei entsprechend der EG-Richtlinie 2007/46/EG [37] (Abbildung 40) und kann zusätzlich noch für die Segmentierung durch die Europäische Kommission [38] eingeteilt werden, wobei zwischen

- A Kleinstwagen (z.B. Smart)
- B Kleinwagen (z.B. Fiat Punto)
- C Mittelklasse (z.B. VW Golf)
- D Obere Mittelklasse (z.B. Volvo S70)

- E Oberklasse (z.B. Audi A6)
- F Luxusklasse (z.B. Mercedes S)
- S Sportwagen (z.B. Ferrari)
- M Mehrzweckfahrzeuge (z.B. Renault Espace)
- J Geländewagen; SUV (z.B. Suzuki Vitara)

unterschieden wird.

Klasse	Beschreibung	Bezeichnung in der Zulassungsbescheinigung
L	**Zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge**	
L1e	Zweirädriges Kraftfahrzeug (Kleinkraftrad) mit bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und Hubraum bis zu 50 cm³ oder bis zu 4 kW bei Elektromotoren	zweirädriges Kleinkraftrad
L2e	Dreirädriges Kraftfahrzeug (Kleinkraftrad) mit bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und Hubraum bis zu 50 cm³ oder bis zu 4 kW bei Elektromotoren oder bei anderen Verbrennungsmotoren	dreirädriges Kleinkraftrad
L3e	Zweirädriges Kraftfahrzeug (Kraftrad) ohne Beiwagen mit Hubraum über 50 cm³ bei Verbrennungsmotoren und/oder bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h	Motorrad, Kleinmotorrad, Leichtmotorrad
L4e	Zweirädriges Kraftfahrzeug (Kraftrad) mit Beiwagen mit Hubraum über 50 cm³ bei Verbrennungsmotoren und/oder bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h	Motorrad, Kleinmotorrad, Leichtmotorrad mit Beiwagen
L5e	Dreirädriges Fahrzeug (Kraftrad) mit drei symmetrisch angeordneten Rädern mit Hubraum über 50 cm³ bei Verbrennungsmotoren und/oder bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von mehr als 45 km/h	dreirädriges Kraftfahrzeug
L6e	Vierrädriges Leichtkraftfahrzeug mit einer Leermasse bis zu 350 kg (ohne Batterien bei Elektrofahrzeugen) mit bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h und Hubraum bis zu 50 cm³ oder 4 kW bei anderen Verbrennungsmotoren oder Elektromotoren	vierrädriges Leichtkraftfahrzeug
L7e	Vierrädriges Kraftfahrzeug, das nicht unter L6e fällt, mit einer Leermasse bis 400 kg (bis 550 kg für Güterbeförderung) ohne Batterien bei Elektrofahrzeugen und max. Nutzleistung bis zu 15 kW	vierrädriges Kraftfahrzeug
M	**Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern sowie Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit drei Rädern und einer zulässigen Gesamtmasse über 1 t**	**PKW, Wohnmobile, Busse**
M1	Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz	Personenkraftwagen, Kraftwagen
M2	Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 Tonnen	Omnibus, Kraftwagen
M3	Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen	Omnibus, Kraftwagen

N	**Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern**	**Lastkraftwagen, Sattelzugfahrzeug**
N1	Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3.5 Tonnen	Lastkraftwagen, Sattelzugfahrzeug
N2	Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen	
N3	Für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen	
O	**Anhänger (einschließlich Sattelanhänger)**	Anhänger, Anhängewagen, Sattelanhänger, Zentralachsanhänger, Starrdeichselanhänger
O1	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 0.75 Tonnen	Sattelanhänger, Deichselanhänger, Zentralachsanhänger
O2	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 0.75 Tonnen bis zu 3.5 Tonnen	
O3	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.5 Tonnen bis zu 10 Tonnen	
O4	Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 10 Tonnen	

Abbildung 40: Fahrzeugklassen nach EG Richtlinie 2007/46/EG [39]

Abbildung 41 zeigt den Fahrzeugbestand in Österreich. Man erkennt, dass ca. 65 % aller zugelassenen Fahrzeuge die Kategorie M (PKW, Wohnmobile, Busse) betreffen, die Kategorie N (LKW, Sattelzugfahrzeug) stellt ca. 14 % aller Fahrzeuge, 11 % betreffen die Kategorie L (zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge) und ca. 10 % die O (Anhänger).

Fahrzeugarten	Mai 2017	Anteile an Kfz bzw. Anhänger insg. in %	Anteile an Fahrzeuge insg. in %
Personenkraftwagen Kl. M1	4 858 203	*72.27%*	*64.78%*
Motorräder Kl. L3e	519 456	*7.73%*	*6.93%*
Motorfahrräder Kl. L1e	278 804	*4.15%*	*3.72%*
Vierrädrige Kraftfahrzeuge Kl. L7e	20 095	*0.30%*	*0.27%*
Motordreiräder Kl. L5e	2 316	*0.03%*	*0.03%*
Dreirädrige Kleinkrafträder Kl. L2e	843	*0.01%*	*0.01%*
Kleinmotorräder Kl. L3e	2 112	*0.03%*	*0.03%*
Vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge Kl. L6e	12 328	*0.18%*	*0.16%*
Omnibusse Kl. M2 und M3	9 970	*0.15%*	*0.13%*
Lastkraftwagen Kl. N1	395 096	*5.88%*	*5.27%*
Lastkraftwagen Kl. N2	11 407	*0.17%*	*0.15%*
Lastkraftwagen Kl. N3	41 527	*0.62%*	*0.55%*
Zugmaschinen	458 003	*6.81%*	*6.11%*
Sattelzugfahrzeuge	17 463	*0.26%*	*0.23%*
Motor- und Transportkarren	12 245	*0.18%*	*0.16%*
Selbstfahrende Arbeitsmaschinen	21 778	*0.32%*	*0.29%*
Erntemaschinen	9 758	*0.15%*	*0.13%*
Wohnmobile	25 763	*0.38%*	*0.34%*
Sonstige Kraftfahrzeuge	24 755	*0.37%*	*0.33%*
Kraftfahrzeuge insgesamt	**6 721 922**	***100.0***	***89.63%***
Anhänger Kl. O und R	727 153	*93.54%*	*9.70%*
Landwirtschaftliche Arbeitsanhänger	367	*0.05%*	*0.00%*
Wohnanhänger	37 895	*4.87%*	*0.51%*
Anhänger-Arbeitsmaschinen	9 781	*1.26%*	*0.13%*
Sonderanhänger	2 146	*0.28%*	*0.03%*
Anhänger insgesamt	**777 342**	***100.0***	***10.37%***
Kfz und Anhänger insgesamt	**7 499 264**	**-**	***100.00%***

Abbildung 41: Fahrzeug-Bestand in Österreich, Mai 2017 (Quelle: STATISTIK AUSTRIA, Kfz-Statistik. Erstellt am: 22.06.2017)

Für die Untersuchung der Verkehrssicherheit von neu geplanten oder umgeplanten Streckenabschnitten sind Verkehrsarten und Verkehrszusammensetzung von

Bedeutung. So sind auch die unterschiedlichen Fahrzeugtypen von Relevanz und in der EN 1317 [36] für Rückhaltesysteme an Straßen definiert, insbesondere was Masse und Fahrzeuggeometrie betrifft. In weiterer Folge werden für die Untersuchung der Fahrdynamik des vorliegenden Projektes in Analogie an die EN 1317 die acht Fahrzeugtypen nach Unterteilung in Masse und Fahrzeuggeometrie verwendet.

Für die Unfallrekonstruktion wird das Fahrzeug üblicherweise als Starrkörper verwendet, so wird in PC-Crash dieses als Punktmasse angenommen und die Trägheitsmomente werden entweder über einen Ansatz nach Burg [40] berechnet oder können manuell definiert werden. Das Fahrzeug wird dann über die Achsanzahl, die Abmessungen, das Gewicht und die Schwerpunktslage definiert.

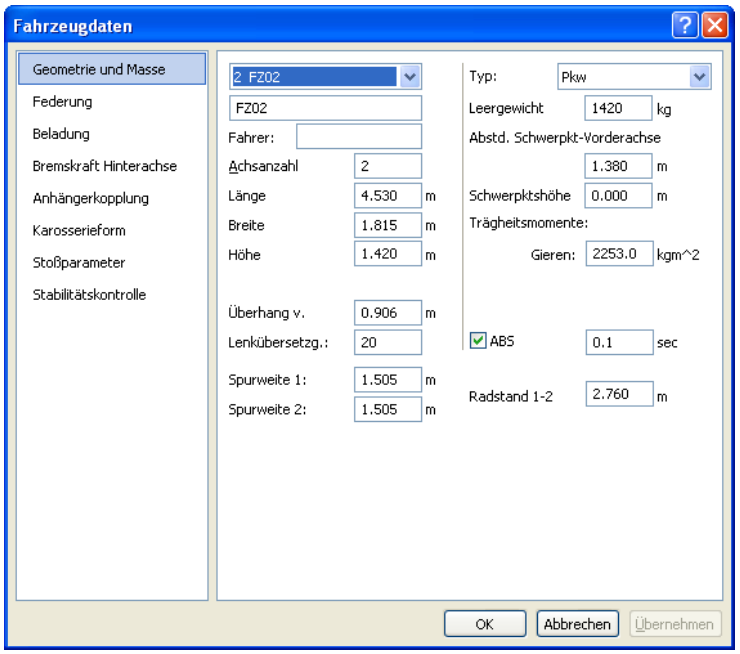


Abbildung 42: Fahrzeugdefinition in PC-Crash

Die Fahrzeuge können prinzipiell aus einer umfangreichen Datenbank geladen oder selbst konfiguriert werden. Das bedeutet, dass man mit vorkonfigurierten Fahrzeugen arbeiten kann. Für die automatisierte Bearbeitung wichtig sind dann die Fahrzeugposition, die Geschwindigkeit sowie die Geschwindigkeitsrichtung und die Fahrzeugausrichtung.

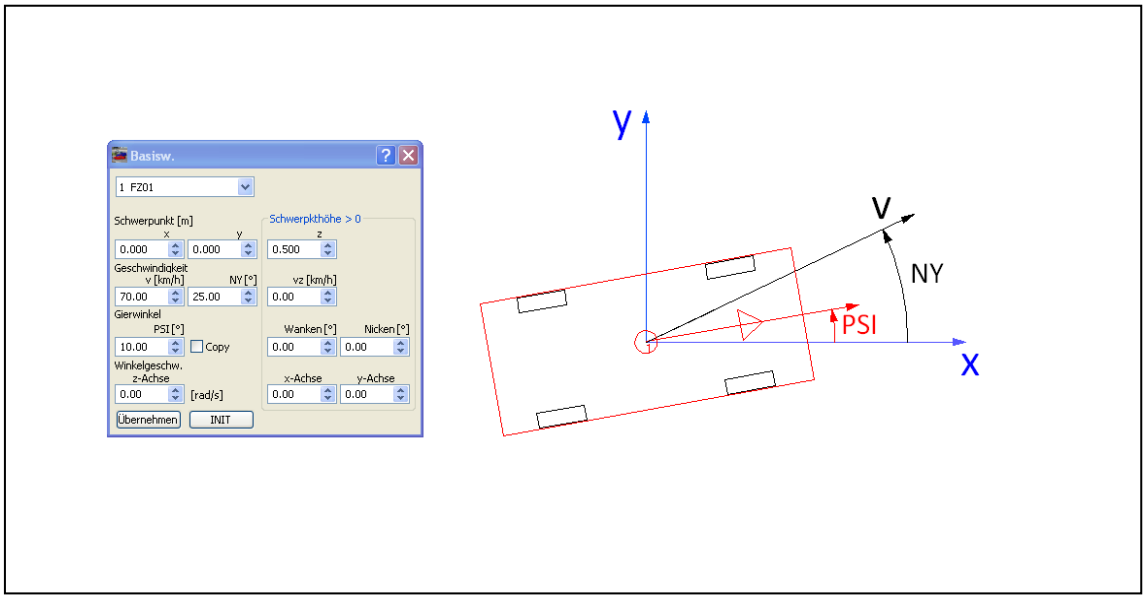


Abbildung 43: Definition der Bewegung (Quelle: VSI, TU Graz)

Für die Definition des Fahrzeuges notwendige Daten sind somit die Koordinaten und die Beschreibung der Kinematik. Dabei beziehen sich die Koordinaten z.B. auf den Fahrzeugschwerpunkt und können beispielsweise über ein globales kartesisches Koordinatensystem definiert werden, wobei die x-, y- und z-Koordinaten definiert sind. Zusätzlich benötigt man noch die Verdrehung um die einzelnen Achsen. Diese werden in PC-Crash so definiert, dass der Gierwinkel sich immer auf das globale Koordinatensystem und der Wank- und Nickwinkel sich auf das lokale Fahrzeugkoordinatensystem bezieht. Die Beschreibung der Objektbewegung erfolgt über die Geschwindigkeit im globalen System, wobei in PC-Crash ein Geschwindigkeitsvektor in der globalen x-y Ebene (Geschwindigkeit und Richtung des Geschwindigkeitsvekors) und zusätzlich eine z-Geschwindigkeit definiert werden kann (Abbildung 43). Eine Definition über globale Geschwindigkeitskomponenten ist gleichbedeutend, da v_x und x_y den Winkel des Geschwindigkeitsvektors festlegen.

4.5.3.3 Methode

4.5.3.3.1 Exportieren der xyz Datei aus ProVi 5.5 SP1, zur Erstellung der Fahrbahn und Böschung in PC Crash

Wie in den Kapiteln zuvor beschrieben wurde der Export auf Basis von Autodesk Autocad 2016 mit dem aufgesetztem Trassierungsprogramm ProVi 5.5 SP1 von Obermeyer Planen + Beraten GmbH durchgeführt. Die folgenden Angaben zum Export

beziehen sich daher auf die oben genannte Software können aber selbstverständlich in entsprechender Weise auch mit anderen Programmen angewendet werden.

Erstellung Ausgabedatei in ProVi 5.5 SP1

Das in ProVi erstellte Trassenprojekt (siehe Abbildung unten) wird mittels der Funktion Netz-Export ausgegeben. Mit dieser Funktion können die Projektlinie der aktuellen Trasse als Dreiecksnetz ausgegeben werden. Erzeugt werden dabei jeweils eine Punkt- und eine Dreiecksdatei (DA58). Aus diesen Dateien wird ein Geländemodell gebildet. Das Geländemodell kann dabei in beliebiger Genauigkeit ausgegeben werden, wobei es für die Übergabe sinnvoll ist, den Punktraster grobmaschiger zu belassen um den Import in PC Crash zu vereinfachen. Die erforderliche Genauigkeit der Ausgabe ist dabei je nach Komplexität der Trasse festzulegen. Weiters ist es auch möglich, die Fahrbahn und die Böschungen getrennt auszugeben, um somit beim Import in PC-Crash die Daten unterscheiden zu können.

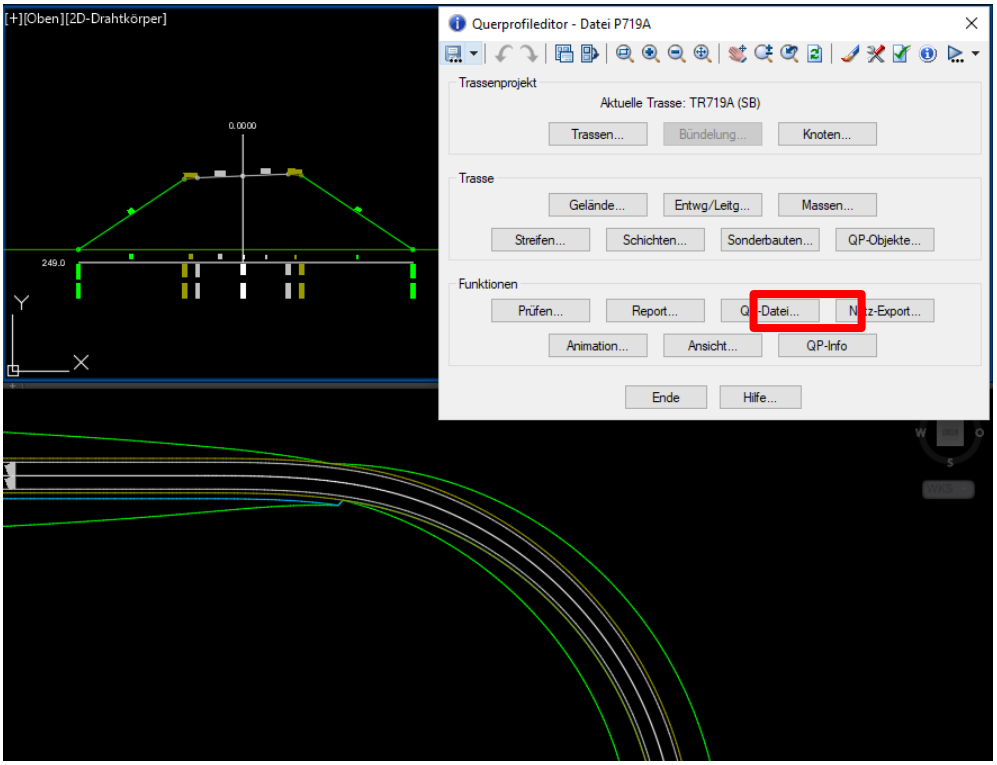


Abbildung 44: Trassenprojekt Provi 5.5 SP1

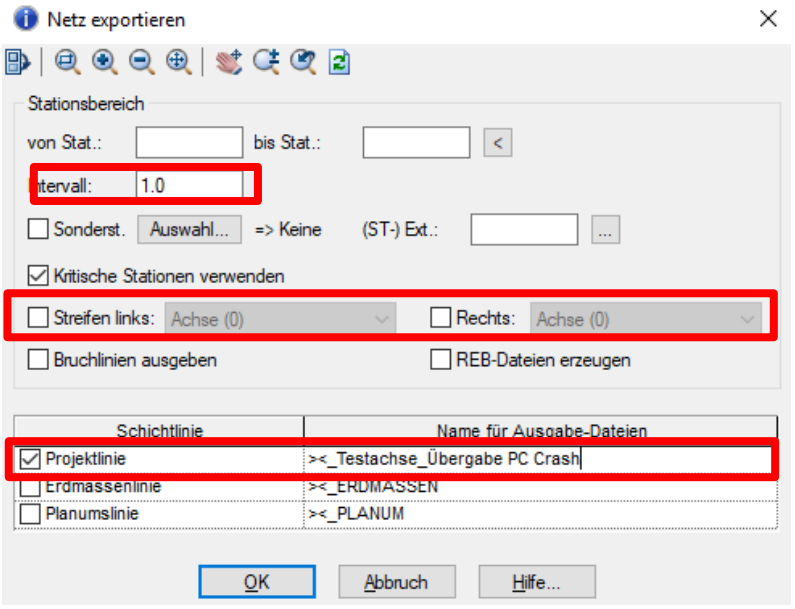
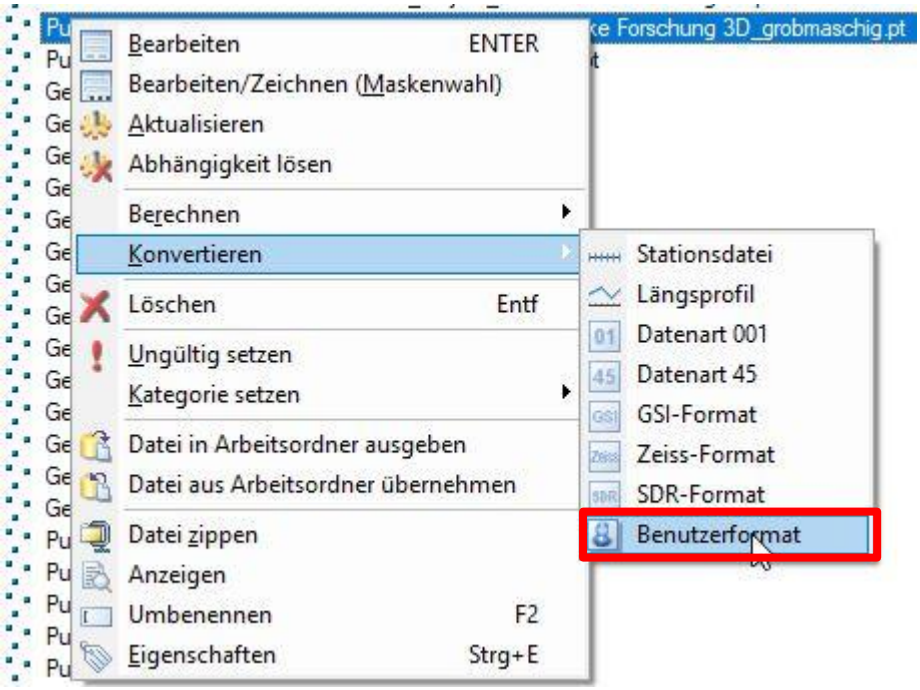


Abbildung 45: Netz-Export Trassenprojekt

Die mit Netz-Export erzeugte Punktdatei kann dann mittels Konvertierung in eine txt Datei umgewandelt werden.



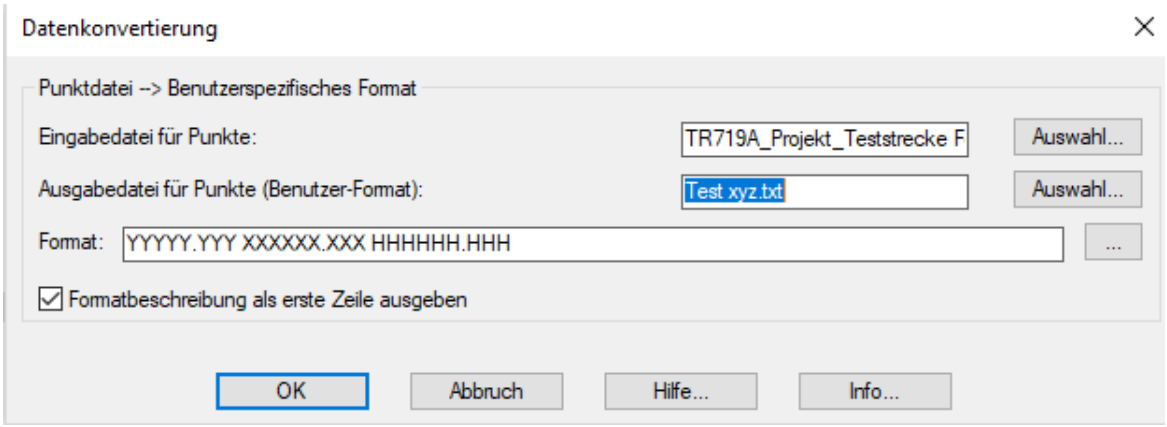


Abbildung 46: Konvertierung in xyz Datei

Das Ergebnis der Datenkonvertierung ist eine txt Datei, welche die xyz-Daten des ausgegebenen Geländemodells (Fahrbahn, Böschung usw.) enthält und in Folge nach entsprechender Adaptierung in PC-Crash importiert werden kann.

Abbildung 47: Muster txt Datei im xyz Format

4.5.3.3.2 Importieren der xyz-Datei in PC Crash, Erstellung der Fahrbahn und Böschung

Wie bereits eingehend beschrieben, wurde für die fahrdynamische Untersuchung und Analyse des entsprechenden Streckenabschnittes, das Unfallrekonstruktionsprogramm PC-Crash der Firma Dr. Steffan Datentechnik GmbH - DSD verwendet. Über die beschriebene Schnittstelle kann nun die aus dem Straßenplanungsprogramm ausgespielte xyz-Datei, nach entsprechender Adaptierung, in das Rekonstruktions-programm PC Crash importiert werden und daraus anschließend durch Triangulation eine 3-dimensionale Fahrbahn erstellt werden.

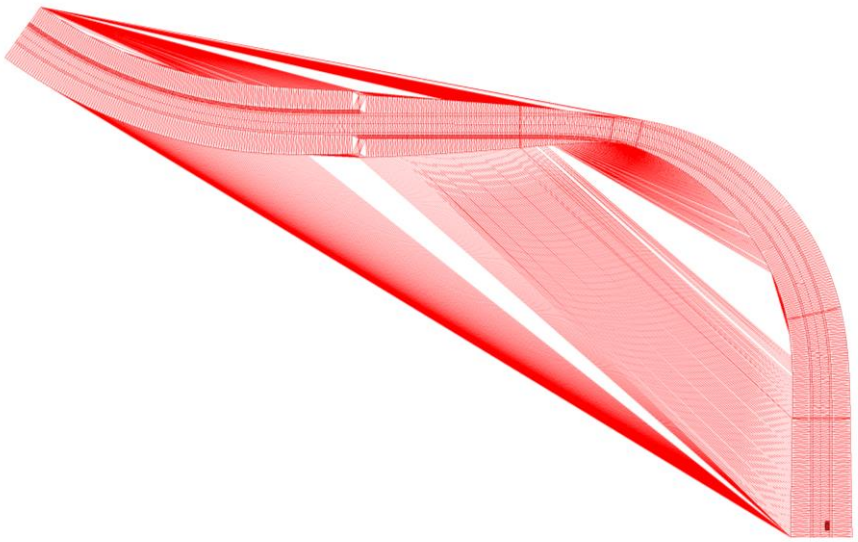


Abbildung 48: Fahrbahn und Böschung, PC Crash (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Definition des Straßenobjekts erfolgt über Punkte. Diese werden über einen eigenen Algorithmus vernetzt oder trianguliert. Klarer Vorteil und somit auch enorme Zeitersparnis bedeutet dies deshalb, da die Oberfläche dieses Objekts direkt als Kontaktfläche für das Fahrzeug behandelt werden kann. Eine zusätzliche Nachbearbeitung der Fahrbahn und der Böschungen im PC-Crash ist mit dieser Variante nicht mehr notwendig. Die Straßenoberfläche kann abhängig von der Anzahl an ausgespielten sowie importierten Punkten in PC – Crash detailliert dargestellt und anschließend bei der fahrdynamischen Untersuchung berücksichtigt werden. Entsprechend kann auch das Bankett sowie etwaige Böschungen abgebildet sowie erstellt werden und so die entsprechende Dammlage oder Einschnitte planungsgenaue Berücksichtigung finden. Auch eine entsprechende Anpassung oder Änderung ist jederzeit möglich und erlaubt beispielsweise auch eine Untersuchung hinsichtlich des Abkommens von Fahrzeugen, also auch eine Analyse der Gestaltung von Damm und Einschnitt.

4.5.3.3.3 Abbildung der Straßenausstattung

In weiterer Folge kann entsprechend der Planung die Straßenausstattung abgebildet werden. Hierbei können auch Planungsänderungen zu einem späteren Zeitpunkt leicht adaptiert werden und in der Untersuchung Berücksichtigung finden. Auch eine

Gegenüberstellungen von Planungsvarianten ist möglich sowie eine zeitnahe Untersuchung von möglichen Folgen einer Planungsänderung.

4.5.3.3.4 Laden der repräsentativen Fahrzeuge

Im nächsten Schritt können nun die für die fahrdynamische Analyse erforderlichen Fahrzeuge in PC-Crash geladen werden. Für die Untersuchung der Fahrdynamik des vorliegenden Projektes werden neben der in der EN 1317 nach Masse und Fahrzeuggeometrie unterteilten acht Fahrzeugtypen auch Motorräder verwendet.

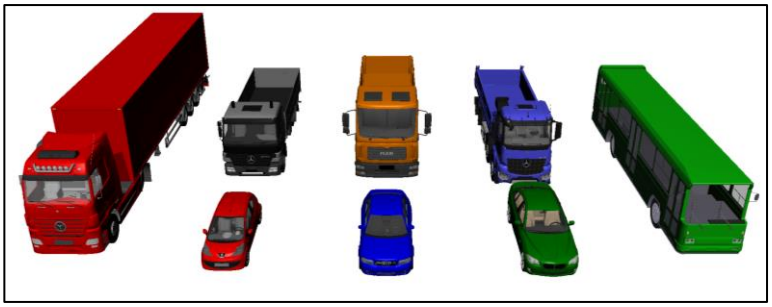


Abbildung 49: repräsentative Fahrzeuge zur Untersuchung der Fahrdynamik

4.5.3.3.5 Fahrdynamiküberprüfung

Bei der fahrdynamischen Untersuchung können also Fahrzeugtyp, Feder-Dämpfer Charakteristiken sowie Radstände der Fahrzeuge angepasst und parametrisiert werden. Dabei erfolgt die Ermittlung von Nickbewegung, Wankbewegung, Gierbewegung, der Radaufstandkräfte, von Radseitenführungskräften, der Fahrzeugbeschleunigung in Querrichtung sowie der Fahrzeugbeschleunigung in Hochrichtung.

Als nächsten Schritt können den geladenen Fahrzeugen entsprechende Sequenzen wie Bremsen, Reagieren, Beschleunigen usw. zugeteilt werden. Durch eine Spurverfolgung, das sind definierte Spurpunkte auf dem jeweiligen Fahrstreifen, und daher die Verwendung eines entsprechenden Fahrermodells, können Parameter wie z.B. Querbeschleunigungen beim Durchfahren einer Kurve, für jedes gewählte Fahrzeug spezifisch und unter Annahme einer entsprechenden Geschwindigkeit ermittelt werden. Auch umgekehrt bedeutet dies, dass beispielsweise im Zuge der kinematischen Berechnung bei einer Kurve mit einem Radius von 100 m eine maximale Geschwindigkeit des Fahrzeuges von 80 km/h gefahren werden kann, wenn die Querbeschleunigung mit 5 m/s² limitiert ist. Für die Analyse der Fahrdynamik können

also kinetische Berechnungen durchgeführt werden und Variationen sämtlicher Parameter sowie die Berücksichtigung von unterschiedlichen Fahrlinien, Geschwindigkeiten, Fahrermodellen und auch Analysen von Simulationsgrenzbereichen sind grundsätzlich möglich. Neben der Fahrdynamik ist auch eine umfangreiche Analyse unter Berücksichtigung der Human Factors möglich. Das bedeutet, dass beispielsweise Reaktionszeiten variiert, Blickzuwendungen berücksichtigt und Wahrnehmungsgrenzen ermittelt werden können.

Um nun für das vorliegende Projekt eine einheitliche Bewertungsbasis (Baseline) bzw. Vergleichswerte zu schaffen, wird also beispielsweise ein bestimmter Fahrzeugtyp ausgewählt. Für dieses Fahrzeug wird eine Fahrtrajektorie erstellt, eine bestimmte Geschwindigkeit festgelegt, um in weiterer Folge dann unter Auswahl gleicher Grundparameter für den jeweiligen Fahrzeugtyp, sowie Vorgabe einer Fahrlinie durch Spurpunkte, welche für das Projekt fahrbahnmittig erfolgte, Grenzbereiche beispielsweise für die Geschwindigkeit beim Durchfahren eines bestimmen Streckenabschnittes zu ermitteln. Dabei kann also für jeden ausgewählten Fahrzeugtyp die Sicherheit hinsichtlich der Fahrdynamik unter Berücksichtigung der physikalischen Grenzen ermittelt werden.

4.5.3.3.6 Weitere Beurteilungsmöglichkeiten hinsichtlich der Verkehrssicherheit für den geplanten Streckenabschnitt

Nachdem für die fahrdynamische Untersuchung eine 3 dimensionale Erstellung der Straßenoberfläche inklusive aller Straßenbreiten und der phänomenalen Straßenführung erfolgte, sowie sämtliche straßenraumgestalterischen Objekte geladen wurden und in 3 dimensionaler Ansicht betrachtet werden können, kann nun basierend darauf die Untersuchung noch weiterer sicherheitsrelevanter Aspekte erfolgen. Es besteht die Möglichkeit, Querschnittsabmessungen zu variieren und vorab beispielsweise Geh- und Radwege, Anzahl der Fahrstreifen, Fahrstreifenbreite, Fahrbahnmarkierungen, Fahrbahnteiler, Querungshilfen usw. zu erstellen oder zu ändern, um dann entweder Verbesserungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit festzustellen oder weitere Mängel der Planung zu detektieren. Dabei ist es auch möglich, unterschiedliche Bankettbefestigungen (z.B. Schotter, bituminöse Fahrbahndecken, Betondecken, Pflasterungen und sonstige (Rasensteine usw.) oder die optische Führung durch unterschiedliche Oberflächengestaltungen und Fahrbahnbefestigungen hinsichtlich ihrer Wirkung zu untersuchen. Auch bei der Gestaltung von Grünflächen und Bepflanzungen kann vorab schon der Bewuchs

simuliert werden, dies bedeutet auch, dass überprüft werden kann welche Sichteinschränkungen sich aufgrund wachsender Bäume oder Sträucher im Straßenraum ergeben könnten. Es ist also dadurch eine gesamte Erhebung und Gestaltung des Straßenumfeldes möglich. Damit ergibt sich auch die Möglichkeit, dass nicht nur die Fahrersicht, abhängig von den unterschiedlichen Fahrzeugtypen, also Fahrersitzhöhen untersucht werden kann, sondern auch wechselseitige Sichtbedingungen aller Verkehrsteilnehmer simuliert und überprüft werden kann. Das heißt, es ist nicht nur eine statische, sondern auch eine dynamische Sichtweitenüberprüfung möglich. Hinzu kommt noch die Option der Überprüfung bei unterschiedlichen Licht- und Beleuchtungsverhältnissen und damit die Überprüfung von Blendung und Wahrnehmung z.B. bei Straßenbeleuchtung oder Reklamebeleuchtung. Damit kann die Erkennbarkeit von möglichen Konfliktstellen für die Planungsphase effektiv erhöht werden und etwaige Gefahrenstellen schon vorab vermieden werden. Natürlich besteht nicht nur die Möglichkeit einer Überprüfung in der Planungsphase sondern wenn die Planungsunterlagen den zuständigen Stellen in 3 dimensionaler Form vorliegen, kann auch nach Erstellung des Straßenstückes eine Überprüfung von Änderungsmaßnahmen erfolgen, damit auch überprüft werden inwiefern die geplanten Maßnahmen zu Mängelbehebung möglicherweise andere Konfliktbereiche schaffen würde.

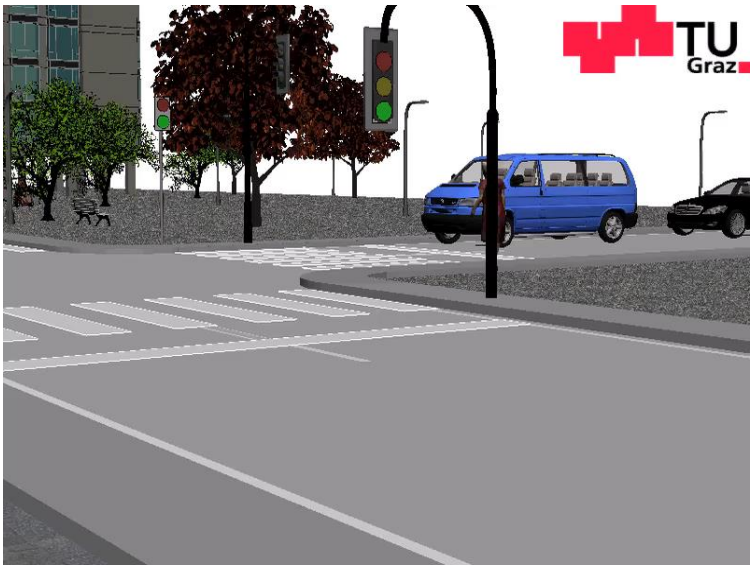


Abbildung 50: weitere verkehrssicherheitstechnische Untersuchungsmöglichkeiten (Quelle: VSI, TU Graz)

4.5.4 Sichtweitenuntersuchung

Wie schon vorab ausgeführt ist durch die Implementierung einer detaillierten Straßenausstattung sowie statischer und dynamischer Objekte und der umfangreichen Gestaltung der Straßenumgebung (Parkflächen, Gebäude, Vegetation usw.) eine Analyse sämtlicher vorhandener Sichtweiten sowohl statisch als auch dynamisch auf Basis der 3D-Daten für alle Verkehrsteilnehmer möglich. Dazu gehört nicht nur die Sichtbereiche unterschiedlicher Fahrzeuglenker sondern vor allem auch die Sichthöhen abhängig vom Fahrzeugtyp sowie auch die Überprüfung von Sichtweiten für Fußgänger und Radfahrer. Damit gelingt eine umfangreiche und detaillierte Analyse der Sichtverhältnisse, Sichteinschränkungen, Sichthöhen unter Berücksichtigung der Visualisierung der Straßenoberfläche samt Böschungen und Leiteinrichtungen etc.

5 ANWENDUNGSBEISPIEL A 8 AST WIMPASSING

5.1 Allgemeine Beschreibung des Anwendungsbeispiels

Der Untersuchungsraum (A 8 Anschlussstelle (ASt) Wels-Wimpassing) liegt im Bundesland Oberösterreich im westlichen Stadtgebiet von Wels. Der geplante Zubringer verbindet die zukünftigen Entwicklungsgebiete Wimpassing (im Osten der A 8) sowie Gunskirchen und Oberthan (im Westen) mit dem hochrangigen Straßennetz der Innkreis Autobahn (siehe Abbildung 51).

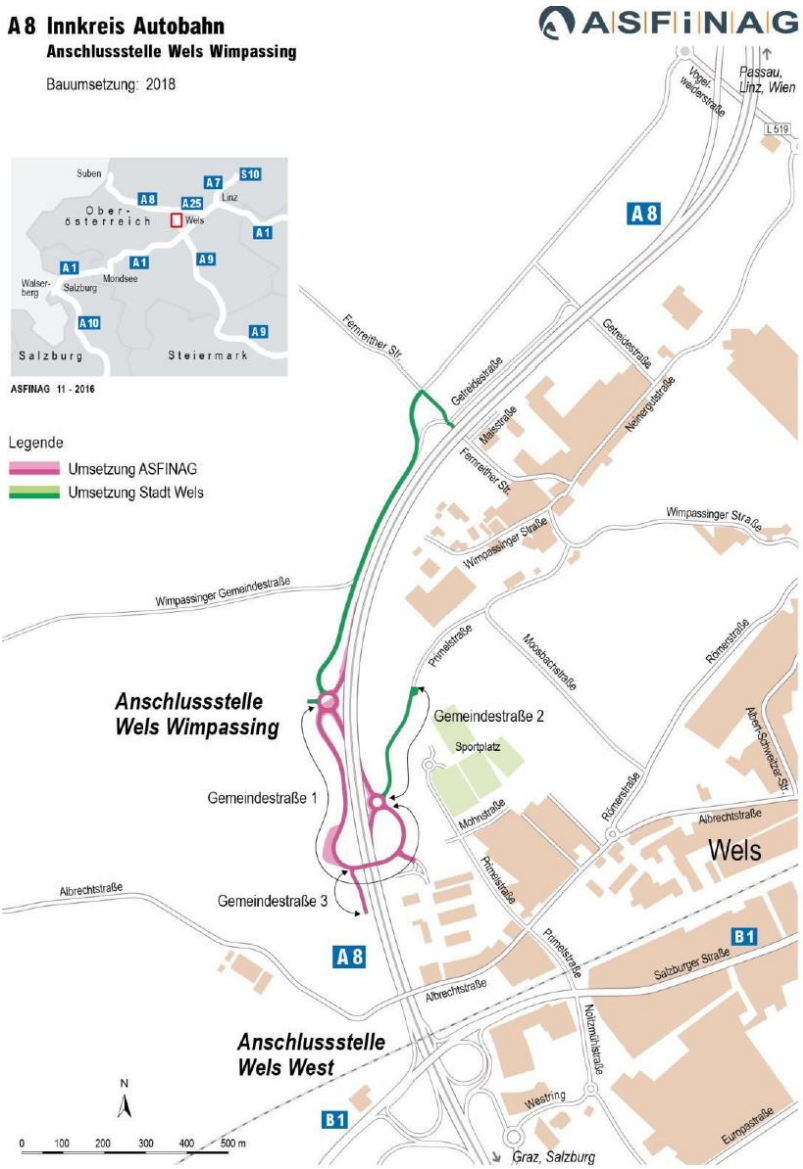


Abbildung 51: Schematische Darstellung, Anschlussstelle Wels-Wimpassing [41]

Für den neu geplanten Autobahnzubringer wird eine bestehende Brücke mitverwendet, welche aber eine Querneigung zur Kurvenaußenseite aufweist (sieheAbbildung 52 und Abbildung 53).

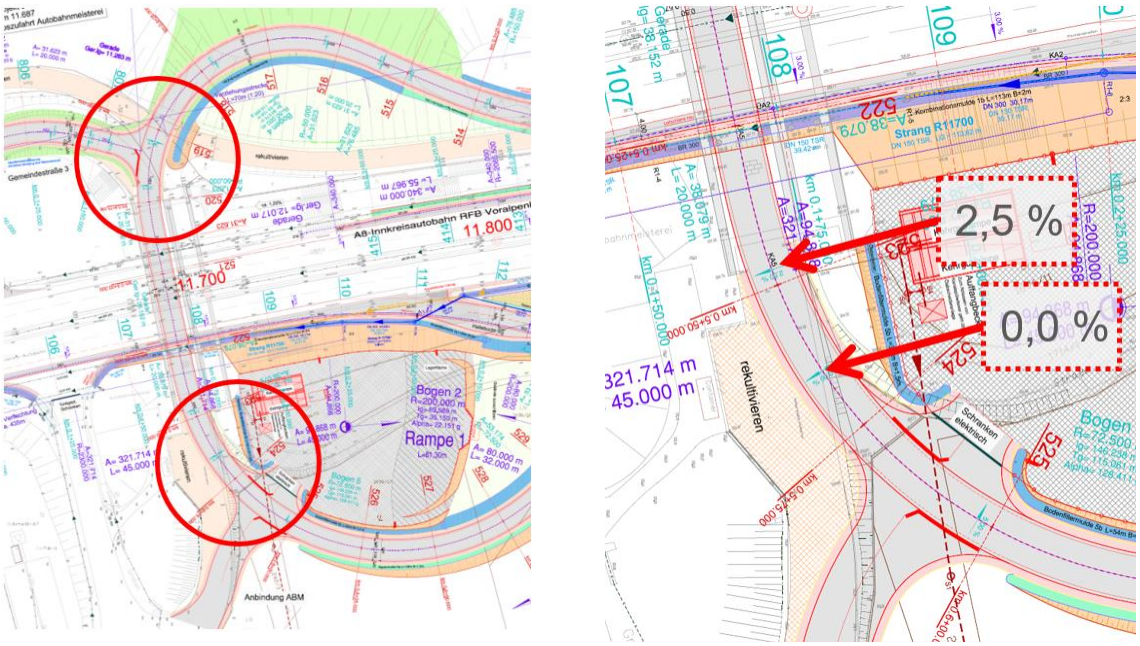


Abbildung 52: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Stand Einreichprojekt 2016 [42]

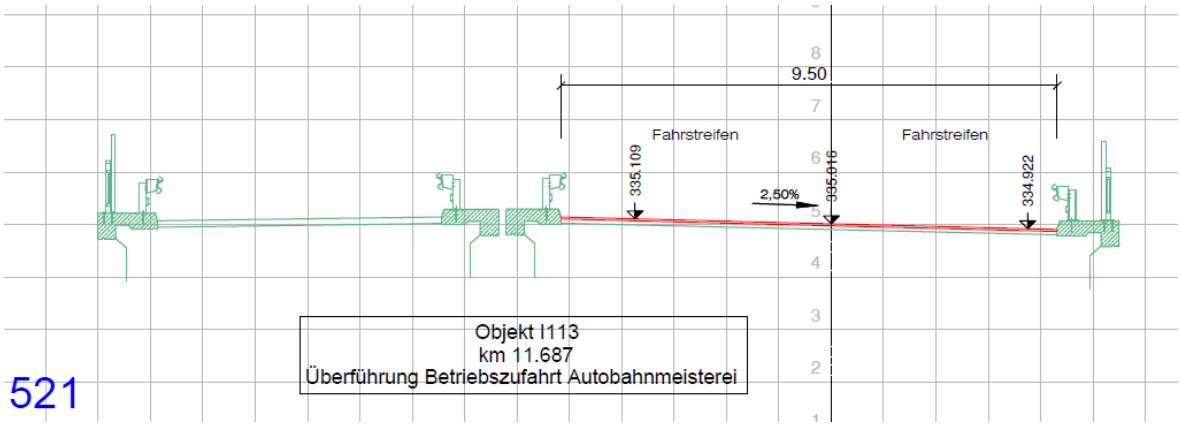


Abbildung 53: Querneigung Bestandsbrücke [42]

Die im Juni 2016 eingereichte Variante (Abbildung 54) wurde aus fahrdynamischen Sicherheitsbedenken (auf Grund der Querneigung zur Kurvenaußenseite) seitens der Behörde nicht genehmigt bzw. freigegeben.

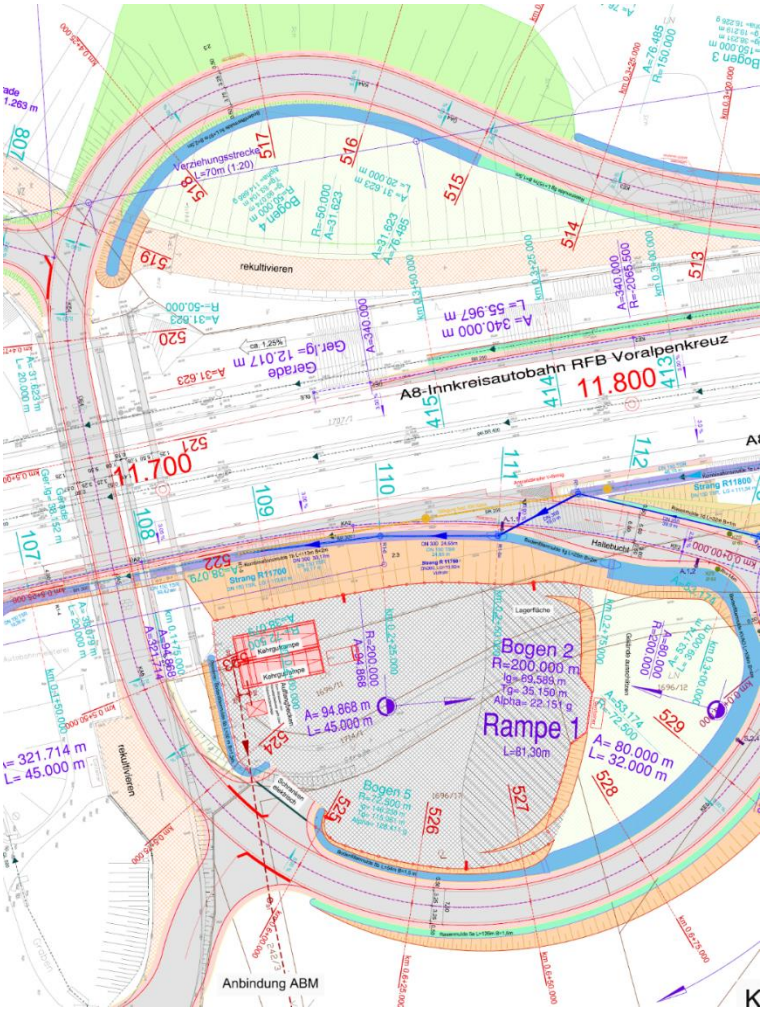


Abbildung 54: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Variante EOP [42]

Im Zuge der UVP wurde das Projekt im Bereich der Brücke, entsprechend der Vorgaben mit einer Querneigung zur Kurveninnenseite adaptiert (siehe Abbildung 55).

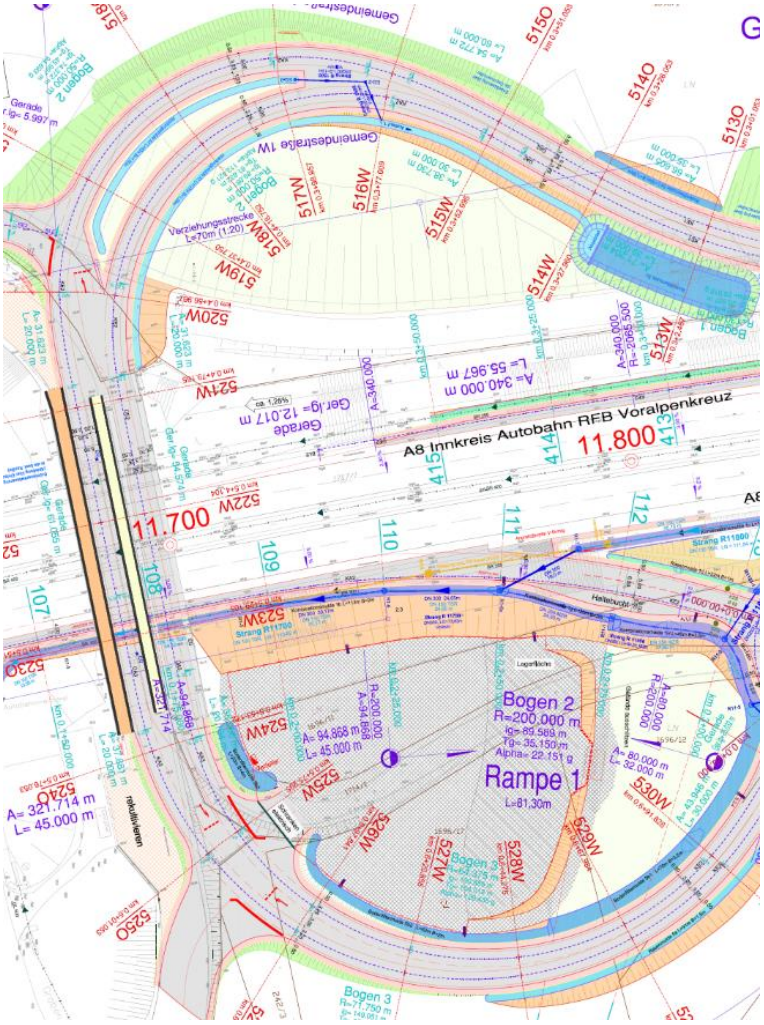


Abbildung 55: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Variante UVP [42]

5.2 Fahrdynamik

Um die entwickelte Methodik der Fahrdynamikuntersuchung zur Anwendung zu bringen, wurden nun anhand des Beispiels der Anschlussstelle Wels Wimpassing die zwei oben angeführten Planungsvarianten gegenüber gestellt, um mögliche fahrdynamische Mängel der Planung zu detektieren. Dabei wurden die Punktwolken aus beiden Planungsvarianten importiert und eine Analyse mit folgender Variation durchgeführt:

- Fahrzeugtyp (8 Fahrzeugtypen)
- Fahrzeugmasse (900 kg – 38 000 kg)
- Achsanzahl (2 Achsen – 5 Achsen)
- Geschwindigkeit (60 km/h, 80 km/h)
- Federung (weich, mittel und hart)
- Fahrtrichtung
- Vorgegebene Fahrlinie

Zur Bewertung kamen dabei die Ergebnisse über die Querbeschleunigung und über den Schwimmwinkel. Dabei wurden ein Fahrermodell und eine fahrstreifenmittige Fahrlinie gewählt und als Spurvorgabe herangezogen.

5.2.1 Vorgabe und Beurteilung

Als Vorgabe dienten die konstanten Geschwindigkeiten 70 km/h, 55 km/h und 50 km/h sowie ein Bremsen oder Beschleunigen falls die gefahrene Geschwindigkeit, nicht der vorgegebenen Zielgeschwindigkeit entspricht ($v > v_{ziel}$ bzw. $v < v_{ziel}$). Die entsprechenden Grenzen, auch hinsichtlich der Kurvengrenzgeschwindigkeiten bezogen auf die Querbeschleunigung, den Kurvenradius und die Querneigung wurden berücksichtigt.

Ein Durchschnitt der Fahrzeuglenker fährt eine Fahrlinie mit einem Kurvenradius um 12 bis 15 % kleiner als dem trassierten Radius. Der ausgenutzte Seitenreibwert ist dabei abhängig von Geschwindigkeit und Radius. Die ausgenutzten Seitenreibwerte μ sind bei niedrigen Geschwindigkeiten und kleineren Radien höher und betragen bei sportlichem Fahren μ = 0.4 - 0.45, bei zügigem Fahren μ = 0.3 - 0.35 und bei normalem Fahren μ = 0.1 – 2. Der kritische Grenzwert liegt dabei bei μ = 0.6, die

Sicherheitsgrenze μ = 0.55 [43]. Es wurde eine Untersuchung bei trockener Fahrbahn durchgeführt.

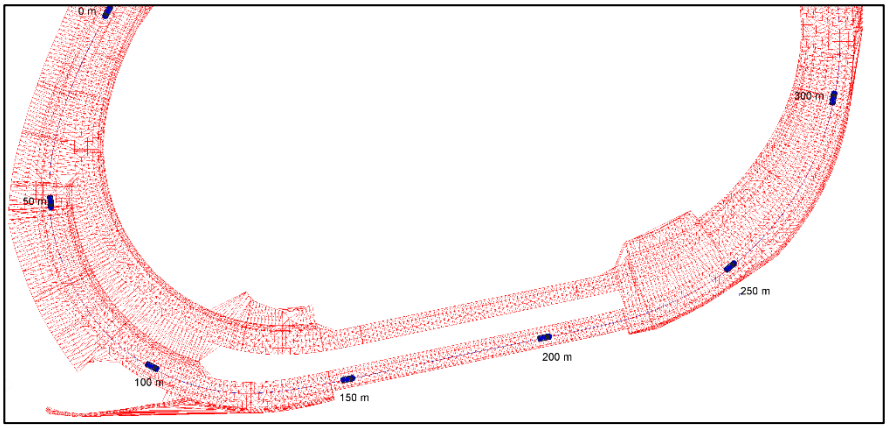


Abbildung 56: gewählte Farhstrecke der Anschlussstelle, UVP (Quelle: VSI, TU Graz)

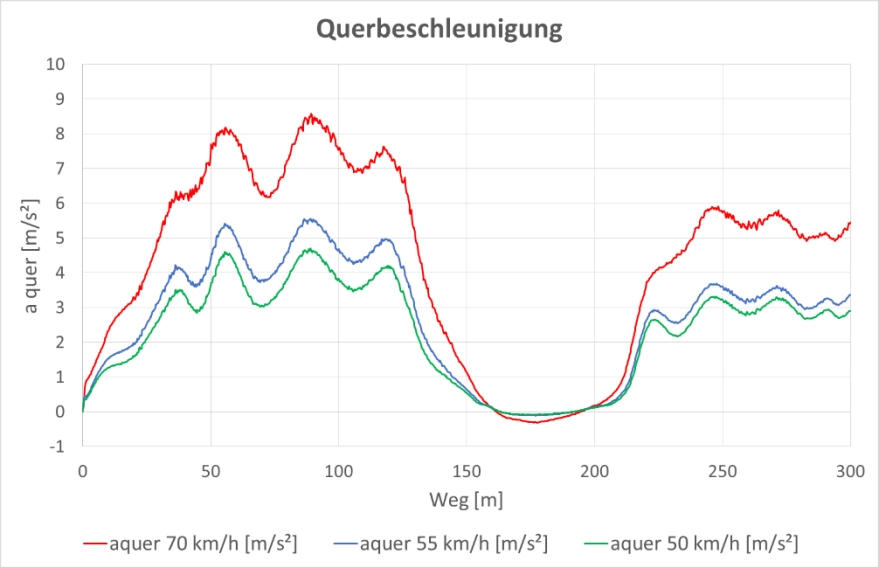


Abbildung 57: Querbeschleunigung des gewählten Streckenabschnittes UVP, bei gewählten Geschwindigkeiten 70km/h, 55km/h, 50km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

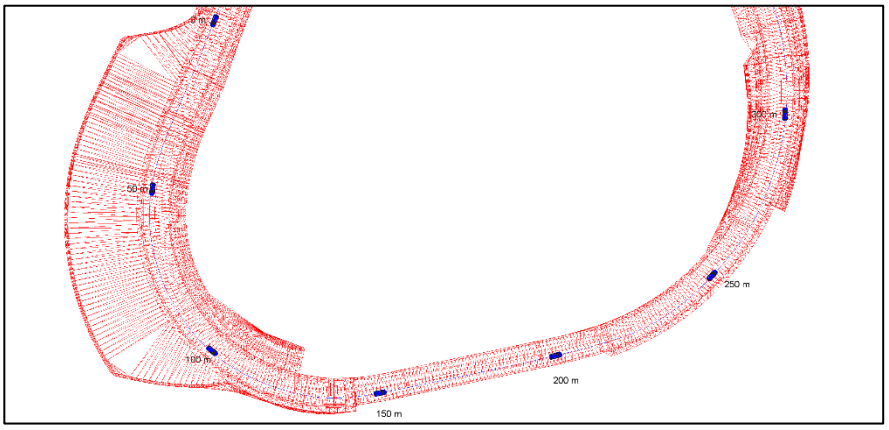


Abbildung 58: gewählte Farhstrecke der Anschlussstelle, EOP (Quelle: VSI, TU Graz)

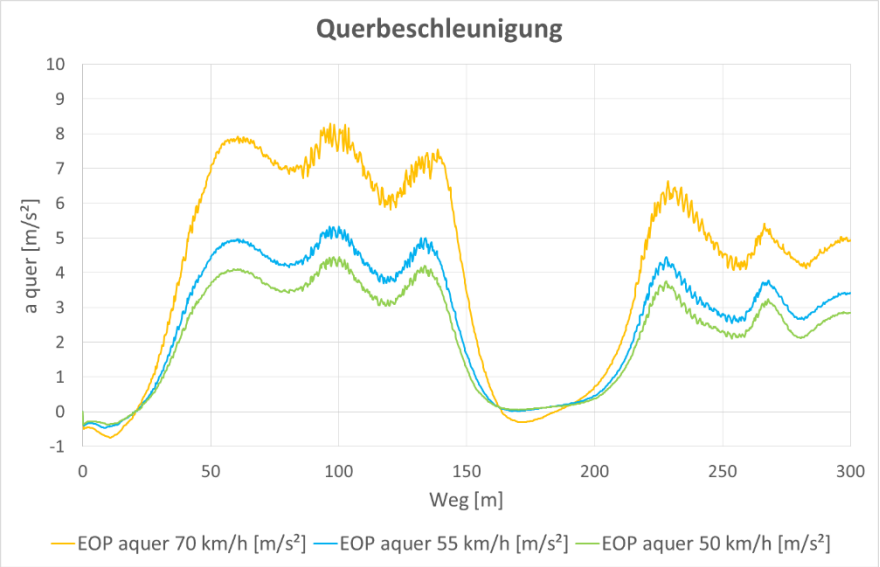


Abbildung 59: Querbeschleunigung des gewählten Streckenabschnittes EOP bei gewählten Geschwindigkeiten 70km/h, 55km/h, 50km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Untersuchung und Analyse ergaben ähnliche Verläufe der beiden Varianten bei der Befahrung von Osten in Richtung Westen. Der kritische Bereich zeigt sich beim Einfahren in den Brückenbereich bei einer Querbeschleunigung von ca. 5 m/s² [43]. Damit ergibt sich, dass die Varianten im ähnlichen Bereich und zwar ab einer Geschwindigkeit von > 55 km/h zu fahrdynamisch kritischen Situationen führen können.

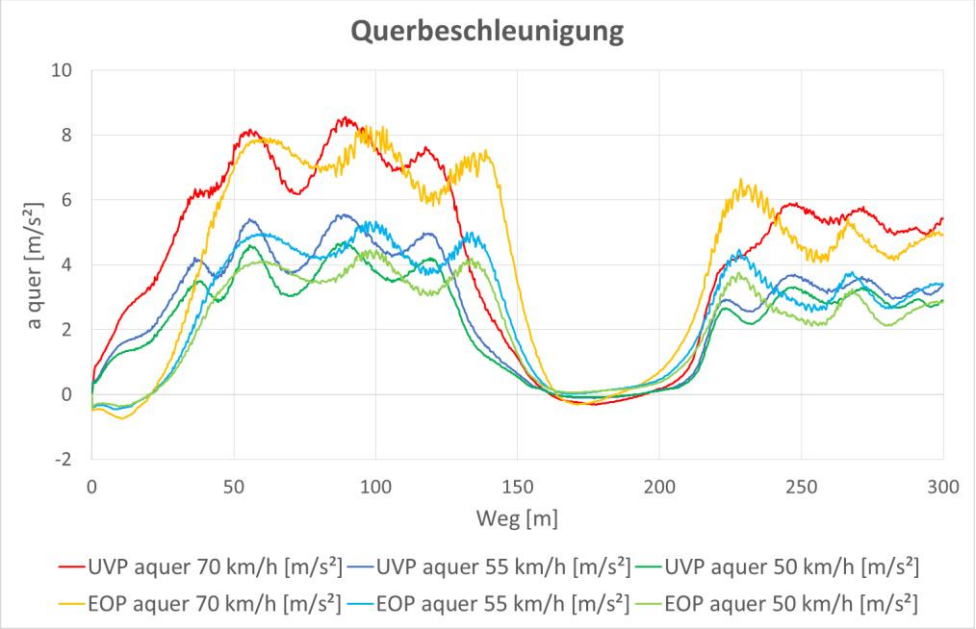


Abbildung 60: Gegenüberstellung von UVP und EOP, bei gewählten Geschwindigkeiten von 70km/h, 55km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Varianten wurden auch hinsichtlich des Schwimmwinkels analysiert und beurteilt und ergaben die folgenden kritischen Bereiche der Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen:

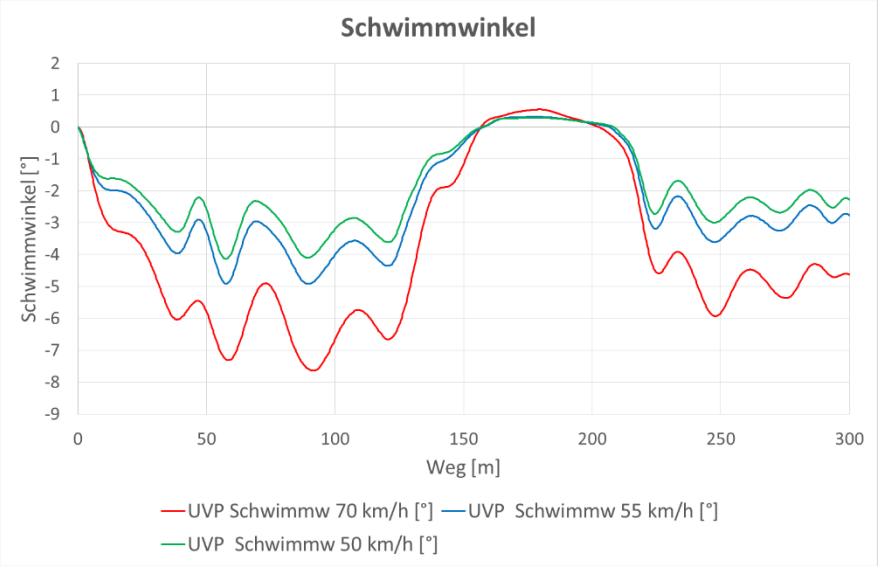


Abbildung 61: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

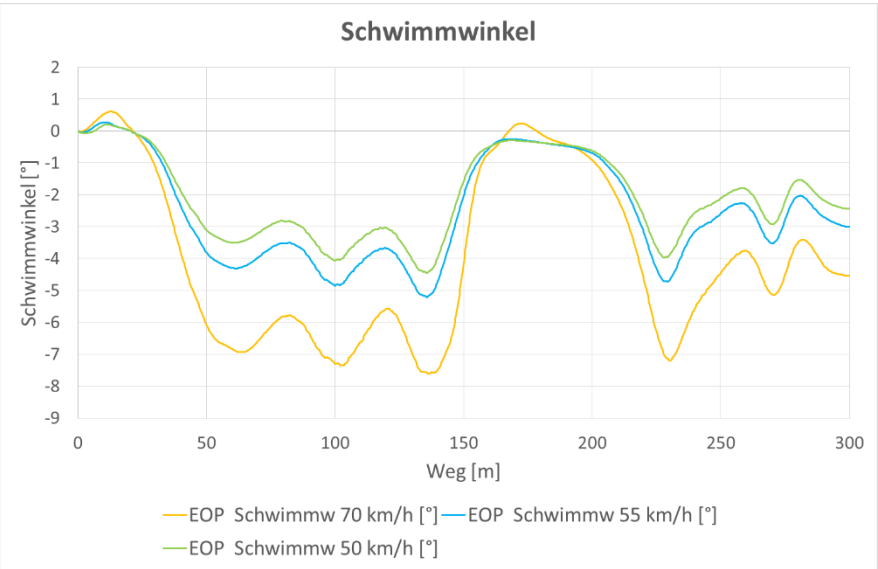


Abbildung 62: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

Auch bezugnehmend auf den Schwimmwinkel, können ähnliche Verläufe im kritischen Bereich beim Einfahren in den Brückenbereich, bei Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen festgestellt werden. Der kritische Bereich des Schwimmwinkels liegt bei ca. 5 °

[43]. Auch hier bewegen sich beide Varianten in ähnlichen Bereichen. Die Geschwindigkeit wird im Bereich von > 55 km/h als kritisch betrachtet.

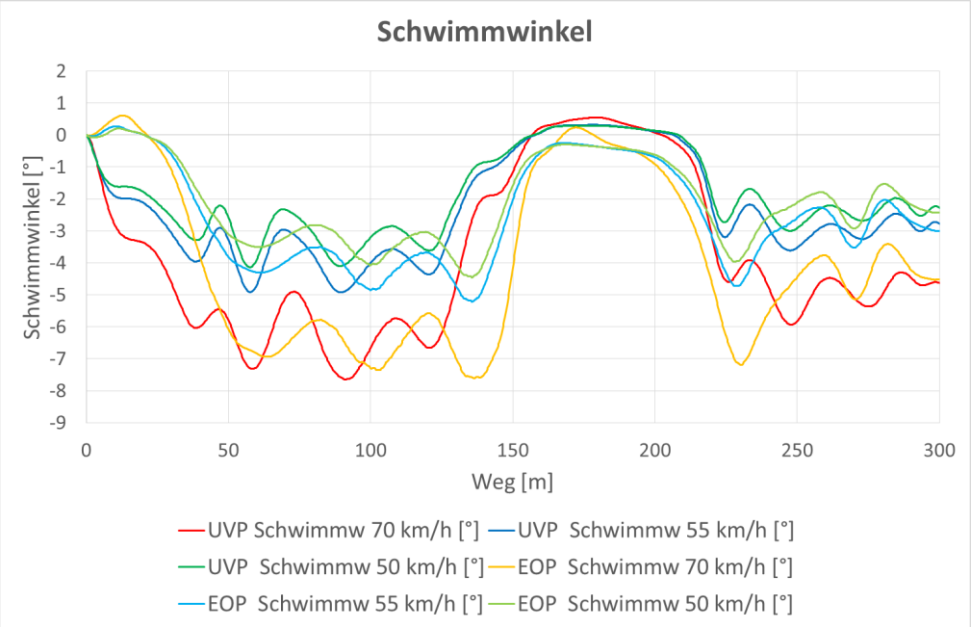


Abbildung 63: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel der UVP und EOP Variante (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz)

Betrachtet man nun die beiden Varianten hinsichtlich der Querbeschleunigung in der Fahrtrichtung von Westen in Richtung Osten, so ergibt sich das Folgende:

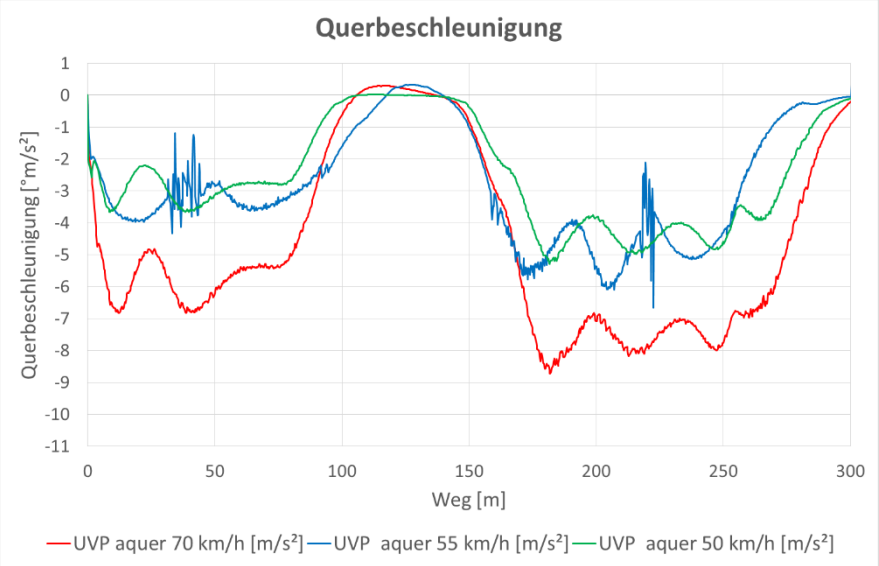


Abbildung 64: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

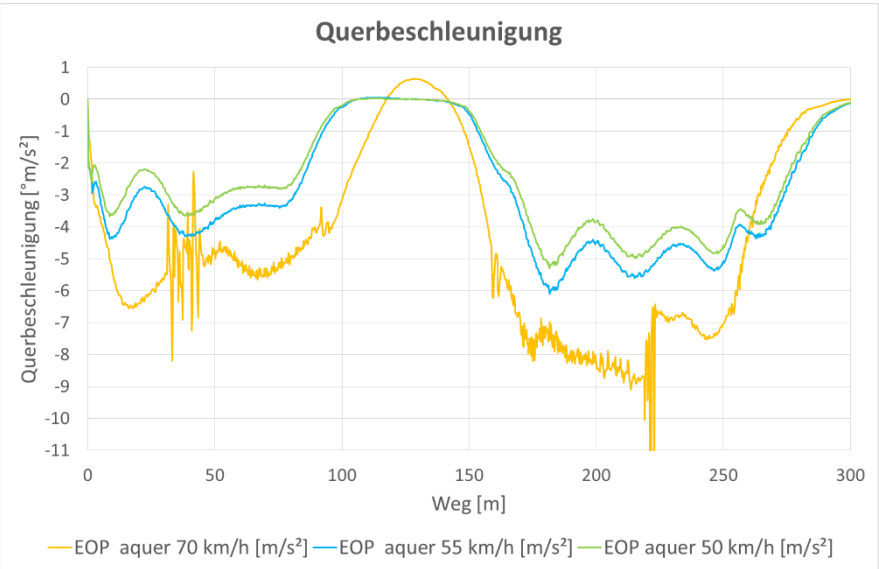


Abbildung 65: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Gegenüberstellung der beiden Varianten, Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, ergab auch betreffend der Querbeschleunigungen ähnliche Verläufe und ebenfalls einen kritischen Bereich beim Einfahren in den Brückenbereich. Der kritische Bereich

ergibt sich hier bei einer Querbeschleunigung von ca. 5 m/s², ab einer Geschwindigkeit von >55km/h.

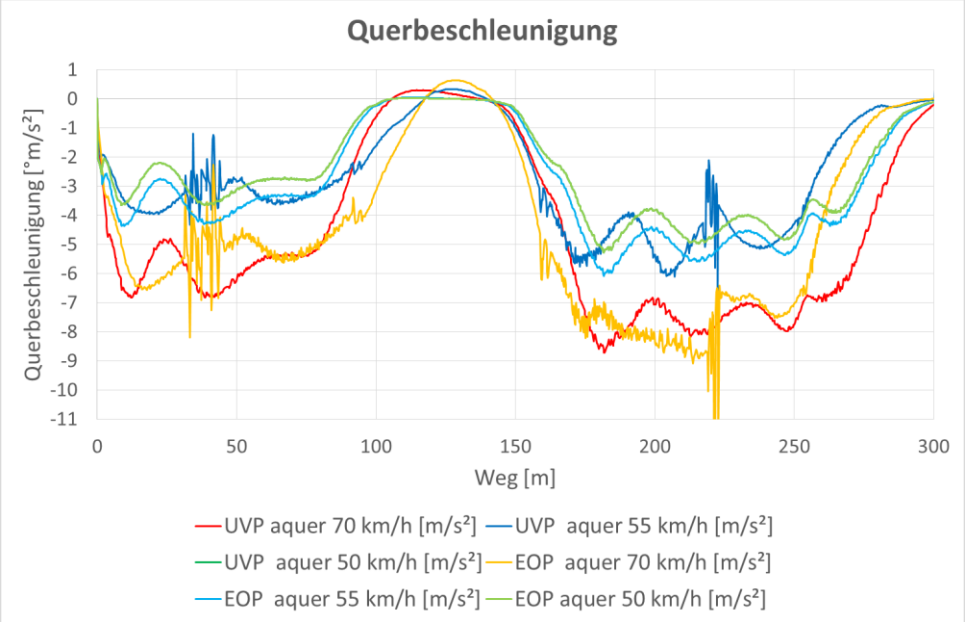


Abbildung 66: Gegenüberstellung der Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

Bei der Beurteilung des Schwimmwinkels, der Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten ergeben sich die folgenden Verläufe des Schwimmwinkels über den Weg.

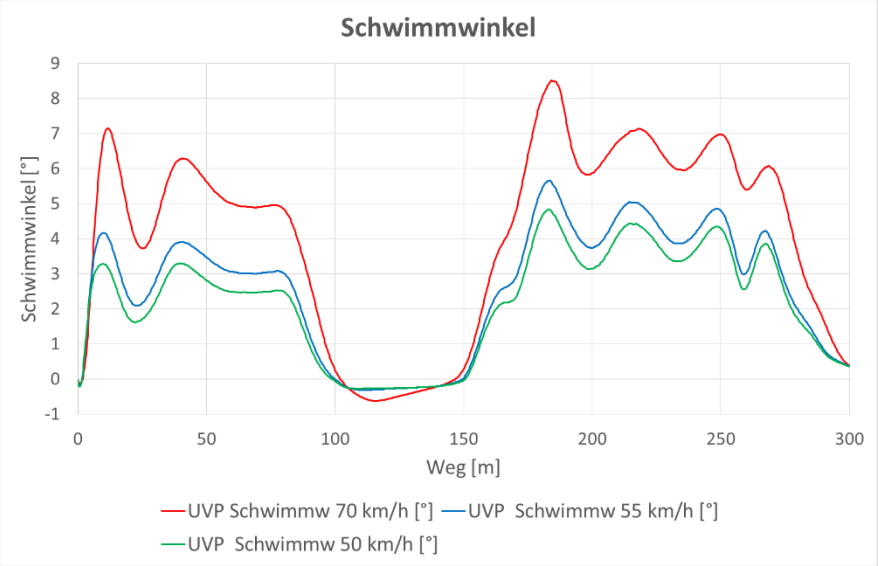


Abbildung 67: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

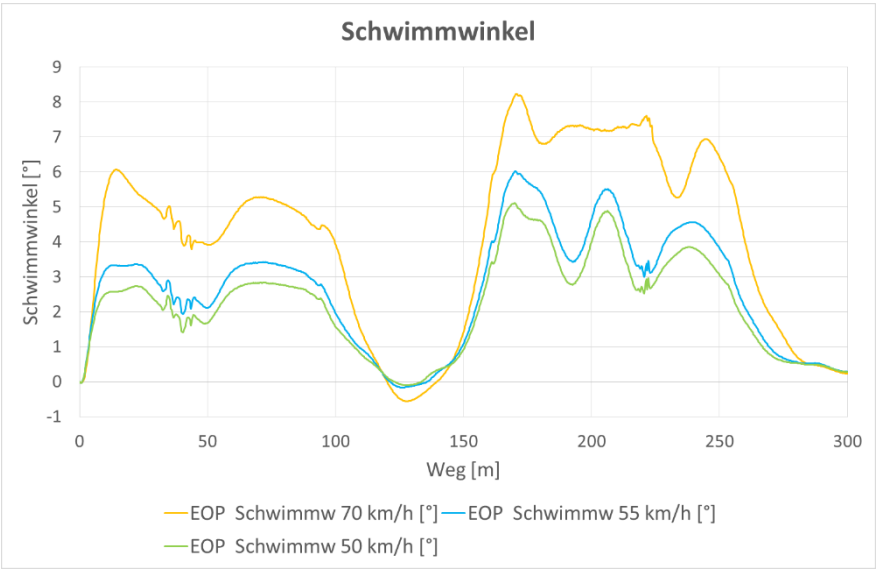


Abbildung 68: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

Auch hier ergibt die Gegenüberstellung der Schwimmwinkel, der EOP und UVP Varianten, der Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, ähnliche Verläufe mit einem kritischen Bereich beim Einfahren in Brückenbereich.

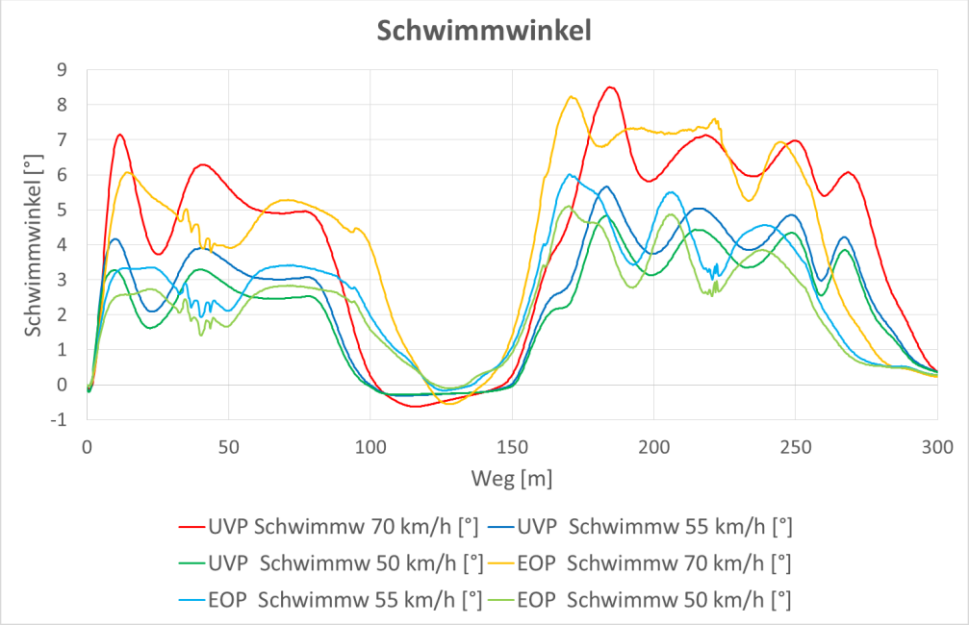


Abbildung 69: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz)

5.2.1.1 Nasse Fahrbahn

Um die beiden Varianten auch bei nasser Fahrbahn beurteilen zu können, wurde eine reduzierte Reibung von μ = 0.5 (nass) berücksichtigt. Als Vorgabe dienten hier die konstanten Geschwindigkeiten von 65 km/h; 60km/h; 55 km/h und 50 km/h, wobei wiederum angenommen wurde, dass bei einer Abweichung der Geschwindigkeit über oder unter der Zielgeschwindigkeit gebremst bzw. beschleunigt wird. ($v > v_{ziel}$ bzw. $v < v_{ziel}$).

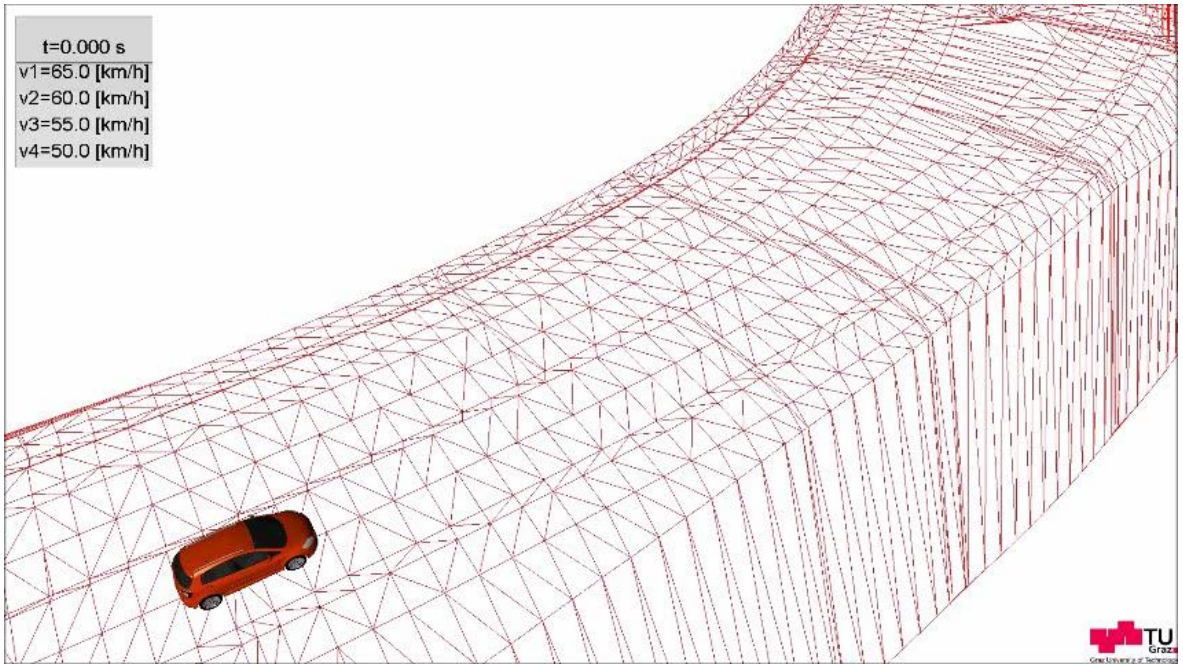


Abbildung 70: Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen, nasse Fahrbahn, UVP(Quelle: VSI, TU Graz)

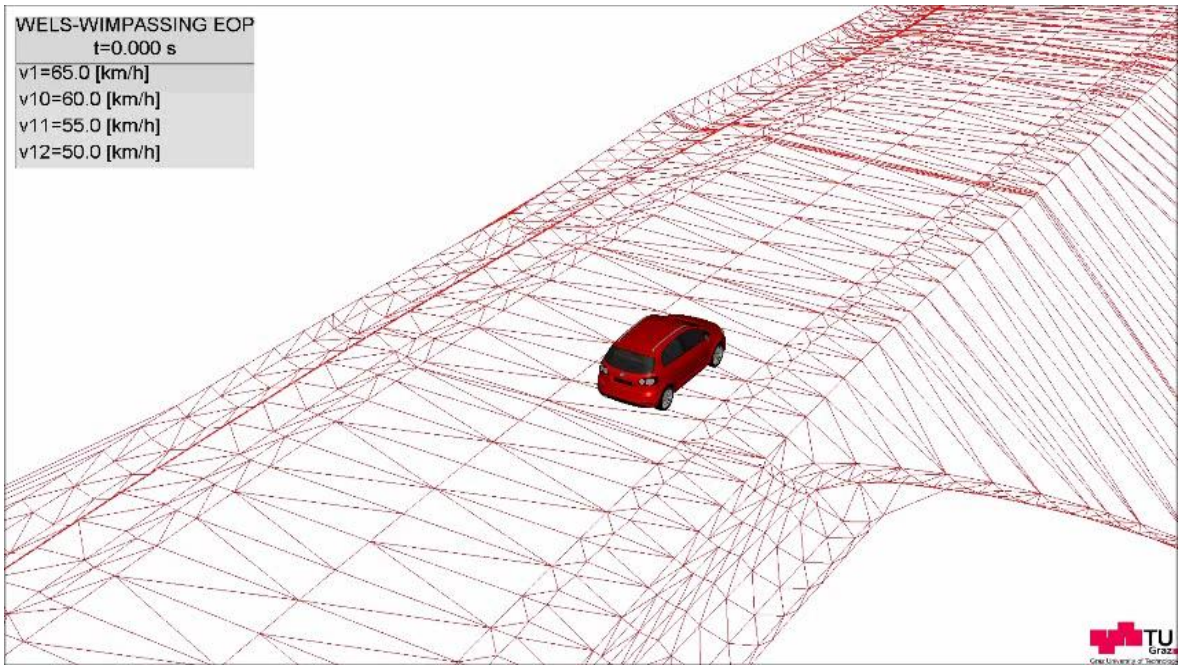


Abbildung 71: Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen, nasse Fahrbahn, EOP(Quelle: VSI, TU Graz)

Die Beurteilung der Querbeschleunigung der Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen ergeben sich wie folgt:

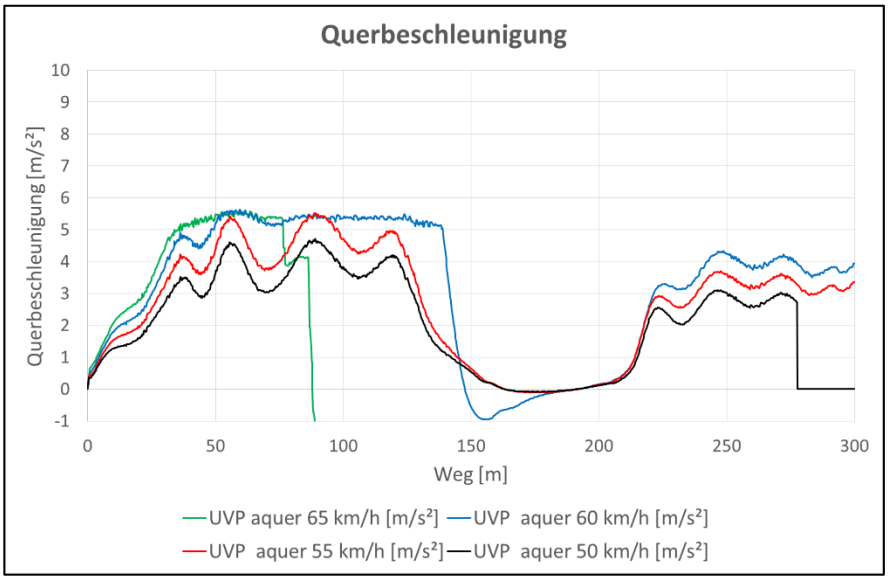


Abbildung 72: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

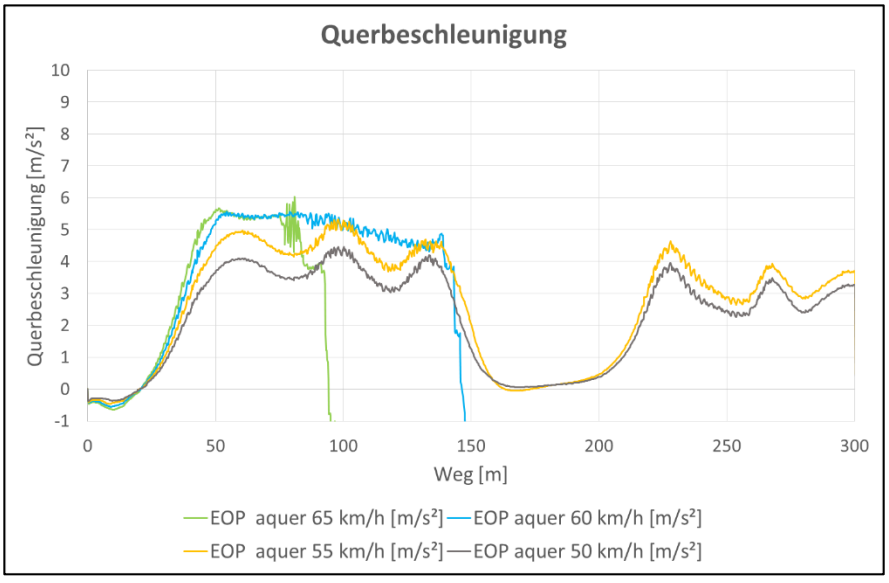


Abbildung 73: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Gegenüberstellung der beiden Varianten ergab auch hier ähnliche Verläufe und den kritischen Bereich beim Einfahren in den Brückenbereich.

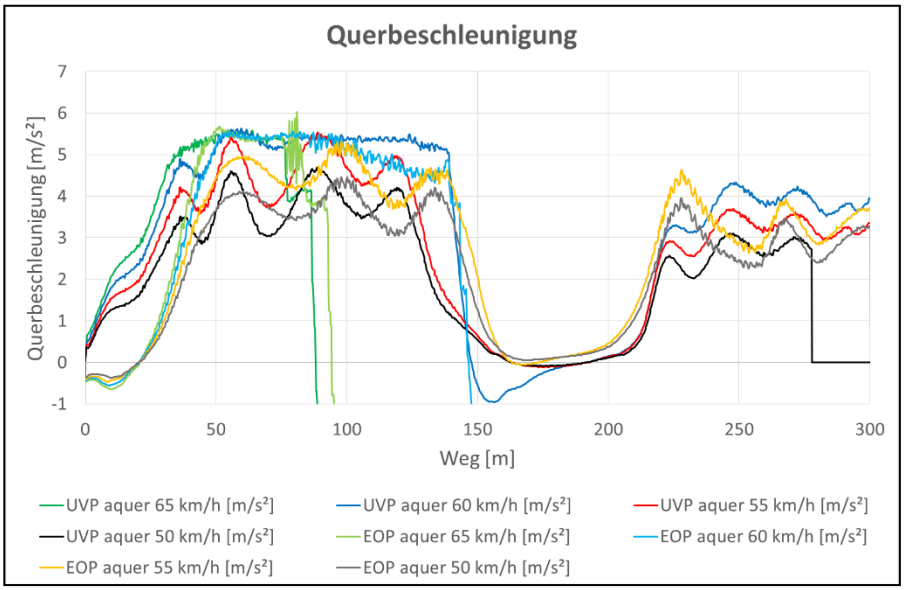


Abbildung 74: Gegenüberstellung der Querbeschleunigungen über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Beurteilung des Schwimmwinkels bei nasser Fahrbahn von Osten in Richtung Westen:

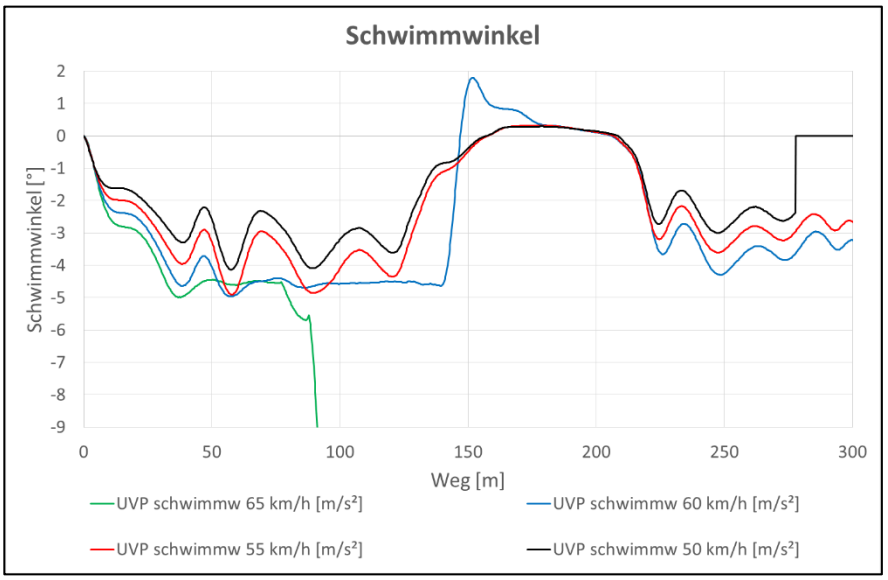


Abbildung 75: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn(Quelle: VSI, TU Graz) (Quelle: VSI, TU Graz)

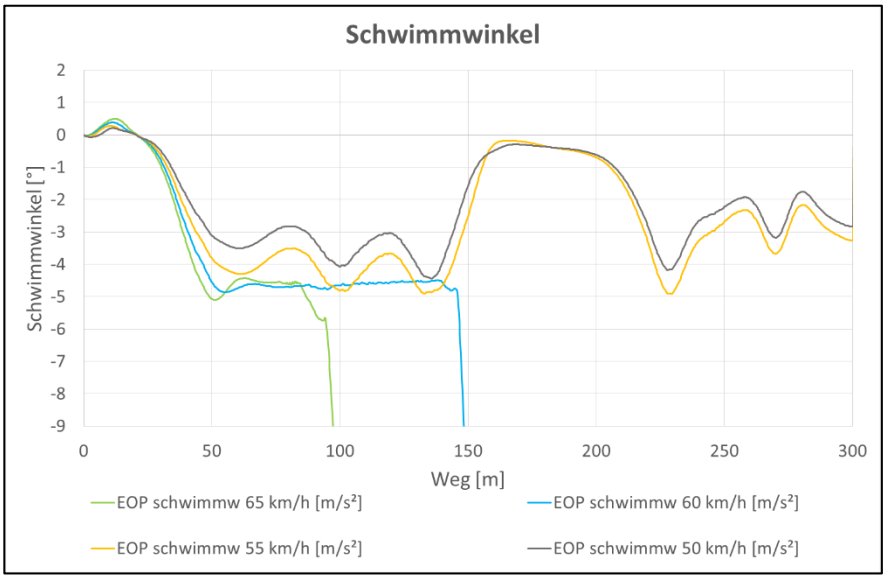


Abbildung 76: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Auch hier ergeben sich ähnliche Verläufe der beiden Varianten und der kritische Bereich beim Einfahren in Brückenbereich.

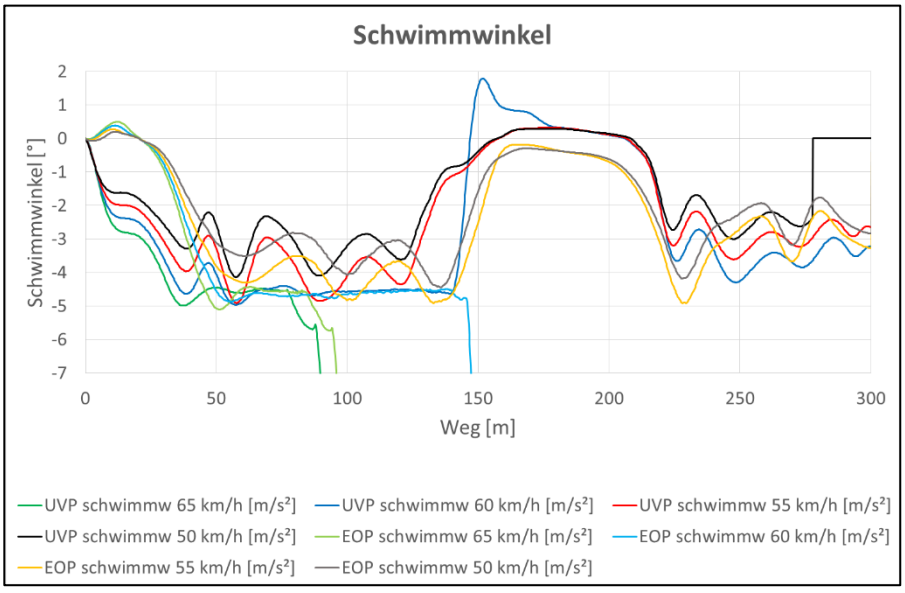


Abbildung 77: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Beurteilung und Analyse der Querbeschleunigung bei nasser Fahrbahn von Westen in Richtung Osten:

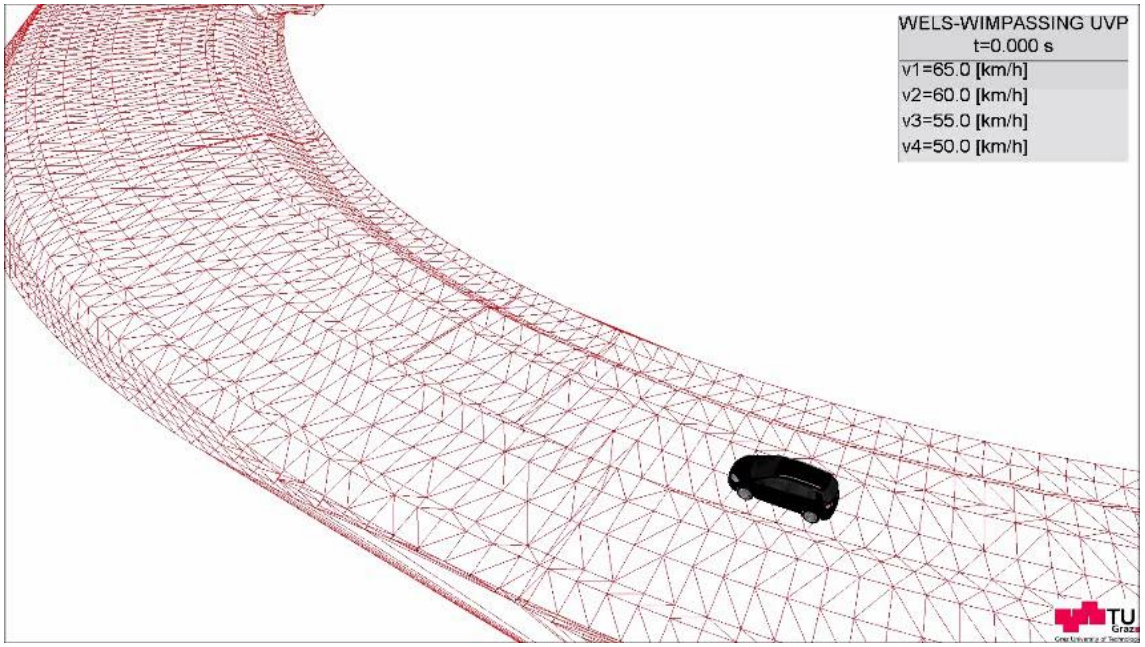


Abbildung 78: Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, nasse Fahrbahn, UVP(Quelle: VSI, TU Graz)

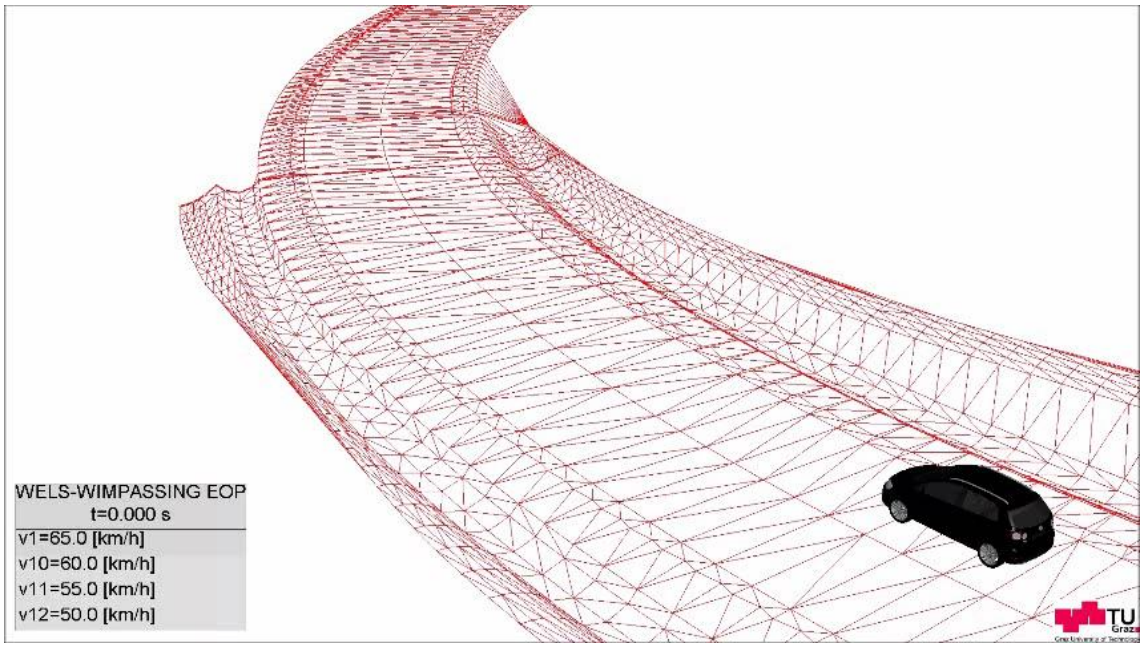


Abbildung 79: Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, nasse Fahrbahn, EOP(Quelle: VSI, TU Graz)

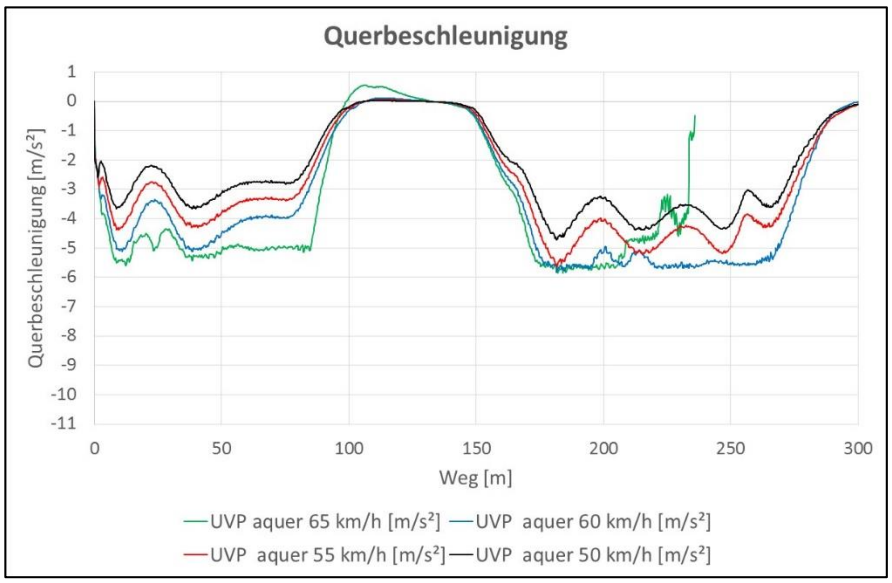


Abbildung 80: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

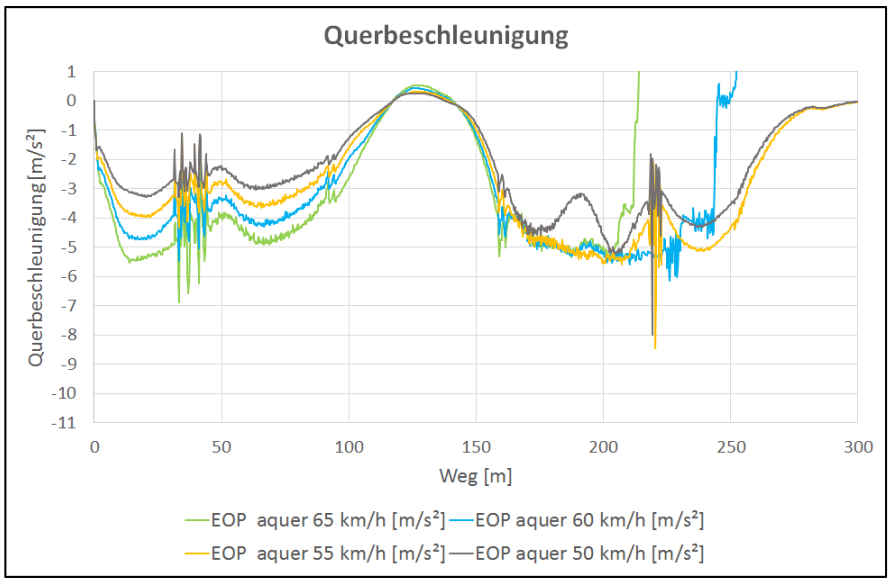


Abbildung 81: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Auch die Analyse der Querbeschleunigungen ergeben ähnliche Verläufe und einen kritischen Bereich vom Einfahren in den Brückenbereich (Limit a_{quer} bei ca. 5 m/s²). Der kritische Bereich ergibt sich bei einer Querbeschleunigung von ca. 4 m/s² [43]. Die Geschwindigkeit von > 50 km/h ist in diesem Bereich kritisch.

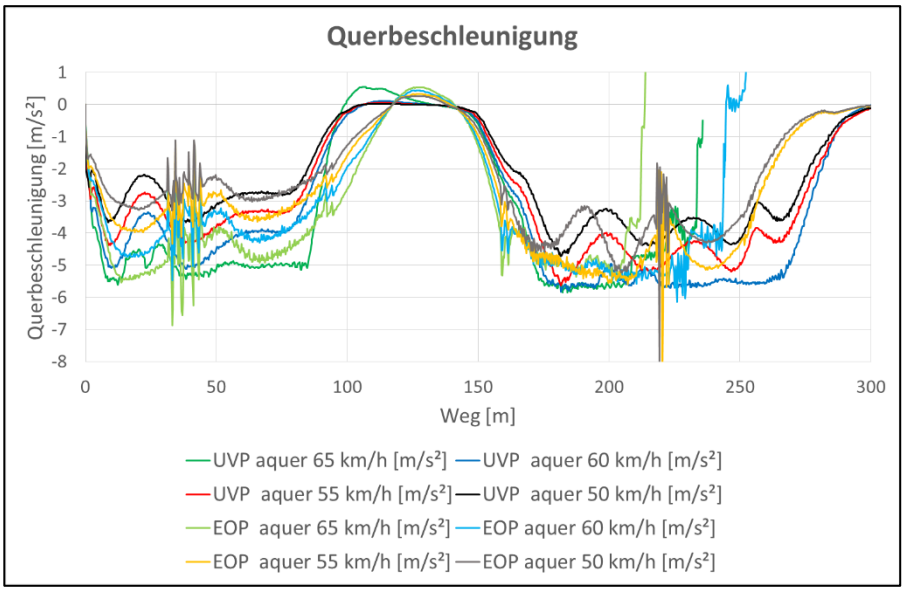


Abbildung 82: Gegenüberstellung der Querbeschleunigung über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Die Beurteilung der Schwimmwinkel bei nasser Fahrbahn von Westen in Richtung Osten ergeben:

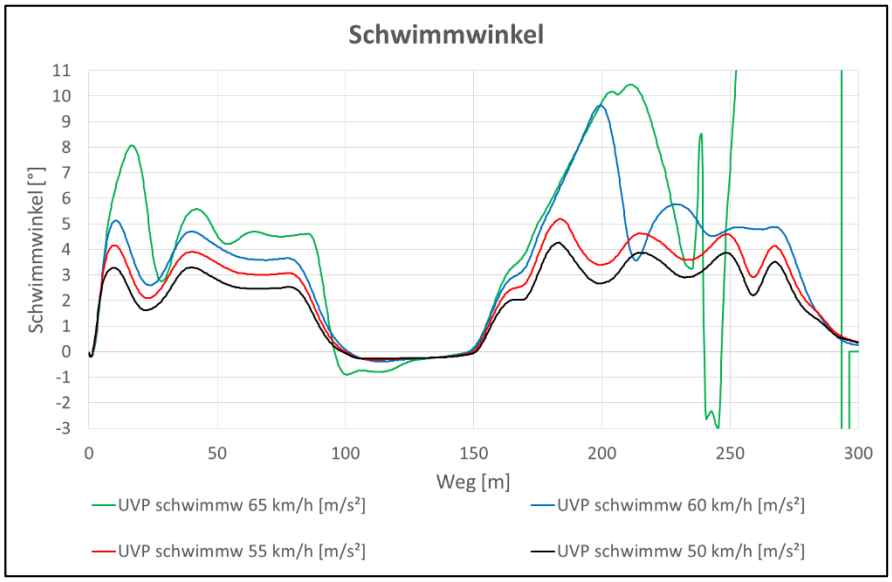


Abbildung 83: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

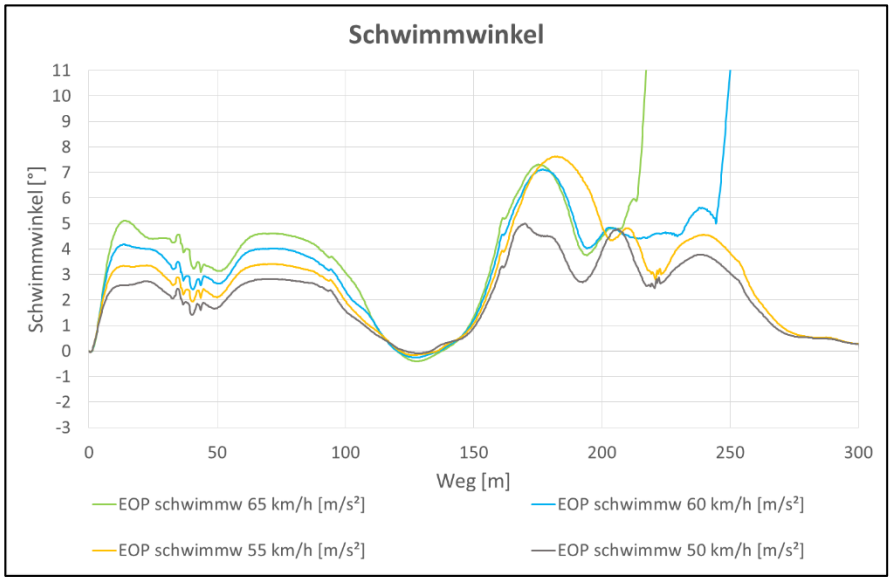


Abbildung 84: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Auch hier ergeben sich bei nasser Fahrbahn ähnliche Verläufe im kritischen Bereich beim Einfahren in Brückenbereich von Westen in Richtung Osten bei einer

Querbeschleunigung im kritischen Bereich bei ca. 5° und ab einer Geschwindigkeit von > 50 km/h.

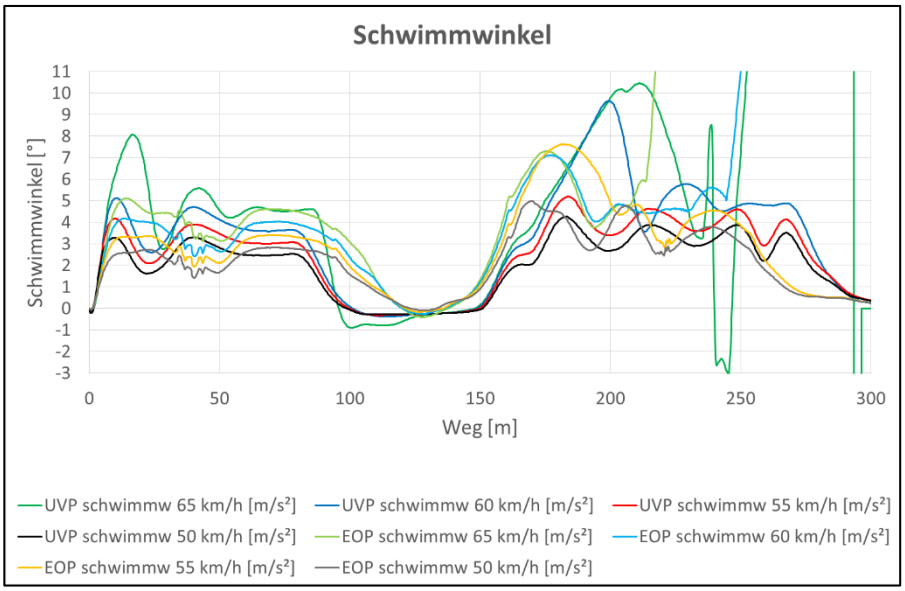


Abbildung 85: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)

Bei reduzierter Reibung und einer Querneigung von 5.5 % (3.15°) ergeben sich die folgenden Querbeschleunigungen und maximalen Geschwindigkeiten [43]:

trocken:	$a_{quer,\,max}$= 7 - 9 m/s²	→ v_{max} = 70 - 79 km/h
nass:	$a_{quer,\,max}$= 5 - 7 m/s²	→ v_{max} = 60 - 70 km/h
sehr nass:	$a_{quer,\,max}$= 4 - 5 m/s²	→ v_{max} = 54 - 60 km/h
Schnee:	$a_{quer,\,max}$= 1 - 5 m/s²	→ v_{max} = 32 - 54 km/h
Eis:	$a_{quer,\,max}$= 0.5 - 2.5 m/s²	→ v_{max} = 26 - 45 km/h

Bei der Variante und Analyse des Streckenabschnittes für ein Motorrad ergeben sich die folgenden Querbeschleunigungen:

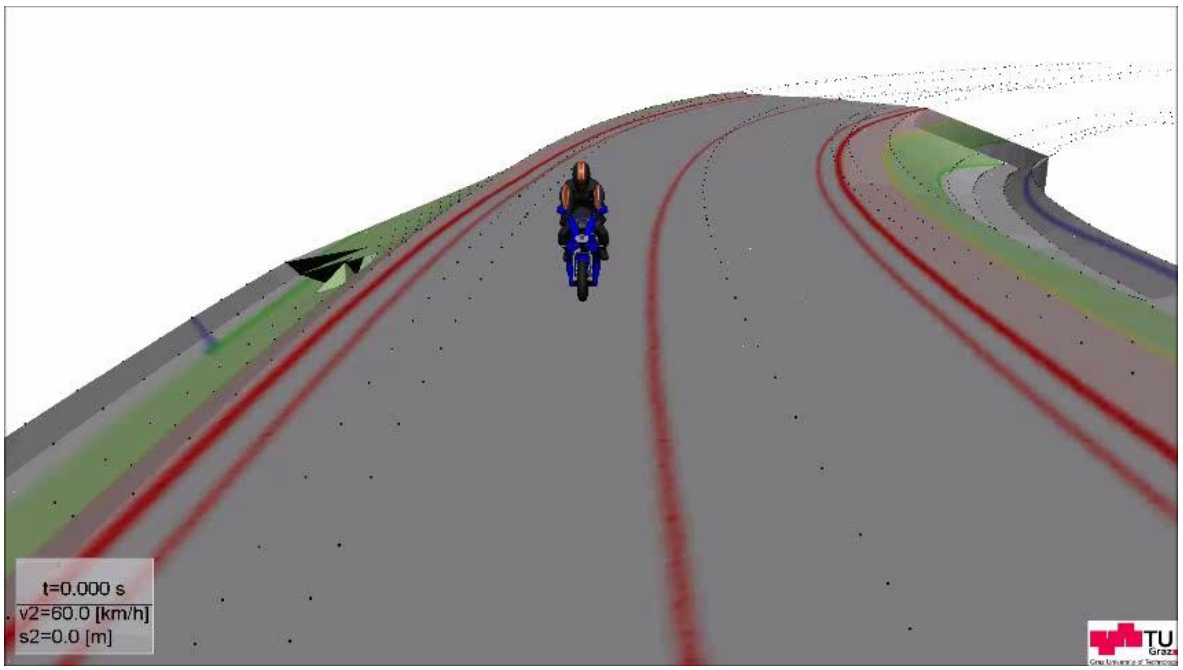


Abbildung 86: Analyse Motorrad (Quelle: VSI, TU Graz)

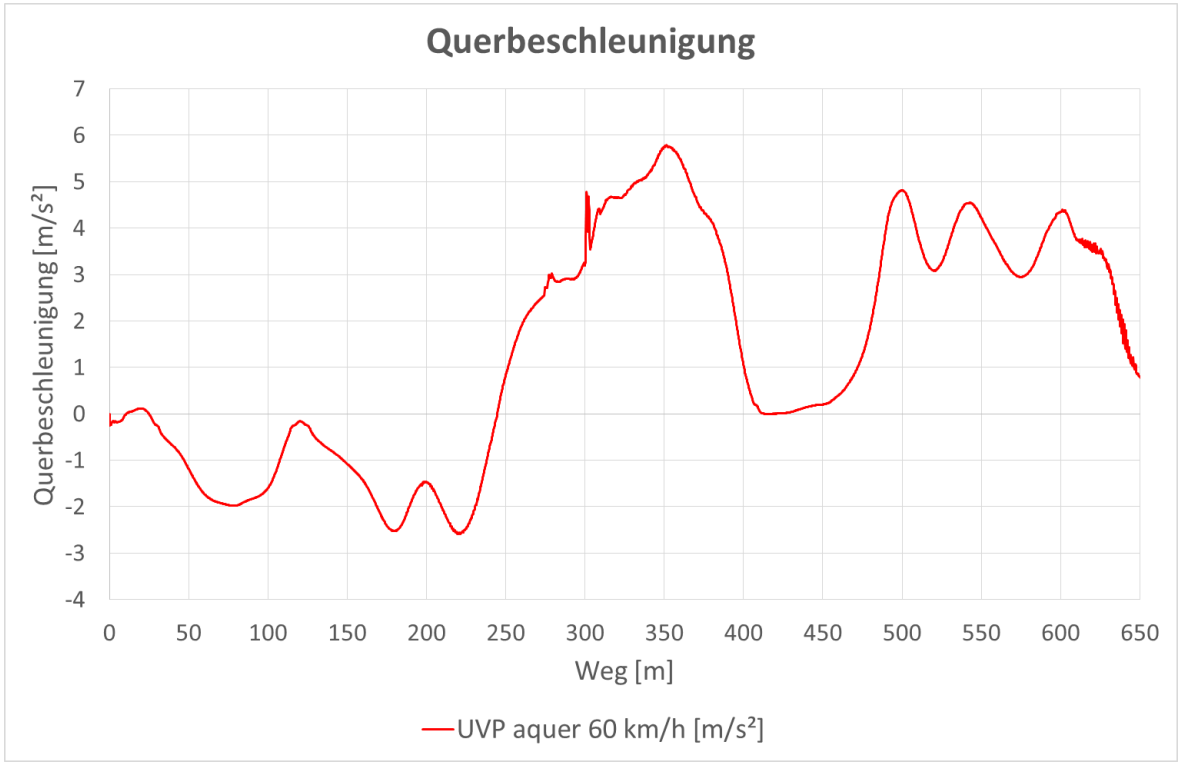


Abbildung 87: Querbeschleunigung Motorrad Variante UVP (Quelle: VSI, TU Graz)

Des Weiteren wurden verkehrssicherheitstechnische Untersuchungen durchgeführt, welche neben Sichtabschattungen, die einzelnen Kreuzungsbereiche, sowie die Straßenführung betreffen.

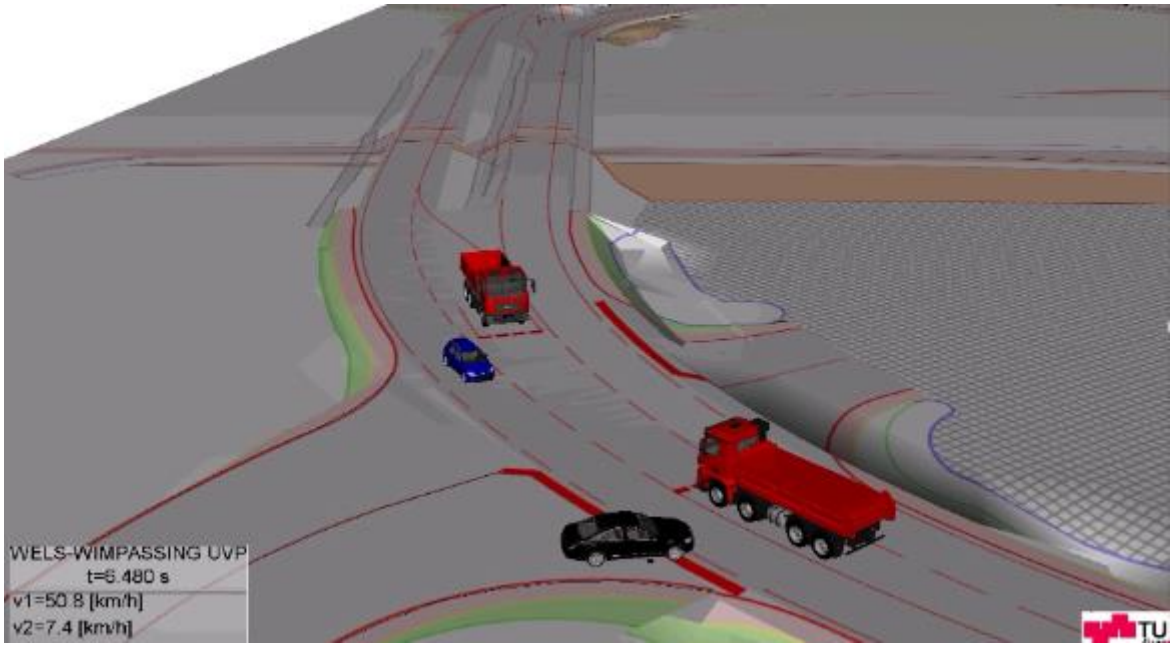


Abbildung 88: verkehrssicherheitstechnische Analyse, Sichtabschattung, Kreuzungsbereich (Quelle: VSI, TU Graz)

5.3 Human Factors

Neben den statischen und dynamischen Sichtbedingungen sowie den Sichtabschattungen sind auch entsprechende Analysen hinsichtlich Human Factors möglich und zielführend. Dabei werden neben den Wahrnehmungsgrenzen der unterschiedlichen Fahrzeuglenker auch Ablenkungen und Blickzuwendungen sowie Wahrnehmen von beispielsweise Bodenmarkierungen, Beschilderungen usw. berücksichtigt.

Im vorliegenden Beispiel wurden die menschlichen Faktoren unter anderem auf der in Abbildung 88 dargestellten Kreuzung analysiert. Hierbei wurde untersucht wie die Planung des betreffenden Straßenabschnittes optimal an die menschlichen Kapazitäten angepasst wurde, um den Fahrzeuglenkern nicht nur die notwendige Reaktionszeit und Reaktionsaufforderung, sondern auch eine entsprechende Wahrnehmung zu ermöglichen. Dabei ist auch ein Hauptaugenmerk darauf zu legen neben den

technischen und straßenplanerischen auch menschliche Fehler und Ablenkungen zu vermeiden. Für eine umfassende und detaillierte Bewertung der Human Factors sind Planunterlagen notwendig, welche nicht nur die Beschilderungen und Verkehrszeichen bereits enthalten, sondern es ist auch auf den genauen Aufstellungsort dieser zu achten. Dies bedeutet einerseits die Überprüfung der Wahrnehmung der betreffenden Beschilderung für den Fahrzeuglenker und die Vermeidung von Überforderung durch beispielsweise zu knapp aufgestellte oder zu viele Verkehrszeichen im entsprechenden Bereich. Die Überprüfung der Planunterlagen hinsichtlich des Aufstellungsortes ist ebenso wichtig, wie die anschließende Überprüfung der korrekten Durchführung und Aufstellung nach Fertigstellung des Bauvorhabens. Auf eine entsprechende Kontrollinstanz ist hierbei zu achten.

6 3-DIMENSIONALE VERKEHRSPLANUNG IM INTERNATIONALEN VERGLEICH

Die dreidimensionale Planung und Projektierung der Verkehrsinfrastruktur baut auf die in den Trassierungsprogrammen verwendeten bzw. erstellten 3D Geländemodelle auf. Die erzielbare Qualität und Genauigkeit der 3D Trassierung der Straßen- oder Schienenprojekte ist neben der vorhandenen Qualität der Grundlagen (z.B. 3D Geländemodell, Geländeaufnahme, Informationen zu Einbauten, etc.) vor allem durch die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen, welche die Trassierungsprogramme vorgeben, begrenzt. Die Anzahl der gängigen Trassierungsprogramme ist speziell im deutschsprachigen Raum aber auch international eigentlich sehr begrenzt.

Aufbauend auf die Literaturrecherche werden ausgewählte, derzeit verwendete Trassierungsprogramme nachfolgend aufgelistet:

- Civil-3D (Weltweit)
- 12D (z.B. UK, Australien, Neuseeland)
- InRail, Microstation, MXROAD (von Bentley) (Weltweit)
- ProVi (Österreich, Deutschland, Schweiz)
- Topo Rail (SBB eigens entwickeltes Programm, Schweiz)
- Vestra (Österreich, Deutschland, Schweiz)
- RoadEng (Canada)
- Civil CAD (bzw MAGNET)
- Trimble Novapoint (Skandinavien)
- Civil Designer (z.B. Südafrika)
- Diolkos (z.B. Griechenland)
- SierraSoft Roads (z.B. Italien)

Eine 3D Trassierung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten ist aufgrund der vorhandenen Software möglich und daher bei Straßenprojekten durchwegs gängige Praxis. Inwieweit

eine Umsetzung als 3D Trassierung erfolgt, ergibt sich auch oft aufgrund der Vorgaben der Auftraggeber, welche national aber auch international sehr unterschiedlich sind.

Auf Basis bisher durchgeführter Projekte ist festzustellen, dass große Unterschiede bei einzelnen Verkehrsinfrastrukturprojekten bei der Genauigkeit von Geländeaufnahmen – 3D Vermessung sowie von 3D Geländemodellen in Deutschland wie auch in Österreich, existieren. Die Differenzen zwischen den Geländeaufnahmen sind vor allem auf teilweise fehlende und unzureichende definierte oder nicht optimale Vorgaben zurückzuführen. In Ländern, in welchen eigene Standards im Bereich Straßenplanung kaum bis gar nicht vorliegen, wird oft durch die Vergabe der Leistungen an einen Generalplaner auch die Definition der Vorgaben und der Genauigkeit an die Geländeaufnahme sowie des 3D Geländemodells, delegiert.

Die Kompatibilität von Softwarepaketen sowie die Schnittstellen zum Datenaustausch von Trassierungsdaten ist wie bei der Trassierung selbst, auch durch die Möglichkeiten und Vorgaben in den Trassierungsprogrammen festgelegt bzw. begrenzt d.h. welche Datenaustauschformate werden durch die Programme unterstützt. International aber aufgrund der selben gängigen Trassierungsprogramme auch national, sind zum Austausch und Teilen von Informationen bezüglich Infrastrukturprojekten die Datenaustauschformate Industry Foundation Classes (IFC) und OKSTRA hervorzuheben.

Aufgrund der Literaturrecherche für das vorliegende Projekt sowie im Zuge anderer Projekte auf dem Gebiet der Verkehrssicherheitsuntersuchungen, Road Safety Inspections und Road Safety Audits unter Berücksichtigung von Fahrdynamikuntersuchungen und Human Factors, konnten keinerlei vergleichbare Studien auf dem Gebiet der Fahrdynamikuntersuchung bei 3D Straßenplanungsprojekten gefunden werden.

Grundsätzlich gibt es weltweit einige Unfallrekonstruktions- und Fahrdynamiksimulationsprogramme, welche auch über die Möglichkeit verfügen, fahrdynamische Untersuchungen zu berücksichtigen. Dazu werden folgend beispielgebend einige genannt: „Virtual Crash“ (vCRASH, Americas, Inc.)[8], HVOSM (Highway-Vehicle-Object Simulation Model)[9], EDVSM (Engineering Dynamics Vehicle ,

[8] vCRASH, Americas, Inc.; www.vcrashusa.com
[9] Segal, David J, Highway-vehicle-object simulation model-1976.Volume2: programmers manual, https://catalog.hathitrust.org/Record/005470494

Simulation Model)[10], PHASE (heavy vehicle simulation program); EDVDS (Engineering Dynamics Vehicle Dynamics Simulation)[11], veDYNA [12], SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions); EDSMAC und CarMaker[13].

Aufgrund der gemäß der Literaturrecherche nicht vorliegenden Forschungsberichte oder Evaluierungen zu den oben angeführten Simulationsprogrammen, können Erfahrungen aus deren Verwendung hier weder wiedergegeben noch bewertet werden.

[10] Day, T D, Validation of the EDVSM (Engineering Dynamics Vehicle Simulation Model); 1997; https://trid.trb.org/view/635542

[11] Donald E. Struble, Automotive Accident Reconstruction, Practices and Principles, 2014

[12] veDYNA, TESIS GmbH, https://www.tesis-dynaware.com/produkte/vedyna/uebersicht.html

[13] IPG Automotive, https://ipg-automotive.com/de/anwendungsgebiete/fahrdynamik/

7 NUTZEN-UNTERSUCHUNG

7.1 Zielsetzungen der Planung

7.1.1 3D Vermessungen

7.1.1.1 Fachliche Beurteilung

Die Geländeaufnahme bzw. die digitale grafische Darstellung des Geländes stellt, wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, einerseits die Arbeitsgrundlage für die Fachplaner dar und andererseits bildet sie die Basis für die Erstellung des 3D Geländemodells. Die Geländeaufnahme kann abhängig von einem vorhabensspezifischen Leistungsbild (Projektphase, Maßstab,…), Interpretation des beauftragten Geodäten durch verschiedene Vermessungstypen (Photogrammetrie, Laserscan, Tachymetrie,...) in unterschiedlichen Formen geliefert werden (Punktwolken, 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung, 3D Vermessung, etc.). Diese Bandbreite an Möglichkeiten gekoppelt mit meist engen Zeitplänen führt dazu, dass die Form der Aufbereitung sich im Rahmen des Leistungsbildes bewegt, allerdings nicht zu technisch einheitlichen Übermittlungen führt und die technische Aufbereitung und auch die Datengenauigkeit (Datenqualität) der Geländeaufnahme für die Erstellung eines 3D Geländemodells nicht ausreichend ist. Vor allem bei lange laufenden Vorhaben mit lokalen Aktualisierungen und Ergänzungen ist das integrieren neuer Daten (Vermessungen) eine zusätzliche Herausforderung, wenn die Aufbereitung durch unterschiedliche Auftragnehmer erfolgt.

Das Schaffen eines Standards für die technische Aufbereitung der zu übermittelnden Geländeaufnahme (Vermessung) hat folgende Vorteile:

- Die Anforderungen an die Genauigkeit (Datenqualität) der Geländeaufnahme für die Erstellung eines 3D Geländemodells gewährleisten.
- Ein einheitlicher Standard
    - für alle Vorhaben
    - für alle technischen Fachplaner
    - für alle Geodäten
- Bessere Vergleichbarkeit von
    - Preisen
    - Qualität
- Klar definierte Schnittstellen.

- Lieferung einer Gesamtvermessung (in einem Paket) bei mehreren Geländeaufnahmen und dadurch Erhöhung der Qualität bei weniger individuelle Nachforderungen / Ergänzungen.

Es sind keine Nachteile durch das Schaffen eines fachlichen Standards erwartbar.

7.1.1.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Das Schaffen eines Standards ist ein Prozess, der einmalig Aufwand (zeitlich und somit auch Kosten) verursacht. Die Nutzen fallen allerdings anschließend bei allen Vorhaben an, die auf Basis dieses Standards erstellt werden. Um die erforderliche technische Aufbereitung und auch die Datengenauigkeit (Datenqualität) der Geländeaufnahme für die Erstellung eines 3D Geländemodells zu gewährleisten, ist mit etwas höheren Grundkosten bei der Erstellung der Vermessung zu rechnen. Unter diesem Aspekt sind die Vor- und Nachteile zu betrachten:

Nachteile sind:

- Einmalige Kosten für die Festlegung der Standards.

  Das Einrichten des Standards erfolgt z.B. über die Erstellung eines „Pflichtenhefts“. Dieses ist in Abstimmung zwischen den Anforderung des AG an die jeweilige Leistungserbringung (Inhalte der Projektphase, Kostenoptimierung), den Anforderungen des technischen Planers (was ist in welcher Form erforderlich, um eine konsistente und vollständige Grundlage zu haben) und des Geodätens (Technische Möglichkeiten, zeitliche Abwicklung, Kostenaspekte) zu erstellen. Diese einmalige Erstellung bedarf eines Abstimmungsprozesses, der in einem Leistungsbild mündet, dass eine Sockelleistung beinhaltet und je nach Erfordernis Leistungspakete ergänzt. Solche Pakete könnten sein: Projektphasen, Einbauten, Maßstab, Visualisierung.…

- Geringe zusätzliche Kosten je Vorhaben.

  Zur Gewährleistung der erforderlichen technischen Aufbereitung und der Datengenauigkeit (Datenqualität) der Geländeaufnahme für die Erstellung eines 3D Geländemodells.

Vorteile sind:

- Minimierung von Mehrkostenforderungen.

Wenn eine Leistung auf Grund eines abgestimmt-vollständigen Leistungsbildes erbracht wird sind zu folge eben dieses Leistungsbildes Zusätze d.h. Mehrkostenforderungen unwahrscheinlich bzw. als Ausnahme einzuschätzen.

- Kostenersparnis durch zeitliche Einsparung bei der Abwicklung.

  Nach einer (fachlichen) Prüfung der Geländeaufnahme durch den technischen Planer, die in der Regel bei der Erstellung des 3D Geländemodells erfolgt, ist mit keinen Überarbeitungen der technischen Aufbereitung oder ergänzenden Vermessungen zu rechnen. Das bedeutet eine Reduktion des Aufwands beim einzelnen Fachplaner und eine zeitliche Einsparung bei der Abwicklung.

7.1.1.3 Abwägung

Schon in den getrennten Betrachtungen der fachlichen und der Kosten-Aspekte zeigt sich, ein klares Bild. Fachlich können ausschließlich Nutzen gefunden werden bei relativ geringen zusätzlichen Kosten (einmalige Erstellung der Vorgaben und geringe Mehrkosten für 3D Vermessung) aber bei mittel-langfristigen Kosteneinsparungen durch Minimierung von Mehrkostenforderungen und Zeiteinsparungen in der Projektabwicklung. Weiters stellt die 3D Vermessung eine Voraussetzung für die Erstellung des 3D Geländemodells dar.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**++**
Aufwand / Mitteleinsatz	**+**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**++**

Als Maßnahme bzw. Lösung wird vorgeschlagen, Vorgaben (ein Pflichtenheft) „3D Vermessung“ zu erstellen und daraus auch ein modulares Leistungsbild sowie ein Leistungsverzeichnis abzuleiten.

7.1.2 3D-Geländemodell

7.1.2.1 Fachliche Beurteilung

Die etablierte Vorgehensweise ist eine Erstellung des 3D Geländemodells durch den jeweiligen Fachplaner, der ebendieses anschließend als Planungsgrundlage verwendet. Das bedeutet in der Folge, dass ein solches mehrfach erstellt wird, wenn es mehrere

unterschiedliche Planer für unterschiedliche Zwecke benötigen. Das verursacht nicht nur wiederholten Aufwand, sondern führt auch zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Unterschiedliche Ergebnisse im 3D Geländemodell können dadurch entstehen, dass

- Mit unterschiedlichen Programmen und somit unterschiedlichen Algorithmen gearbeitet wird.
- Aufgrund der unterschiedlichen fachlichen Anforderungen der Planer Schwerpunkte lokal oder hinsichtlich Genauigkeit gesetzt werden.
- Fehler in der Erstellung des Modells gemacht werden.

Durch die zentrale und standardisierte Erstellung eines 3D Geländemodells wird der gestreute Bearbeitungsaufwand reduziert und gleichzeitig wird eine vom Fachmann erstellte, konsolidierte Planungsgrundlage verfügbar, die für alle gleichermaßen gilt. Es kann auch keine Missverständnisse hinsichtlich Versionen geben, da es genau eine Quelle für das Modell gibt.

Vorteile sind somit:

- Zentrale und dadurch einmalige Erstellung des Geländemodells
- Einheitliche Planungsgrundlage für alle Fachplaner
- Fehlervermeidung
- Einheitlicher Stand

Als potentieller Nachteil kann angeführt werden, dass ein Fehler beim Vermesser bei allen Planern gleichermaßen durchschlägt. Dagegen kann man halten, dass

- auch beim Vermesser intern das 4-Augen-Prinzip praktiziert werden muss,
- und eine mehrfache Prüfung durch die Planer erfolgt.

Vor allem bei komplexen und langlaufenden Projekten können durch eine geeignete Koordination bei der Erstellung des 3D Geländemodells und einer zusätzlichen Dokumentation, Vorteile erzielt werden. Die Vorteile liegen somit klar auf der Hand und die Nachteile sind in Wahrheit nicht wirklich vorhanden.

7.1.2.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Ähnlich wie beim vorangehenden Punkt der 3D Vermessung entsteht ein einmaliger Aufwand durch die Schaffung und das Etablieren eines Standards. Dem gegenüber

steht die Kostenersparnis durch den Entfall der mehrfachen Erstellung des 3D Geländemodells von mehreren Fachplanern und die Vermeidung von Mehrkostenforderungen in späteren Planungsphasen und vor allem bei der Bauherstellung.

Nachteile sind:

- Einmalige Kosten für die Festlegung der Standards.

Vorteile sind:

- Kostenersparnis durch den Entfall der mehrfachen Erstellung des 3D Geländemodells.
- Reduzierung von Mehrkostenforderungen in späteren Planungsphasen.

  Durch ein einheitliches 3D Geländemodell bei allen Fachplanern kann eine konsistente Planungsgrundlage – schlüssige Planung quer durch die unterschiedlichen Gewerke – geschaffen werden, wodurch eine Fehlerprävention entsteht, die Mehrkostenforderungen aufgrund unterschiedlicher 3D Geländemodelle in späteren Planungsphasen und vor allem bei der Bauherstellung, vermeidet.

7.1.2.3 Abwägung

Schon in den getrennten Betrachtungen der fachlichen und der Kosten-Aspekte zeigt sich, ein klares Bild. Fachlich können Nutzen mit praktisch keinen Nachteilen erzielt werden. Bei den kostenrelevanten Aspekten fallen zwar die Kosten für die einmalige Erstellung der Vorgaben an, aber dafür können Kosteneinsparungen durch den Entfall der mehrfachen Erstellung des 3D Geländemodells und durch Reduzierung von Mehrkostenforderungen in späteren Planungsphasen, erzielt werden.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**+**
Aufwand / Mitteleinsatz	**++**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**++**

Als Maßnahme bzw. Lösung wird vorgeschlagen, Vorgaben und eine eindeutige Definition des Begriffs 3D Geländemodell für die Erstellung „3D Geländemodell“ zu

entwickeln und daraus auch ein Leistungsbild sowie ein Leistungsverzeichnis abzuleiten. Als weitere Maßnahme wird eine zentrale Erstellung des 3D Geländemodells durch einschlägiges Fachpersonal (ZT Vermessungswesen) empfohlen.

7.1.3 Einbautenerhebung

7.1.3.1 Fachliche Beurteilung

Bei der Erhebung von Bestandseinbauten ist festzuhalten, dass die Datenqualität bei Bestandseinbauten in sehr unterschiedlicher und teilweises nur mit geringer Genauigkeit und Vollständigkeit vorhanden sind. Dadurch ergibt sich der Bedarf an Ergänzungen und Annahmen um eine 3D Darstellung der Bestandseinbauten zu ermöglichen. Die benötigen Daten können durch zusätzliche Vermessungen und eventuelle Suchschlitze ergänzt und geschärft werden. Zusätzlich kann die Qualität der Aufbereitung der Einbauten als 3D Daten durch Einsetzen eines Gesamtkoordinators, erhöht werden.

Zusammenfassend können mit der Aufbereitung der Erhoben Bestandseinbauten in 3D nachfolgende Vorteile erzielt werden:

- Gesicherte Qualität durch Gesamtkoordinator und gute Dokumentation.
- Erhöhte Qualität bzw. Genauigkeit bei der Rekonstruktion von den Bestandseinbauten.

  durch zusätzliche Vermessungen und vor Ort Erkundigungen (eventuelle Suchschlitze).
- Für sensible und kritische Bereiche 3D Plangrundlage.

  Ermöglicht und stellt die notwendige Grundlage für eine darauf aufbauende 3D Planung, vor allem geeignet für sensible und kritische Bereiche, dar und reduziert somit etwaige spätere Konflikte und Kollisionen bei der Neuplanung von Einbauten.

Als potentielle Nachteile müssen angeführt werden:

- Vortäuschung der Genauigkeit der Daten.

  Durch eindeutig Kennzeichnung und Dokumentation der Annahmen kann der Nachteil reduziert werden.

- Zusätzliche Annahmen erforderlich (z.B. Höhe und Dimension).
- Folgefehler,

  bei der Rekonstruktion der Bestandseinbauten sind gewisse Fehler unvermeidbar und Folgefehler daher nicht auszuschließen

7.1.3.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Aufbauend auf die fachliche Beurteilung lassen sich der finanzielle Mitteleinsatz sowie die Aufwände in nachfolgende Vor- und Nachteile zusammenfassen:

Nachteile sind:

- Höhere Kosten durch die zusätzliche Koordinierung bei der Aufbereitung in 3D Daten.
- Höhere Kosten für zusätzliche Vermessungen von Einbauten (z.B. der Sohle) und vor Ort Erkundigungen (Suchschlitze).

Vorteile sind:

- Kostenersparnis bei Einbautenplanung.

  Reduktion des verlorenen Aufwands in der Planungsphase durch ermöglichen einer 3D Planung und einer qualitativ, besseren und vollständigeren Datengrundlage.
- Kostenersparnis durch Risikominimierung im Bau.

  Risikominimierung bei der Herstellung im Bau durch eine qualitative, bessere und vollständigere Datengrundlage.

7.1.3.3 Abwägung

Mit den in der fachlichen Beurteilung angesprochenen Punkten gehen nicht nur Verbesserungen sondern auch Risiken und Kostenerhöhungen in den früheren Projektphasen einher. Gesamtheitlich betrachtet überwiegen aber die fachlichen und wirtschaftlichen Vorteile in den sensiblen Bereichen hinsichtlich der Einbauten.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**+**
Aufwand / Mitteleinsatz	**o**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**+**

Als Maßnahme bzw. Lösung wird vorgeschlagen einerseits die Aufbereitung in 3D der Bestandseinbauten bei sensiblen und kritischen Bereichen unter Berücksichtigung eines Einbautenkoordinators, durchzuführen und andererseits Vorgaben für die Aufbereitung in 3D zu definieren,

7.1.4 Vorportalbereich (Einbautenplanung)

7.1.4.1 Fachliche Beurteilung

Der Vorportalbereich bei großen Straßeninfrastrukturprojekten ist aufgrund der vielen gegenseitigen Wechselwirkungen und Schnittstellen zwischen den Fachplanern und deren unterschiedlichen Gewerke und der vielfältigen Anforderungen (Verkehrsleitung, Verkehrssteuerung, Verkehrssicherheit, betriebliche Einrichtungen, Platz für Rettungseinsätze, etc.) durch zahlreiche komplexe räumliche und zeitliche Abhängigkeiten gekennzeichnet. Aufbauend auf die in Kapitel 3.4 und 4.4 beschriebenen Punkte lassen sich die potentiellen Verbesserungspunkte für den Vorportalbereich in 3 wesentliche Bereiche unterteilen:

- Gesamtkoordination Einbautenplanung,
- Einheitliche Planungstiefe / Beauftragungstiefe
- und 3D Planung der Einbauten

Zusammenfassend können folgende wesentliche Vorteile (Verbesserungen und Optimierungen) für die Einbautenplanung im Vorportalbereich erzielt werden:

- Gesamtkoordination Einbautenplanung
    - Erhöhung des Problembewusstseins hinsichtlich der Themenstellung bei allen Prozessbeteiligten.
    - Sicherung der Einhaltung eines klaren Planungsablaufs und zeitliche Zuordnung für die einzelnen Planer.

- Geringere Reibungsverluste in der Abstimmung.
- Überprüfung von auftretenden Konfliktbereichen bei den Gewerken (der unterschiedlichen Planer).
- Reduzierung der Konflikte und Kollisionen von Einbauten und unterirdischen Gewerken.

- Einheitliche Planungstiefe / Beauftragungstiefe
  - Eine einheitliche Planungstiefe (der geometrischen Angaben) aller Gewerke über lange Zeit und unter Summe mehrerer Projekte betrachtet, erhöht die Gesamtqualität im Vorportalbereich.
  - Reduzierung der Konflikte und Kollisionen in den weiteren Planungsphasen von Einbauten und unterirdischen Gewerken.
- 3D Planung der Einbauten
  - Erhöhung der Qualität bei Vorprotalbereichen durch eine 3D Planung der Einbauten.
  - Frühzeitiges Erkennen von etwaigen Konflikten und Kollisionen der unterirdischen Gewerke.

Als potentielle Nachteile müssen angeführt werden:

- Ein gleicher Planungsfortschritt bzw. eine gleiche Planungstiefe kann nur zu einem gewissen Maß gewährleistet werden. D.h. es bleibt eine Restunsicherheit bestehen.
- Rasche Änderungen bzw. Weiterentwicklung der Standards und Normen vor allem im Bereich E&M stehen im Widerspruch zu einer hohen Planungstiefe in frühen Projektphasen.
- Erhöhter Abstimmungsbedarf in den frühen Planungsphasen.

7.1.4.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Aufbauend auf die fachliche Beurteilung lassen sich der finanzielle Mitteleinsatz sowie die Aufwände in nachfolgende Vor- und Nachteile zusammenfassen:

Nachteile sind:

- Höhere Kosten in frühzeitigen Planungsphasen durch

- Gesamtkoordination bei den Einbauten,
- Gewährleistung gleicher Beauftragungstiefe (Planungstiefe) bei allen Gewerken
- und 3D Planung der Einbauten.

Vorteile sind:

- Kosteneinsparungen durch
  - Eine verbesserte Koordinierung und einheitliche Planungstiefe in den späteren Planungsphasen und eventuell sogar bei der Bauherstellung.
  - Die Minimierung von späteren Um- und Neuplanungen durch die mögliche Konfliktprüfung aufgrund der 3D Planung.
  - Entfall von rechtlich relevanten Projektänderungen durch zeitgerechte Berücksichtigung.

7.1.4.3 Abwägung

Bei der fachlichen Betrachtung überwiegen eindeutig die Nutzen bzw. Verbesserungen. Bei den Kosten-Aspekten ist festzustellen, dass eine Erhöhung des Mitteleinsatzes in früheren Planungsphasen durch eine zusätzliche Gesamtkoordination bei den Einbauten, Gewährleistung gleicher Beauftragungstiefe (Planungstiefe) bei allen Gewerken und eine 3D Planung der Einbauten, erforderlich ist und damit den finanziellen Aufwand vergrößert. Im Gegenzug kann allerdings in den späteren Planungsphasen und eventuell sogar bei der Bauherstellung, ein Nutzen erzielt werden, der monetär größer zu bewerten ist.

Komplexe Planungsthematiken sollten grundsätzlich möglichst frühzeitig mitbetrachtet werden wobei eine konsistente Lösungen im Planungsprozess schwer umsetzbar erscheint.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**++**
Aufwand / Mitteleinsatz	**o**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**+**

Als Maßnahme bzw. Lösung wird vorgeschlagen einen Einbautenkoordinator (technische und zeitliche Koordination) für den Vorportalbereich einzusetzen und eine 3D Planung der Einbauten im Vorportalbereich umzusetzen. Weiters sollten soweit wie möglich gleiche Beauftragungstiefen bei allen Gewerken unter zeitlicher Berücksichtigung der Abfolgen im Planungsprozess, gewährleistet werden.

7.1.5 Datenaustausch Trassierungsprogramme

7.1.5.1 Fachliche Beurteilung

Die standardisierte Vorgehensweise ist eine Weitergabe von 2D Trassierungsdaten wobei diese in analoger Form (Farbplots) und in digitaler Form (pdf-Dateien und dwg-Dateien) aufbereitet werden.

Bei einer Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten

- Sind derzeit die Schnittstellen zwischen den Trassierungsprogrammen zwar teilweise vorhanden erlauben aber meistens nur eine eingeschränkte Weitergabe der Trassierungsdaten (z.B. nur der Achse in Lage und Höhe aber nicht des Querschnittes). Eine komplette und vollständige Weitergabe ist natürlich zwischen der gleichen Trassierungssoftware möglich.
- Entfällt die Nachtrassierung und damit mögliche Fehler.
- Entfällt die Nachtrassierung und durch diese Vorgangsweise besteht das erhöhte Risiko, dass Daten leichtfertig kopiert werden und eine sogenannte „Black-Box“ entsteht und dadurch die Trassierungsdaten ungeprüft (und womöglich mangelhaft) in die weitere Planung übernommen werden.
- Fehlen derzeit noch Vorgaben (wie Projektabgrenzung im Trassierungsprogramm, Lieferumfang und Datenformate) um eine standardisierte Weitergabe von 3D Trassierungsdaten zu ermöglichen.
- Kann die Weitergabe bzw. die Erstellung der Planunterlagen sowie der 2D Trassierungsdaten in analoger Form (Farbplots) und in digitaler Form (pdf-Dateien und dwg-Dateien) nicht entfallen.

7.1.5.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Das Schaffen eines Standards hinsichtlich Datenweitergabe und Workflow ist ein Prozess, der einmalig Aufwand (zeitlich und somit auch Kosten) verursacht. Der Nutzen

der Zeit- und Kostenersparnis entsteht allerdings anschließend bei allen Vorhaben durch Entfall der Nachtrassierung. Jedoch ist lediglich von relativ geringen Zeit- und Kostenersparnissen bei den Projekten auszugehen.

Nachteile sind:

- Einmalige Kosten für die Festlegung der Standards.
- Kostenerhöhung durch erhöhten Zeitaufwand.

  Bei der Übermittlung und der weiterfolgenden Verwendung von ungeprüften 3D Trassierungsdaten ist kurzfristig eine Zeitersparnis gegeben, jedoch besteht dadurch die Gefahr Planungsfehler zu übernehmen und damit in Summe sich ein erhöhter Zeitaufwand einzuhandeln.

Vorteile sind:

- Kostenersparnis durch den Entfall der Nachtrassierung.

7.1.5.3 Abwägung

Bei einer Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten steht der möglichen Kostenersparnis in der Planung durch Entfall der Nachtrassierung, eine potentielle Qualitätseinbuße (durch eine mögliche Einsparung der Prüfung) gegenüber.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**-**
Aufwand / Mitteleinsatz	**o**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**-**

Es wird daher derzeit keine Maßnahme zur Umsetzung der Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten empfohlen. Es wird aber darauf hingewiesen, dass derzeit internationale Schnittstellen (wie. z.B. IFC-Austauschformat) sich in Ausarbeitung befinden wodurch eine Weitergabe von 3D Trassierungsdaten in Zukunft erleichtert wird aber das Risiko eines Entfalls der Plausibilitätsprüfung bestehen bleibt.

7.2 Zielsetzung Betrieb: Fahrdynamikuntersuchungen

7.2.1 Fachliche Beurteilung

Mit einer entsprechenden Qualität der Daten aus der Vermessung und technischen Planung als Grundlage für die Fahrdynamikuntersuchung ermöglicht diese eine weitere Detektion von Mängeln in der Trassierung und Linienführung sowie ungünstiger Quer- oder Längsneigungen auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen repräsentativen Fahrzeugtypen. Durch die fahrdynamische Analyse wird eine sofortige Überprüfung der Auswirkungen von Änderungen in unterschiedlichen Planungsphasen zeitnah möglich. Somit ergibt sich eine faktenbasierte Entscheidungshilfe bei Variantenunterschieden u.Ä. Als Nutzen aus der fahrdynamischen Untersuchung ergibt sich die Möglichkeit weitere Mängel unter Berücksichtigung aller Verkehrsteilnehmer zu detektieren. Nicht nur in Bezug auf die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer sondern, wie schon gezeigt, auch in Bezug auf unterschiedliche Geschwindigkeiten, Fahrlinien und Fahrtrajektorien können mitunter auch personenspezifische Fahrlinien untersucht werden und entsprechende Auswirkungen von Kurvenfolgen können detaillierter betrachtet und Auswirkungen dargestellt werden. Auch eine Analyse der Sichtabschattungen durch statische Objekte oder bewegte und statische Fahrzeuge kann zur weiteren Mängeldetektion und Verbesserung der Planungsvariante führen.

Die Beurteilung und Analyse von realen Verkehrsverhältnissen und Möglichkeiten von Variantenstudien ist ebenso ein großer Vorteil, als auch die Möglichkeit aus der Planung geänderte Straßenführungen umgehend zu überprüfen und dessen Auswirkungen, Vor – und Nachteile zu bewerten und abzubilden. Nicht nur die Möglichkeit einer Analyse des Fahrverhaltens und der Wahrnehmungsgrenzen sondern auch die Abbildung von Blickzuwendungen, Sichtweiten und Abkommensanalysen in Bezug auf das Böschungsprofil sind möglich. Damit ergibt sich zusammen mit der Analyse der Human Factors eine Möglichkeit Gefahrenstellen zu ermitteln und Mängel zu erheben und mit entsprechenden Maßnahmen zu entschärfen, um nicht nur eine Vermeidung von Unfallhäufungsstellen zu gewährleisten sondern auch Gefahrenstellen umgehend zu beseitigen und die Verkehrssicherheit maßgeblich zu erhöhen.

7.2.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Als einmaliger Aufwand wäre als Mitteleinsatz die fachgerechte und eindeutige Definition der Schnittstelle zum Datenaustausch der Straßenplanungsdaten aus der

Planung für die Fahrdynamikuntersuchung, zur Minimierung einer entsprechenden neuerlichen Aufbereitung, zu nennen. Der Aufwand der Fahrdynamikuntersuchung an sich ist abhängig von den gewünschten und notwendigen Untersuchungsmöglichkeiten hinsichtlich Fahrzeugtypen oder auch Berücksichtigung von Fußgängern und Fahrradfahrern zum Beispiel bei Konfliktuntersuchungen. Teilweise massive Einsparungen können unmittelbar durch Erhöhung der Planungssicherheit und deren Auswirkungen (wie Verfahrenssicherheit, Reduktion von Umtrassierungen und deren Auswirkungen, etc.) erzielt werden. Ein großes Einsparungspotential besteht in späteren Phasen durch Steigerung der Verkehrssicherheit und damit die Reduktion von volkswirtschaftlicher Unfallfolgekosten und Umbaumaßnahmen.

7.2.3 Abwägung

Der Nutzen eines entsprechenden Aufbereitungsprozesses und die resultierende Qualität ist sehr hoch einzustufen und ermöglicht nicht nur eine geringeren zeitlichen Aufwand in der Aufbereitung der Daten zur fahrdynamischen Analyse sondern ermöglicht in weiterer Folge eine vielseitige Nutzung der Datengrundlage im Rekonstruktionsprogramm. Es ergibt sich durch die fahrdynamische Betrachtung eine Kostenreduktion durch einerseits eine Zeitersparnis im Projektablauf (fachliches hinterlegen von Trassierungen durch eine wissenschaftliche Methode) und andererseits Vermeidung von späteren Anpassung bei der Trassierung sowie deren Folgewirkungen. Die Mehrkosten der entsprechenden fahrdynamischen Analyse ist gegenüber den entsprechenden Aufwand bei Entschärfung von Unfallhäufungsstellen Umplanungskosten oder Umbaukosten erheblich geringer und schafft noch zusätzlich weitere Vorteile und spätere Nutzungsmöglichkeiten.

Die Einsparung von Folgekosten durch die Fahrdynamikuntersuchungen und frühzeitige Erkennung von Mängeln und Gefahrenquellen, sowie die Kosten aufgrund von Umplanungen von Straßenabschnitten können erheblich sein, sofern diese in der richtigen frühen Planungsphase, spätestens aber im Zuge des Einreichprojektes durchgeführt wird. Auch die Kosten für spätere zusätzliche Straßenplanungen können teilweise gänzlich entfallen. Die Steigerung der Verkehrssicherheit durch die Vielzahl an detektierten Mängeln bietet ebenfalls ein großes Einsparungspotential, betreffend volkswirtschaftlicher Folgekosten usw.

Hierbei noch erwähnt sei, dass viele Mängel (hinsichtlich Verkehrssicherheit) damit überhaupt erst erkannt werden können, welche sonst erst später im Betrieb erkannt

worden wären. Die hohe Kosteneinsparung durch den möglichen Entfall bzw. die Reduktion hoher Unfallfolgekosten und eventueller Umbaukosten (beispielsweise bei Kreisverkehr – Kreuzung) spricht klar für die Einbindung einer entsprechenden Fahrdynamikuntersuchung, bevor es zu Problemen kommt. Ein weiterer klarer Vorteil ist die Entscheidungshilfe für unterschiedliche Planungsvarianten (Variante A und B). Hierbei ermöglicht die Fahrdynamikuntersuchung eine Datengrundlage, die einer bis dato getroffene „Bauchgefühl"-Entscheidung klar vorzuziehen ist und dient auch einer faktenbasierten Grundlage bei Behördenwegen.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	**++**
Aufwand / Mitteleinsatz	**++**
Abwägung / Gesamtbeurteilung	**++**

7.3 Zielsetzung Bau: Stabilität Ausführungsplanung

7.3.1 Fachliche Beurteilung

Eine fachliche Beurteilung von 3D Planung oder der Voraussetzung über die 3D Vermessung erfolgt hier nicht, da in der Ausschreibungs- und folgenden Ausführungsplanung für die erforderliche Detaillierung die Grundlagen vorliegen müssen. Idealerweise sind diese über das Pflichtenheft Vermessung schon frühzeitig geschaffen worden und letztlich (nur) schrittweise detailliert worden. Eine Detaillierung ist letztlich der erforderliche und hilfreiche Weg. Der Gegensatz dazu ist die Änderung, mit der der tatsächliche Bestand anders dargestellt wird und folglich andere Voraussetzungen geschaffen werden. Dadurch ändert sich in der Folge die Planung oder die Ausführung bzw. ist anders erforderlich als in der Planung dargestellt. Genau diese Situation gilt es zu vermeiden.

7.3.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Ziel ist es – wie o.a. – eine möglichst stabile Planung der Ausschreibung und dem Bau zu Grunde zu legen. Eine stabile Planung fußt auf einer soliden 3D Vermessungsgrundlage. Der Vorteil aus einer soliden Planungsgrundlage durch eine entsprechende Qualität der 3D Vermessung ist die Möglichkeit der Reduktion von

Mehrkostenforderungen der Baufirma durch Reduktion des Risikos später Erkenntnisse in der Planungsphase oder vor Ort in der Ausführung.

7.3.3 Abwägung

Da sämtliche Voraussetzungen mit Vorleistungen aus der Planung (Vermessung, techn. Planung) erbracht werden, sind keine weiteren Kosten (additiv zu jenen aus Erstellung Prüfbuch und Ausschreibung 3D Vermessung) zu erwarten.

Mit einem verhältnismäßig geringen Zusatzaufwand in der Schaffung der Grundlagen kann man folglich potentiell empfindlichen Mehrkosten in der Ausführungsphase vorbeugen.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	
Aufwand / Mitteleinsatz	++
Abwägung / Gesamtbeurteilung	++

7.4 Zielsetzung Kommunikation: Grundlage Visualisierung

7.4.1 Fachliche Beurteilung

Die potentiellen Verbesserungspunkte hinsichtlich Visualisierung sind einerseits das Schaffen eines Standards für die technische Aufbereitung der Geländeaufnahme 3D Vermessung als Grundlage bzw. des 3D Geländemodells und andererseits die Abstimmung mit dem technischen Planer. Durch die zentrale und standardisierte Erstellung einer 3D Vermessung und eines 3D Geländemodells (siehe auch Kapitel 7.1.1 und 7.1.2) wird der gestreute Bearbeitungsaufwand reduziert und es kann vor allem die Qualität und Schlüssigkeit der Visualisierung erhöht werden. Sollte kein 3D Geländemodell vorhanden sein kann trotzdem durch die Schaffung eines Datenstandards die Voraussetzung für das reibungslosere Erstellen eines 3D Geländemodells (durch den Visualisierer) geschaffen werden. Entsprechend können hier sowohl für den Workflow und die Arbeitszeit als auch für Datenaustausch und Schlüssigkeit Voraussetzungen geschaffen werden.

Die Einarbeitung des technischen Projekts in die Visualisierung ist abhängig von der Qualität der verfügbaren Trassierungsdaten. Eine 3D Trassierung des

Straßenprojektes, welche aber durchwegs bei Verkehrsinfrastrukturprojekten schon gängige Praxis ist, ermöglicht die Übermittlung von relevanten 3D Daten (als 3D Polylinien wie Achse, Fahrbahnränder, Böschungsober- und Unterkante, Stützkonstruktionen, etc.). Damit bleiben allerdings noch einzelne Themen bzw. Details, die nicht aus der Trassierung in 3D ausgegeben oder projektiert werden, übrig. Hier gilt es vorab entsprechende Abstimmungen zu führen, um einerseits zu klären, was als 3D Grundlage für den Visualisierer verfügbar ist und vor allem, was händisch bearbeitet werden muss und wie. Vor allem mit einer standardisierten 3D Vermessung können hier deutlich Bearbeitungsvorteile erzielt werden.

7.4.2 Aufwand / Mitteleinsatz

Die Visualisierung von Verkehrsinfrastrukturprojekten ist keine technische Notwendigkeit sondern vielmehr ein Werkzeug zur vereinfachten Darstellung von komplexen, technischen Planungen und dient vor allem der Kommunikation und der Öffentlichkeitsarbeit. Als solches ist diese im Zuge der technischen Planung nicht unbedingt erforderlich aber oft hilfreich. Da die Visualisierung somit ein „Nice-to-have“ ist, ist es umso interessanter hier zu sparen, selbst wenn das Einsparungspotential in absoluten Zahlen vergleichbar gering ist.

7.4.3 Abwägung

Mit den in der fachlichen Beurteilung angesprochenen Punkten gehen allerdings nicht nur Verbesserungen sondern auch Bearbeitungsvereinfachungen oder zumindest – Erleichterungen einher. Da dieser Nutzen nicht durch Maßnahmen herbeigeführt wird, die speziell auf die Visualisierung abstellen, sondern überwiegend die Verbesserungspunkte bei der Schaffung konsistenter Vermessungsgrundlagen (Geländeaufnahme 3D Vermessung) aufgreifen, kann man hier von einem Zusatznutzen für die Visualisierung sprechen der durch die Schaffung guter Planungsgrundlagen entsteht. Das Thema Kommunikation / Visualisierung stützt folglich die Empfehlung aus den beiden Punkten „3D Vermessung“ und „3D Geländemodell“. Als Maßnahme bzw. Lösung wird daher auch hier vorgeschlagen, Vorgaben (ein Pflichtenheft) „3D Vermessung“ zu erstellen und daraus auch ein Leistungsbild sowie ein Leistungsverzeichnis abzuleiten. Weiters sollten die Vorgaben und Rahmenbedingungen aus der 3D Trassierung definiert werden.

Die Bewertung kann folglich insgesamt wie folgt zusammengefasst werden:

fachliche Bewertung	+
Aufwand / Mitteleinsatz	o
Abwägung / Gesamtbeurteilung	+

7.5 Übersicht der Nutzen und Kosten

	Maßnahme	fachliche Beurteilung	Aufwand	Abwägung
PLANUNG				
Grundlage: 3D Vermessung (Geländeaufnahme)	Pflichtenheft; Leistungsbe-schreibung	++	+	++
Grundlage: 3D Geländemodell	Pflichtenheft; Leistungsbe-schreibung; Eindeutige Definition; zentrale Erstellung durch Vermessung	+	++	++
Grundlage: Erhebung Bestandseinbauten und Aufbereitung in 3D Daten	Vorgaben; Einbautenkoordin ator; Für sensible und kritische Bereichen	+	o	+
Vorportalbereich Einbautenplanung	Einbautenkoordin ator; Vorgaben Prozess / Workflow hinsichtlich Planungstiefe; 3D Planung	++	o	+
Datenaustausch Trassierungsprogramme Weitergabe von 3D Trassierungsdaten	Keine empfohlen	-	o	-
Planung und Betrieb				
Fahrdynamische Untersuchung	in Planungsprozess implementieren; 3D Trassierung	++	++	++

Bauphase				
Stabilität der Ausführungsplanung Gesamtheitliche Betrachtung	Stabilität durch Maßnahmen in der Planung erhöhen		++	++
Kommunikation				
Grundlage für Visualisierung	Pflichtenheft; Leistungsbe-schreibung 3D Vermessung & Vorgaben 3D Trassierung	+	o	+

8 AUSBLICK BEI 3-DIMENSIONALER VERKEHRSPLANUNG

Aufbauend auf die Erkenntnisse und die Literaturrecherche [44] [45] [46] für das vorliegende Projekt erfolgt ein Ausblick auf die voraussichtliche weitere Entwicklung bei der 3D Planung von Infrastrukturprojekten.

Eine 3D Trassierung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten ist derzeit aufgrund der vorhandenen Software schon möglich und bei Straßenprojekten durchwegs gängige Praxis. Derzeit wird bei einigen Pilotprojekten die Projektabwicklung mittels Building Information Modeling (BIM) durchgeführt bzw. getestet. Die Umsetzung, der Einsatz sowie die Weiterentwicklung von BIM im Infrastrukturbereich wird international sowie national stark forciert. Aufgrund dieses Umstandes erfolgt auch eine intensive Entwicklung und Anpassung bei den Softwareherstellern bzw. den Trassierungsprogrammen. Dadurch ist davon auszugehen, dass auch in den nächsten Jahren der Standard und die Möglichkeiten von Trassierungsprogrammen hinsichtlich Umfangs (d.h. Darstellung und Planung von sehr vielen Objekten im Straßenraum in 3D), Genauigkeit und Qualität von 3D Straßenprojekten, weiter gesteigert wird. Es wird eine objektbezogene Projektierung der Straße erfolgen, bei welcher Vorgaben für die Elemente (Objekte), die zugehörigen Attribute sowie des Detaillierungsgrads in den Planungsphasen vorliegen.

Die Normierung und Standardisierung bilden eine wesentliche Basis bei einer Anwendung von BIM. Die begonnene Standardisierung des Datenformates Industry Foundation Classes (IFC) wird zukünftig in den Bereichen Straße, Schiene und Brücke (Module IFC Road, IFC Rail, und IFC Bridge) weiter entwickelt und um die Bereiche Tunnel und Wasser ergänzt.

Gelöst werden müssen in Zukunft noch die Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Software, die wegen der umfangreichen und großen Datenmengen bei Infrastrukturbauten teilweise auftreten.

Aufgrund der Entwicklungen im Bereich BIM können bei der großen Anzahl unterschiedlicher Planungen (Gewerke), die sich wegen der Vielzahl an unterschiedlichen Fachplanern sowie der Größe der Projekte bei Infrastrukturprojekten ergeben, zukünftig vermehrt automatisierte Kollisionskontrollen durchgeführt werden. Damit wird es möglich frühzeitig Fehlerquellen zu entdecken und alternative Lösungen zu erarbeiten, welche aber eine erhöhte Planungstiefe in früheren Projektphasen notwendig machen.

Es ist auch davon auszugehen, dass Standards und Vorgaben hinsichtlich der benötigten Grundlagen (z.B. Geländeaufnahme) für BIM und damit auch für die 3D Planung, konkretisiert werden. In weiterer Folge werden auch höhere qualitative Anforderungen an die Grundlagen gestellt werden, um eine tragfähige Planung mit höherem Informationsgehalt, gewährleisten zu können.

Die Weiterentwicklung des BIM Prozesses und die vermehrte Anwendung im Planungsprozess von Infrastrukturprojekten steht außer Diskussion, lediglich wie schnell und rasant die Entwicklung bzw. Umsetzung bei den Projekten voranschreitet, ist derzeit nicht abschätzbar.

In der Zukunft ist auch von weiteren Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der Fahrdynamik und Human Factors bei Verkehrssicherheitsuntersuchungen [47], auszugehen. Dadurch, wie auch das vorliegende Projekt zeigt, kann eine klare Steigerung der Verkehrssicherheit und eine nachhaltige Vermeidung von Unfallhäufigkeitsstellen durch die frühe Einbindung der Analysemethodik in die Planungsphase, bei Infrastrukturprojekten erzielt werden. Dadurch kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass zukünftig fahrdynamische Untersuchungen im Planungsprozess zum Standard werden.

9 SCHLUSSFOLGERUNG UND EMPFEHLUNG

Bereits eingangs wird in Kapitel 2.3 erläutert, dass die Analyse der 3D Planung nicht zu einer Gesamtempfehlung führt. Die verschiedenen Aspekte der 3D Planung wurden für sich betrachtet und jeweils einzelne Schlüsse aus dem Vergleich von aktuell etablierter Vorgehensweise, verfügbare Möglichkeiten und technische Mittel und daraus folgend dem Nutzen als Verbesserungspotential in Gegenüberstellung zu dem diesen Nutzen bedingenden Einsatz von Zeit und Geld gezogen.

Es erfolgt folglich keine Gesamtbewertung sondern vielmehr zu den einzelnen Maßnahmen und Untersuchungsschwerpunkten eine Bewertung und gegebenenfalls eine Empfehlung zur Umsetzung. Nachfolgende Maßnahmen, die sich zur Umsetzung empfehlen und denen diesbezüglich Priorität eingeräumt werden sollte:

1. Vorgaben Vermessung (Pflichtenheft):

   Es zeigt sich in verschiedenen Aspekten der vorliegenden Untersuchung, dass das Schaffen eines einheitlichen Standards der Geländeaufnahme bzw. der Vermessung (Klärung / Ausräumen von Interpretationsspielräumen bei verwendeten Begrifflichkeiten, einheitliches Leistungsbild, Erstellung des 3D Geländemodells durch den Vermesser,…) die wesentliche Grundlage für Erleichterungen und Verbesserungen bildet. Diese Verbesserungen betreffend den Entfall von Mehrfachbearbeitungen (3D Geländemodell), Zeiteinsparungen durch die Qualität, Entfall von potentiellen Zusatzleistungen durch klares Leistungsbild, Klarheit über zu liefernde Inhalte und gute Verarbeitbarkeit der Grundlage. Dadurch sind alle Planer Nutznießer dieser Verbesserung, die ein 3D Geländemodell benötigen (Straßenplanung, Immissionsmodellierung, Visualisierung, etc…). Vor allem aber für die technische Planung als Leitplanung des Vorhabens entsteht wesentlicher Nutzen durch konsistente Daten (inkl. Einbauten). Da dieser Nutzen durch vergleichbar geringen und großteils einmaligen Aufwand im Rahmen der Erstellung der Vorgaben 3D Vermessung und 3D Geländemodell („Pflichtenheft“) geschaffen werden kann, wird zuallererst die Umsetzung dieser Vorgaben empfohlen.

2. Fahrdynamische Untersuchung

   Die dreidimensionale Planung bietet eine Grundlage für die Fahrdynamikanalyse, welche auch darüber hinaus vielseitig genutzt und

weiterverwendet werden kann. Die Berücksichtigung und Untersuchung von fahrdynamischen Aspekten in der Planungsphase ergibt eindeutig mehrere Vorteile hinsichtlich der Verbesserung und Steigerung der Verkehrssicherheit und damit teilweise massives, unmittelbares und späteres Einsparungspotential durch z.B. Reduktion von volkswirtschaftlicher Unfallfolgekosten und Umbaumaßnahmen:

- Erkenntnisse über die Planung / Planungsvariante über einzelne Problempunkte hinaus.
- Systematisches Erkennten von fahrdynamischen Themen während der Planung statt nachgelagerter Analyse.
- Zeiteffizienz durch Implementierung in den laufenden Planungsprozess.
- Graduelle Vor- und Nachtteile bei Variantenentscheidungen detektierbar.
- Frühzeitige Behebung von Problempunkten statt nachgelagertem Korrigieren.
- Dadurch insgesamt Erhöhung der Planungssicherheit und der Planungsqualität.

Die Fahrdynamikuntersuchung umfasst dazu mehrere Detailanalysen und kann vor allem zur Mängelerhebung und Maßnahmenerstellung sowie zur Steigerung der Verkehrssicherheit beitragen. Die Berücksichtigung der Human Factors sowie auch die statische und dynamische Sichtweitenuntersuchung bietet neben der Fahrdynamikuntersuchung eine datenbasierte und detaillierte Möglichkeit, mehr Gefahrenstellen und Konfliktpotential frühzeitig von geplanten Streckenabschnitten zu detektieren, um dann entsprechende Maßnahmen zu setzen.

Um die Verkehrssicherheit zu erhöhen und Unfallhäufungsstellen gar nicht erst entstehen zu lassen, kann eine Einbindung der Fahrdynamikanalyse in den Planungsprozess definitiv empfohlen werden, zumal der Kostenaufwand für eine solche Untersuchung an sich vergleichbar niedrig ist und durch den potentiellen Entfall späterer Anpassungen oder Umplanungen jedenfalls zu rechtfertigen ist.

3. Einbautenkoordination

   Der Planungsprozess im Vorportalbereich bzw. die Schnittstelle zu bestehenden sowie zu planenden Einbauten zeigt, dass es sich hier um einen komplexen Prozess handelt. Da die Thematik aus rein technischen Aspekten bereits in einigen Einzeldisziplinen anspruchsvoll ist und die Anzahl der Schnittstellen hoch ist, kann man durch die Zuordnung einer Zuständigkeit oder Verantwortung einer Einbautenkoordination diesen verquickten Prozess entwirren und eben eine Verantwortung etablieren. Dazu wäre der Einsatz einer Einbautenkoordination bzw. das Vorsehen dieser Funktion im Rahmen eines Leistungsbildes (z.B. techn. Straßenplanung…) zu empfehlen.

Weitere Empfehlungen können hier ebenfalls angeführt werden, treten aber in der Tragweite deren Wirkung hinter die 3 prioritären Empfehlungen zurück. Diese Maßnahmen betreffen vorrangig die Aufbereitung in 3D Daten der Bestandseinbauten, das Erlangen einer einheitlichen Planungstiefe im Vorportalbereich und die Vertiefung der Schnittstelle zum Import der 3 Dimensionalen Daten aus der Straßenplanung in das Rekonstruktionsprogramm PC Crash.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Die übergeordneten Ziele gemäß der Aufgabenstellung bzw. des gegenständlichen Verkehrsinfrastrukturforschungsprojektes:

- Ob mit einer 3D Planung (einer 3D Trassierung der Straße) ein Mehrwert erzielt werden kann.
- Unter welchen Voraussetzungen dieser Mehrwert erzielt werden kann,
- und ob der erzielbare Benefit in Abwägung mit den dazu erforderlichen Leistungen verfolgt werden soll

wurden überprüft. Die Formulierung der fachlich-inhaltlichen Ziele und damit die Ableitung der Untersuchungsschwerpunkte wurden im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelt und orientierten sich an den potentiellen Vorteilen gemäß der Aufgabenstellung. Diese wurden durch Erkenntnisse und Überlegungen während der Erarbeitung ergänzt und geschärft. Als wesentliche Untersuchungsschwerpunkte wurden festgelegt:

- 3D Vermessung (Geländeaufnahme),
- 3D Geländemodell,
- Erhebung der Bestandseinbauten und Aufbereitung in 3D Daten,
- Einbautenplanung im Vorportalbereich,
- Datenaustausch bei Trassierungsprogramme und Weitergabe von 3D Trassierungsdaten,
- Schnittstellen/Datenaustausch – zwischen Trassierung und fahrdynamische Untersuchung,
- Fahrdynamische Untersuchung,
- Umsetzung und Stabilität der Ausführungsplanung (Gesamtheitliche Betrachtung) und
- Visualisierung

Die Untersuchungsschwerpunkte wurden an Hand von laufenden Planungsprozessen, auf Basis von Erfahrungen bereits abgewickelter Projekte und eines ausgewählten Anwendungsbeispiels (A 8 Anschlussstelle Wels-Wimpassing) analysiert. Aufbauend

auf die Analyse des Status Quo bzw. des Ist-Zustands wurden Methoden und Maßnahmen entwickelt und einer Bewertung mit Hilfe einer Nutzen-Untersuchung unterzogen. Es erfolgte keine Gesamtbewertung sondern vielmehr die Beurteilung von Einzelmaßnahmen mit einer Einstufung der Vor- und Nachteile in einer 5-stufigen Skala, um besonders nützliche Themen als prioritär hervorzuheben oder Themen mit voraussichtlich geringerem Nutzen-Kosten-Verhältnis zurückzustellen.

Nachfolgen sind die Ergebnisse für die maßgebenden Untersuchungsschwerpunkte aufgleistet:

3D Vermessung und 3D Geländemodell stellen die Basis bzw. die wesentliche Grundlage für viele Bereiche und Disziplinen dar. Es zeigt sich in verschiedenen Aspekten der vorliegenden Untersuchung, dass das Schaffen eines einheitlichen Standards der Geländeaufnahme 3D Vermessung und des 3D Geländemodells nur Nutzen mit praktisch keinen Nachteilen bewirkt. Diese Nutzen betreffen den Entfall von Mehrfachbearbeitungen (3D Geländemodell), Zeiteinsparungen durch die Qualität, Entfall von potentiellen Zusatzleistungen durch klares Leistungsbild, Klarheit über zu liefernde Inhalte und gute Verarbeitbarkeit der Grundlage.

Fahrdynamische Untersuchungen werden bisher nicht standardmäßig im Rahmen von Planungsprozessen eingesetzt. Allerdings könnte mit einer Implementierung von fahrdynamischen Analysen im Planungsprozess von Verkehrsinfrastrukturprojekten das Ergebnis der Planung fachlich verbessert und stabilisiert werden. Dazu ist weder der Zeitbedarf noch der Mitteleinsatz hoch. Im Gegenteil, es könnte durch ein frühzeitiges Erkennen von potentiell nachteiligen Aspekten im Straßenbetrieb, die Planung im Entwicklungsprozess entsprechend angepasst werden statt erst danach, was oft einen deutlich höheren Aufwand bei mehreren Planern verursacht. Eine Berücksichtigung von fahrdynamischen Aspekten in der Planung kann folglich Nutzen im Hinblick auf Zeit, Kosten und vor allem auf Qualität und Stabilität des Planungsergebnisses bringen. Daher wird das Berücksichtigen von Fahrdynamikuntersuchungen im Rahmen der Schlussfolgerungen und Empfehlung (Kapitel 9) als prioritäre Maßnahme vorgeschlagen.

Im Hinblick auf die Bauphase konnten im Rahmen der Abwägung von Nutzen und Kosten ausschließlich Nutzen festgestellt werden. Dieses Resümee gründet sich darauf, dass sämtliche Vorleistungen in der Planung davor zu treffen sind und letztlich

die größten Kosteneinsparungen durch eine möglichst gute Planung erzielt werden können. Folglich werden mit der Qualität der Planung und deren Grundlagen – somit der Vermessung – die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass Planungsänderungen im Zuge des Baus möglichst entfallen und so Mehrkostenforderungen vom AN Bau aus Anlass der Planung bzw. deren Qualität minimiert werden. Auch dieser Aspekt spricht für die Maßnahmenempfehlung zur Umsetzung der Vorgaben für eine 3D Vermessung und 3D Geländemodell (Pflichtenheft).

Eine zusätzliche Einbautenkoordination beim komplexen Planungsprozess im Vorportalbereich, kann die vielen gegenseitigen Wechselwirkungen und Schnittstellen zwischen den Fachplanern, zwischen deren unterschiedlichen Gewerken und die zahlreichen räumlichen und zeitlichen Abhängigkeiten vereinfachen und potentielle Verbesserungen und Nutzen, bei vergleichsweise geringen Kosten, bewirken. Als wesentliche Vorteile (Verbesserungen und Optimierungen) für die Einbautenplanung im Vorportalbereich können die Sicherung der Einhaltung eines klaren Planungsablaufs sowie die zeitliche Zuordnung für die einzelnen Planer und die Überprüfung und Reduzierung von auftretenden Konfliktbereichen bei den Gewerken (der unterschiedlichen Planer) erzielt werden.

Bei der 3D Planung von Einbauten sowie bei der Aufbereitung in 3D Daten der Bestandseinbauten für sensible und kritische Bereiche überwiegen gesamtheitlich betrachtet die fachlichen und wirtschaftlichen Vorteile.

Bei einer Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten steht der möglichen Kostenersparnis in der Planung durch Entfall der Nachtrassierung, eine potentielle Qualitätseinbuße (durch eine mögliche Einsparung der Prüfung) gegenüber. Daher wird derzeit die Weitergabe der Trassierungsdaten als 3D Daten nicht empfohlen.

Für die Kommunikation im Zuge von Planungs- und Bauprojekten werden häufig Visualisierungen eingesetzt. Dadurch kann die Umsetzung eines technischen Projekts auch einer technisch nicht qualifizierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Auch dazu ist nicht mehr erforderlich als qualitativ hochwertige Grundlagen (3D Vermessung und 3D Geländemodell) und auch abgestimmte Schnittstellen.

Beim internationalen Vergleich bei der dreidimensionalen Planung bzw. der Projektierung der Verkehrsinfrastruktur konnten keine wesentlichen Unterschiede zu Deutschland aufgrund der begrenzten Anzahl der gängigen Trassierungsprogramme,

ausgemacht werden. Die erzielbare Qualität und Genauigkeit der 3D Trassierung der Straßen- oder Schienenprojekte ist neben der vorhandenen Qualität der Grundlagen (z.B. 3D Geländemodell, Geländeaufnahme, Informationen zu Einbauten, etc.) vor allem durch die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen, welche die Trassierungsprogramme vorgeben, abhängig.

Eine 3D Trassierung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten ist derzeit aufgrund der vorhandenen Software schon möglich und bei Straßenprojekten durchwegs gängige Praxis. Zukünftig wird durch die Projektabwicklung mittels Building Information Modeling (BIM) auch eine Weiterentwicklung bei den Trassierungsprogrammen erfolgen. Aufgrund der Entwicklungen im Bereich BIM können damit durch automatisierte Kollisionskontrollen, mögliche Fehlerquellen frühzeitig entdeckt und alternative Lösungen erarbeitet werden, welche aber eine erhöhte Planungstiefe in früheren Projektphasen notwendig machen. Es ist auch davon auszugehen, dass vermehrte Standards und Vorgaben hinsichtlich der Grundlagen und des Prozesses entwickelt werden. Die Weiterentwicklung des BIM Prozesses und die vermehrte Anwendung im Planungsprozess von Infrastrukturprojekten steht außer Diskussion, lediglich wie schnell und rasant die Entwicklung bzw. Umsetzung bei den Projekten voranschreitet, ist derzeit nicht abschätzbar.

Zusammenfassend kann hervorgehoben werden, dass bei einer Umsetzung bzw. Berücksichtigung einer 3-dimesionalen Verkehrsinfrastrukturplanung (bzw. einer 3D Trassierung) im Planungsprozess Mehrwerte sowohl in fachlicher als auch wirtschaftlicher Hinsicht entstehen und vor allem mit der Implementierung der fahrdynamischen Untersuchungen im Planungsprozess die Verkehrssicherheit erhöht werden kann.

11 ANHANG

1 – EN 1317-1 Festlegung für Fahrzeuge unter Prüfbedingungen

Masse kg ±								
Gesamtprüfmasse	900 ± 40	1 300 ± 65	1 500 ± 75	10 000 ± 300	13 000 ± 400	16 000 ± 500	30 000 ± 900	38 000 ± 1 100
Prüf-Trägheits-masse[a]	825 ± 40	1 300 ± 65	1 500 ± 75	10 000 ± 300	13 000 ± 400	16 000 ± 500	30 000 ± 900	38 000 ± 1 100
Einschließlich Höchstballast[b]	100	160	180	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
ATD eingebaut	78 ± 4	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich
Maße m (Grenzabwei-chung ± 15 %)								
Radspur (vorne und hinten)	1,35	1,40	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Radradius (unbelastet)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	0,46	0,52	0,52	0,55	0,55
Radstand (zwischen den äußersten Achsen)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	4,60	6,50	5,90	6,70	11,25
Lage des Masse-schwerpunkts[c,d] m								
Längsabstand von der Vorderachse (CGX) ± 10 %	0,90	1,10	1,24	2,70	3,80	3,10	4,14	6,20
Seitlicher Abstand von der Fahrzeug-mittellinie (CGY)	± 0,07	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,10	± 0,10	± 0,10	± 0,10
Höhe über dem Boden (CGZ):								
Fahrzeugmasse (± 10 %)	0,49	0,53	0,53	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
Last (+15 %, –5 %)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	1,50	1,40	1,60	1,90	1,90
Fahrzeugart	PKW	PKW	PKW	LKW ohne Anhänger	Bus	LKW ohne Anhänger	LKW ohne Anhänger	Sattelzug
Anzahl der Achsen[e]	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1/2	2 S + 2	1 S + 3/4

[a] Bei Lastkraftwagen (HGV): einschließlich Last.

[b] Einschließlich Mess- und Aufzeichnungseinrichtungen.

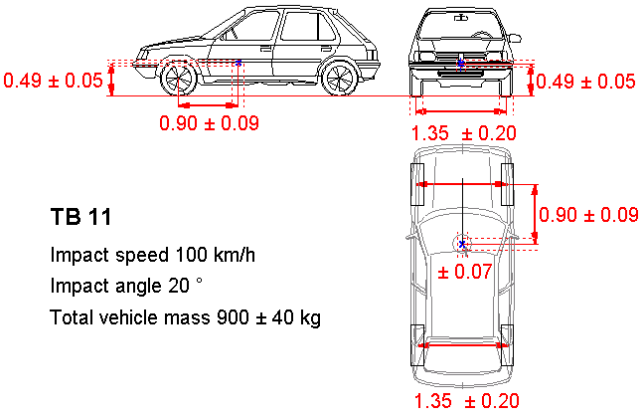
[c] Die Lage des Masseschwerpunkts des Fahrzeugs muss bestimmt werden, wenn sich im PKW kein ATD befindet.

[d] Die Lage des Masseschwerpunkts eines zweiachsigen Fahrzeugs muss nach ISO 10392 bestimmt werden.

[e] S: Lenkachse

2 – Leichter PKW (Light car)

Fahrzeugart	PKW		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	825 ± 40	785	865
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	100	100	100
Dummy	75	75	75
Gesamtprüfmasse	900 ± 40	860	940
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	1.350 ± 0.203	1.147	1.553
Radradius (unbelastet)	-	-	-
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	-	-	-
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1	1S + 1	1S + 1
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	-	-	-
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	0.900 ± 0.090	0.810	0.990
CGY	± 0.070	- 0.070	+ 0.070
CGZ Fahrzeug	0.490 ± 0.049	0.441	0.539
CGZ Last (+ 15%; -5%)	-	-	-
Fahrzeugart	PKW		



TB 11

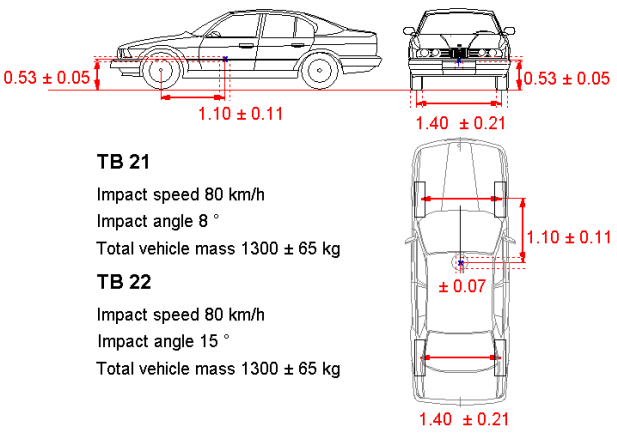
Impact speed 100 km/h

Impact angle 20 °

Total vehicle mass 900 ± 40 kg

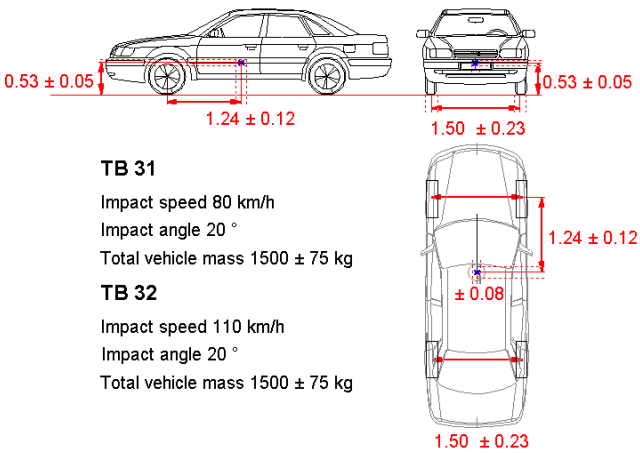
3 – Mittlerer PKW (medium car)

Fahrzeugart	PKW		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	1 300 ± 65	1 235	1 365
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	160	160	160
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	1 300 ± 65	1 235	1 365
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	1.400 ± 0.210	1.190	1.610
Radradius (unbelastet)	-	-	-
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	-	-	-
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1	1S + 1	1S + 1
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	-	-	-
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	1.100 ± 0.110	0.990	1.210
CGY	± 0.070	- 0.070	+ 0.070
CGZ Fahrzeug	0.530 ± 0.053	0.477	0.583
CGZ Last (+ 15%; -5%)	-	-	-
Fahrzeugart	PKW		



4 – Heavy car

Fahrzeugart	PKW		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	1 500 ± 75	1 425	1 575
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	180	180	180
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	1 500 ± 75	1 425	1 575
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	1.500 ± 0.225	1.275	1.725
Radradius (unbelastet)	-	-	-
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	-	-	-
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1	1S + 1	1S + 1
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	-	-	-
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	1.240 ± 0.124	1.116	1.364
CGY	± 0.080	- 0.080	+ 0.080
CGZ Fahrzeug	0.530 ± 0.053	0.477	0.583
CGZ Last (+ 15%; -5%)	-	-	-
Fahrzeugart	PKW		



TB 31

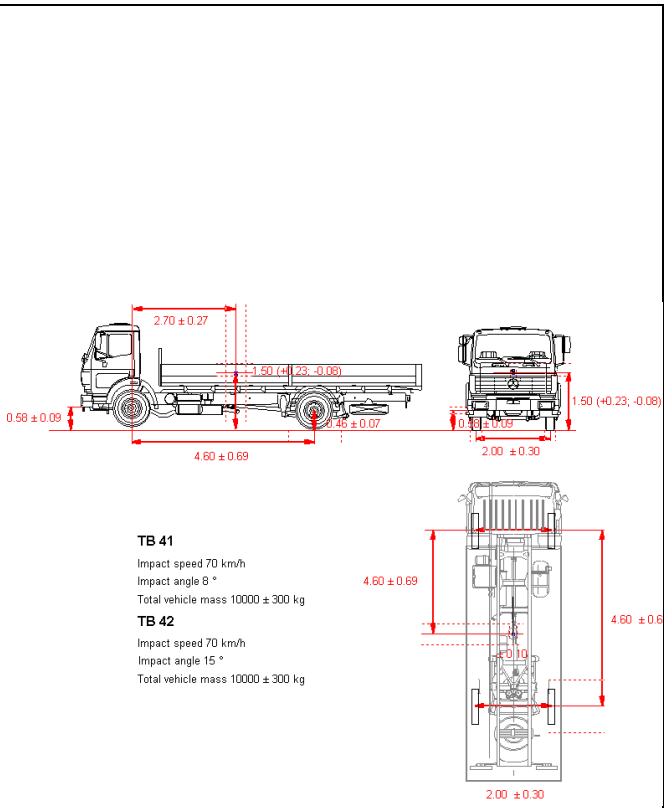
Impact speed 80 km/h
Impact angle 20 °
Total vehicle mass 1500 ± 75 kg

TB 32

Impact speed 110 km/h
Impact angle 20 °
Total vehicle mass 1500 ± 75 kg

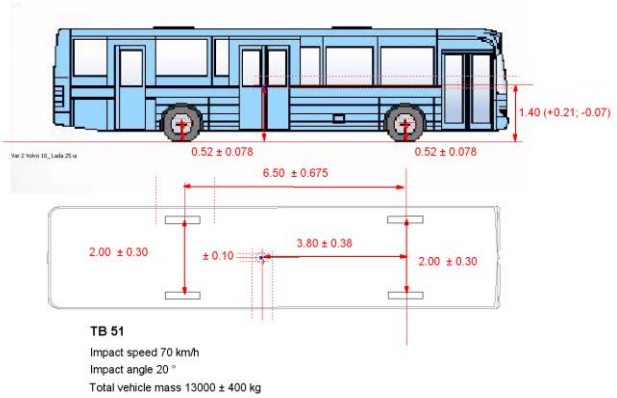
5 – Light rigid HGV

Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	10 000 ± 300	9 700	10 300
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	-	-	-
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	10 000 ± 300	9 700	10 300
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	2.000 ± 0.300	1.700	2.300
Radradius (unbelastet)	0.460 ± 0.069	0.391	0.529
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	4.600 ± 0.690	3.910	5.290
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1	1S + 1	1S + 1
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	0.580 ± 0.087	0.493	0.667
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	2.700 ± 0.270	2.430	2.970
CGY	± 0.100	- 0.100	+ 0.100
CGZ Fahrzeug	-	-	-
CGZ Last (+ 15%; -5%)	1.500 + 0.225 - 0.075	1.425	1.725
Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		



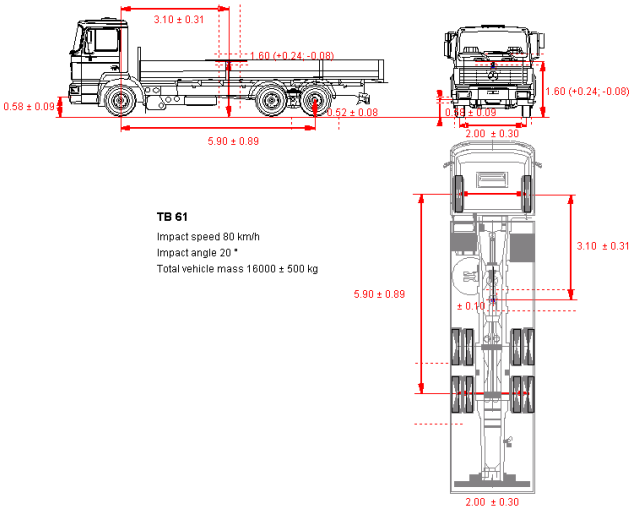
6 – Bus

Fahrzeugart	Bus		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	13 000 ± 400	12 600	13 400
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	-	-	-
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	13 000 ± 400	12 600	13 400
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	2.000 ± 0.300	1.700	2.300
Radradius (unbelastet)	0.520 ± 0.078	0.342	0.598
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	6.500 ± 0.975	5.525	7.475
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1	1S + 1	1S + 1
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	-	-	-
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	3.800 ± 0.380	3.420	4.180
CGY	± 0.100	- 0.100	+ 0.100
CGZ Fahrzeug	-	-	-
CGZ Last (+ 15%; -5%)	1.400 + 0.210 - 0.070	1.330	1.610
Fahrzeugart	Bus		



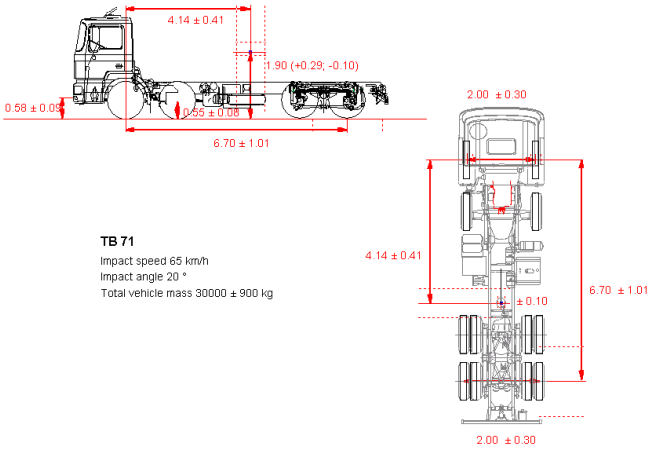
7 – Medium rigid HGV

Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	16 000 ± 500	15 500	16 600
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	-	-	-
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	16 000 ± 500	15 500	16 600
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	2.000 ± 0.300	1.700	2.300
Radradius (unbelastet)	0.520 ± 0.078	0.442	0.598
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	5.900 ± 0.885	5.005	6.785
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 1/2	1S + 1	1S + 2
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	0.580 ± 0.087	0.493	0.667
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	3.100 ± 0.310	2.790	3.410
CGY	± 0.100	- 0.100	+ 0.100
CGZ Fahrzeug	-	-	-
CGZ Last (+ 15%; -5%)	1.600 + 0.240 - 0.080	1.520	1.840
Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		



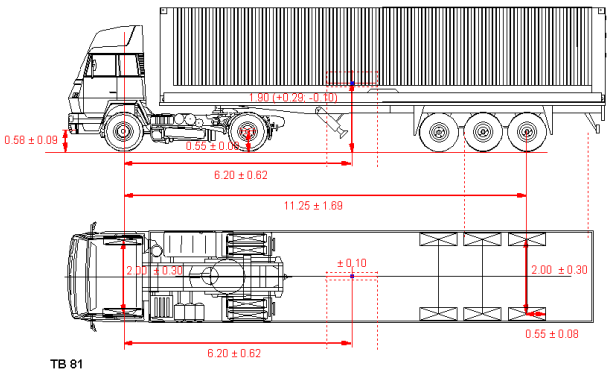
8 – Heavy rigid HGV

Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	30 000 ± 900	29 100	30 900
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	-	-	-
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	30 000 ± 900	29 100	30 900
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	2.000 ± 0.300	1.700	2.300
Radradius (unbelastet)	0.550 ± 0.083	0.467	0.633
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	6.700 ± 1.005	5.695	7.705
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	2S + 2	2S + 2	2S + 2
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	0.580 ± 0.087	0.493	0.667
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	4.140 ± 0.414	3.726	4.554
CGY	± 0.100	- 0.100	+ 0.100
CGZ Fahrzeug	-	-	-
CGZ Last (+ 15%; -5%)	1.900 + 0.285 - 0.095	1.805	2.185
Fahrzeugart	LKW ohne Anhänger		



9 – Articulated HGV

Fahrzeugart	Sattelzug		
Masse [kg]		Min	Max
Fahrzeugmasse	38 000 ± 1 100	36 900	39 100
einschließlich Höchstballast (einschl. Mess- und Aufzeichnungsgerät)	-	-	-
Dummy	-	-	-
Gesamtprüfmasse	38 000 ± 1 100	36 900	39 100
Maße [m] ± 15 %			
Radspur (vorne und hinten) Track (front and rear)	2.000 ± 0.300	1.700	2.300
Radradius (unbelastet)	0.550 ± 0.083	0.467	0.633
Radstand (zwischen äußeren Achsen)	11.250 ± 1.688	9.562	12.938
Anzahl der Achsen (S: Lenkachse)	1S + 3/4	1S + 3/4	1S + 3/4
Bodenfreiheit der vord. Stoßstange, gemessen am Ende	0.580 ± 0.087	0.493	0.667
Schwerpunkt [m] ± 10 %			
CGX (von der Vorderachse)	6.200 ± 0.620	5.580	6.820
CGY	± 0.100	- 0.100	+ 0.100
CGZ Fahrzeug	-	-	-
CGZ Last (+ 15%; -5%)	1.900 + 0.285 - 0.095	1.805	2.185
Fahrzeugart	Sattelzug		



TB 81

Impact speed 65 km/h
Impact angle 20 °
Total vehicle mass 38000 ± 1100 kg

12 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

Genauigkeit (der Vermessung, Geländeaufnahme, Geländemodell, etc.)

Die Genauigkeit der Vermessung ist definiert als das Ausmaß der Abweichung zwischen dem Messergebnis und dem wahren Wert.

Die Genauigkeit wird in 3 Bereiche unterteilt:

1. Die Richtigkeit

   beschreibt einzelne und systematische Fehler (wie z. B. systematische Abweichungen, falsche Höhenangaben durch Zahlensturz, etc.)

2. Die Präzision

   beschreibt die Abweichung der Messung (z. B. die Abweichung des Punktes in cm)

3. Die Vereinfachung der grafischen Darstellung

   beschreibt die maximale Abweichung der grafischen Darstellung zum tatsächlichen Gelände zwischen den ausgemessenen Punkten (wie z. B. Abweichungen durch geringe Punktdichte, durch Vereinfachungen bei Ausrundungen, etc.)

Geländeaufnahme

Ist eine digitale grafische Darstellung des Geländes und erfolgt auf Basis einer messtechnischen Erfassung der Geländeform.

Geländeaufnahme – 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung

Die Geländeaufnahme 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung ist ein Lage- und Höhenplan mit Höhenkoten und Höhenlinien sowie zusätzlichen Profilen. Die Linienverbindungen (Bruchkanten) zwischen den aufgenommenen Punkten (mit Höhenkoten) im Lageplan besitzen keine Höhenangaben (2D Polylinien im AutoCad).

Geländeaufnahme – 3D Vermessung

Die Geländeaufnahme 3D Vermessung ist ein Lage- und Höhenplan mit Höhenkoten, 3D Linienverbindungen (Bruchkanten) und Höhenlinien. D. h. es werden alle raumbezogenen CAD-Elemente (Linienverbindungen) in den 3D-Raum gehoben (3D Polylinien im AutoCad) und in der Regel wird eine höhere Aufnahmedichte von Punkten als bei der Geländeaufnahme 2,5D kombinierte Lage- und Höhenmessung (wie z.B. Bordsteinunterkanten und Bordsteinoberkante) benötigt.

Digitales Geländemodell (DGM) [10]

Digitales (= numerisches) Modell der Geländehöhen und –formen. Im Gegensatz zum digitalen Oberflächenmodell (DOM) stellt das DGM keine Objekte auf der Erdoberfläche, wie z.B. Vegetation und Gebäude, dar.

Digitales Oberflächenmodell (DOM) [10]

Digitales (= numerisches) Modell der Höhe der Erdoberfläche. Im Gegensatz zum digitalen Geländemodell (DGM) beschreibt das DOM in bebauten und bewachsenen Gebieten nicht die Höhe des natürlichen Erdbodens (Gelände), sondern die Höhe der Oberfläche der auf der Erde befindlichen natürlichen und künstlichen Objekten, wie z.B. Vegetation und Gebäude.

Geländemodell

Ist eine digitale, modellhafte Abbildung des Geländes und kann in unterschiedlichen Datenformaten (LandXML, AutoCad, etc.) sowie in Datenbanken (wie in Trassierungsprogrammen, etc.) gespeichert sein.

3D Geländemodell

Ist eine dreidimensionale, digitale, modellhafte Abbildung der Erdoberfläche mit allen für die Verkehrsinfrastrukturplanung relevanten darauf befindlichen Objekten welches in Trassierungsprogrammen verwendet bzw. dargestellt (sowie in der Datenbank gespeichert) wird. Eine Speicherung ist auch in unterschiedlichen anderen Datenformaten (LandXML, AutoCad, etc.) möglich.

Trassierungsdaten

Trassierungsdaten sind Entwurfselemente der Straße und werden unterschieden in Lage der Achse (Gerade, Kreisbogen, Übergangsbögen), der Höhe der Achse (Bezugslinie, Längsneigung, Änderung der Längsneigung) und des Querschnittes (Querneigung, Anrampung und Verwindung, Fahrflächenbreite, Bankettbreite, etc.).

13 LITERATURVERZEICHNIS

[1] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, *Road Safety Audit RVS 02.02.33,* Wien, 2012.

[2] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, *Road Safety Inspection RVS 02.02.34,* Wien, 2012.

[3] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, *Verkehrssicherheitsaudit RVS 02.02.21,* Wien, 2014.

[4] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, *ROAD SAFETY INSPECTION (RSI) Handbuch zur Durchführung von RSI,* Wien, 2014.

[5] E. Brühning, „Das Sicherheitsaudit von Straßen in Deutschland," *Zeitschrift für Verkehrssicherheit,* 2004.

[6] The Federal Highway Administration (FHWA), *FHWA Road Safety Audit Guideline,* 2006.

[7] Kraut, Eichberger, Lex und Koglbauer, *Kraut, Eichberger, Lex, Koglbauer, Verkehrssicherheitsuntersuchung von Unfallhäufungsstellen unter Berücksichtigung fahrzeugspezifischer Fahrdynamik und Human Factors,* 2016.

[8] Kraut, Koglbauer und Eichberger, *Innovative Verkehrssicherheitsuntersuchung unter Berücksichtigung fahrzeug- und streckenspezifischer Fahrdynamik und Human Factors,* 2017.

[9] O. P. +. B. GmbH, „provi Home Trassierungssoftware für Tiefbau, Bahnplanung, Straßenplanung, Kanal, Vermessun," OBERMEYER Planen + Beraten GmbH, [Online]. Available: https://www.provi-cad.de/index.php?id=126&L=0%252F%252F. [Zugriff am 30 05 2018].

[10] FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, *RVS 06.01.11 Ziel- und Aufgabenbeschreibung,* Wien, 2017.

[11] MEIXNER Vermessung ZT GmbH, „Vermessung / Photogrammetrie," [Online]. Available: http://www.meixner.com/. [Zugriff am 2 Mai 2018].

[12] Dipl.-Ing. Rudolf Schöffmann , „Leistungen," [Online]. Available: https://www.vermessungskanzlei.at/. [Zugriff am 02 Mai 2018].

[13] Vermessung Schmid ZT GmbH, „Geschäftsfelder," [Online]. Available: http://www.geoserve.co.at/. [Zugriff am 2 Mai 2018].

[14] ASFINAG, *Dokumentationsrichtlinie für Naturbestandsaufnahmen; Technisches Planungshandbuch der ASFINAG (PLaDOK),* Wien: ASFINAG, 2016.

[15] ASFINAG, *Vermessung zum Einreichprojekt und Bauprojekt; D.3 Leistungsbeschreibung (Entwurf),* Wien: ASFINAG, 2017.

[16] Ö. I. Bau, *Pflichtenheft für terrestrische Vermessungen der ÖBB Infrastruktur Bau inklusive Layerbeschreibung,* Wien : ÖBB Infrastruktur Bau, 2008.

[17] FSV Österreichische Foschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, *RVS 03.03.23 Linienführung und Trassierung,* Wien, 2014.

[18] OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, „ProVi - Hilfe," München, 2017.

[19] Bundesanstalt für Straßenwesen, „OKSTRA," webmaster@interactive-instruments.de, 6 Januar 2017. [Online]. Available: webmaster@interactive-instruments.de. . [Zugriff am 2 Mai 2018].

[20] O. Orfila, A. Coiret, M. T. Do und S. Mammar, „Modeling of dynamic vehicle–road interactions for safety-related road evaluation;," *Accident Analysis and Prevention 42,* pp. 1736-1743, 2010.

[21] J. P. Pauwelussen, „Vehicle Handling Performance," *Essentials of Vehicle Dynamics; ISBN: 978-0-08-100036-6,* pp. 123-194, 2015.

[22] H. Meyer-Tuve, „Modellbasiertes Analysetool zur Bewertung der Fahrzeugquerdynamik anhand von objektiven Bewegungsgrößen," Dissertation Technische Universität München, München, 2008.

[23] A. Vadeby und A. Forsman, „Traffic safety effects of new speed limits in Sweden," 2017. [Online]. [Zugriff am 20 Februar 2017].

[24] T. Sayed und E. Sacchi, „Evaluating the safety impact of increased speed limits on rural highways in British Columbia," *Accident Analysis & Prevention, Volume 95, Part A,* pp. 172-177, October 2016 2016.

[25] S. Breuer und A. Rohrbach-Kerl, Fahrzeugdynamik - Mechanik des bewegten Fahrzeugs, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; DOI 10.1007/978-3-658-09475-1, 2015.

[26] H. Willumeit, Modelle und Modellierungsverfahren in der Fahrzeugdynamik, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; DOI 10.1007/978-3-663-12247-0, 1998.

[27] C. Beal, *Applications of Model Predictive Control to Vehicle Dynamics for Active Safety and Stability,* Stanford University: Department of Mechanical Engineering, 2011.

[28] K. Dietsche und M. Klingebiel, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Braunschweig: Vieweg Verlag, 2007.

[29] M. Mitschke und H. Wallentowitz, Dynamik der Kraftfahrzeuge 4. Aufl, Berlin: Springer Verlag, Berlin, 2004.

[30] B. Breuer und K. H. Bill, Bremsenhandbuch; 3. Aufl., Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2006.

[31] B. Breuer und K. H. Bill, Bremsenhandbuch; 5. Aufl. ATZ/MTZ-Fachbuch, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ISBN 978-3-658-15488, 2017.

[32] Dr. Steffan Datentechnik, *PC-Crash, Ein Simulationsprogramm für Verkehrsunfälle - Bedienungs- und technisches Handbuch, Version 11.1,* Linz, 2017.

[33] R. Gnadler, *Das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen bei instationärer Kurvenfahrt mit verschiedener Anordnung der Hauptträgheitsachsen und der Rollachse,* Karlsruhe: Univ. Karlsruhe, 1971.

[34] P. Lugner, R. Lorenz und E. Schindler, „The Connection of Theoretical Simulation and Experiments in Passenger Car Dynamics," in *The Dynamics of*

Vehicles on Roads and on Tracks, Hedrick, H.J., Lisse, Swets-Zeitlinger, 1984.

[35] G. Rill, *Simulation von Kraftfahrzeugen",* Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1994.

[36] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 1317-1 Rückhaltesysteme an Straßen Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren; Ausgabe: 2010-10-01,* 2010.

[37] Europäischen Parlaments, *Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten fü,* 2007.

[38] Europäische Kommission - Generaldirektion Wettbewerb, *Kraftfahrzeugvertrieb und -Kundendienst in der Europäischen Union, Verordnung (EG) Nr. 1400/2002 der Kommission vom 31. Juli 2002,* 2002.

[39] Europäischen Union, *EU, Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates,* 2007.

[40] H. Burg und A. Moser, Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Umfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, 3. Auflage, 2017.

[41] DI Samek ZT GmbH, „A8 Innkreisaustobahn Anschlussstelle Wels - Wimpassing km 12,0; Einreichprojekt 2016; Technischer Bericht - AST," Wien, 2016.

[42] Asfinag, „Einreichprojekt Anschlussstelle Wels-Wimpassing," 2016.

[43] H. Burg und A. Moser, Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion 1. Auflage, Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH, 2007.

[44] A. S. I. 2015, *ÖNORM A 6241-2 Digitale Bauwerksdokumentation - Teil 2: Building Information Modelin (BIM) - Level 3-iBIM,* Wien: Austrian Standards Institue 2015, 2015.

[45] BMVI, „BMVI - Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zu Anwendung von BIM im Infrastrukturba," BMVI, [Online]. Available: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-materialsammlung.html. [Zugriff am 30 05 2018].

[46] BMVI, „BMVI," [Online]. Available: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bim-materialsammlung.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 30 5 2018].

[47] M. Kraut, I. Koglbauer und A. Eichberger , „Innovative Verkehrssicherheitsuntersuchung unter Berücksichtigung fahrzeug- und streckenspezifischer Fahrdynamik und Human Factors," *Symposium für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr der ADAC Stiftung,* 2017.

[48] Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM EN 1317-1 Rückhaltesysteme an Straßen Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren; Ausgabe: 2010-10-01,* 2010.

[49] T. G. I. f. Fahrzeugsicherheit.

[50] National Cooperative Highway Research Program NCHRP, *Human Factors Guidelines for Road Systems,* Wahington, D.C. : National Academy of Sciences, 2012.

14 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo I (Allgemein) 27
Abbildung 2: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo II (Allgemein)..... 28
Abbildung 3: Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG) 29
Abbildung 4: Analyse Erstellung 3D Geländemodell – Status Quo (ASFINAG)..... 30
Abbildung 5: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Status Quo I..... 34
Abbildung 6: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Status Quo II..... 35
Abbildung 7: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Fehler im Status Quo..... 41
Abbildung 8: Abhägigkeiten im Vorportalbereich hinsichtlich Einbauten..... 48
Abbildung 9: Geringere Planungstiefe Einbauten (Einreichprojekt) 51
Abbildung 10: Import .txt Datei in PC Crash..... 55
Abbildung 11: Erstellung 3D Geländemodell – Optimierter Prozess (ASFINAG)..... 62
Abbildung 12: Darstellung Geländemodell mit und ohne Brückentragwerk aus Pflichtenheft der ÖBB [16] 64
Abbildung 13: Beispiel Muster Checkliste Dokumentation Geländeaufnahmen..... 65
Abbildung 14: OKSTRA Export ProVi 5.5 SP1..... 68
Abbildung 15: OKSTRA Export Civil 3D 2018 68
Abbildung 16: Beispiel Fehlerbericht Provi 5.5 SP1 OKSTRA..... 69
Abbildung 17: Fehler OKSTRA Import 70
Abbildung 18: OKSTRA Import ProVi 5.5 SP1 71
Abbildung 19: OKSTRA Import Civil 3D 2018 72
Abbildung 20: OKSTRA Export ProVi 5.5 SP1..... 73
Abbildung 21: OKSTRA Export Civil 3D 2018 73
Abbildung 22: Fehler LandXML Import..... 74
Abbildung 23: LandXML Import ProVi 5.5 SP1..... 75
Abbildung 24: LandXML Import Civil 3D 2018..... 75
Abbildung 25: Beispiel Genauigkeitsverlust - Achse bei Export..... 76
Abbildung 26: Beispiel Genauigkeitsverlust - Achse nach Import..... 76
Abbildung 27: Prozess: Weitergabe von Trassierungsdaten – Optimaler Prozess 77
Abbildung 28: Beispiel Muster Checkliste Dokumentation Bestandseinbauten 79
Abbildung 29 – Abhägigkeiten im Vorportalbereich hinsichtlich Einbauten..... 82
Abbildung 30: wesentliche unterirdische Einbauten im Vorportalbereich..... 83
Abbildung 31 – Finanzieller (Planungs-) Aufwand in Abhägigkeit der Zeit und der Planungstiefe..... 85
Abbildung 32: Schwimmwinkel (Quelle: Breuer B., Bill K.H.; Bremsenhandbuch [31]) 92

Abbildung 33: Leiteinrichtungen 95
Abbildung 34: Lichtverhältnisse – Tunnel 96
Abbildung 35: Mauer, Definition als Objekt 96
Abbildung 36: Mauer, Definition als Zeichenobjekt 97
Abbildung 37: Betonrückhaltesystem, Definition Objekt (Quelle: VSI, TU Graz) 98
Abbildung 38: Anpralldämpfer, Mehrkörpersystem 98
Abbildung 39: Sandfläche, „soft soil“ Modell (Quelle: VSI, TU Graz) 99
Abbildung 40: Fahrzeugklassen nach EG Richtlinie 2007/46/EG [39] 101
Abbildung 41: Fahrzeug-Bestand in Österreich, Mai 2017 (Quelle: STATISTIK AUSTRIA, Kfz-Statistik. Erstellt am: 22.06.2017) 102
Abbildung 42: Fahrzeugdefinition in PC-Crash 103
Abbildung 43: Definition der Bewegung (Quelle: VSI, TU Graz) 104
Abbildung 44: Trassenprojekt Provi 5.5 SP1 105
Abbildung 45: Netz-Export Trassenprojekt 106
Abbildung 46: Konvertierung in xyz Datei 107
Abbildung 47: Muster txt Datei im xyz Format 107
Abbildung 48: Fahrbahn und Böschung, PC Crash (Quelle: VSI, TU Graz) 108
Abbildung 49: repräsentative Fahrzeuge zur Untersuchung der Fahrdynamik 109
Abbildung 50: weitere verkehrssicherheitstechnische Untersuchungsmöglichkeiten (Quelle: VSI, TU Graz) 111
Abbildung 51: Schematische Darstellung, Anschlussstelle Wels-Wimpassing [41] 113
Abbildung 52: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Stand Einreichprojekt 2016 [42] 114
Abbildung 53: Querneigung Bestandsbrücke [42] 114
Abbildung 54: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Variante EOP [42] 115
Abbildung 55: Anschlussstelle Wels-Wimpassing, Variante UVP [42] 116
Abbildung 56: gewählte Farhstrecke der Anschlussstelle, UVP (Quelle: VSI, TU Graz) 118
Abbildung 57: Querbeschleunigung des gewählten Streckenabschnittes UVP, bei gewählten Geschwindigkeiten 70km/h, 55km/h, 50km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 118
Abbildung 58: gewählte Farhstrecke der Anschlussstelle, EOP (Quelle: VSI, TU Graz) 119
Abbildung 59: Querbeschleunigung des gewählten Streckenabschnittes EOP bei gewählten Geschwindigkeiten 70km/h, 55km/h, 50km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 119
Abbildung 60: Gegenüberstellung von UVP und EOP, bei gewählten Geschwindigkeiten von 70km/h, 55km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 120
Abbildung 61: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 121

Abbildung 62: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 121
Abbildung 63: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel der UVP und EOP Variante (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) (Quelle: VSI, TU Graz) 122
Abbildung 64: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 123
Abbildung 65: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 123
Abbildung 66: Gegenüberstellung der Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 124
Abbildung 67: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 125
Abbildung 68: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 77 km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 125
Abbildung 69: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) (Quelle: VSI, TU Graz) 126
Abbildung 70: Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen, nasse Fahrbahn, UVP(Quelle: VSI, TU Graz) 127
Abbildung 71: Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen, nasse Fahrbahn, EOP(Quelle: VSI, TU Graz) 127
Abbildung 72: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 128
Abbildung 73: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 128
Abbildung 74: Gegenüberstellung der Querbeschleunigungen über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 129
Abbildung 75: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn(Quelle: VSI, TU Graz) (Quelle: VSI, TU Graz) 129

Abbildung 76: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 130
Abbildung 77: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Osten in Richtung Westen) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)..... 130
Abbildung 78: Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, nasse Fahrbahn, UVP(Quelle: VSI, TU Graz) 131
Abbildung 79: Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten, nasse Fahrbahn, EOP(Quelle: VSI, TU Graz) 131
Abbildung 80: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 132
Abbildung 81: Querbeschleunigung über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 132
Abbildung 82: Gegenüberstellung der Querbeschleunigung über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)..... 133
Abbildung 83: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, UVP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 134
Abbildung 84: Schwimmwinkel über gewählten Streckenabschnitt, EOP, bei den gewählten Geschwindigkeiten 65 km/h, 60km/h, 55 km/h und 50 km/h (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz) 134
Abbildung 85: Gegenüberstellung der Schwimmwinkel über den gewählten Streckenabschnitt, UVP, EOP (Fahrtrichtung Westen in Richtung Osten) nasse Fahrbahn (Quelle: VSI, TU Graz)..... 135
Abbildung 86: Analyse Motorrad (Quelle: VSI, TU Graz)..... 136
Abbildung 87: Querbeschleunigung Motorrad Variante UVP (Quelle: VSI, TU Graz) 136
Abbildung 88: verkehrssicherheitstechnische Analyse, Sichtabschattung, Kreuzungsbereich (Quelle: VSI, TU Graz) 137

15 TABELLENVERZECIHNIS

Tabelle 1 – Methodik 20
Tabelle 2 – CAD-Software Kompatibilität 36
Tabelle 3 Möglicher Import von Daten in ProVi 5.5 SP1 71
Tabelle 4 Möglicher Import von Daten in Civil 3D 2018 72
Tabelle 5 Möglicher Import von Daten in ProVi 5.5 SP1 74
Tabelle 6 Möglicher Import von Daten in Civil 3D 2018 75