



Digitalisierung der Kostenberechnung in der Infrastrukturplanung am Beispiel von Nahverkehrsbahnanlagen

Diplomarbeit

eingereicht von: Kunze, Robert

geboren am: 10.02.1998 **in:** Chemnitz

Studiengang: Verkehrsingenieurwesen

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Karsten Menzel
Dr.-Ing. Sven Hietzschold

Abgabedatum: 10.02.2023

.....
Unterschrift des Diplomanden

Bibliografischer Nachweis

Kunze, Robert

„Digitalisierung der Kostenberechnung in der Infrastrukturplanung am Beispiel von Nahverkehrsbahnanlagen“

– 2023 – 127 Seiten – 1 Anlage

Diplomarbeit

Technische Universität Dresden

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Institut für Bahnsysteme und öffentlichen Verkehr

Professur für die Gestaltung von Bahnanlagen

Autorenreferat

Die Einführung der Building Information Modeling-Methode in der Infrastrukturplanung stellt einen Prozess dar, welcher mit vielen Herausforderungen verknüpft ist. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika von Hochbau und Tiefbau ist eine einfache Übertragung der Strategien und Technologien nicht möglich, sondern bedarf eigener Ansätze zur Implementierung der Methode. Eingebettet wird BIM in den bestehenden Prozess der Planung von Verkehrsprojekten.

In der vorliegenden Arbeit wird der aktuelle Stand dieser Entwicklung dargelegt und Kritik hinsichtlich des Planungsablaufes sowie der Rolle der Baukosten in der Infrastrukturplanung, insbesondere bezogen auf die frühen Leistungsphasen einer Projektbearbeitung, geäußert. Auf Basis der Kritik wird eine Methode zur vereinfachten Kostenermittlung entwickelt und anschließend geprüft. Die Arbeit schließt mit dem Fazit zu den vorher aufgestellten Hypothesen und einem umfassenden Ausblick auf die Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Methode.

Thesen

1. Der konventionelle Ansatz der Infrastrukturplanung birgt diverse Risiken und Probleme, welche mit der fortschreitenden Digitalisierung behoben werden können.
2. Die Building Information Modeling-Methode kann eine starke Vereinfachung des Planungsprozesses darstellen, besteht jedoch aktuell noch zu sehr aus Insellösungen.
3. Die Voraussetzungen für die flächendeckende Einführung der BIM-Methode als vorherrschende Planungsmethode sind hinsichtlich der Software bereits vorhanden, jedoch fehlt die Erfahrung in der Anwendung und Verknüpfung der Daten.
4. Als ersten Ansatz für eine Grobkostenschätzung kann eine Methode entwickelt werden, um erste Kostenaussagen zu einem Infrastrukturprojekt auf methodischer Basis treffen zu können.
5. Mithilfe einer Methode ist die Darstellung von Infrastrukturprojekten auf derart einfache Weise möglich, dass auch fachfremde Akteure davon Gebrauch machen können.

Hinweis:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher oder gemischter Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten ebenso für weibliche und anderweitige Geschlechtsidentitäten.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	III
Verzeichnis der Abbildungen.....	IV
Verzeichnis der Abkürzungen	VII
1. Einleitung	1
2. Arbeitsmethodik	3
2.1 Recherche	3
2.2 Methodenentwicklung.....	4
3. Verkehrsplanerische Grundlagen	5
3.1 Verkehrsplanungsprozess	5
3.2 Ausschreibung und Vergabe von Planungsleistungen bei Infrastrukturprojekten	6
3.2.1 HOAI.....	7
3.2.2 DIN 276	9
3.2.3 Bewerbung und Vergabe.....	10
4. Planungsmethode Building Information Modeling (BIM)	13
4.1 Ablauf der modellbasierten Planung.....	13
4.2 Grundlagen der Planungsmethode BIM	14
4.3 Modellbasierte Planung mit der BIM-Methode im Hochbau	16
4.4 Situation im Tiefbau	19
5. Defizite des aktuellen Vorgehens	24
5.1 Defizite und Probleme bei der modellbasierten Planung	24
5.2 Rolle der Baukosten im Planungsprozess.....	27
6. Entwicklung einer Methodik zur vereinfachten Kostenermittlung	29
6.1 Grundlagen von relevanten Verkehrssystemen	30
6.1.1 Nahverkehrsbahnen und Nahverkehrsbahnanlagen.....	30
6.1.2 Straßenverkehrsanlagen	32
6.1.3 Stadttechnische Anlagen	34
6.2 Anforderungen an die Methode	35
6.2.1 Anforderungen an die Anwendung.....	36
6.2.2 Technische Anforderungen.....	38
6.2.3 Notwendiger Output.....	39
6.2.4 Eingangsdaten.....	41
6.3 Konzeption der Methode.....	44
6.3.1 Grundkonzept	44
6.3.2 Beschreibung	49

6.4	Datensammlung und Vorbereitung.....	51
6.4.1	Einzelelemente.....	51
6.4.2	Bausteine zur Darstellung der Verkehrswege.....	52
6.4.3	Erdbauwerke	96
6.4.4	Ingenieurbauwerke.....	97
6.5	Kostenkennwerte	97
6.6	Kurzzusammenfassung der Methode	99
7.	Anwendung und Überprüfung der Methodik.....	100
7.1	Vorgehen.....	100
7.2	Grundkonzeption	101
7.3	Berechnungen	103
7.3.1	Vorgefertigte Querschnitte der RAST.....	103
7.3.2	Individueller Entwurf	104
7.4	Ergebnisse.....	105
8.	Bewertung der Methode	115
8.1	Interpretation der Ergebnisse	115
8.2	Kritik an der Methode	116
9.	Fazit.....	119
10.	Zusammenfassung und Ausblick	122
10.1	Zusammenfassung.....	122
10.2	Ausblick.....	123
	Verzeichnis der Quellen	128
	Selbstständigkeitserklärung	131
	Verzeichnis der Anhänge	132
	Verzeichnis der Anlagen.....	176

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Bezeichnungen der Leistungsphasen und Anteile an der Gesamtleistung für Verkehrsanlagen (Bundesregierung, 2021, S. 46)	9
Tabelle 2: Kostengruppen, definiert nach DIN 276, KG 370 "Infrastrukturanlagen" herausgehoben (Hasselmann & Schramm, 2020, S. 112)	9
Tabelle 3: Leistungsphasen der Planung mit benötigten Unterlagen und Kostenermittlungsanforderungen.....	10
Tabelle 4: Klassifizierung der BIM-Strategien, Big-Open-BIM wird angestrebt	16
Tabelle 5: Bahnen des Nahverkehrs mit Markierung der in der Arbeit relevanten Systeme (Zschweigert, 1982, S. 10).....	30
Tabelle 6: Begriffe der Kostenbestimmung im Zusammenhang des Planungsprozesses (Bundesregierung, 2021)	35
Tabelle 7: Daten der festgelegten Standardweichen (mit durchgehendem Bogen) $r = 25\text{ m}$, Neigung 1:4 aus der VDV-Schrift 600 (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, 370).....	65
Tabelle 8: Daten einer Gleisverbindung basierend auf der Standardweiche $r = 25\text{ m}$, Neigung 1:4 aus der VDV-Schrift 600 (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, OR 14,3,1 - Z 2, Blatt 05).....	66
Tabelle 9: Zahl der Bauelemente eines zweigleisigen Gleisdreiecks (Gleismittenabstand 3 m).....	67
Tabelle 10: Abmessungen von Parkständen und Flächenbedarf für Pkw im Straßenraum (FGSV, 2006, S. 52).....	72
Tabelle 11: Matrix der möglichen Bauformen von Haltestellen	88
Tabelle 12: Beispiel der Einberechnung von Kostenkennwerten mit fiktiven Daten zur Bestimmung von Einzel- und Gesamtkosten	98
Tabelle 13: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse für Stufe 1	106
Tabelle 14: Ergebnisse der Stufe 2 der Methodenüberprüfung	107
Tabelle 15: Ergebnisse der Stufe 3 der Überprüfung	108
Tabelle 16: Ergebnisse der Stufe 4 der Überprüfung	110
Tabelle 17: : Ergebnisse der Stufe 5 der Überprüfung	112
Tabelle 18: Ergebnisse der Stufe 6 der Überprüfung	114

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Verkehrsplanungsprozess nach EVP (FGSV, 2018a, S. 13).....	5
Abbildung 2: Ausschnitt aus der Honorartafel für Verkehrsanlagen aus der HOAI (Bundesregierung, 2021, S. 47).....	8
Abbildung 3: Datenaustausch im Planungsprozess.....	18
Abbildung 4: Bezug der ergänzenden Regelwerke zur RAST und Darstellung der rechtlichen Grundlagen (Wons, 2022, S. 11).....	32
Abbildung 5: Aufbau der RAST mit Darstellung der unterschiedlichen Entwurfswege (FGSV, 2006)	33
Abbildung 6: Anordnung der unterirdischen Korridore für die stadttechnischen Anlagen nach DIN 1998 (FGSV, 2006).....	34
Abbildung 7: Internettool streetmix.net zur Zusammensetzung eines Querschnitts aus einzelnen Bausteinen	37
Abbildung 8: Skizze der Struktur des Outputs	41
Abbildung 9: Farblegende des Ablaufdiagramms.....	46
Abbildung 10: Legende der Markierung der Ablaufelemente	46
Abbildung 11: Legende der BPMN-Symbolik (https://www.bpmn.de/lexikon/bpmn-2-0-poster/ , 19.01.2023).....	47
Abbildung 12: Darstellung der Methode als Swimlane	48
Abbildung 13: Darstellung der Verkehrsachsen als Grundlage der Methode	49
Abbildung 14: Darstellung der Unterschiede zwischen geradliniger und gekrümmten Flächen	50
Abbildung 15: Aufbau eines innerstädtischen Straßenquerschnitts auf Basis der RStO	53
Abbildung 16: Angenommene Standardschichtdicke bei Oberbauten von Fahrstreifen bei Bk100, entnommen aus den RStO	54
Abbildung 17: Angenommene Standardschichtdicke bei Oberbauten von Geh- und Radwegen, entnommen aus den RStO.....	55
Abbildung 18: Beispielbilder für offenen (li.), geschlossenen (mi.) und Oberbau mit planmäßiger Vegetation (re.), Quelle: http://www.meyer- strassenbahn.de/vorbild/vorbild_gleisbau.html	58
Abbildung 19: Querschnitt des geschlossenen Oberbaus wie er in Zwickau angewendet wird, aus (Schneider 2021, S. 93)	60
Abbildung 20: Querschnitt der Oberbauform Rheda City-D wie sie in Chemnitz angewendet wird (Schneider, 2021).....	61

Abbildung 21: Skizze und Bezeichnung einer Weiche mit durchgehendem Bogen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995)	64
Abbildung 22: Gleisverbindung mit $r = 25$ m und Neigung 1:4.....	65
Abbildung 23: Skizze einer zweigleisigen Rechtsabzweigung, verbaut sind zwei Weichen und eine einfache Kreuzung (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 277).....	66
Abbildung 24: Skizze eines doppelgleisigen Gleisdreiecks (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 278).....	67
Abbildung 25: Darstellung der Ausführung einer Freifläche als Bepflanzungsfläche für Straßengrün, entnommen den RAST	75
Abbildung 26: Skizze möglicher Gleisdrei- oder Vierecke an dreiarmligen und vierarmigen Knotenpunkten	78
Abbildung 27: Skizze eines Knotenpunkts mit einfacher Rechteckfläche als Knotenpunktinnenfläche.....	79
Abbildung 28: Darstellung eines allgemeinen Vierecks (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d0/Tetragon_measures.svg/691px-Tetragon_measures.svg.png , 13.01.2023)	79
Abbildung 29: Darstellung eines Sehnenvierecks (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b9/Sehnenviereck2.svg/779px-Sehnenviereck2.svg.png , 13.01.2023)	80
Abbildung 30: Skizze eines unregelmäßigen Fünfecks mit eingezeichneten Dreiecken zur Flächenberechnung (https://www.sofatutor.com/mathematik/geometrie/vierecke-und-vielecke-berechnungen-saetze-und-konstruktionen/flaecheninhalte-und-umfang-von-vielecken , 13.01.2023)	81
Abbildung 31: Darstellug der Verkürzung einer Verkehrsachse an einem Knotenpunkt (angezeichnet an der Hauptachse).....	83
Abbildung 32: Darstellung der teilweisen Umwandlung der Knotenpunktfächen in Gehwegecken	84
Abbildung 33: Darstellung der Form von Querungsanlagen von Straßenbahngleisen (aus EAÖ, S.85).....	91
Abbildung 34: Beispiel eines vorentworfenen Querschnitts aus den RAST, S. 41, QS 3.5.....	104
Abbildung 35: Querschnitt des in Stufe 1 betrachteten Abschnitts	106
Abbildung 36: Querschnitt des in Stufe 2 betrachteten Abschnitt	107
Abbildung 37: Querschnitt des in Stufe 3 betrachteten Abschnitts	108
Abbildung 38: Querschnitt der Hauptachse des in Stufe 4 betrachteten Abschnitts	109
Abbildung 39: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 4 betrachteten Abschnitts	109

Abbildung 40: Querschnitt des ersten Teils der Hauptachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts	111
Abbildung 41: Querschnitt des zweiten Teils der Hauptachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts	111
Abbildung 42: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts	112
Abbildung 43: Querschnitt der Hauptachse des in Stufe 6 untersuchten Abschnitts	113
Abbildung 44: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 6 untersuchten Abschnitts.....	113
Abbildung 45: Darstellung der folgend notwendigen Untersuchungen für ein funktionsfähiges Tool	126

Verzeichnis der Abkürzungen

AIA	Auftraggeber-Informationsanforderungen
AVA	Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung
BIM	Building Information Modeling (Bauwerksinformationsmodellierung)
Bk	Belastungsklasse (aus RStO)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur
BOStrab	Bau- und Betriebsordnung Straßenbahn
CAD	Computer-Aided Design
DGM	Digitales Geländemodell
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EAÖ	Empfehlungen für die Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EFA	Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
HA	Hauptachse
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
IV	Individualverkehr
LOD	Level of Definition/Level of Detail (umstritten)
LOI	Level of Information
Lph	Leistungsphase
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NA	Nebenachse
NIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
Okstra	Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PDF	Portable Document Format
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
SV-Bahn	Stadtschnellverkehrsbahn
TUD	Technische Universität Dresden
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

1. Einleitung

Die Verkehrswende stellt eine immense Herausforderung für den Fachbereich Verkehrswesen dar. Es gilt dabei die Veränderungen im Mobilitätsverhalten der Bevölkerung zu untersuchen und auf diese zu reagieren. Diese Reaktionen können bedeuten, dass ein Verkehrsweg neu-, um- oder ausgebaut werden muss. Angesichts des in den letzten Jahren vermehrt wahrgenommenen Sanierungsstaus, zusätzlich zu den erwähnten Bauvorhaben, ist es nur schwer abzuschätzen, wie groß die Herausforderungen für die Bau- und Planungsbranche werden. Um diese bei ihren Aufgaben zu unterstützen ist seit Jahrzehnten ein Digitalisierungsprozess im Gange, welcher die Modellierung der Projekte auf CAD-Basis ermöglicht. Jedoch ist der Planungsprozess für ein einzelnes Projekt im gleichen Zeitraum wesentlich umfassender geworden, da mehr Akteure und mehr Aspekte hinsichtlich Umwelt und Anwohner eingebunden und berücksichtigt werden müssen. Der Anspruch an die Planungsleistungen bezüglich Transparenz und Datenumfang nehmen daher zu. So sollen die Bewohner, Verbände und die Entscheidungsträger eng in den Planungsprozess eingebunden sein, um für eine hohe Akzeptanz eines Projekts zu sorgen. Dies hat jedoch lange Planungs- und Umsetzungszeiträume zur Folge. Die langen Zeiträume bringen diverse Probleme mit sich. Dies können zum einen starke, nur schwer kalkulierbare Preisentwicklungen, zum anderen kann es durch die Entscheidungsträger zu Änderungen in den Anforderungen kommen, sodass ein Projekt im Laufe der Planung mehrmals verändert werden muss. Dies sorgt für zusätzliche Verzögerungen und Kosten.

Im Hochbau wird seit Jahren eine neue Methode zur Verbesserung der Planungsleistungen eingesetzt. Das Building Information Modelling (Bauwerksinformationsmodellierung, BIM) ist eine kooperative Planungsmethode, welche für eine bessere Kommunikation zwischen den Akteuren sorgt und somit ein schnelleres und fehlerfreieres Planen ermöglichen soll. Bereits seit einigen Jahren eingesetzt, hat sich die Methode etabliert und die Entwickler der Softwarelösungen haben ihre Produkte darauf angepasst. Jedoch ist die Anwendung der Methode bisher nur im Hochbausektor verbreitet. Das *Bundesministerium für Digitales und Verkehr* (BMDV) hat ab Anfang der 2010er-Jahre Strategien entwickelt, wie BIM auch in der Infrastrukturplanung Einzug halten soll. Eine einfache Übertragung der Strategien und Softwarelösungen ist nicht möglich, da sich die Anforderungen von Hochbau- und Tiefbauprojekten stark voneinander unterscheiden. Dies ist auch der Grund, warum das ausgegebene Ziel, BIM bis 2020 im Tiefbau etabliert zu haben, nicht erreicht wurde. Es zeigt sich, dass die Einführung der Methode mit enormen Herausforderungen für Bau- und Planungsunternehmen verbunden ist.

In der vorliegenden Arbeit soll ein Überblick über den aktuellen Stand des Planungsprozesses und der Einführung der BIM-Methode in der Infrastrukturplanung gegeben werden. Dazu werden die aktuell am Markt üblichen Softwareprodukte genannt. Folgend wird eine Kritik formuliert, welche sich auf den aktuellen Planungsprozess bezieht und aufzeigen soll, welche Anforderungen von BIM erfüllt werden müssten. Ein zentraler Punkt der Kritik ist dabei die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), welche die Honorare für die Planungsleistungen, unter anderem von Verkehrswegen, festlegt. Es wird gezeigt, dass diese nicht den Anforderungen einer BIM-basierten Planung entspricht. Zudem bedeutet die Komplexität, dass nur

ein sehr eingeschränkter Kreis von fachkundigen Akteuren die Planung und die Prozesse nachvollziehen kann.

Resultierend aus der Kritik und die Anforderungen an die Infrastrukturplanung berücksichtigend, soll eine eigene Methode entwickelt werden, welche den Aufwand einer Kostenermittlung in frühen Leistungsphasen eines Projekts verringern soll. Der Fokus soll dabei auf Nahverkehrsbahnanlagen liegen. Die Schwierigkeit liegt darin, dass möglichst wenige Eingangsdaten verwendet werden sollen. Zudem soll die Methode für fachfremde Anwender brauchbar sein. Somit muss ein Bogen zwischen einer einfachen Anwendbarkeit und einer fachlichen Richtigkeit gespannt werden.

Zum Schluss der Arbeit wird ein Fazit gezogen und die Möglichkeit einer rechentechnischen Umsetzung in Form eines Tools zur vereinfachten Kostenermittlung dargelegt. Es werden dabei Vorschläge hinsichtlich einer Weiterentwicklung der Methode unter Berücksichtigung mehrerer Verkehrsträger gegeben.

2. Arbeitsmethodik

In dieser wissenschaftlichen Arbeit soll das Thema „Digitalisierung der Infrastrukturplanung“ hinsichtlich der Kostenberechnung bzw. -abschätzung genauer untersucht werden. Dafür sind Vorüberlegungen über das methodische Vorgehen in der Arbeit notwendig. Dies betrifft zum einen die Recherche, zum anderen die Methodenentwicklung und -auswertung.

2.1 Recherche

Nachfolgend wird ein Überblick über die bei der Recherche verwendeten Quellen vorgestellt. Zunächst wird Literatur studiert, die sich mit dem angesprochenen Themenbereich beschäftigt. Es handelt sich dabei unter anderem um frühere wissenschaftliche Ausarbeitungen, sowohl fachliche Veröffentlichungen als auch Abschlussarbeiten (Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Masterarbeiten, Dissertationen).

Eine andere Art der Literaturquellen sind Onlinepapiere diverser Institutionen und Unternehmen. Diese reichen von Broschüren zu angebotener Planungssoftware über Strategiepapiere von Ministerien in Bund und Ländern, beispielsweise hinsichtlich der BIM-Methode, bis hin zu OpenSource-Sammlungen zur Definition von Anwendungen (Beispiel: Okstra).

Weitere Literaturquellen stellen Regelwerke, Richtlinien, Normen und Verordnungen dar. Diese werden von staatlichen Institutionen oder Vereinigungen erarbeitet und sind somit Grundlage für die geläufige Planungspraxis, beispielsweise die Richtlinien der FGSV, die DIN-Normen oder die HOAI als Verordnung, welche durch den Bund erlassen wurde. Auf dieser Basis lässt sich ein umfassender Gesamteindruck über das Themengebiet Infrastrukturplanung gewinnen.

Ergänzt wird die Literaturrecherche durch Interviews, die mit einzelnen Personen aus dem Fachbereich geführt wurden. Dafür wurde zunächst ein Interviewleitfaden erstellt, welcher die Art und die Durchführung der Interviews genauer beschreibt.

Interviewleitfaden

Im Grunde unterscheidet man zwischen quantitativer und qualitativer Forschungsmethode. Die quantitative Methode befasst sich mit der Überprüfung von Hypothesen auf Basis einer standardisierten Datenerhebung. Die qualitative Methode stellt Hypothesen auf und untersucht Motive und Einstellungen zu diesen Hypothesen. Mittel der qualitativen Methode sind unter anderem Einzelfallanalysen, Dokumentenanalysen oder Expertengespräche. Bei den Interviews wird daher von einer qualitativen Forschungsmethode gesprochen.

Anhand bestehender Recherche werden Hypothesen bzw. Fragen entwickelt. Um diese zu beantworten, eignen sich Interviews mit Personen, welche Erfahrungen im Fachbereich aufweisen und daher aus ihrem Alltag berichten können. Es gibt verschiedene Ansätze ein Interview zu führen, dies kann sowohl vollstrukturiert (festgelegter Fragebogen), halbstrukturiert (thematische Lenkung mit flexibler Abarbeitung des Interviews) als auch frei (Einleitung ohne Lenkung

in eine bestimmte Richtung ohne engen Leitfaden) aufgebaut sein. Nach der Identifikation des Interviewbedarfs erfolgt das Anschreiben potenzieller Interviewpartner.

Um die potenziellen Interviewpartner zu informieren, wird das Anschreiben strukturiert verfasst sowie Vorabinformationen über die wissenschaftliche Arbeit werden angeführt. Der Rahmen des Interviews wurde abgesteckt und der geplante Ablauf erläutert. Es wurden Fragen vorformuliert, die Interviewpartner hatten aber die Freiheit, eigene interessante Inhalte anzubringen. Ergänzt wurden Informationen, wie die Informationen aus dem Interview innerhalb der Arbeit weiterverarbeitet werden.

Angeschrieben wurden:

- Dipl.-Ing. Michael Otto, VCDB GmbH
- Annegret Unger, VCDB GmbH
- Nicole Freiburg, Stricker Gruppe

Zudem wurden folgende Unternehmen bezüglich eines Interviews angeschrieben, welche jedoch nicht zustande kamen:

- Wiener Linien GmbH & Co KG
- IVAS - Ingenieurbüro für Verkehrsanlagen und -systeme

Durchführung der Interviews

Nach der Terminierung und Strukturierung werden die Interviews als Online-Meeting via Zoom abgehalten. Die Lizenz für Zoom wurde von der TU Dresden zur Verfügung gestellt. Die Interviews wurden aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Die Transkriptionen sind im Anhang dieser Arbeit zu finden. Die Inhalte der Interviews wurden in der Arbeit verwendet, um praktische Eindrücke zu den angesprochenen Themenfeldern zu gewinnen, da diese von den theoretischen Ansprüchen erfahrungsgemäß zum Teil deutlich abweichen.

2.2 Methodenentwicklung

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode basiert grundsätzlich auf eigenen Erfahrungen in der Voruntersuchung von Nahverkehrsbahnprojekten sowie den Inhalten aus dem Studium (Verkehrsingenieurswesen, Vertiefung Verkehrsplanung) an der TU Dresden. Kenntnisse über die Anforderungen und den grundsätzlichen Ablauf einer Voruntersuchung bestanden daher bereits. Ergänzt wurden diese mithilfe der angeführten Regelwerke und Richtlinien, die eine fachlich richtige Umsetzung gewährleisten. Dazu werden externe Anwendungen, beispielsweise Internettools, als Inspiration verwendet. Um die Funktionsfähigkeit der Methode zu beschreiben, ist eine Betrachtung der möglichen und notwendigen Eingangsdaten notwendig, gleichzeitig muss der erforderliche Output im Blick behalten werden. Im Anschluss soll die Methode hinsichtlich ihrer fachlichen Funktionsfähigkeit betrachtet werden. Die Art und Weise der Überprüfung wird im Laufe der Arbeit beschrieben.

3. Verkehrsplanerische Grundlagen

Die vorliegende Arbeit soll mit einer Einführung in die Grundlagen der Infrastrukturplanung fortgesetzt werden. Diese umfassen sämtliche Vorgänge im Rahmen der Planung eines Verkehrsinfrastrukturprojekts. Der Schwerpunkt der Betrachtung soll dabei auf die frühen Phasen der Planung gelegt werden. Hierfür wird zunächst der allgemeine Verkehrsplanungsprozess in seiner Struktur erläutert. Aus diesem ergeben sich die Notwendigkeiten für die Planung einer Infrastrukturmaßnahme. Folglich sollen das Vorgehen der Akteure zur Einleitung der Planungsleistungen selbst skizziert und damit im Zusammenhang stehende grundlegende Begriffe erläutert werden.

3.1 Verkehrsplanungsprozess

Um ein einheitliches Vorgehen beim Detektieren von Problemen eines Verkehrsnetzes zu ermöglichen, wurde der Verkehrsplanungsprozess beschrieben, welcher sämtliche Vorgänge von Analyse, Planung und Umsetzung abbildet. Definiert wird dieser nach den „Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV). Auf Basis des Abwägungsgebots, als solches festgeschrieben durch das Bundesverwaltungsgericht 1969, soll eine möglichst umfassende Integration von Akteuren im Rahmen des Planungsprozesses sichergestellt werden (Abbildung 1).

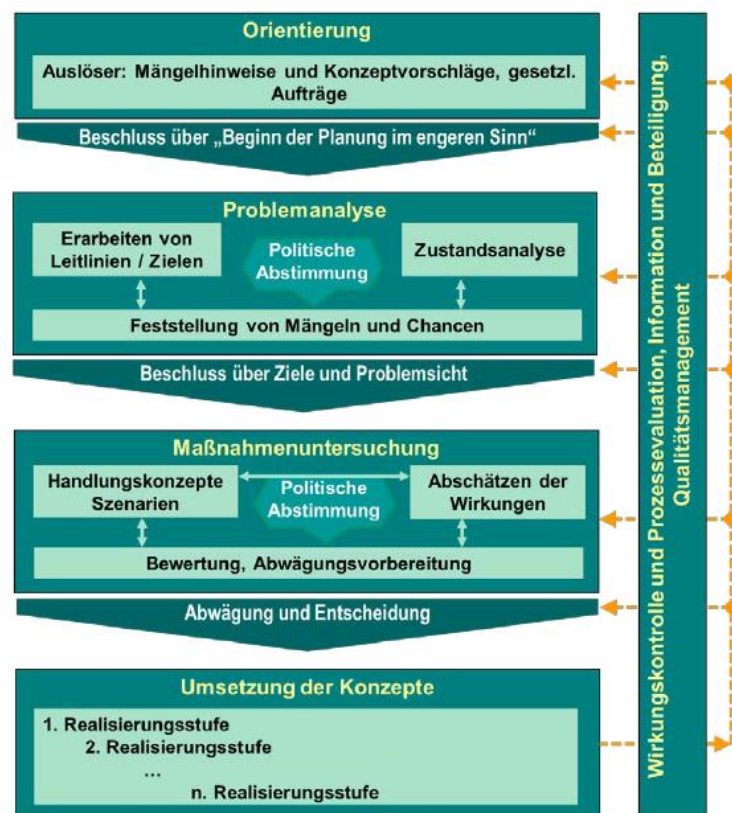


Abbildung 1: Verkehrsplanungsprozess nach EVP (FGSV, 2018a, S. 13)

Der Verkehrsplanungsprozess ist in seiner Struktur universell auf jede Art verkehrsplanerischer Aufgaben ausgelegt und somit ein anzustrebendes Schema. Der Prozess selbst wiederholt sich ständig, sodass einer Überprüfung des Status Quo eine Maßnahmenplanung und gegebenenfalls eine Umsetzung folgt, woraufhin der Status Quo erneut untersucht wird (FGSV, 2018b, S. 25). Für jede einzelne Phase bedarf es unterschiedlicher Arbeitsweisen, Fachrichtungen und Akteure. Beispielsweise soll in der Prozessphase der Maßnahmenuntersuchung auf Basis der detektierten Probleme Lösungsansätze beschrieben und ingenieurtechnisch untersucht werden. Innerhalb dessen erfolgen diverse einzelne Prozesse, welche zum Teil als Disziplinen der Verkehrsplanung anzusehen sind. Dies können die makroskopische Untersuchung hinsichtlich des Verkehrsaufkommens und dessen Prognostizierung (Verkehrsmodellierung), die Erstellung von Verkehrskonzepten in Untersuchungsräumen oder auch die konkrete Planung hinsichtlich einer baulichen Veränderung sein. Letzteres stellt als Infrastrukturplanung die zentrale Disziplin dieser wissenschaftlichen Arbeit dar. Sofern ein Verkehrsweg neu gebaut, ausgebaut oder saniert werden soll, werden in diesem Schritt sämtliche Möglichkeiten (Varianten) der Problembehandlung aufgezeigt und miteinander verglichen. Nach politischen Abstimmungen und einer objektiven Bewertung der Ansätze fällt im Optimalfall eine Abwägung und Entscheidung durch die Entscheidungsträger.

Sobald die Entscheidung für eine bauliche Veränderung gefallen ist, wird die Phase der Maßnahmenuntersuchung vertieft und innerhalb dieser ein neuer Prozess in Gang gesetzt. Dieser hat die Anpassung der örtlichen Gegebenheiten durch eine bauliche Anpassung zum Ziel, welche durch den Neu-, Um- oder Ausbau oder die Sanierung eines Verkehrsweges erreicht werden kann.

3.2 Ausschreibung und Vergabe von Planungsleistungen bei Infrastrukturprojekten

Infolge der Analyse im Verkehrsplanungsprozess wurde festgestellt, dass bauliche Veränderungen notwendig sind, um die vorher in den Regelwerken oder in Entwicklungsplänen definierten Ziele erreichen zu können. Zur Vorbereitung dieser besteht der Bedarf an diversen Planungsleistungen. Im Folgenden wird primär die Sicht staatlicher Akteure beschrieben. In der Regel werden Planungsleistungen extern an Ingenieurbüros des entsprechenden Fachbereichs vergeben. Von Seiten der Kommunen werden heutzutage, im Gegensatz zu früher, die Planungen nicht mehr intern durchgeführt. Grund dafür ist auch die fortlaufende Spezialisierung der Fachplanungen, sodass die Erhaltung interner Expertise nicht mehr wirtschaftlich erscheint¹. Nach der Klärung der finanziellen Tragfähigkeit der Planungsleistungen kann die Vorbereitung einer Ausschreibung begonnen werden. Diese besteht aus einer Beschreibung des genauen Umfangs hinsichtlich des Umsetzungshorizonts (temporär) sowie aus den zugehörigen Vergabeunterlagen mit einer detaillierten Leistungsbeschreibung. Darin wird der Planungsgegenstand und die vorgesehenen Tätigkeiten genau beschrieben. Nach dieser Finalisierung kann die Ausschreibung veröffentlicht werden. Einsehbar sind diese in den amtlichen

¹ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

Veröffentlichungsorganen der Auftraggeber (z.B. bei Ländern und Kommunen als Auftraggeber) oder auf diversen Ausschreibungsportalen (beispielsweise *Bauportal Deutschland*, *ibau*, *BG Bau* etc.). Im Interesse der Auftraggeber ist es, dass möglichst viele Bieter mit entsprechenden Angeboten erreicht werden.

Aus Sicht der Ingenieurbüros sollte, sofern Interesse an einem Auftrag besteht, ein Angebot auf die Ausschreibung vorbereitet werden.

3.2.1 HOAI

Eine Projektbearbeitung selbst muss dabei in mehrere Phasen unterteilt werden. Grundlage hierfür bietet die HOAI, die „Honorarordnung für Architekten und Ingenieure“. Die aktuelle Fassung stammt aus dem Jahre 2021 und ersetzt die vorhergehende aus 2013. Sie basiert auf der „Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und Ingenieure 2021“, enthält Verordnungen über die Honorarbestimmung für Ingenieur- und Architektenleistungen und ist eine gültige Rechtsverordnung der Bundesregierung, besitzt also bundesweite Gültigkeit. Sie steht über den Landesverordnungen, d.h. ist bindend für alle Bundesländer, solange ein Sachverhalt eindeutig geregelt ist. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, würden die Landesverordnungen mit den darin enthaltenen Regelungen greifen.

Die HOAI gliedert sich in folgende Teile:

- 1) Allgemeine Vorschriften
- 2) Flächenplanung
- 3) Objektplanung
- 4) Fachplanung
- 5) Übergangs- und Schlussvorschriften

Der erste Teil („Allgemeine Vorschriften“) definiert zunächst den Anwendungsbereich der HOAI, nämlich sämtliche in der Verordnung erfasste Leistungen. In der Verordnung selbst werden alle vorkommenden Begriffe in ihrer Ausdehnung beschrieben (Bundesregierung, 2021, S. 11).

Die Teile 2, 3 und 4 besitzen jeweils Unterabschnitte, welche den einzelnen Fachbereichen zugeordnet werden können. In der Flächenplanung wird beispielsweise auf Leistungen der Bauleitplanung oder Landschaftsplanung eingegangen. Ein besonderes Augenmerk wird in der Arbeit auf die Planung von Verkehrsanlagen gelegt, welche in Teil 3 den Abschnitt 4 (Objektplanung) darstellen.

Die HOAI sieht ihren Anwendungsbereich in sämtlichen Verkehrsanlagen des Straßenbaus (ohne selbstständige Rad-, Geh- oder Wirtschaftswege), des Schienenverkehrs und des Flugverkehrs. Letzterer ist für diese Arbeit uninteressant.

Hauptinteressenspunkte in der HOAI sind die für jeden Fachbereich angegebenen Honorartafeln. Ein Projekt wird zu Beginn hinsichtlich seiner Schwierigkeit und den voraussichtlichen Baukosten kategorisiert. Die voraussichtlichen Baukosten sind durch die durchzuführenden

Grundleistungen bestimmt und werden als „anrechenbare Kosten“ bezeichnet. Als Grundleistungen gelten bei den Verkehrsanlagen alle im Zusammenhang mit der Infrastruktur zusammenhängenden Bauleistungen inkl. Entwässerung. Diese sind in der Planung zuvor entsprechend zu ermitteln. Die Schwierigkeit ergibt sich durch die Einordnung in Anforderungskategorien für ein Infrastrukturprojekt anhand von vorher beschriebenen Vergleichsbeispielen, die sogenannte Honorarzone (siehe 13.2 *Objektliste Verkehrsanlagen* in der HOAI (Bundesregierung, 2021, S. 147)). Daraus ergeben sich Orientierungswerte, an denen das Honorar für die entsprechenden Leistungen ermittelt werden. Der niedrigste angegebene Wert ist der Basishonorarsatz, der obere Wert der *obere Honorarsatz*. In dieser Spanne sollten sich die ausgerufenen Honorare befinden. Umbauten und Modernisierungen sind anteilig anrechenbar, was abhängig des Umfangs genauer geregelt wird (Abbildung 2).

Anrechenbare Kosten in Euro	Honorarzone I sehr geringe Anforderungen		Honorarzone II geringe Anforderungen		Honorarzone III durchschnittliche Anforderungen		Honorarzone IV hohe Anforderungen		Honorarzone V sehr hohe Anforderungen	
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
	Euro		Euro		Euro		Euro		Euro	
25.000	3.882	4.624	4.624	5.366	5.366	6.108	6.108	6.793	6.793	7.535
35.000	4.981	5.933	5.933	6.885	6.885	7.837	7.837	8.716	8.716	9.668
50.000	6.487	7.727	7.727	8.967	8.967	10.207	10.207	11.352	11.352	12.592
75.000	8.759	10.434	10.434	12.108	12.108	13.783	13.783	15.328	15.328	17.003
100.000	10.839	12.911	12.911	14.983	14.983	17.056	17.056	18.968	18.968	21.041
150.000	14.634	17.432	17.432	20.229	20.229	23.027	23.027	25.610	25.610	28.407
200.000	18.106	21.567	21.567	25.029	25.029	28.490	28.490	31.685	31.685	35.147
300.000	24.435	29.106	29.106	33.778	33.778	38.449	38.449	42.761	42.761	47.433
500.000	35.622	42.433	42.433	49.243	49.243	56.053	56.053	62.339	62.339	69.149

Abbildung 2: Ausschnitt aus der Honorartafel für Verkehrsanlagen aus der HOAI (Bundesregierung, 2021, S. 47)

Grundlegend teilt die HOAI die zu bearbeitenden Projekte in Leistungsphasen ein. Diese unterscheiden sich in ihren Anforderungen hinsichtlich technischer Genauigkeit und reicht von der groben Bedarfsplanung (Leistungsphase 1) über die ersten technischen Untersuchungen (Vorplanung, Leistungsphase 2) und die vollständig detaillierte Ausführungsplanung (Leistungsphase 5) bis zur Bauoberleitung (Leistungsphase 8) und Objektbetreuung (Leistungsphase 9). Die unterschiedlichen Leistungsphasen werden mit individuellen Prozentsätzen von den Gesamtkosten angerechnet (Tabelle 1).

Leistungsphase	Bezeichnung	Prozentsatz [%]
1	Grundlagenermittlung	2
2	Vorplanung	20
3	Entwurfsplanung	25
4	Genehmigungsplanung	8
5	Ausführungsplanung	15
6	Vorbereitung der Vergabe	10
7	Mitwirkung bei der Vergabe	4
8	Bauoberleitung	15
9	Objektbetreuung	1

Tabelle 1: Bezeichnungen der Leistungsphasen und Anteile an der Gesamtleistung für Verkehrsanlagen (Bundesregierung, 2021, S. 46)

Um die Projektkosten im Blick zu behalten, wird eine beiläufige Kostenaufstellung zu jedem Zeitpunkt als sinnvoll angesehen.

3.2.2 DIN 276

Die Ermittlung der Kosten ist ein eigener komplexer Ansatz mit diversen Abstufungen. Dazu muss die DIN 276 angeführt werden. Diese ist eine DIN-Norm zur Kostenplanung im Bauwesen mit dem Anwendungsbereich Hoch- und Tiefbau (DIN 276:2018-12). Die Norm hat den Anspruch alle Disziplinen des Bauwesens, diese sind Hochbau, Ingenieurbau, Infrastrukturbau und Freiflächenplanung, zu umfassen. Die DIN 276 gibt eine Kostengliederung über verschiedene Ebenen vor. Je höher die Ebene, desto detaillierter ist die Aufschlüsselung der einzelnen Kostenpunkte. Aus dieser Kostengliederung und Kostengruppenstruktur lassen sich die Anforderungen für die einzelnen Strategien der Kostenkalkulation herleiten. Die HOAI unterscheidet dabei zwischen Kostenschätzung und Kostenberechnung (Bundesregierung, 2021, S. 11).

Kostengruppe	Bezeichnung
100	Grundstück
200	Vorbereitende Maßnahmen
300	Bauwerk - Baukonstruktionen
370	<i>Infrastrukturanlagen</i>
400	Bauwerk - Technische Anlagen
500	Außenanlagen und Freiflächen
600	Ausstattung und Kunstwerke
700	Baunebenkosten
800	Finanzierung

Tabelle 2: Kostengruppen, definiert nach DIN 276, KG 370 "Infrastrukturanlagen" herausgehoben (Hasselmann & Schramm, 2020, S. 112)

Die Kostenschätzung umfasst dabei die Ermittlung der Gesamtkosten nach Kostengruppen, mindestens bis zur ersten Ebene der Kostengliederung. Die DIN 276 spricht dabei von der „Ermittlung der Kosten auf Grundlage der Vorplanung“ (DIN 276:2018-12, S. 5). Das bedeutet genauer, dass nur ein geringes Level an Detaillierung der Planung zu diesem Zeitpunkt gefordert ist (Vorplanungsergebnisse mit Mengenschätzungen, erläuternden Angaben und Angaben zum

Baugrundstück und zur Erschließung dessen). Gefordert sind solche Kostenschätzungen bis zur durch die HOAI definierten Leistungsphase 2, welche als Vorplanung bezeichnet wird.

Die Kostenberechnung geht einen Schritt weiter und bezeichnet nach DIN 276 die „Ermittlung der Kosten auf Grundlage der Entwurfsplanung“, nach HOAI die Leistungsphase 3. Dies entspricht einer Kostenermittlung bis zur zweiten Ebene der Kostengliederung (Bundesregierung, 2021, S. 12) und verlangt daher eine etwas umfassendere Detaillierung (Entwurfszeichnungen oder Detailzeichnungen mit Mengenberechnungen und relevanten Erläuterungen).

Als grundsätzlich anrechenbare Kosten gelten Kosten zur Herstellung, zum Umbau, zur Modernisierung, zur Instandhaltung oder Instandsetzung von Objekten und den damit verbundenen Aufwendungen (Bundesregierung, 2021, S. 13).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Infrastrukturplanung in der DIN 276 noch sehr schwach aufgegriffen wird. Die Kostengliederungsebenen für den Infrastrukturbau unterscheiden beispielsweise nicht in unterschiedliche Verkehrssysteme. Auch sind die feineren Gliederungspunkte sehr ungenau gefasst, insbesondere im Vergleich zum Hochbau. Der Infrastrukturbau ist in der Kostengruppe 370 zusammengefasst. Zusätzlich werden in Kostengruppe 458 Verkehrsbeeinflussungsanlagen aufgeführt, KG 424 beinhaltet Verkehrsheizflächen und KG 447 Fahrleitungsanlagen. Eine Überarbeitung und Erweiterung der DIN 276 wird daher empfohlen.

3.2.3 Bewerbung und Vergabe

In der Ausschreibung erfolgt eine genaue Festlegung, welche Leistungsphasen in dem anstehenden Projekt zu bearbeiten sind (Tabelle 3).

Lph	Bezeichnung	Unterlagen	Kostenermittlung
1	Grundlagenermittlung	Bedarfspläne, Flächennutzungspläne	Kostenrahmen
2	Vorplanung	Voruntersuchung	Kostenschätzung
3	Entwurfsplanung	Vorentwurf	Kostenberechnung
4	Genehmigungsplanung	Feststellungsentwurf	Kostenberechnung
5	Ausführungsplanung	Ausführungsentwurf	Kostenberechnung

Tabelle 3: Leistungsphasen der Planung mit benötigten Unterlagen und Kostenermittlungsanforderungen

Nicht jedes Projekt soll konkret bis zur Ausführung geplant werden (Leistungsphase 5). Bedarfssplanungen werden genutzt, um makroskopische und mikroskopische Vorhaben genauer festzuhalten und im Kontext eines Großen und Ganzen darzustellen. Die Anforderungen hinsichtlich der Detaillierung sind daher gering, jedoch nicht exakt beschrieben. Voruntersuchungen dienen beispielsweise häufig der Aufstellung von Strategiepapieren, welche auf kommunaler Ebene als Diskussionsgrundlage verwendet werden. Alle weiteren Leistungsphasen sind entsprechend ihrer Detaillierung genauer und dementsprechend aufwendiger. Dies gilt nicht nur für die Planung in Form der Modellierung, sondern auch für die darauffolgende Kostenaufstellung. In Leistungsphase 2 wird dabei von der Kostenschätzung gesprochen. Auf dieser Basis der Festlegung, in welchem Umfang und bis zu welcher Detaillierung das Projekt bearbeitet werden soll, werden die Ausschreibungsunterlagen erstellt. Der Wettbewerb der Angebote

findet als Preisausschreiben statt. Folgende Prinzipien sollen dabei eingehalten werden (Webeler, Summa & Klaeser, 2014, S. 116):

- Gleichbehandlung aller Teilnehmer am Wettbewerb
- Definition einer eindeutigen Aufgabenstellung
- Festlegung angemessener Preise für die Wettbewerbsarbeiten
- Einsetzung eines unabhängigen und kompetenten Preisgerichts
- Zusicherung der Anonymität bei den Wettbewerbsbeiträgen
- Auftragsversprechen

Nach Erhalt der Ausschreibungsunterlagen befassen sich die Planungsunternehmen mit der Strategie für die anstehende Bewerbung auf die Planungsleistung. Dafür wird zunächst der Umfang des anstehenden Projekts mitsamt den eingehenden Informationen untersucht. Da der Bereich Infrastrukturplanung sehr breit gefasst ist, erfordern unterschiedliche Projekte auch individuelle Vorgehensweisen. Nicht immer werden die erwarteten Projektkosten angegeben, sodass eine Grobkostenschätzung notwendig wird. Schwierig sind dabei Projekte, die keine linearen Verkehrsprojekte darstellen. Dazu gehören beispielsweise spezielle Abstellanlagen, die mit komplexeren Hochbauten (z.B.: Überdachungen oder Wirtschaftsbauten) verbunden sind. Diese werden daher in dieser Arbeit nicht betrachtet. Für lineare Verkehrsprojekte, beispielsweise ein Straßenzug oder eine Straßenbahnstrecke, können Strategien gefunden werden, deren Strukturen wiederholt einsetzbar sind.

Auf Basis der Projektkosten, seien diese bereits gegeben oder selbst ermittelt, wird ein Angebot erstellt, welches das geforderte Honorar für die Bearbeitung angibt. Weitere Einflussfaktoren sind die Verfügbarkeit von Arbeitskraft und die prognostizierte Arbeitszeit, die in ein Projekt investiert werden muss. Sofern keine Projektkosten gegeben sind und diese selbst ermittelt werden müssen, wird eine Grobkostenschätzung durchgeführt².

Sofern keine Direktvergabe vorliegt, wird die Vergabe der Planungsleistung in einem Auslobungsverfahren bewilligt (Webeler et al., 2014, S. 116). Mithilfe der Beurteilung eines Preisgerichts soll der Auftraggeber bei der Vergabe einer Planungsleistung unterstützt werden. Preisgerichte sind unabhängig besetzte Gremien, welche die eingegangenen Angebote prüfen und bewerten. Die eingesetzten Preisrichter sollten fachlich bewandert und vom Auslober unabhängig sein, sodass ein fairer Wettbewerb gewährleistet ist. In die Bewertung der Angebote können auch externe Beurteilungen eingeholt werden, etwa von der Architektenkammer. Dieses Vorgehen ist sowohl bei Tiefbau als auch Hochbau üblich, wird jedoch in der Regel nur bei Planungsleistungen angewendet.

Maßgabe für den Gewinn einer Ausschreibung ist die Abgabe des günstigsten Angebots. Nach Bekanntgabe der Gewinner/des Gewinners wird ein Verhandlungsverfahren abgehalten. In diesem werden die Einzelheiten der Vergabe besprochen und die enthaltenen Preise verhandelt. In der Regel bietet der Bewerber einen Preisnachlass an, um sein Angebot zu verbessern. Die

² Vgl. Unger, Annegret: Interview, 29.11.2022, siehe Anhang 3

Ergebnisse der Verhandlung werden Teil des Vertragsinhaltes zwischen den beteiligten Akteuren (Webeler et al., 2014, S. 125).

Nach der Vergabe der Planungsleistungen an einen Dienstleister wird ein Vertragswerk ausgearbeitet, welches den Inhalt und den Umfang sowie weitere rechtliche Fragen genau erläutert und festlegt. Mit eingebracht werden können dabei die Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), welche Vorgaben zur Anwendung der BIM-Methode enthalten, sofern die Anwendung dieser Methode gefordert wird.

Bei der weiteren Vergabe an die bauausführenden Firmen greift die *Vergabe- und Vertragsordnung Bauleistungen* (VOB). Diese sind explizit nicht auf Planungsleistungen anzuwenden.

Ein wichtiges Stichwort im Bauwesen ist AVA (Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung). Nach HOAI lassen sich diese Begriffe den späteren Leistungsphasen 6 (Vorbereitung der Vergabe), 7 (Mitwirken bei der Vergabe) und 8 (Bauoberleitung) zuordnen. Zur Vorbereitung des Vergabeprozesses muss in Folge der Planung ein Leistungsverzeichnis erstellt werden, welches auf den zuvor ermittelten notwendigen Arbeiten beruht. Bezogen wird sich dabei auf ein Modell des Projekts (das Vorgehen bei Hoch- und Tiefbau sind dabei gleich), welches in den vorher ablaufenden Leistungsphasen mit zunehmenden Detaillierungsgrad erstellt wird. Der Prozess der Ausarbeitung kann auf Basis verschiedener Ansätze und Methoden erfolgen. Diese werden im folgenden Kapitel beschrieben.

4. Planungsmethode Building Information Modeling (BIM)

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung sämtlicher Aspekte der Wirtschaft steht auch die Branche der Bau- und Infrastrukturplanung vor tiefgreifenden Veränderungen. Folge sind wachsende Anforderungen an Technik und Personal, aber auch Fortschritte hinsichtlich der Kommunikation, des Datenaustauschs und der Datenverfügbarkeit.

Das *Bundesministerium für Digitales und Verkehr* (BMDV) unterstützt die fortschreitende Digitalisierung mit diversen Programmen. Ziel dieser Programme ist es die Umstellung der Planungs- und Baubranche hinsichtlich der Building Information Modeling-Methode initiativ zu fördern, indem Pilotprojekte durchgeführt und langfristige Strategien erstellt werden. Zentraler Bestandteil der Strategien ist der Stufenplan „Digitales Bauen“, welcher einen Rahmen für die Einführung des BIM-Standards in einzelnen Phasen beschreibt (siehe Vorwort zum „Stufenplan Digitales Bauen“ des *Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur* (BMVI), 2015) und von der Reformkommission „Bau von Großprojekten“, einberufen durch die Bundesregierung, erarbeitet wurde. Dieser Plan wurde 2015 vom damals noch BMVI genannten Ministerium erstellt und soll die verstärkte Anwendung von BIM bekräftigen (BMVI, 2015, S. 3). Auf Basis dessen werden seitdem von diversen Akteuren (Ministerien, Verbände, Vereinigungen etc.) Publikationen erstellt, welche sämtliche Beteiligte bei einer Planung auf Basis der BIM-Methode unterstützen.

Um die Wirkung der BIM-Methode besser zu verstehen, empfiehlt sich ein Blick auf den aktuellen Stand der modellbasierten Planung.

4.1 Ablauf der modellbasierten Planung

Die Digitalisierung ist ein Prozess, welcher von einer stetigen Automatisierung von Teilprozessen geprägt ist. Als solcher findet dieser Prozess kein Ende, sondern erfährt ständig Neuerungen und beginnt von vorn. In der Infrastrukturplanung wird bereits seit den 80er Jahren mit CAD-Programmen gearbeitet, die das früher übliche manuelle Zeichnen ersetzten. Die Fortschritte der Digitalisierung selbst beruhen auf den CAD-Anwendungen und bestehen aus einzelnen Teillösungen, die die Benutzung der Softwareprodukte für die anwendende Person vereinfachen. Der Grundlegende Ablauf hat sich jedoch nicht geändert.

Im Zuge einer Ausschreibung wird ein Unternehmen ausgewählt, welches die Planung für ein Projekt übernimmt. Infolgedessen beginnt für das Unternehmen eine umfassende Datensammlung, die zur Bearbeitung des Projekts notwendig ist. Angenommen es müsste ein Verkehrsweg geplant werden, so bezieht man Daten unterschiedlicher Art und Weise. Sinnvoll können Daten zur Verkehrsbelastung auf einem Abschnitt sein, welche zur Dimensionierung der Verkehrsanlage verwendet wird. Bei einer Planung der späteren Leistungsphasen, bei denen Lage und Höhe der Trasse angegeben werden muss, werden digitale Geländemodelle (DGM) verwendet. Weitere Daten können sich auf die Medien von Versorgungsunternehmen, Umweltaspekte oder Denkmalschutzaspekte beziehen. Auf Basis dieser Daten wird die Planung durchgeführt. Aktuell wird den planenden Personen ein breites Spektrum an Software geboten. Die

kombinierter Anwendung dieser Softwareprodukte ist notwendig, um die Planung durchzuführen³. Hintergrund ist, dass kein Softwareangebot sämtliche notwendigen Fähigkeiten abdecken kann, welche für ein vollständiges Ergebnis notwendig sind. Zur Anwendung kommen dabei CAD-Programme zur Erstellung des Modells, Programme zur Kalkulation von Daten, GIS-Anwendungen etc. Die Vielzahl der Anwendungen gestaltet den Planungsprozess sehr komplex und ist anfällig für Informationsverluste in der Übertragung von Daten. Diese Art der Softwarenutzung ist jedoch üblich. Dennoch muss man dabei von Insellösungen sprechen.

Ansätze zur Vereinfachung bieten AVA-Programme, welche die Kalkulation von Mengendaten und deren Verknüpfung mit Kostenkennwerten oder einfachen Ausschreibungstextbausteinen ermöglichen. Neben den bereits genannten Daten zur Erstellung des Modells sind auch Daten zur Nachbearbeitung notwendig. Sofern eine Kostenbestimmung erfolgen soll, sei es als Kostenschätzung oder Kostenberechnung, sind Kostenkennwerte notwendig, um aus den kalkulierten Mengen die Gesamtkosten eines Projekts zu ermitteln. Die Ergebnisse werden dann dem Auftraggeber übermittelt. Oftmals werden die Daten als PDF-Datei ausgegeben. Diese sind sinnvoll für die Darstellung im Plot, jedoch sind diese schwierig weiterzuverarbeiten. Für die Baufirmen stellen diese einen zusätzlichen Zeitaufwand dar, da diese gegebenenfalls erst übertragen werden müssen⁴. Der Detaillierungsgrad der gelieferten Planungsergebnisse ist primär abhängig von den Anforderungen der Auftraggeber. Diese orientieren sich an den in der HOAI aufgeführten Leistungsphasen. Dennoch ist der Planungsprozess mit ständiger Kommunikation verbunden, bei denen Änderungen während der laufenden Planung üblich sind. Die Honorierung dieser Änderungen und dem damit verbundenen Mehraufwand wird vorher vertraglich festgelegt oder mit Nachträgen ausgeglichen.

Die Digitalisierung selbst bewirkt, dass der Planungsumfang immer größer wird. Die planenden Akteure müssen sich auf einen immer größeren Datenumfang einstellen und mit mehr Fachplanungen umgehen können. So war es vor 30 Jahren noch relativ unüblich Umweltgutachten anfertigen zu lassen, was heute als Standard gilt⁵.

4.2 Grundlagen der Planungsmethode BIM

Eine festgesetzte Definition für Building Information Modeling gibt es nicht. In diversen Publikationen wird auf die vom damaligen BMVI veröffentlichte Definition verwiesen:

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“ (BMVI, 2015, S. 4)

In der Theorie beschreibt BIM eine Methode, welche die Schnittstellen zwischen den Fachplanungen und den zugehörigen Softwares genau definiert. Dabei sollen sämtliche Informationen

³ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

⁴ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

⁵ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

in einem CAD-basierten dreidimensionalen Modell eingebracht und ausgelesen werden können. Aus diesem Modell lassen sich sämtliche benötigte Grafiken und Pläne ableiten. Auch dient es als Grundlage zur Erstellung der Bauablaufpläne in der Ausführungsplanung. Als „neue digitale Planungs- und Baukultur“ verspricht an sich aus der zunehmenden Digitalisierung bessere Transparenz, Risikokalkulation sowie eine Bauzeit- und Kostenreduktion.

Der bereits angedeutete Stufenplan des BMVI sah vor, bis 2020 das selbstdefinierte BIM-Leistungsniveau 1 zu erreichen. Dies beinhaltet die vollständige Digitalisierung aller Daten. Sämtliche Arbeiten sollen an einem 3D-Fachmodell stattfinden und, wie in der Theorie, Pläne und Informationen aus dem Modell abgeleitet werden. Damit dies funktioniert, sind herstellerneutrale Datenformate notwendig ebenso eine Hard- und Softwareverfügbarkeit. Entsprechende Kompetenzen müssten bereits in der Vergabe berücksichtigt werden. Die 3D-Modellierung ist dabei als Mittel zur Umsetzung der BIM-Methode zu sehen. BIM selbst bezeichnet eine objektorientierte Datenmodellierung und einen Datenaustausch ohne Informationsverlust zwischen den Fachmodellen (Vernetzung, Arbeit an einem Gesamtmodell, ständige Aktualität für alle Akteure einsehbar). Als Ziel ist die Schaffung eines „digitalen Zwillings“ eines Bauwerks zu sehen. Damit soll ein digitales Abbild geschaffen werden, welches gleichzeitig eine Datensammlung über sämtliche Bauwerksinformationen und Informationen zu den verbauten Einzelelementen im Bauwerk beinhaltet. Der Zwilling soll über den kompletten Lebenszyklus des Bauwerks unterhalten und ständig aktualisiert werden. Dahinter steht auch die Philosophie das Bauwerk über den gesamten Existenzzeitraum zu betrachten und begleiten, also sowohl die Instandhaltung als auch den späteren Rück- oder Umbau abzubilden. Insbesondere daraus verspricht man sich einen ressourceneffizienteren Umgang.

Hinsichtlich der Datenaufbereitung und des Datenaustauschs zwischen den Softwares ist eine BIM-Klassifizierung möglich. Zum einen geht es darum, welche Software verwendet werden kann. Ist es für verschiedene Softwarehersteller möglich ihre Produkte einzubringen und können diese universell in den Projekten eingesetzt werden, so spricht man von OPEN BIM. Das Gegenstück dazu, CLOSED BIM, zeichnet sich durch einen kleinen Kreis von Softwareprodukten aus, deren Schnittstellen nur bedingt kompatibel sind. Zum anderen wird die Dauerhaftigkeit der Softwareanwendungen betrachtet und inwiefern die Datenpakete hinsichtlich der Lebensdauerdiskussion einsetzbar sind. Dies wird als BIG BIM bezeichnet, also die durchgängige Nutzung der digitalen Modelle. LITTLE BIM dagegen beschränkt sich auf das schrittweise Lösen einzelner Teilbereiche, sodass zwangsläufig Insellösungen entstehen. Aktuell zeigen sich in der Entwicklung der Produktangebote deutliche Unterschiede in der Ausprägung für den Hochbau und Tiefbau. Diese Begriffe sind jedoch nur als Marketing zu verstehen. Im Zusammenhang mit BIG-OPEN-BIM ist die Anwendung einer Open-Source-Methode unumgänglich. Da die Sammlung und der Verkauf von Daten jedoch das Geschäftsmodell einiger der Unternehmen sind, ist es jedoch nicht als realistisch anzusehen, dass eine Umsetzung erfolgt. Daher wird man auch langfristig auf ein Konstrukt aus Einzellösungen zurückgreifen müssen, um eine Planung vollständig durchführen zu können (Tabelle 4).

OPEN BIM	Little-Open-BIM	Big-Open-BIM
CLOSED BIM	Little-Closed-BIM	Big-Closed-BIM
	LITTLE BIM	BIG BIM

Tabelle 4: Klassifizierung der BIM-Strategien, Big-Open-BIM wird angestrebt

Die ambitionierten Ziele des Stufenplans selbst, bis 2020 das Leistungsniveau flächendeckend zu etablieren und Großprojekte ausschließlich mit der BIM-Methode abzuwickeln, wurden nur teilweise erreicht. Das Fachgebiet Infrastrukturplanung befindet sich weiterhin im Prozess der Einführung der Methode, während sie im Hochbau bereits häufiger eingesetzt wird⁶. Die Gründe für die Verzögerungen in der Einführung von BIM können vielfältig sein. Das BMVI sieht folgende Hemmnisse als gegeben (BMVI, 2015, S. 7):

- fehlende Kenntnis bezüglich der BIM-Anwendungen
- fehlende Kenntnisse bezüglich technischer Schnittstellen
- fehlende Leistungsbilder
- Beschreibungen und Vergütungskonzepte für BIM-Leistungen
- eine unklare Aufgabenverteilung aufgrund fehlender Rollenverständnisse
- Unsicherheit bezüglich der Umsetzung bestehender Regeln und Richtlinien

Für die Ausarbeitung der Details zur Einführung von BIM, etwa der weiteren Standardisierung von Sprachgebräuchen, Definitionen und Anforderungen, wurde vom *Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens* (BIM DEUTSCHLAND) ein Portal ins Leben gerufen, welches zur Entwicklung und Veröffentlichung der genannten Details genutzt wird. Das BIM-Portal dient zur Information über die Anforderungen der Auftraggeber. Ende 2022, im Laufe der Bearbeitung der vorliegenden Arbeit, wurde die gemeinsame Definition von Objektvorlagen vorgestellt. Darin werden Objekte definiert und ihre Gruppierung, Bezeichnung, der Datentyp und ein Wertebereich festgelegt. Die zu erarbeitende Methode in der vorliegenden Arbeit geht einen ähnlichen Ansatz, in dem Bausteine für eine Querschnittsdarstellung definiert werden. Die aus dem Portal stammenden Objektvorlagen beziehen sich jedoch auf viel detailliertere Eigenschaften, etwa einzelne Bauteile einer Gesamtkonstruktion (Beispiel: Geländer einer Brückenkonstruktion). Aktuell sind diese aber noch nicht für alle Spezifizierungen eines Infrastrukturprojekts veröffentlicht⁷.

4.3 Modellbasierte Planung mit der BIM-Methode im Hochbau

Der entwicklungstechnische Ursprung der BIM-Methode steckt im Hochbau. Um dies zu verstehen, müssen zunächst die Unterschiede der Planung im Hochbau zum Tiefbau aufgezeigt werden. Auch der Hochbau basiert in seinen Planungsstrukturen auf den Leistungsphasen der

⁶ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

⁷ <https://via.bund.de/bim/infrastruktur/landing>, 05.01.2023

HOAI. Das Honorar bezieht sich also ebenfalls auf den Umfang des Projekts hinsichtlich Baukosten und Komplexität. In ihrem Charakter sind Hochbauprojekte jedoch grundverschieden. Handelt es sich bei Infrastrukturmaßnahmen um langgestreckte Projekte, die eine starke Interaktion mit der Umwelt und ein hohes Maß an Individuallösungen aufzeigen, so sind Hochbauprojekte in der makroskopischen Betrachtung als nahezu punktförmig anzusehen. Ihre Wirkung auf die Umwelt beschränkt sich, von der Phase der Errichtung abgesehen, nahezu ausschließlich auf den durch das Objekt bebauten Platz. Nach außen wirkende ästhetische Ansprüche werden dabei nicht berücksichtigt. Aufgrund des Charakters der Objekte, es handelt sich dabei um Gebäude, meist in Stockwerkbauweise mit geraden Kanten, kommt es häufig dazu, dass sich ganze Baugruppen, also Kombinationen von Bauelementen, wiederholen. In der Mengenbetrachtung eines solchen Projekts lassen sich Gruppen gleicher Elemente leicht zusammenfassen. Im Vergleich zu Infrastrukturprojekten sind Gebäudeplanungen grob betrachtet als einfacher anzusehen, da mit wesentlich weniger Eingangsdaten und Umwelteinflüssen gearbeitet werden muss. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung des Planungsprozesses, insbesondere im letzten Jahrzehnt, entwickelte sich die Datenbasis für die modellbasierte Planung wesentlich weiter. Zentral sind dabei die Zugänglichkeit und Nutzbarkeit der Daten. Dafür wurden Schnittstellen geschaffen, die die Kommunikation zwischen den Softwareprodukten und die Weitergabe von Datenmodellen erleichtern. Die BIM-Methode stellt dahingehend einen weiteren Schritt dar, um einer kooperativen Arbeitsweise näher zu kommen. Bisher bestand der Planungsprozess aus dem Austausch von gesamten Planungen mit dem Projektleiter (oftmals der Architekt des Bauwerks) als zentrale Figur. Die zuarbeitenden Gewerke haben auf Basis des vom Projektleiter ausgegebenen Planungsmodell ihre eigenen Planungen zur Umsetzung ihrer Spezifikation ausgearbeitet. Mit der BIM-Methode soll eine engere Kooperation möglich sein, um technische Kollisionen und bautechnische Missverständnisse auszuschließen. Die Arbeit an einem Gesamtmodell soll ein Ziel darstellen. Grundlegendes Ziel ist die Minimierung des Informationsverlusts, der bei der Übermittlung von Daten und der Nutzung unterschiedlicher Software auftritt.

Ein wichtiger Schritt dazu ist der technisch konsistente Datenaustausch. Für den Austausch technischer Daten wird der internationale Industriestandard (IFC) angewendet (BMVI, 2020a). Für den Austausch der aus dem Modell resultierenden Informationen, beispielsweise Kosten, Mengen, Rechnungen etc., werden GAEB-Dateien verwendet. GAEB bezeichnet den *Gemeinsamen Ausschuss Elektronik im Bauwesen*, welcher gegründet wurde, um eine effektivere und einheitliche Datenübergabe im Bauwesen zu ermöglichen. GAEB-Dateien können in der Folge von AVA-Programmen verarbeitet werden, um Leistungsverzeichnisse aufzustellen und die Verknüpfung zu externen Datenbanken, beispielsweise zur Kostenbestimmung, zu ermöglichen. Die Datenformate entwickeln sich ständig weiter. Aktuell (2023) ist IFC 4.0 (bzw. 4.3) Standard (Abbildung 3).

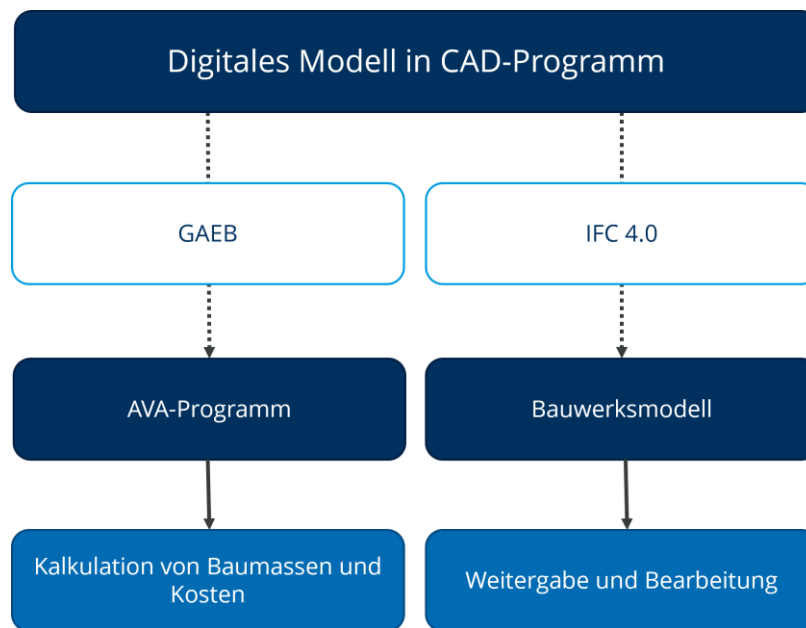


Abbildung 3: Datenaustausch im Planungsprozess

Die Funktion der BIM-Methode soll aber noch weiter reichen. So soll die Betreuung des Bauwerks über den kompletten Lebenszyklus inklusive der Anpassung von Informationen bis zum Rückbau möglich sein.

Die Ausschreibung, Vergabe und Abrechnungen der erbrachten Leistungen werden auf Basis der Bauwerksinformationsmodellen abgewickelt. Dafür müssen zu den jeweiligen Leistungsphasen Anforderungen hinsichtlich der Detaillierung der Modelle definiert werden, beschrieben durch das *Level of Information* (LOI). Zusammengefasst werden die Anforderungen in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und sind abhängig von den Zielen des Auftraggebers (Rösel, Busch & Rode, 2020, S. 104). Das *Level of Detail* beschreibt den geometrischen Detaillierungsgrad des zu liefernden Modells. Die Informationstiefe eines Bauwerksmodells wird durch das *Level of Definition* (LOD) beschrieben. LOD gibt den Fertigstellungsgrad eines Modells an.

Level of Definition = Level of Information + Level of Detail (Rösel et al., 2020, S. 104)

Mithilfe der DIN 276 werden die einzelnen Leistungsphasen eines Projekts mit einem geforderten Ergebnis bezüglich der Genauigkeit einer Kostenaussage verknüpft. Mit diesen Kostenaussagen, also Kostenrahmen, Kostenschätzung oder Kostenberechnung etc., kann ein Level of Definition verbunden sein.

Leistungsphase 1 (Kostenrahmen) → LOD100

Leistungsphase 2 (Kostenschätzung) → LOD200

Leistungsphase 3 (Kostenberechnung) → LOD300

Leistungsphase 5 (Detaillierung zur Kostengruppenebene 3) → LOD400

Digitaler Zwilling („as built“) → LOD500

In der Literatur sind unterschiedliche Bezeichnungen zu finden. So wird oftmals das *Level of Detail* als LOD bezeichnet und getrennt vom *Level of Information* LOI behandelt. Das *Level of Definition* wird dabei gar nicht erwähnt (Bredehorn, Dohmen, Heinz, Liebsch & Sauter). Die Definitionen scheinen daher sehr uneinheitlich zu sein. Im Hinblick auf eine geforderte Strategie, welche einheitlicher Definitionen bedarf, sind diese Unterschiede nicht hilfreich. Dadurch kann es zu Fehlinterpretationen kommen und die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren erschwert werden.

Zu welchem Zeitpunkt welcher Informationsstand erreicht werden muss, wird in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) beschrieben. Sie enthalten die Anforderungen des Auftraggebers an die zu liefernden Informationen, beziehen sich also auf den Inhalt der Planungsleistungen. Ergänzt werden die AIA durch einen BIM-Abwicklungsplan (BAP), welcher die einzelnen ablaufenden Prozesse im Detail beschreibt und die Ordnungsstruktur der BIM-Koordination vorgibt (BMVI, 2020b, S. 9). Die AIA werden dabei vom Auftraggeber, der BAP vom Auftragnehmer erarbeitet.

4.4 Situation im Tiefbau

Diese Strategien sollen auch auf den Tiefbau übertragen werden. In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, wie der aktuelle Stand der Umsetzung bzw. Einführung der BIM-Methode ist. Zunächst muss dabei auf die Unterschiede des Tiefbaus zum Hochbau eingegangen werden. Wie im Vorkapitel bereits erläutert, ist der Charakter von Tiefbauprojekten grundlegend anders. In der Regel haben solche Projekte größere Ausmaße, was wesentlich mehr externe Eingangsdaten zur Folge hat. Aufgrund des viel umweltabhängigeren Bauens handelt es sich bei jedem Infrastrukturprojekt um eine Einzellösung, die andernorts nicht ohne Weiteres reproduziert werden kann⁸. Grundsätzlich übernommen werden können die technischen Grundlagen, beispielsweise die Funktionen der Datenübertragungsformate und die Struktur des Zusammenspiels von Modellierungssoftware, AVA-Software und externen Datenbanken. Die Voraussetzungen dafür wurden durch die Fortentwicklung im Hochbau bereits geschaffen, jedoch ist eine 1:1-Anwendung der auf den Hochbau spezialisierten Programme im Tiefbau nicht möglich. Dafür gibt es diverse Gründe.

Durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Modellierung der Bauwerke haben sich in den letzten Jahrzehnten eigenständige Softwarelösungen für die Infrastrukturplanung etabliert, welche nur in geringerem Umfang auf die Fähigkeiten der Hochbausoftware zurückgreifen. Dies zeigt sich darin, dass beispielsweise der Dateneingang für Umweltdaten wesentlich umfangreicher sein muss, um eine Berücksichtigung dieser und die Arbeit mit diesen zu ermöglichen. Aufgrund der Berechnungen von Geländeänderungen sind wesentlich größere

⁸ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

Rechenkapazitäten erforderlich. Somit stellt die Größe von Infrastrukturprojekten auch eine Herausforderung für die in den Unternehmen angewendete Hardware dar⁹.

Die Einführung der BIM-Methode erfolgt wie beim Hochbau durch kontinuierliches Einarbeiten der Akteure und die gleichzeitige Weiterentwicklung der Softwareprodukte durch die Entwicklerfirmen. Ziel ist ebenso die Erschaffung digitaler Zwillinge. Dabei soll die Realität so genau wie möglich in einem einzigen Modell abgebildet werden. Besonders umfassend ist dabei die Rekonstruktion bestehender Bauwerke. Infrastrukturbauwerke sind aufgrund ihrer Ausdehnung und Interaktion mit der Umwelt besonders komplex. Aus Sicht der Akteure ist ein einziges Modell im Rahmen der BIM-Methode wünschenswert (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., 2021).

Für die modellbasierte Planung sind im Tiefbau folgende Softwarelösungen im Angebot und in Verwendung. Alle davon haben den Anspruch die BIM-Methode zu berücksichtigen.

Planungssoftware:

Die Software zur Modellierung von Verkehrswegen in einem CAD-System unterscheidet sich häufig von den Lösungen im Hochbau. Entweder es werden für die Infrastrukturplanung eigene Programme neu konstruiert oder Aufsätze zu bestehender CAD-Software entwickelt. Aus letzteren können sich auch eigenständige Produkte entwickeln. Jede Software hat den Anspruch eine allumfassende Planung durchführen zu können. Dennoch lässt sich eine besondere Spezifikation der Programme zur Straßen- oder zur Schienenverkehrsanlagenplanung beobachten. Folgende Softwarelösungen sind gebräuchlich:

AutoCAD Civil 3D (von Autodesk, San Rafael (CA, USA)): AutoCAD Civil 3D ist eine Weiterentwicklung der weit verbreiteten CAD-Anwendung AutoCAD. Sie ist zur Anwendung im Tief- und Infrastrukturbau vorgesehen. Unterschieden wird dabei in Straßen- und Eisenbahnbau bzw. Geländeplanung. Eine weniger umfassende Variante stellt Autodesk Infraworks dar.¹⁰

BricsCAD (von Bricsys NV, Gent (Belgien)): BricsCAD stellt als CAD-Software eine Alternative zu AutoCAD dar. Neben der eigenen Anwendung, beispielsweise BricsCAD BIM, wurden von externen Firmen auch diverse Aufsätze programmiert, welche auf BricsCAD-Basis verwendbar sind. Die Funktionen gleichen weitestgehend denen von AutoCAD.¹¹

CARD_1 (von IB&T Software GmbH, Norderstedt): Die Software CARD_1 wurde speziell für den Tiefbau entwickelt. Spezialisiert ist die Software auf den Einsatz im Straßenbau, aber auch die Planung von Bahnanlagen ist möglich. Mit DESITE BIM wird auch eine Softwarelösung zur Koordination von BIM-Projekten angeboten.¹²

⁹ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

¹⁰ <https://www.autodesk.de/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>, 03.01.2023

¹¹ <https://www.bricsys.com>, 03.01.2023

¹² <https://www.card-1.com>, 03.01.2023

Vestra INFRAVISION (von AKG-Software, Heitersheim): Vestra INFRAVISION kann sowohl als Aufsatz für die gängigen CAD-Programme als auch mit AKGCAD betrieben werden. Ursprünglich aus der reinen Straßenplanung kommend, werden auch Komponenten der Eisenbahnplanung berücksichtigt und sind im Softwareprodukt mit enthalten. Es wird damit geworben, mit den Richtlinien der Eisenbahnen im deutschsprachigen Raum (DB AG, SBB, ÖBB) konform zu sein. Da die zur Verfügung stehenden Bausteine der Eisenbahnplanung mit denen der Straßenplanung kombinierbar sind, ist die Planung von Nahverkehrsbahnanlagen möglich. (AKG Software)

iTWO Civil (von RIB Software, Stuttgart): Dies ist eine eigene CAD-Lösung, welche von RIB Software entwickelt wurde. Die CAD-Lösung konzentriert sich zunächst auf den Straßenbau. Dieses Softwareunternehmen ist außerdem für iTWO bekannt, welches als AVA-Programm verbreitet ist. Aufgrund dessen ist zu erwarten, dass die Schnittstellen zwischen CAD- und AVA-Programm aufeinander abgestimmt sind.¹³

ProVI (von Obermeyer, München): ProVI als Programm ist primär auf den Bahnbau fokussiert. Dabei handelt es sich um einen CAD-Aufsatz für AutoCAD und BricsCAD. Angeboten werden diverse Datenpakete, welche sich im Einzelnen auf die Planung von Straßenbauwerken, Eisenbahnanlagen und vertiefend auf die Leit- und Sicherungstechnik oder geodätische Arbeiten spezialisieren. Für die Planung von Straßenbahnanlagen in Verbindung mit einer Straßenverkehrsanlage wäre ein kombiniertes Datenprodukt Straße+Schiene notwendig.¹⁴

KorFin (von A+S Consult, Dresden): Der **Korridorfinder** ist eine Plattform zur Planung sämtlicher Infrastrukturanlagen. Neben der baulichen Planung ist auch die Abrechnung von Projekten möglich, sodass hier bereits Elemente der AVA-Software zu finden sind. Das Softwareangebot gestaltet sich als sehr allumfassend, sodass auch hier die Koordination von BIM-Projekten möglich ist.¹⁵

OpenRoads (von Bentley Systems, Exton (PA, USA)): Openroads bietet ebenfalls die Möglichkeit der Modellierung von Infrastrukturprojekten, bezieht sich dabei aber primär auf Straßenverkehrsanlagen. Explizit geworben wird mit der Möglichkeit der Einbindung von VISSIM (von PTV Gruppe) zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten.¹⁶

BBSOFT (von B&B Ingenieurgesellschaft mbH, Donaueschingen): Die Anwendung ist ein Aufsatz für AutoCAD oder BricsCAD und konzentriert sich ebenso auf den Tiefbau wie auf den Straßenbau. Lösungen für Schienenverkehrsanlagen werden nicht angeboten.¹⁷

Die Produkte AutoCAD Civil 3D, CARD_1, VESTRA INFRAVISION und iTWO Civil werden dabei vergleichsweise häufig verwendet. Für die Anwendung in der BIM-Methode ist ProVI sehr stark

¹³ <https://www.rib-software.com/loesungen/cad-tiefbau>, 27.12.2022

¹⁴ <https://www.provi-cad.de/produkt/produktuebersicht/>, 27.12.2022

¹⁵ <https://www.korfin.de/bahn.html>, 03.01.2023

¹⁶ <https://www.bentley.com/software/openroads-conceptstation/>, 03.01.2023

¹⁷ https://www.bbsoft.de/cont/cont_software.php, 03.01.2023

vertreten (Dziemba, Wogan & Berger, 2022, S. 182). Sämtliche der Softwareangebote werden aktuell gepflegt und auf dem neuesten Stand gehalten. Der Export der angeforderten Dateiformate, beispielsweise GAEB-Dateien, ist mit all diesen Lösungen möglich. Es bleibt festzuhalten, dass diese Auflistung nur eine Momentaufnahme darstellt und sich die Funktionen und Marktpositionen der einzelnen Softwareprodukte jederzeit ändern können.

AVA-Software (aus Hochbau übernommen):

AVA-Software dient der Verarbeitung von Rohdaten, die mittels GAEB-Dateien aus dem zugehörigen Modell importiert werden. Dabei werden die im Modell dargestellten Bauteile mit Informationen verknüpft. Diese Bauteile werden mit Eigenschaften, beispielsweise Ausdehnung, Material etc., versehen und gegebenenfalls in Bauteilgruppen zusammengefasst. Die Grundfunktionen der AVA-Angebote sind gleich. Es werden aus den Eingangsdaten Verzeichnisse erstellt, die dann beliebig weiterverarbeitet werden können. Zur Erstellung von Leistungsverzeichnissen für Ausschreibungen werden zum Beispiel DIN- und VOB-konforme Texte vorformuliert, die mit den importierten Mengendaten verknüpft werden müssen. Einzelne Lösungen bieten die Verknüpfung zu externen Kostendatenbanken an, beispielsweise wirbt G&W mit der einfachen Verknüpfung von California mit DBD-Bim, um die Kalkulation der Baukosten eines Projekts zu vereinfachen. Problematisch ist dabei der Bezug zum Tiefbau, da für diesen die Angebote der Kostendatenbanken wenig ausgeprägt sind. So sind für Tiefbauprojekte die Datenbanken noch sehr unvollständig, oftmals wird die Trennung zwischen Straßen- und Schienenverkehrsanlagenplanung vollzogen. Unterschiede lassen sich im Interface, also der direkten Anwendung, und in den Anschaffungspreisen der Anwendung feststellen.

Folgende Softwareprodukte finden im AVA-Prozess Anwendung (Auswahl):

- Orca (von ORCA Software GmbH, Neubuern)
- AVA-Plan (von AVAPLAN Software GmbH, Berlin)
- California (von G&W, München)
- iTWO (von R&B-Software, Stuttgart)
- SIDOUN (von SIDOUN International GmbH, Freiburg)
- Compa (von Compa Construction Solutions GmbH, Berlin)
- Bechmann BIM (von Bechmann GmbH, Augsburg)

Einige Unternehmen gehen mit dem Beschaffen von Lizenzen zur Nutzung von AVA-Programmen, wohl auch aufgrund der hohen Investitionskosten, immer noch sparsam um. Die Leistungen eines AVA-Programms lassen sich auch manuell ohne Softwareunterstützung (beispielsweise als Tabellenkalkulation) durchführen, nur ist dies mit einem wesentlich höheren Zeitaufwand und einer größeren Fehleranfälligkeit verbunden.

Die im Hochbau geläufigen Level of Detail (LOD) sind im Infrastrukturbau noch unüblich und daher nicht definiert. Verbunden wird diese Einordnung mit der Ausgabe der Kostengruppe nach DIN 276. Da diese Kostengruppen für den Infrastrukturbau noch nicht genauer ausgearbeitet sind, kann nur eine grobe Einordnung der geforderten Detaillierung erfolgen. Die *Richtlinien zum Planungsprozess* (RE) und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau bietet dafür den Ansatz einer Definition der einzelnen Kostenbestimmungsziele, richtet sich in erster Linie jedoch an die Straßenplanung (BMVI, 2012). Dies unterstreicht, dass eine Anpassung der DIN 276 notwendig ist.

5. Defizite des aktuellen Vorgehens

Resultierend aus den in Kapitel 3 und 4 aufgezeigten Grundsätzen der Infrastrukturplanung ergeben sich eine Reihe von Kritikpunkten, die festhalten, welche Probleme und Schwierigkeiten aktuell auftreten. Diese sollen in diesem Kapitel Beachtung finden.

5.1 Defizite und Probleme bei der modellbasierten Planung

Das zuvor beschriebene Vorgehen bei der Planung, sowohl konventionell als auch mit der BIM-Planungsmethode, kann zu Problemen führen. Hintergrund sind die vielen unterschiedlichen Faktoren, die die Planung beeinflussen, für diese wichtig sind und in der Theorie funktionieren sollten. In der Praxis zeigt sich jedoch häufig, dass die Anforderungen an die Planung und den Prozess um die Planung herum nicht eingehalten werden können.

Festzuhalten bleibt, dass das technische Grundkonstrukt des Planungsablaufs nicht als Problem wahrgenommen wird¹⁸. Aufgrund fest definierter Dateiformate ist die Übergabe von Dateien unterschiedlicher Art zwischen den genutzten Softwareprodukten möglich. Kritisiert wird dabei, dass der Übergang der Dateien und das Einlesen in eine Software eines anderen Herstellers zu Informationsverlusten führen kann. Ein Beispiel ist: CAD-Programme geben die darin konstruierten Modelle als DWG-Datei aus. Wenn für die Ausgangsdatei AutoCAD von Autodesk verwendet wurde und die Empfänger stattdessen BricsCAD verwenden, kann es zu Informationsverlusten kommen, obwohl sich das Format der Datei nicht verändert hat¹⁹. Diese Informationsverluste können bei internen Verbindungen/Fängen oder bei Informationen zu gesetzten Flächenschraffuren auftreten. Dies tritt insbesondere bei der Übertragung von Dateien zwischen verschiedenen Unternehmen, beispielsweise bei der Übergabe des Projekts von einer planenden zu einer bauausführenden Firma, auf. Der Fehler resultiert aus dem breiten Angebot an CAD-Software auf dem Markt, was hinsichtlich der technischen Konsistenz und dem Versprechen eines reibungslosen Planungsablaufs von Nachteil ist. Die Vielfalt des Angebots bietet jedoch auch den Vorteil der Konkurrenzsituation der Softwareprodukte untereinander und dem damit verbundenen Druck auf die Softwareanbieter, immer auf dem aktuellen Stand zu sein und die Kostengestaltung kundenfreundlich zu gestalten.

Hinzukommt jedoch, dass für eine konsistente und übersichtliche Planung eine Reihe von Softwareprodukten notwendig ist. Diese Produkte sind jedoch mit zum Teil sehr hohen Investitionskosten verbunden. Für CAD-Programme sind solche Investitionen unumgänglich, da mit diesen die Konstruktion der Modelle stattfindet. Sie sind daher essenzieller Bestandteil der Planung. Die Verarbeitung der darin enthaltenen Informationen kann folgend mit AVA-Software erfolgen. Da auch für diese die Kosten sehr hoch sind, werden von Planungsunternehmen oftmals nur wenige Lizenzen beschafft. Häufig wird die Mengen- und Kostenaufstellung für Projekte noch manuell in Excel-Tabellen durchgeführt. AVA-Programme könnten diesen Schritt beschleunigen, wie dargelegt ist das jedoch mit hohen Investitionen verbunden. In den AVA-

¹⁸ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

¹⁹ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

Programmen ist auch die Verknüpfung zu Kostenkennwerten möglich. Der Zugriff auf externe Datenbanken, beispielsweise DBD-Bim, ist ebenfalls mit Kosten verbunden. Somit sind hohe Grundinvestitionen erforderlich, ohne überhaupt ein Projekt bearbeitet zu haben.

Bezogen auf die BIM-Methode wird der aktuelle Stand der Umsetzung kritisiert. Dem von der Bundesregierung vorgesehenen Stufenplan zu Folge sollte bis 2020 ein vollumfängliches System entstanden sein, sodass die BIM-Methode flächendeckend, zumindest bei großen Projekten, eingesetzt werden kann. Nach Ansicht von Personen aus dem Fachbereich ist dies jedoch bei weitem noch nicht gelungen²⁰. Die Versprechen aus der BIM-Methode können daher noch nicht in dem gewünschten Umfang genutzt werden. Grund dafür ist, dass zum einen die Datengrundlage noch nicht geschaffen ist. Grundkonzepte und Datenbanken für die BIM-Methode stammen ursprünglich aus dem Hochbau, deren Übertragung in den Tiefbau ist bisher jedoch nur in begrenztem Rahmen umgesetzt. Die Planung des Tiefbaus ist daher noch sehr stark auf eigene Datenbanken und kreative Lösungen angewiesen. Der aktuelle Katalog zu den Inhalten der Pakete von DBD-Bim, für die Anwendung im Hochbau essenziell, ist für den Tiefbau beispielsweise noch nicht vollständig ausgeführt und ergänzt. Insbesondere Schienenverkehrsanlagen sind als solche noch gar nicht enthalten (Dr. Schiller & Partner GmbH, 2021). Ende 2022 wurde im BIM-Portal von BIM DEUTSCHLAND eine Strategie zur Definition von Objektvorlagen, welche in der CAD-Planung verwendet werden können, vorgestellt. Diese kann einen Baustein zur Lösung des angesprochenen Problems darstellen. Aktuell (05.01.2023) sind diese Objektvorlagen jedoch noch nicht definiert bzw. veröffentlicht.

Die Übergangsphase zwischen konventioneller modellbasierter Infrastrukturplanung und der Einführung der BIM-Methode im Tiefbau ist seit Jahren im Gange, initiiert durch den Stufenplan und die Modellprojekte der Bundesregierung (BMVI, 2015). In der Regel versuchen die Unternehmen, beispielsweise in der Baubranche, Schritt für Schritt auf BIM-fähiges Arbeiten umzustellen. Die passende Software steht oftmals schon zur Verfügung. In der Regel werden von externen Unternehmen, beispielsweise CADSYS GmbH (jetzt Teil von nti group), Lehrgänge zum Umgang mit der Methode und die Schulung zum BIM-Koordinator angeboten. Damit sollen die Akteure der Planungs- und Baubranche auf die anstehenden Herausforderungen vorbereitet werden. Jedoch existieren auch hier wesentlich vielfältigere Angebote für den Hochbau im Vergleich zum Tiefbau. Die Phase der Einführung der BIM-Methode, die beschriebene Übergangsphase, kann wie folgt aussehen: Neben der konventionellen Durchführung eines Projekts wird parallel die Abwicklung mit der BIM-Methode erprobt. Das betrifft die Verarbeitung und Bereitstellung von Daten. In dieser parallel verlaufenden Arbeit wird man mit der Methode vertraut und sammelt Erfahrungen aus den Fehlern dieser Arbeit. Für das Unternehmen selbst ist dies jedoch eine kritische Investition, da diese parallele Arbeit nicht honoriert wird. Wahrscheinlich verläuft die Einführung der Methode deswegen sehr stockend.

Als weiteres Problem stellt sich oft die Form der Eingangsdaten heraus. Für die Planungsbüros werden häufig im Laufe eines Projekts Daten von extern gesammelt, um diese in die Planung

²⁰ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

einfließen zu lassen. Beispielsweise handelt es sich dabei um Leitungspläne für Strom-, Gas- oder Telekommunikationsnetze, welche von den entsprechenden Betreibern zur Verfügung gestellt werden. Häufig sind diese in der angelieferten Form nicht sofort nutzbar, da sie entweder als PDF, aus der man keine Daten exportieren kann, oder sogar nur in ausgedruckter Form geliefert werden²¹. Auch für die bauausführenden Firmen stellt das ein Problem dar. Die Ergebnisse der zuvor abgelaufenen Planung werden meist ebenfalls in Form einer PDF geliefert. Die in der Planung enthaltenen Punktdaten sind jedoch wichtig, um daraus Fahrinformationen für die Maschinen vor Ort zu erhalten. Aus einer PDF lassen sich diese jedoch nur rekonstruieren, nicht exportieren. Dies bedeutet einen erheblichen Mehraufwand an Kosten und Arbeitskraft, welcher vermieden werden sollte. Dahingehend legen die Unternehmen große Hoffnungen in die Fortentwicklung und die Etablierung der BIM-Methodik. Die Arbeit an einem Modell und ein leichter Datenbezug würden diese Arbeiten deutlich erleichtern²².

In den Projekten selbst werden die Unternehmen die BIM-Methode nur anwenden, wenn dies explizit vom Auftraggeber gefordert wird. Von Seiten der Auftraggeber wird zunehmend in BIM-Kompetenzen investiert, jedoch läuft dieses Programm erst sehr langsam an. Hinzu kommt, dass auf den Länderebenen derzeit Strategien zum Umgang mit BIM konzipiert werden, jedoch entwickelt dabei jedes Bundesland eine Strategie für sich. Das kann von Vorteil sein, um verschiedene Herangehensweisen zu untersuchen, birgt aber auch Risiken hinsichtlich der mangelnden Einheitlichkeit unter den Ländern und führt damit zu erhöhten Komplexitäten für die Planungsunternehmen. Dies sollte vermieden werden²³. Eine bundesweit erarbeitete Strategie, etwa durch BIM DEUTSCHLAND, kann sinnvoll sein, um die Auswirkungen der Risiken zu vermeiden.

Die fehlende Honorierung ist ein weiterer Kritikpunkt. Die HOAI ist auf den Einsatz der BIM-Methode nicht vorbereitet. Grund hierfür ist, dass aus der Natur der Methode heraus ein vollständiges Modell, wenn auch mit geringerem LOD, bereits viel früher gefordert wird, als das bisher der Fall ist²⁴. Der Aufwand für die Unternehmen in den Leistungsphasen verschiebt sich daher tendenziell zu einem höheren Aufwand in den frühen Leistungsphasen. Eine Anpassung der HOAI erscheint daher dringend notwendig. Es bleibt grundsätzlich zu hinterfragen, ob das Vorgehen in der HOAI den Anforderungen der Planung überhaupt gerecht wird. Mit dem Fortschreiten der Digitalisierung ist zu erwarten, dass sich die Anforderungen in den einzelnen Leistungsphasen ändern und ein vollständig detailliertes Modell bereits viel früher im Planungsprozess vorliegen kann. Eine Novellierung der HOAI erscheint daher sinnvoll.

Weiterhin ist festzuhalten, dass die grundlegenden Vorlagen und Richtlinien, etwa die DIN 276 nur sehr schwer auf den Infrastrukturbau anzuwenden ist. Die darin definierten Kostengruppen (371 und 372) unterscheiden nur grob zwischen Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsanlagen. Zum einen lässt sich eine Trennung nicht immer beobachten, etwa bei

²¹ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

²² Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

²³ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

²⁴ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

innerstädtischen Verkehrsprojekten mit Nahverkehrsbahnanlagen, zum anderen sind darunter keine weiteren Kostengruppen zu finden, welche beispielsweise Ausstattung, Unterbau, Oberbau, Leitungen, Grünanlagen etc. voneinander differenzieren (DIN 276:2018-12, S. 20). Bei einer Kostenaussage bezieht man sich je nach Leistungsphase auf diese Kostengruppen. Der Infrastrukturbau ist damit im Vergleich zum Hochbau, bei dem beispielsweise Innenstützen oder Baugrundverbesserungen eine eigene Kostengruppe darstellen und so mit dem Straßenbau als Ganzes gleichgesetzt wird, noch vergleichsweise schwach ausdifferenziert. Eine weitere Aufsplittung der Kostengruppen erscheint daher sinnvoll, um eine einheitliche, der DIN 276 entsprechende Kostenaussage und Strukturierung zu ermöglichen.

Hinsichtlich des Softwareangebots, welches zur Planung notwendig ist, sind gegebenenfalls die hohen Anschaffungspreise und die Komplexität zu kritisieren. Die Herstellung der Software und deren Anpassung an die laufende Entwicklung (aktueller Stand der Technik) erfordern ein hohes Maß an investierte Arbeitszeit für die Hersteller. Die Komplexität ist notwendig, um eine vollständige Planung durchzuführen. Dies führt jedoch dazu, dass die Anwendung solcher Softwareprodukte auf den Kreis der planenden Unternehmen und gegebenenfalls der bauausführenden Unternehmen beschränkt bleibt. Den Auftraggebern ist in der Regel eine solche Anwendung nicht zugänglich. Im Hinblick auf die geforderte Kommunikation zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer und der zunehmenden Forderung nach Transparenz im Planungsprozess, kann es jedoch sinnvoll sein auch für die Auftraggeber eine Möglichkeit zu schaffen, an den Planungen in technischer Hinsicht teilhaben zu lassen. Realistisch betrachtet wäre eine Teilhabe jedoch nur in den frühen Phasen einer Planung sinnvoll, da in diesem Zeitbereich vergleichsweise grob geplant wird und die Detaillierungsanforderungen eher gering sind. Eine Software, um dies abzudecken und gegebenenfalls auch so anwendungsfreundlich zu sein, dass auch fachfremde Personen sie nutzen können, fehlt jedoch.

5.2 Rolle der Baukosten im Planungsprozess

Einen weiteren Ansatz zur Kritik bietet der Stellenwert der Baukosten im Prozess der Projektplanung. Zu Beginn wird mit einer Grobkostenschätzung oder mit der Bestimmung des Kostenrahmens eine Baukostenaufstellung erarbeitet, welche in ihrer Detaillierung noch sehr grob gefasst ist. Diverse Details, beispielsweise Ausstattungselemente von Verkehrswegen, können erst im Laufe des Projekts genauer spezifiziert werden. Resultat ist, dass im Projektverlauf die prognostizierten Kosten in der Regel steigen. Eine Senkung der Baukosten ist selten zu beobachten und meist ein Resultat der Reduzierung des Projektumfangs. Allgemein wird aber eine Steigerung der Gesamtkosten im Laufe eines Projekts beobachtet. Die Gründe dafür sind vielfältig und können von der Änderung des Projektumfangs über die zunehmende Detaillierung bis zur Steigerung von Material- und Arbeitskosten reichen. Auch Verzögerungen im Projektablauf können einen Einfluss auf die Preisentwicklung haben.

Von den Projektkosten abhängig sind im Gegenzug die Honorare der planenden Akteure. Wie in der HOAI festgelegt sollen diese sowohl von der Komplexität eines Projekts als auch von dessen Kosten abhängig sein. Normalerweise sollte das Honorar auf der investierten

Arbeitszeit beruhen. Sollte es infolge der Änderung des Projektumfangs zu einer Veränderung der prognostizierten Kosten kommen, so kann man diese argumentativ mit der notwendigen Arbeitszeit verknüpfen. Gegebenenfalls ist dadurch die Überarbeitung eines Projekts notwendig. Problematisch ist jedoch, dass sich die Kostenerhöhungen, welche auf Verzögerung und Materialpreisentwicklung zurückzuführen sind, ebenfalls in der Honoraranpassung niederschlagen. Aus Sicht der planenden Unternehmen ist eine solche Entwicklung erfreulich, da so eine Honorarerhöhung erwartet werden kann, ohne dass dafür Arbeitszeit investiert werden musste. Aus Sicht der Auftraggeber, im Infrastrukturbau meistens öffentliche Träger, ist das jedoch nicht wünschenswert. In der Regel wird in den Verträgen festgelegt, wie mit steigenden Baukosten umgegangen wird, jedoch bleibt das eben beschriebene Problem im Grundsatz bestehen.

Steigende Baupreise auf Basis der Material- und Logistikkosten lassen sich schon immer beobachten, im Jahr 2022 jedoch besonders. Als Preistreiber lässt sich unter anderem der Krieg in der Ukraine benennen, infolgedessen Rohstoffpreise, unter anderem für Erdöl und Erdgas, massiv gestiegen sind (Bundeskartellamt, 2022). Dies hat Auswirkungen auf die Baubranche, da der Transport und die Verfügbarkeit von Baumaterialien aufwändiger geworden sind. Beispielsweise haben die Preise für Diesel Auswirkungen auf die Baufirmen, da der Einsatz derer Fahrzeuge für den Transport der benötigten Baumaterialien und der Betrieb der vor Ort eingesetzten Maschinen sich massiv verteuert hat²⁵. Solche Entwicklungen sind nur schwer kalkulierbar. Insbesondere solche tiefgreifenden Krisen mit derart starken Auswirkungen sind vorher nicht absehbar. Kostensicherheit, das Erreichen der formulierten Kostenvorgabe, besteht damit nicht (Hasselmann & Schramm, 2020, S. 47).

Die Auswirkungen der Preissteigerungen zeigen sich in der Entwicklung der Gesamtkosten eines Infrastrukturbauwerks. Obwohl sich der Umfang des Projekts nicht ändert, steigen die Kosten für dessen Umsetzung. Am Beispiel des Straßenbahnausbaus in Braunschweig zeigt sich, dass eine Verdoppelung der prognostizierten Gesamtkosten im Laufe einer Planung zu beobachten ist. Diese Angaben sind dazu unabhängig von den späteren Realisierungskosten (Stadt Braunschweig, 2022). Da einer Umsetzung eine politische Entscheidung vorausgeht, ist es im Interesse der Entscheidungsträger, relativ früh über die entstehenden Kosten Bescheid zu wissen und deren Steigerung in Grenzen zu halten. Maßnahmen zur Minimierung der Verzögerungen, sei es durch mangelhafte Abstimmung der Akteure, eine schlechte Datenverfügbarkeit oder mangelhafte Transparenz gegenüber Entscheidungsträgern und Bürgern, können daher sehr nützlich sein.

Ein wichtiger Faktor zur Verringerung der Kostenveränderungen ist somit die Minderung von Verzögerungen und die Reduzierung der Projektplanungs- und Umsetzungszeit.

²⁵ Vgl. Freiburg, Nicole: Interview, 08.12.2022, siehe Anhang 4

6. Entwicklung einer Methodik zur vereinfachten Kostenermittlung

Wie in Kapitel 5 und der Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit beschrieben, steht die Infrastrukturplanung vor dem Problem von Insellösungen. Insbesondere in den frühen Leistungsphasen und vor der Bewerbung auf die Planungsleistung für ein Infrastrukturprojekt sind keine festen Regeln oder Vorgehen beschrieben, welche zur faktisch konsistenten Vorarbeit beitragen. Insbesondere die Kostenschätzung und Grobkostenschätzung sind in ihren Anforderungen sehr ungenau formuliert, sodass davon ausgegangen werden muss, dass verschiedene Planungsunternehmen auch verschiedene Ansätze verwenden. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist daher schwierig. Eine grundsätzliche Abhängigkeit besteht zu den in der HOAI festgeschriebenen Preisen, deren Aktualität jedoch nicht dauerhaft gewährleistet werden kann bzw. einer regelmäßigen Aktualisierung bedarf.

Zudem wird in den vorherigen Kapiteln der Umstand beschrieben, dass das aktuelle Softwareangebot dem Anspruch der Mitnahme aller beteiligter Akteure, gegebenenfalls auch in den technischen Detailplanungen, nicht gerecht wird. Insbesondere die Auftraggeber sind auf die Expertise der Auftragnehmer angewiesen und somit von diesen abhängig. Um den Planungsprozess transparenter zu gestalten, wird es daher als sinnvoll angesehen, ein möglichst kostengünstiges und einfach zu bedienendes Tool zur Verfügung zu stellen.

Ziel dieses Kapitels ist daher die Entwicklung einer Planungsmethode, welche eine Kostenermittlung auf einer einheitlichen Kostenkennwertbasis mit möglichst wenigen Eingangsdaten ermöglicht. Sie soll auf Grundlage der in den Ausschreibungsunterlagen vorhandenen Informationen eine vollständige Darstellung des Infrastrukturprojekts ermöglichen und gleichzeitig die Verknüpfung zu den resultierenden Baukosten herstellen. Weiterhin soll sie den Ansprüchen bis zu denen einer Vorplanung nach Leistungsphase 2 der HOAI genügen. Ein Fokus soll dabei auf die Planung von Verkehrsanlagen mit Bahnkörper von Nahverkehrsbahnen gelegt werden. Speziell handelt es sich dabei um Straßenbahnen und Stadtbahnen, welche nach der *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen* (BOStrab) betrieben werden. Nach *Eisenbahnbau- und -betriebsordnung* (EBO) betriebene Bahnanlagen sind nicht Teil der Untersuchung, genauere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.1 *Nahverkehrsbahnen und Nahverkehrsbahnanlagen*. Die entwickelte Methode formuliert auch den Anspruch möglichst universell einsetzbar zu sein, also nicht auf ein bestimmtes geografisch eingeschränktes Untersuchungsgebiet zugeschnitten zu sein und gegebenenfalls auch Anforderungen der Infrastrukturplanung im Ausland berücksichtigen zu können.

Die Methode selbst beschreibt nicht die technische Umsetzung in Form eines anwendbaren Tools, sondern die fachlichen und strukturellen Grundlagen, welche zur Umsetzung bzw. Implementierung eines solchen beitragen.

Im Folgenden werden die Grundlagen der Methode geklärt, indem die aktuell für die Infrastrukturplanung in Deutschland gültigen Regelwerke samt darin enthaltener Definitionen betrachtet

werden. Dabei wird speziell sowohl auf die Planung von Straßenbahn-/Stadtbahnstrecken als auch auf die von Straßenverkehrsanlagen eingegangen. Einen weiteren, weniger umfassenden Untersuchungspunkt sollen die stadttechnischen Anlagen darstellen. Im Anschluss werden die Anforderungen an die Methode hinsichtlich ihrer Funktion beschrieben. Dafür bedarf es einer Betrachtung der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten und der benötigten Ausgangsdaten. Zusätzlich sollen die Anforderungen Aussagen über die notwendige Komplexität und Bedienungsfreundlichkeit der Methode ermöglichen. Darauf aufbauend kann die grundsätzliche Konzeption und eine Datenaufstellung erfolgen. Die Anwendung und Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Methode ist Gegenstand des darauffolgenden Kapitels.

6.1 Grundlagen von relevanten Verkehrssystemen

In den folgenden Unterkapiteln sollen die grundlegenden Regelwerke, Richtlinien, Vorgaben etc., welche für die Planung von Infrastrukturanlagen zu berücksichtigen sind, zusammengetragen und damit das Untersuchungsfeld genauer geklärt werden. Zunächst werden dabei die im Zentrum der Aufgabenstellung stehenden Nahverkehrsbahnen betrachtet. Diese allein sind für eine vollständige Methodenentwicklung jedoch nicht ausreichend, da eine strikte Trennung der Verkehrssysteme, insbesondere im urbanen Straßenraum, nicht immer möglich ist. Daher muss das Untersuchungsfeld auf weitere Verkehrssysteme ausgedehnt werden.

6.1.1 Nahverkehrsbahnen und Nahverkehrsbahnanlagen

Als ein zentrales Thema der Diplomarbeit sind Nahverkehrsbahnen mitsamt ihren Verkehrsanlagen einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Zunächst ist daher eine genaue Definition von Nahverkehrsbahnen notwendig, um den Untersuchungsraum genau einzuschränken. Aufgrund der Vielfältigkeit der Nahverkehrsmittel und ihres Einsatzbereiches ist eine einfache Abgrenzung als Schienenverkehrsmittel nicht zielführend. Vielmehr sollte ein anderer Ansatz für die Definition gefunden werden. Wenn rein prinzipiell von Bahnen im Nahverkehr gesprochen wird, bezeichnet man damit alle schienengebundenen Nahverkehrsmittel. In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung solcher zu finden (Tabelle 5).

Bahnart	Differenzierung	Bezeichnung	Betriebsordnung	Beispiele
Straßenbahn		Straßenbahn Schnellstraßenbahn	BOStrab BOStrab	Dresden, Leipzig Frankfurt/Main, Stuttgart
Stadtschnellbahn	<i>als Zweischienenbahn</i>	Metro/U-Bahn S-Bahn SV-Bahn	BOStrab EBO EBO	Berlin, München Berlin, Hamburg Dresden, Leipzig/Halle
	<i>als Sonderkonstruktion</i>	Schwebebahn Einschienenbahn	Sonderform Sonderform	Wuppertal Tokio
Sonstige Bahnen		Kabinenbahn Standseilbahn Schwebebahn	Sonderform Sonderform Sonderform	La Paz Augustusburg Dresden

Tabelle 5: Bahnen des Nahverkehrs mit Markierung der in der Arbeit relevanten Systeme (Zschweigert, 1982, S. 10)

Da die planerischen Grundlagen für *Stadtschnellbahnen* und die hier aufgeführten *sonstigen Bahnen* sich von den Straßenbahnen grundlegend unterscheiden und gegebenenfalls andere Betriebsformen vorliegen, werden in dieser wissenschaftlichen Arbeit ausschließlich letztere betrachtet. Ein weiterer Grund für diese Eingrenzung ist, dass hauptsächlich Straßenbahnen im Straßenraum vorzufinden sind und deren Planung häufig gemeinsam mit dem umgebenden Straßenraum stattfindet. Aus betrieblicher Sicht sind damit die in der BOStrab geregelten Bahnen gemeint, abzüglich der U-Bahnen. Aufgrund der Entwicklung solcher Systeme über mehrere Jahrzehnte, zum Teil über 100 Jahre, entstanden in den meisten Städten Mischformen, welche Merkmale beider Systeme aufweisen. So verkehren die Straßenbahnen in Dresden, Leipzig, Berlin etc. teilweise als klassische Straßenbahn im Mischverkehr mit dem Individualverkehr, teilweise (insbesondere auf Außenästen) auf unabhängigen Bahnkörpern. Oftmals sind die Übergänge auf einzelnen Streckenabschnitten fließend, sodass eine strikte Trennung der Systeme nahezu unmöglich ist (Beispiel: Pennricher Straße in Dresden, bei dieser existiert im Verlauf ein fließender Übergang zwischen verschiedenen Oberbauarten). Weitere Unterschiede sind die gefahrenen Geschwindigkeiten und daraus resultierend verschiedenen Anforderungen an Sicherungssysteme und Trassierungsparameter (Zschweigert, 1982, S. 11–13). Im Folgenden wird daher ausschließlich auf Straßenbahnen eingegangen. Die Bezeichnung Schnellstraßenbahn ist heute weniger geläufig, es wird häufig von Stadtbahnen gesprochen (Beispiele: Frankfurt am Main, Stuttgart, Metropolregion Ruhrgebiet etc.). Die Verknüpfungsstellen solcher Systeme mit der Eisenbahn (auch als Tram-Train bezeichnet) sind nicht Gegenstand der Betrachtung, da es sich hier um die Verbindung zweier sonst voneinander getrennter Verkehrssysteme handelt.

Die betriebliche Regelung der Straßenbahnsysteme erfolgt durch die *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen* (Straßenbahnbau- und Betriebsordnung – BOStrab). Die darin definierten Verkehrsmittel (Straßenbahnen mit abhängigem und unabhängigem Bahnkörper) beziehen sich dabei auf das *Personenbeförderungsgesetz* (PBefG). Im Grunde werden betriebliche und auch bauliche Anforderungen in jeglicher Hinsicht beschrieben. Konkrete Zahlenangaben in baulicher Hinsicht werden nur sehr wenige angegeben, meist handelt es sich um Grenzwerte oder notwendige Sicherheitsräume (*Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen*, 1987). Grob betrachtet stellt die BOStrab das Straßenbahnäquivalent zur StVO des Straßenverkehrs dar.

Grundlage für die bauliche Planung von Straßenbahnanlagen als Teil der Anlagen des öffentlichen Verkehrs bilden in erster Linie die *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen* (RASt), definiert durch die *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen* (FGSV). Diese Richtlinien dienen eigentlich der Gestaltung und Konstruktion von Straßen im innerörtlichen Bereich (siehe Kapitel 6.1.2 *Straßenverkehrsanlagen*). Die aktuelle Veröffentlichung stammt aus dem Jahr 2006 (FGSV, 2006). Da in der Regel innerstädtische Verkehrswege als Ganzes betrachtet werden (von Hauswand zu Hauswand), ist es notwendig, das Regelwerk für alle potenziell vorzusehenden Verkehrsmittel auszulegen. Auch aufgrund der mancherorts schwierigen Trennung der Betriebsanlagen von Straßenbahnen und Bussen (beispielsweise Haltestellen) wird in den RASt von Anlagen des öffentlichen Verkehrs gesprochen. Behandelt wird dabei die Einordnung der

Betriebsanlagen in den Straßenraum. Genauere Trassierungsparameter, etwa zur Länge von Übergangsbögen oder der Dimension von Überhöhungen im Bogenbereich, werden nicht angegeben. Um die Angaben der RAST zu spezifizieren, wurden daneben auch die *Ergänzungen zu den Anlagen des öffentlichen Verkehrs* (EAÖ) veröffentlicht.

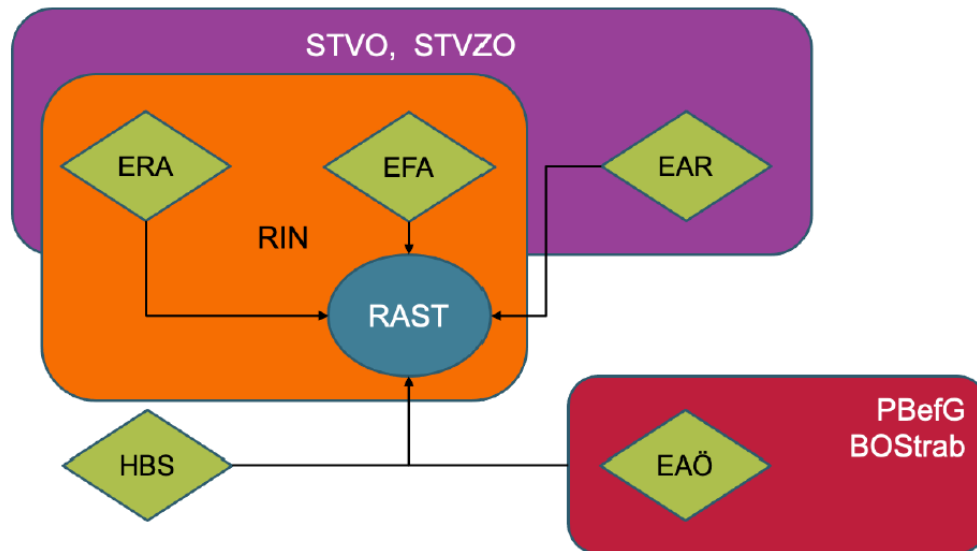


Abbildung 4: Bezug der ergänzenden Regelwerke zur RAST und Darstellung der rechtlichen Grundlagen (Wons, 2022, S. 11)

Genauere Spezifikationen zum Bau von Bahnanlagen nach BOStrab lassen sich in den Veröffentlichungen des *Verbands deutscher Verkehrsunternehmen* (VDV) finden. Als wichtige Quelle dient dabei die VDV-Richtlinie 600, die die bauliche Ausführung der Bahnanlagen genauer beschreibt. Neben der Definition der Oberbauarten inklusive deren Bauausführung werden darin Maße für Standardbauteile, beispielsweise Weichen und Kreuzungen, aufgeführt. Zusätzlich werden Hinweise zur technischen Abnahme von Bauteilen gegeben, was für die vorliegende Arbeit jedoch irrelevant ist. Genauere Ausführungen hinsichtlich der einzelnen Bauelemente, beispielsweise die Formen von Schienen oder Rädern, werden in den *Technischen Regeln Spurführung* (TR Sp) beschrieben.

Aus diesen Quellen lassen sich die später notwendigen Daten hinsichtlich der baulichen Komponenten beziehen.

6.1.2 Straßenverkehrsanlagen

Wie im Kapitel Nahverkehrsbahnen und Nahverkehrsbahnanlagen bereits angedeutet, existieren für die Anlagen von Straßenverkehrsanlagen diverse Regelwerke und Richtlinien. Genannt wurden bereits die *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen* (RASt). Bezogen auf die *Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung* (RIN) handelt es sich dabei um Kategoriengruppen anbaufreie Hauptverkehrsstraßen, angebaute Hauptverkehrsstraßen und Erschließungsstraßen. Grundsätzlich dienen diese Richtlinien der Unterstützung der planenden Personen, um einen fundierten und genehmigungsfähigen Entwurf einer Verkehrsanlage zu ermöglichen. Dafür werden

zwei Wege beschrieben, die zum gewünschten Ergebnis führen. Zum einen werden typische Entwurfssituationen definiert und dafür empfohlene Lösungen geboten. Andererseits werden Hinweise für einen individuellen Entwurf gegeben (Abbildung 5).

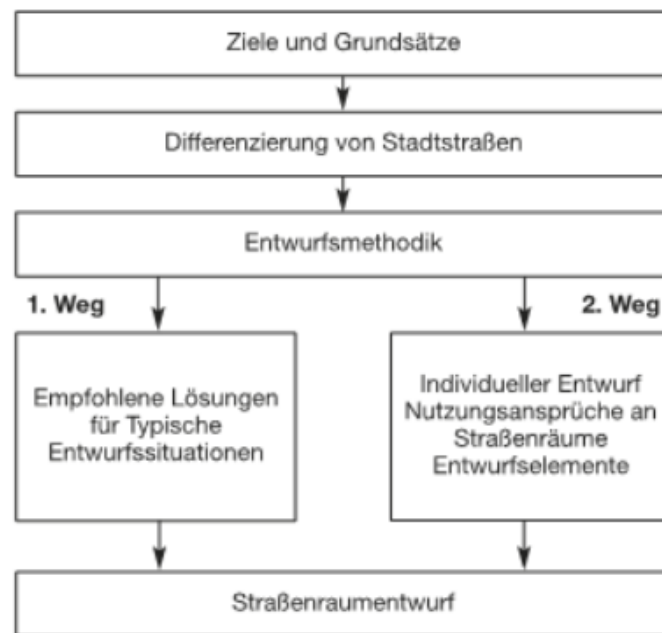


Abbildung 5: Aufbau der RAST mit Darstellung der unterschiedlichen Entwurfswege (FGSV, 2006)

Beide Arten des Entwerfens können hilfreich sein. Die typischen Entwurfssituationen sind gebunden an entwurfspägende Nutzungsansprüche wie die einzubeziehenden Verkehrsmittel, die Verkehrsstärke, den Schwerverkehrsanteil und gegebenenfalls eine ÖV-Bedienung. Eine weitere Eingrenzung erfolgt über die vorhandene Straßenraumbreite. Der individuelle Entwurf wird durch die Angabe von Regelbreiten unterstützt. Die planende Person ist dabei frei in der Anordnung der Entwurfselemente (auf gewisse Konventionen achtend), sollte sich jedoch an den angegebenen Regelwerten der einzelnen Elemente (z.B. Regelbreite eines Fahrstreifens) orientieren.

Der Unterschied zwischen innerörtlichen und außerörtlichen Straßen lässt sich vereinfacht damit zusammenfassen, dass innerörtliche Straßen von einem Bord begrenzt werden. Zusätzlich werden Unterschiede in den Grundlagen der Trassierung insofern deutlich, als dass außerörtliche Straßen nicht in den RAST, sondern in den *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen* (RAL, ebenfalls von der FGSV veröffentlicht) beschrieben werden. Zu den Straßenverkehrsanlagen zählen neben den Fahrstreifen für den Individualverkehr auch Radverkehrsanlagen, Gehwege sowie umfassende Erläuterungen zu Knotenpunkten. Für sämtliche Verkehrsanlagen existieren äquivalent zu den EAÖ weitere Ergänzungsschriften, veröffentlicht durch die FGSV.

Für die Beschaffenheit der Verkehrsanlage sind andere Regelwerke zu betrachten. Offene Fragen stellen sich beispielsweise hinsichtlich der Dimensionierung der Infrastruktur, also Unter- und Oberbau. Diese sind teilweise abhängig von zusätzlichen Informationen, beispielsweise der Verkehrsstärke mit Schwerverkehrsanteil, dem Prognosehorizont (beabsichtigte Lebensdauer)

sowie der geografischen Lage und der damit verbundenen Eingliederung in eine Frostschutzklasse. Die Regelungen dazu sind in den *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen* (RStO) zu finden (FGSV, 2012).

6.1.3 Stadttechnische Anlagen

Die rudimentären Anforderungen der stadttechnischen Anlagen werden, wie die Elemente der Straßenplanung, in Teilen der RAST beschrieben. Im Grunde spricht man dabei von folgenden Nutzungsansprüchen (FGSV, 2006, S. 19):

- Stromversorgung
- Gasversorgung
- Wasserversorgung
- Fernheizung (Fernwärme)
- Fernmeldekabel/Internet
- Mischwasserkanal (Straßenentwässerung und Abwässer)
- Schmutzwasserkanal (Abwässer)
- Regenwasserkanal (Straßenentwässerung)

Im Rahmen der Planung von Verkehrsanlagen handelt es sich bei der Berücksichtigung der stadttechnischen Anlagen um zu beachtende Korridore, welche im Unterbau eines Verkehrsweges für die Verlegung der entsprechenden Medien vorgesehen sind (Abbildung 6). Die bauliche Umsetzung erfolgt über den Einbau von Kabeln (Strom, Internet), Rohren/Leitungen (Gas, Wasser, Fernheizung) oder Kanälen (Entwässerungskanäle), wofür es unterschiedliche Ausführungen gibt. Gegebenenfalls müssen zusätzlich Anschlüsse an Grundstücke oder Wartungsstationen bedacht werden.

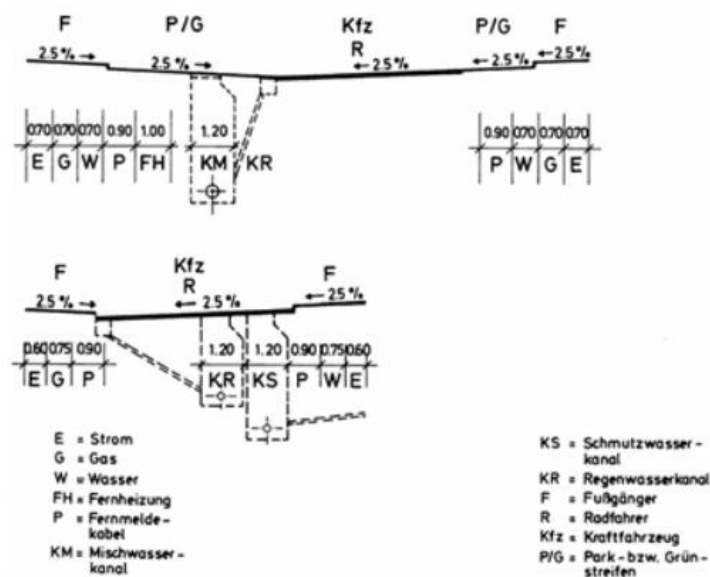


Abbildung 6: Anordnung der unterirdischen Korridore für die stadttechnischen Anlagen nach DIN 1998 (FGSV, 2006)

Die genauen Bauausführungen der stadttechnischen Anlagen werden in den *zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen* (ZTV-A) geregelt.

6.2 Anforderungen an die Methode

Die Methode sollte im Sinne ihrer Anwendbarkeit eine Reihe von Anforderungen erfüllen. Grund dafür ist der Anspruch der Methode für die Anwendung auch brauchbar zu sein, also ein fundiertes und nachvollziehbares Ergebnis zu liefern. Unterschieden wird dabei in solche Faktoren, welche die Anwendung der Methode selbst betreffen und solche, die technische Anforderungen beschreiben.

In der Aufgabenstellung wird der zu betrachtende Kostenermittlungshorizont eingeschränkt. Es ist der Phase der Bewerbung auf Planungsleistungen die Rede, welche vor den in der HOAI beschriebenen Leistungsphasen abläuft. Dabei wird oftmals, wenn auch nicht offiziell, von einer Grobkostenschätzung gesprochen. Ebenfalls erwähnt wird die Leistungsphase 2, in welcher nach HOAI eine Kostenschätzung erfolgt. Die Leistungsphase 1, die Bedarfsplanung, wird nicht explizit erwähnt, sollte jedoch auch Gegenstand der Betrachtung sein, da sie eine Zwischenstufe der zuvor erwähnten Phasen ist (siehe Tabelle 6). In dieser erfolgt die Festlegung eines Kostenrahmens auf Grundlage einer Korridorbestimmung. Dabei wird noch keine genaue Variante beschrieben, sondern lediglich der etwaige Verlauf einiger verschiedener Lösungen. Jede dieser Projektphasen hat eigene, zum Teil vordefinierte, Anforderungen an Detaillierung der Planung, welche im Folgenden berücksichtigt werden müssen.

Planungsstufe	Leistungsphase	Unterlagen	Kostenermittlung
<i>Ausschreibung</i>		<i>Bewerbungsunterlagen</i>	<i>Grobkostenschätzung</i>
Bedarfsplanung	1	diverse Bedarfspläne	Kostenrahmen
Vorplanung	2	Voruntersuchung	Kostenschätzung
Entwurfsplanung	3	Vorentwurf	Kostenberechnung

Tabelle 6: Begriffe der Kostenbestimmung im Zusammenhang des Planungsprozesses (Bundesregierung, 2021)

In der **Grobkostenschätzung** muss man mit Ausgangsdaten umgehen, die in der Ausschreibung selbst gegeben sind. Vor dem Hintergrund, dass eine solche Ausschreibung auch verloren werden kann, ist es für die Planungsunternehmen von Interesse möglichst wenig Zeit in die Kostenaufstellung zu investieren. Daher ist eine weitreichendere Informationsbeschaffung nur schwer vertretbar. Das aktuelle Vorgehen ist sehr uneinheitlich und reicht von Vergleichsprojekten (wenn vorhanden) bis zur Anwendung des verkehrsplanerischen Bauchgefühls beziehungsweise Erfahrungswerten. Wirklich fundiert im Sinne eines wissenschaftlichen oder allgemeingebräuchlichen Weges sind diese Ansätze aber nicht. Diese „Phase“ wird nicht als Teil des Planungsprozesses angesehen und wird daher in der HOAI nicht abgebildet. Trotz investierter Zeit zur Erstellung eines Angebotes wird dies in der Regel nicht honoriert. Ausnahmen gibt es bei besonders großen Projekten²⁶.

²⁶ Vgl. Unger, Annegret: Interview, 29.11.2022, siehe Anhang 3

Im Gegensatz dazu steht die **Voruntersuchung** in Leistungsphase 2. Deren Durchführung setzt voraus, dass eine Planungsleistung über die Ausschreibung bereits gewonnen wurde. Da somit bereits Kontakt zum Auftraggeber bestand, ist von einer gänzlich anderen Informationsverfügbarkeit auszugehen. Auch der ständige Austausch mit den Entscheidungsträgern fördert die zunehmende Detaillierung der Planung in dieser Phase. Bei den Verkehrsanlagen macht die Leistungsphase 2 nach HOAI 20% des ausstehenden Honorars aus (Bundesregierung, 2021, S. 46). Nach RE dient die Vorplanung (in welcher die Voruntersuchung stattfindet) der „Entscheidung über die weiterzuverfolgenden Lösungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Trassen- und Standortvarianten eines Straßenbauvorhabens“. Zu ermitteln sind dabei auch die Umweltauswirkungen und raumstrukturellen Aspekte eines Projekts. Die Trassenvarianten sind in Lage und Höhe zu entwickeln (BMVBS, 2012, S. 9).

Die dazwischen abzuwickelnde Leistungsphase 1, die **Bedarfsplanung**, ist im Vergleich zur Leistungsphase 2 hinsichtlich der Detaillierung anspruchsloser. In dieser erfolgt die Linienbestimmung entlang von Korridoren und hinsichtlich der finanziellen Abschätzung allenfalls die Absteckung eines Kostenrahmens (BMVBS, 2012, S. 17).

Dementsprechend sind die Ansprüche an die Vorplanung hinsichtlich Detaillierung der Planung, aber auch der Datenbeschaffung wesentlich umfassender. Dies widerspricht in einigen Punkten der geforderten Einfachheit und Handhabung der Kostenschätzung im Bewerbungsprozess. In der Methode ist dies zu berücksichtigen.

Ein genaues Level of Detail für die einzelnen Leistungsphasen ist nicht festgelegt. Darin unterscheidet sich der Verkehrswegebau vom Hochbau. Aus dem Hochbau übertragen würde man in der Vorplanung von einem Level of Detail 100 sprechen.

6.2.1 Anforderungen an die Anwendung

Die Anwendung eines Tools selbst sollte für die anwendende Person möglichst leicht begreifbar sein. So sollte sie ohne jedwede Schulung eine verständliche Bedienung ermöglichen, sodass kein umfassendes Einarbeiten in das Tool notwendig ist. Der Anspruch sollte dabei so niedrig sein, dass Personen ohne Fachbezug ebenfalls die Anwendung nutzen können. Dies ermöglicht einen umfassenderen Einsatz auch außerhalb von Planungsunternehmen.

Sinnvoll wäre es, die Methode so anzulegen, dass ein Ergebnis mit möglichst wenigen Schritten erreicht werden kann. Das entspricht dem Ziel der gewünschten Zeitersparnis. Dabei sollte aber der fachliche Anspruch der Richtigkeit und Vollständigkeit gewahrt werden. Die Verknüpfung mit externen Daten sowie anstehende Berechnungen sollten dabei automatisch ablaufen und in einem einheitlichen Schema erfolgen. Das Ergebnis sollte dabei innerhalb des Tools auch verwendbar oder zumindest so exportierbar sein, dass es ohne weitere fachbezogene Software ausgelesen werden kann.

Die Klärung des Interface und der genauen Struktur des Tools ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, da dies erst im Zusammenhang mit der rechentechnischen Umsetzung erfolgen soll.

Sinnvoll ist hierbei, auf die Ansichten der potenziellen Nutzenden einzugehen und sich daran zu orientieren.

Als Vorbild für die Methode eignet sich beispielsweise das Internettool streetmix.net. Dabei werden Bausteine, welche für ein Verkehrssystem stehen, zusammengesetzt und dabei ein Querschnitt gebildet (siehe Abbildung 7). Die Anwendung kann als optisch ansprechend angesehen werden. Für die Anwendung sind jedoch noch weitere technische Anforderungen zu betrachten, sodass streetmix.net nur als Vorbild hinsichtlich Optik und Handhabung angesehen werden kann.²⁷

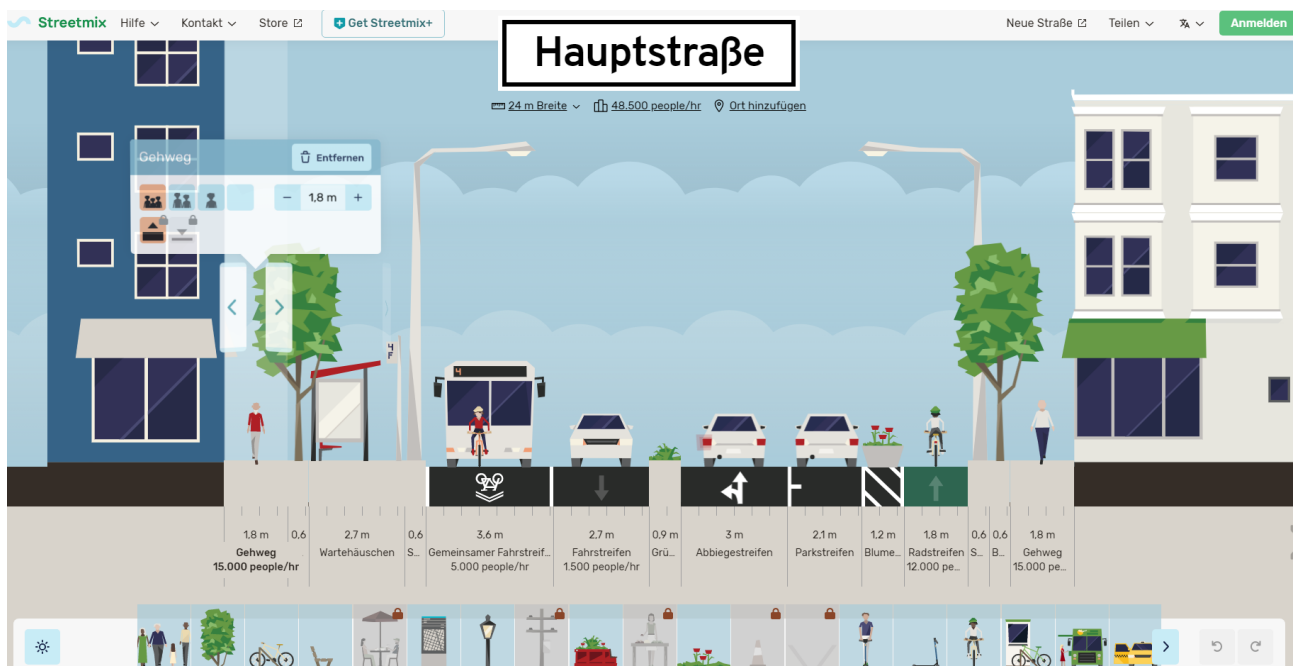


Abbildung 7: Internettool streetmix.net zur Zusammensetzung eines Querschnitts aus einzelnen Bausteinen

Weiterhin zu erwähnen ist de.remix.com. Dabei kann ein Netz von Straßen vor einer Hintergrundkarte erstellt werden. Diese Verkehrsachsen können wie bei streetmix.net als Querschnitte definiert werden, sodass ein vollständiger Verkehrsweg entsteht. Ebenso sind die Gestaltungsarten von Knotenpunkten wählbar. Problematisch ist jedoch, dass sich dieses Tool nicht auf die in Deutschland gängigen Regelwerke bezieht, also dahingehend keine Standardeinstellungen existieren, und der Fokus sehr stark auf der Planung von Straßen liegt. Beispielsweise werden Anlagen des Schienenverkehrs, gleich ob Straßenbahn (Light Rail) oder Eisenbahn (Heavy Rail), gar nicht betrachtet. Auch ist die Mengenausgabe der konstruierten Verkehrswege nicht möglich. Das Tool ist daher als unvollständig anzusehen, bietet aber einen zielführenden Ansatz.²⁸

²⁷ <https://streetmix.net/-/2042328>, 05.01.2023

²⁸ <https://de.remix.com/solutions/streets>, 05.01.2023

6.2.2 Technische Anforderungen

Neben den Anforderungen an die Anwendungsfreundlichkeit müssen auch eine Reihe von technischen Anforderungen eingehalten werden. Diese betreffen die Funktionalität der Methode, der Vollständigkeit und Genauigkeit der Daten sowie deren Variabilität.

Funktionalität

Grundvoraussetzung für die Methode, ist die Gewährleistung ihrer Funktionalität. Das bedeutet, dass die Anwendung technisch nachvollziehbar sein muss und es mit ihr möglich ist das erforderliche Ergebnis zu erzielen. Dies muss auf Basis der aktuell geläufigen Regelwerke und Richtlinien geschehen, damit die Regelkonformität der Methode gegeben ist. Dies stellt sicher, dass das Ergebnis der Methode genehmigungsfähig ist. Die dazu notwendigen Regelwerke wurden bereits im Kapitel 6.1 erwähnt. Es ist daher wichtig den notwendigen Output der Methode klar zu benennen und in der weiteren Entwicklung deren Möglichkeiten aufzuzeigen. Gleichzeitig sollte aber beachtet werden, dass die Methode Grenzen haben wird, was zum einen aus der geforderten Anwendbarkeit und zum anderen aus den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten resultiert.

Zu beachten ist ebenso, dass die Methode Teil eines größeren Komplexes sein kann. Wichtig ist daher die Schaffung von Schnittstellen, um einen reibungsfreien Datenübergang zu anderen Softwareangeboten zu gewährleisten. Diese können ein auf dieser Methode basierendes Tool so ergänzen, dass dessen Schwächen ausgeglichen werden können. Konkret geht es dabei um die mögliche Verknüpfung zu Programmen, die die Abrechnung in Form einer Aufstellung von Leistungsverzeichnissen ermöglichen, die bereits erwähnten AVA-Programme. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Verknüpfung zu externen Datenbanken, die das Einspielen von Zusatzinformationen, wie beispielsweise Kostenkennwerte zu einzelnen Komponenten, ermöglichen. Die genaue informationstechnische Umsetzung dieser Schnittstellen wäre eine Betrachtung, die bei der Umsetzung der Methode in ein Tool ansteht. Somit ist diese nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Vollständigkeit der Daten

Ergebend aus den Regelwerken müssen die technischen Bestandteile der Methode vorher definiert werden, um das vorgesehene Ergebnis zu erreichen. Die Methode muss daher vollständig definiert sein. Zu beachten ist dabei die Spanne zwischen der Anwendbarkeit, so sollten die einzelnen Bestandteile möglichst verständlich und in ihrem Umfang überschaubar sein, und der technischen Konsistenz, also der Richtigkeit und Genauigkeit der technischen Anwendung. So kann eine Bahnanlage für Straßenbahnen diverse Ausführungsmöglichkeiten bieten, welche zur Vollständigkeit definiert werden müssen. Damit vergrößert sich die Auswahlmöglichkeit jedoch auf ein Maß, dass für fachfremde Akteure schwer überschaubar und gegebenenfalls uninteressant sein kann. Für die Vollständigkeit der Daten ist aber auch der Rückgriff auf externe Informationen notwendig. Die Methode selbst kann nur ein Grundkonstrukt einer Anwendung sein. Die dafür notwendige Datensammlung ist sehr umfassend und kann in dieser Arbeit nicht

abgedeckt werden. Es werden daher Vorschläge für mögliche zusätzliche Datenquellen gemacht.

Genauigkeit der Daten

Aussagen zu den technischen Anforderungen, insbesondere zur notwendigen Genauigkeit der Methode, lassen sich am besten aus den Leistungsphasen der geplanten Anwendung ableiten. Nach HOAI werden die Leistungsphasen 1 und 2 sowie die manchmal als „Leistungsphase 0“ bezeichnete Grobkostenschätzung in Betracht gezogen. Jeder dieser Phasen stellt eigene Anforderungen an die Genauigkeit der Detaillierung. Im Gegensatz zum Hochbau sind für die Infrastrukturplanung jedoch keine *Level of Definition* definiert. Im Zusammenhang mit den Leistungsphasen bestehen die Bezeichnungen für die in diesem Rahmen ablaufenden Planungen:

Leistungsphase 1 (Bedarfsplanung) → Bedarfsplanung

Leistungsphase 2 (Voruntersuchung) → Vorplanung

In der RE, welche sich primär auf die Straßenplanung bezieht, und in der HOAI werden die Anforderungen an die Leistungsphasen 1 und 2 wie folgt formuliert (BMVBS, 2012):

In der **Bedarfsplanung** wird der Bedarf einer Infrastrukturplanung festgestellt. In dieser Phase ist der Kostenrahmen des Projekts festzustellen. Die Lph.1 stellt keine Anforderungen an die Genauigkeit der Planung. In der Regel erfolgt mit der Bedarfsplanung eine Korridorfestlegung.

In der **Vorplanung** sollen erste Untersuchungen zu einem Infrastrukturprojekt angestellt werden. Die Planung ist dabei in Lage und Höhe zu entwickeln. Am Ende einer Vorplanung steht eine Kostenschätzung (BMVBS, 2012, S. 18).

Für die als „Leistungsphase 0“ genannte Untersuchung, welche im Vorfeld einer Bewerbung auf Planungsleistungen stattfindet, werden in keiner Richtlinien Anforderungen gestellt. Die darin stattfindende **Grobkostenschätzung** unterliegt keinen Ansprüchen und wird von jedem Unternehmen auf eigene Weise gehandhabt. Folglich ist auch kein einheitliches Vorgehen festgelegt. Eine Beschreibung von technischen Anforderungen hinsichtlich einer Kosten- bzw. Planungsgenauigkeit ist daher nicht darstellbar.

6.2.3 Notwendiger Output

In diesem Abschnitt soll der Output der Methode oder eines auf der Methode basierenden Tools beschrieben werden. Zum einen sollen Aussagen zu Art und Umfang, zum anderen welche zur technischen Gestaltung des Outputs getroffen werden. Ziel ist eine Ausgabe einer Gesamtaufstellung von Baumengen und den damit verbundenen Kosten. In diesem Kapitel wird die Struktur dieses Outputs geklärt.

Grundsätzliches Ziel der Methode ist eine transparente, nachvollziehbare und konsistente Kostenaussage zu einem Infrastrukturprojekt, welche den Anforderungen der jeweiligen Leistungsphase gerecht wird. Bezogen wird sich dabei auf die in der Aufgabenstellung erwähnten

Leistungsphasen. Die Grundstruktur der Methode soll eine Kostenaussage auf Basis einer vorher ermittelten Menge an Bauelementen ermöglichen. Diese beiden Komponenten, Mengen- und Kostenausgabe, sollen das Ergebnis der Anwendung sein. Zu beachten ist dabei, dass es zwei Ebenen der Datenausgabe geben muss. Die erste Ebene definiert die Struktur der Mengenausgabe. Diese muss in der Folge mit Kostenkennwerten verknüpft werden. Daher muss darauf geachtet werden, dass die Elemente der Mengenausgabe mit denen der Kostenkennwerte übereinstimmen. Die zweite Ebene definiert die Struktur der Endausgabe, also das Ergebnis, das der planenden Person zur weiteren Bearbeitung ausgegeben wird. Konkret geht es dabei um eine Struktur, die sich in ein Leistungsverzeichnis überführen lässt.

Die Ausgabe der Kosten erfolgt auf Basis der DIN 276. Seit 2018 ist in dieser ein Kostengliederungspunkt für den Neubau, Umbau oder die Modernisierung von Infrastrukturanlagen definiert (Hasselmann & Schramm, 2020, S. 23). Das Kapitel „Verkehrsanlagen“ der HOAI bezieht sich darauf. Für die betrachteten Kostengliederungsebenen ist hauptsächlich die Ebene 1 interessant. Da die Differenzierung der Kostenpositionen jedoch sehr grob ist und es keine detailliertere Gliederung gibt, sollte der Bezug zur DIN 276 einfach herzustellen sein. Leistungsverzeichnisse sind dahingehend genauer. Ein Leistungsverzeichnis beschreibt sämtliche anstehenden notwendigen Arbeiten zur Umsetzung eines Projekts. Resultierend aus dem vorher ermittelten Projektumfang, können anhand der Menge an Bauelementen die notwendigen Arbeitsaufwendungen bestimmt werden. Die Basis für die Darstellung eines Leistungsverzeichnisses kann jedoch unterschiedlich sein. Ein Ansatz bietet das *Standardleistungsbuch für das Bauwesen* (StLB-Bau). In diesem werden die einzelnen Arbeitsmaßnahmen in die einzelnen Schritte der Umsetzung aufgesplittet und mit jeweiligen Kostendaten verbunden. Ergebnis ist eine Auflistung an Arbeitsschritten mit den zugehörigen Kostenpositionen. Im StLB werden Verkehrsbauwerke nicht explizit dargestellt. Im StLB 006 werden Spezialtiefbauarbeiten angebracht, welche sich beispielsweise auf Betonarbeiten beziehen. Nicht zu finden sind jedoch Arbeiten, welche im Zusammenhang mit dem Bau von Schienenverkehrsanlagen stehen. Grund hierfür ist, dass das StLB grundsätzlich aus dem Hochbau stammt, sodass Tiefbauarbeiten als solche nicht hinreichend dargestellt werden (DIN Deutsches Institut für Normung e.V.). Dies stellt für diese Arbeit ein Problem dar, da auf dessen Basis keine Standardleistungsverzeichnis existiert. Des Weiteren ist die Ausführung des Leistungsverzeichnisses abhängig vom Auftraggeber. So können diese eine angepasste Form verlangen, sodass eine stadtfine Ausführung notwendig ist. Die Form des endgültigen Outputs ist daher nicht gezielt festzulegen, einzig die Struktur nach DIN 276, wenn auch nicht hinreichend vollständig, kann als feststehende Struktur angesehen werden (DIN 276:2018-12). Die in dieser Arbeit betrachteten Leistungsphasen fordern eine Detaillierung bis zur Kostengliederungsebene 1.

Die Verarbeitung der ermittelten Mengen kann auf unterschiedliche Art und Weise geschehen. Eine sinnvolle Weiterarbeit kann mit AVA-Programmen erfolgen. Diese dienen dem Einlesen von Daten, der Verknüpfung mit Kostenkennwerten und der Ausgabe in Form eines gewünschten Leistungsverzeichnisses. Laut Aussagen der Produktwerbung können die geläufigen AVA-Programme mit sämtlicher Art von Daten umgehen, so ist das Einlesen einer einfachen Excel-Tabelle möglich. Dies ist insofern hilfreich, als dass damit ein wichtiger Teil der Aufgabe von

bereits bestehenden Softwareangeboten abgewickelt werden kann. Nachteil dieser Anwendungen sind die hohen Kosten, welche mit deren Anschaffung in Verbindung stehen. Diese sind auch ausschlaggebend für die Überlegung, dass das auf der Methode basierende Tool solche Kalkulations- und Verknüpfungsansätze mit beachten sollte. Die Anwendung sollte nicht nur in Verbindung mit anderer externer Software nutzbar sein. Konkret geht es dabei um die Verknüpfung zu Kostenkennwertdatenbanken. Diese können sowohl extern als auch intern organisiert werden. Diese Fragestellung wird allerdings später in der Kostenbetrachtung behandelt.

Der Output des Tools muss inhaltlich bereits eine vollständige Kostenaufstellung ermöglichen, aber auch die externe Verarbeitung in einem AVA-Programm zulassen. Die einfachste Lösung ist wahrscheinlich eine Abfrage an die anwendende Person, in welcher Art der Output erfolgen soll. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten kann jedoch kein einheitliches Outputformat definiert werden (die Möglichkeiten dazu werden in Abbildung 8 dargestellt).

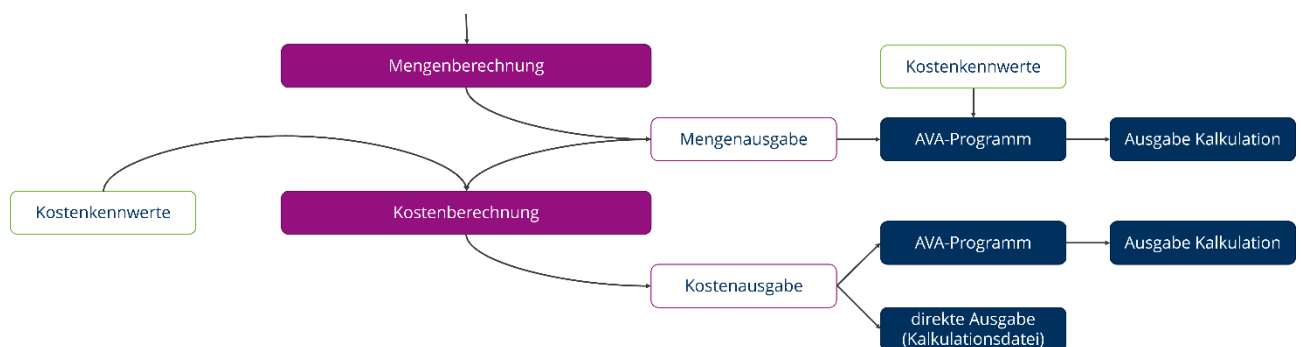


Abbildung 8: Skizze der Struktur des Outputs

Neben der einfachen Datenauswertung wäre eine grafische Darstellung wünschenswert. Dies würde die Verständlichkeit des Tools, insbesondere für fachfremde Personen, deutlich verbessern. Dazu bieten sie eine Korrekturmöglichkeit, da Fehler in einer solchen deutlicher auffallen. Die genaue Umsetzung dieser Darstellung ist allerdings Gegenstand der Diskussion um die Umsetzung.

Im Zusammenhang mit einer möglichen rechentechnischen Implementierung wäre eine grafische Ausgabemöglichkeit wünschenswert. Die genaue Umsetzung einer solchen Ausgabe müsste aber anderweitig diskutiert werden.

6.2.4 Eingangsdaten

In diesem Kapitel ist zu klären, welche Eingangsdaten zur Verfügung stehen, um den gewünschten Output zu erzeugen. Dazu müssen sowohl die Daten betrachtet werden, die zur Verwendung der Methode beitragen als auch solche, die die technische und fachliche Richtigkeit und Vollständigkeit sicherstellen. Zunächst werden die grundlegenden Eingangsdaten zur Methode betrachtet.

Aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen der Planung in den einzelnen Leistungs- beziehungsweise Projektphasen stehen den planenden Personen auch unterschiedliche

Eingangsdaten zur Verfügung. Dies erschwert eine allgemeingültige Betrachtung dieser und erfordert eine Differenzierung in die zuvor angesprochenen Phasen.

In der Phase der Bewerbung auf eine Planungsleistung, manchmal als Leistungsphase 0 bezeichnet und in der HOAI nicht aufgeführt, sind die vorhandenen Informationen abhängig von den durch die Auftraggeber erstellten Ausschreibungsunterlagen. Ziel ist in dieser Phase eine Kostenaussage zum Projekt treffen zu können, die für eine Bewerbung genutzt werden kann. In diesen können, wie des Öfteren auch zu beobachten, bereits Kostenaussagen zum Projekt enthalten sein. In dem Fall ist eine Kostenkalkulation überflüssig, da die angegebenen Kosten die Grundlage für die Honorarkalkulation nach HOAI bilden. Vorteil dieses Vorgehens ist, dass sich alle Bewerber für die Planungsleistung auf die gleichen Ausgangsinformationen beziehen. Falls die Projektkosten nicht gegeben sind, wird eine Grobkostenschätzung erforderlich²⁹. Die Datengrundlage dafür bilden ebenfalls die Ausschreibungsunterlagen. Die darin enthaltenen Informationen können sehr vielfältig und von unterschiedlicher Qualität sein. Diese stellen somit die Minimalanforderung für die Methode dar. Diese Informationen können beispielsweise grobe Flächen- und Längenangaben sein, die durch die Planungsunternehmen für die überschlägige Kostenbestimmung genutzt werden.

Die Voraussetzungen in der Leistungsphase 1, der Bedarfsplanung, sind dahingehend andere. Zu diesem Zeitpunkt der Planung besteht bereits Kontakt zu den Auftraggebern, sodass von diesen bereits Informationen in Form von Daten oder in Form von Anforderungen zum Projekt selbst bezogen werden können. In Anbetracht dessen, dass an die Bestimmung des Kostenrahmens keine konkreten Anforderungen bezüglich der Genauigkeit definiert sind, ist es schwer abzugrenzen, welche Informationen sinnvoll hinzugezogen werden können und welche bereits zu detailliert sind.

In der Leistungsphase 2 ist dies ebenso nicht genau beschrieben, jedoch werden aufgrund der Festlegung der Trasse in Lage und Höhe sowie durch die erfolgte Modellierung eine nicht näher zu bestimmende Genauigkeit erzielt. Die Datengrundlage dafür ist jedoch entsprechend umfangreich und die Anforderungen des Auftraggebers hinreichend umfassend. Die Anforderungen dieser Leistungsphase werden mit den Funktionen der zur Verfügung stehenden Planungssoftware abgedeckt. Diese wiederum erfordern Eingangsdaten, für dessen Beschaffung es einer entsprechenden Recherche bedarf.

Grundsätzlich gilt, dass die Datenverfügbarkeit von Projekt zu Projekt und von der Datenhaltung der auftraggebenden oder deren übergeordneten Verwaltungsebenen abhängt³⁰. Für die Leistungsphase 2 muss beispielsweise mit Daten eines digitalen Geländemodells gearbeitet werden, welche in der Regel von den Bundesländern zur Verfügung gestellt werden. Ein Beispiel dafür ist das Geoportal des Freistaats Sachsen, wo der Download von DGM1- und DOM1-Daten oder Laserscandaten möglich ist. Diese sind durch die übliche Planungssoftware einlesbar. Die Verfügbarkeit solcher Daten ist hinsichtlich der Zugänglichkeit unterschiedlich. Manchmal ist

²⁹ Vgl. Unger, Annegret: Interview, 29.11.2022, siehe Anhang 3

³⁰ Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

ein sofortiger Download möglich (z.B. Sachsen), manchmal ist eine konkrete Anfrage zu stellen (z.B. Brandenburg, Stand September 2022). Weiterhin sind Informationen zu verwenden, die auf internen Daten anderer Beteiligter zurückzuführen sind, beispielsweise die Leitungen von stadttechnischen Anlagen, deren Unterhaltung den kommunalen Betrieben unterliegt.

Ergebnis der vorausgehend beschriebenen Planungsabschnitte sind Aussagen zu den zu erwartenden Baumengen, die die Grundlage für die geforderten Kostenaussagen sind. Um daraus eine Kostenaufstellung zu entwickeln, benötigt es Kostenkennwerte, die die Verknüpfung zwischen den Bauelementen und den zu erwartenden finanziellen Aufwendungen herstellt. Kostenkennwerte bezeichnet die auf eine einzelne Einheit eines Bauelements oder Baumaterials heruntergerechnete Preiseinheit (Hasselman & Schramm, 2020, S. 35). Die Angaben einer Einheit werden in der Regel als Längen- [m], Flächen- [m²], Volumeneinheit [m³] oder Stückzahl [Stk] angegeben. Der Bezug von Kostenkennwerten kann auf Basis einer internen oder externen Datenbank erfolgen³¹. Die internen Datenbanken basieren zumeist auf Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten. Eine Anwendung solcher Datenbanken ist bei Planungsunternehmen üblich. Herausfordernd ist dabei die Datenhaltung. So muss gewährleistet werden, dass die darin enthaltenen Daten aktuell bleiben, um in der Planung auch nutzbar zu bleiben. Daher sind interne Datenbanken aufwendig zu unterhalten, jedoch ist deren Nutzen deutlich erkennbar. Vorteil gegenüber externen Datenbanken ist, dass die vorhandenen Daten auf das notwendige Untersuchungsfeld zugeschnitten und deutlich günstiger zu erhalten sind. Externe Datenbanken werden von extra darauf spezialisierten Unternehmen angeboten. Diese beziehen ihre Daten aus Datensammlungen bereits abgeschlossener Projekte von Planungsunternehmen. Die Kostendaten werden dann zumeist eingekauft. Nachteile externer Datenbanken sind, dass die Kostenkennwerte nur gegen Entgelt erhältlich sind, die angebotenen Daten meistens viel umfassender sind als eigentlich notwendig und es für die Verknüpfung meist externe Software braucht, die dafür entsprechend angeschafft werden muss, was wiederum Kosten verursacht. Vorteil ist, dass die Aktualität der Daten meist gegeben ist, da genau dies das Geschäftsmodell der anbietenden Firmen ist. Unternehmen, die solche Datenbanken anbieten sind beispielsweise DBD-BIM und G&W (Sirados Baudaten). Problematisch ist, dass diese Datenbanken sich bis jetzt zumeist auf den Hochbau fokussieren. So sind die Bauelemente des Hochbaus in diversen Spezifikationen abgebildet, Elemente des Tiefbaus sind jedoch, wenn überhaupt vorhanden, nur sehr grob abgebildet. Anlagen des Schienenverkehrs sind dahingehend gar nicht enthalten. Diese Trennung im Tiefbau zwischen Straßen- und Schienenverkehr ist hinsichtlich der Planung von Nahverkehrsbahnanlagen von Straßenbahnen ungünstig, sodass die Datenbanken dahingehend nur teilweise brauchbar sind. Eine weitere externe Kostenquelle ist der Kostenkennwertekatalog der *Deutschen Bahn* (DB AG), welcher sich ausschließlich auf Schienenverkehrsanlagen bezieht, jedoch solche nach EBO. Eine einheitliche Kostenkennwertdatenbank existiert daher nicht. Vielmehr ist die Datensammlung solcher Kostenkennwerte eine Ansammlung aus verschiedenen Quellen und eigenen Erfahrungen³².

³¹ Vgl. Unger, Annegret: Interview, 29.11.2022, siehe Anhang 3

³² Vgl. Otto, Michael: Interview, 21.11.2022, siehe Anhang 2

6.3 Konzeption der Methode

6.3.1 Grundkonzept

Im folgenden Kapitel soll die genaue Konzeption der entwickelten Methode beschrieben werden. Dazu wird das bestehende Problem kurz angesprochen, welches durch die Methode zumindest im Ansatz gelöst werden soll.

Das Problem resultiert zum Teil aus der Art der modellbasierten Planung (1), zum Teil aus dem Grundsatz die Kosten der Verkehrsprojekte vorher möglichst exakt bestimmen/schätzen zu wollen (2).

- (1) Neben einer gewissen Menge an Arbeitskraft und -zeit erfordert die modellbasierte Planung vor allem eine Fülle an Ausgangsinformationen. Allein mit diesen ist eine digitalisierte und damit teilweise automatisierte Kostenschätzung aktuell möglich. Dafür ist aber die Nutzung einer entsprechenden Software notwendig, was erhebliche Kosten für deren Anschaffung mit sich bringt. Weiterhin ist die Modellierung einzelner wichtiger Bestandteile, beispielsweise Haltestellen oder Querungen, mit Aufwand verbunden, da es dafür keine Vorlagen gibt. Konkrete Unterschiede zwischen verschiedenen Ausführungen, wie etwa zwischen den Straßenbahnbetrieben der Städte untereinander, können so nur schwer dargestellt werden. Für die Anwendung sind die Kenntnisse einer Fachkraft notwendig, beispielsweise entsprechend ausgebildete/studierte Ingenieure. Die Durchführung einer solchen Untersuchung ist daher meist nur einem begrenzten Personenkreis möglich. Angesichts der Tatsache, dass jeder Verkehrsweg, gleich ob Neubau oder Sanierung, untersucht und geplant werden muss, ist eine hohe Anzahl solcher Fachkräfte notwendig. Die Anzahl der Projekte und die Anzahl an Fachkräften unterscheidet sich jedoch, wobei erstere meist in deutlich höherer Zahl vorhanden sind.
- (2) Die aufwändig ermittelten Baumengen müssen nachfolgend mit Kostenkennwerten verknüpft werden. Grundlage hierfür sind häufig firmeninterne Datensammlungen basierend auf Erfahrungswerten. Alternativ können extern zusammengestellte Daten (z.B. DBD-Bim) gekauft werden, die aber nicht unbedingt hinsichtlich der Infrastrukturplanung vollständig sein müssen. Rein prinzipiell lassen sich diese zwar ergänzen, doch ergibt sich mit Kostenkennwerten ein grundlegendes Problem. Diese müssen dauerhaft aktuell gehalten werden, was insbesondere bei internen Datenbanken mit Aufwand verbunden ist. Besonders in Zeiten, in denen die Baupreise sich sehr schnell ändern und die Verfügbarkeit der Baustoffe nicht immer prognostiziert werden kann, ist eine haltbare Kostenaussage nur schwer möglich. Dies trifft besonders auf den Versuch der Kostenprognose zum Umsetzungszeitpunkt zu.

Daher ist zu untersuchen, inwiefern sich eine Methode entwickeln lässt, die zur Vereinfachung und fachlichen Vereinheitlichung der Kostenschätzung beiträgt. Die Methode soll auf einer Darstellung des zu planenden Verkehrswegs beruhen und somit einen Bezug dazu erhalten.

Bereits zuvor wurden die Anforderungen an die Methode beschrieben. Fachlich ist vor allem die Vollständigkeit wichtig, aus Sicht der Anwendenden soll die Anschaulichkeit und Verständlichkeit im Vordergrund stehen. Aufgrund der geringen Zahl an Eingangsdaten muss mit möglichst wenigen Schritten ein Ergebnis zustande kommen. Dafür muss man betrachten, welche Eingangsdaten genau gegeben sind und wie man mit diesen umgehen kann. Daraus soll am Ende eine transparente Kostenaufstellung ermöglicht werden.

Ein Ansatz für die Methode bietet die Internetseite *streetmix.net*. Auf dieser können mithilfe von Bausteinen Straßenquerschnitte erstellt und als Bild exportiert werden. Individuell können dann Breitenmaße für die einzelnen Bausteine angegeben werden. Vorher wird eine Gesamtbreite für den Straßenraum angegeben, den man nicht überschreiten sollte. Die Bausteine stellen Elemente der Infrastrukturplanung dar und beinhalten neben den Elementen des Straßenverkehrs auch Elemente der Straßenbahnplanung. Dabei wird zwischen Stadtbahn und Straßenbahn unterschieden, in der Anwendung selbst ist der Unterschied aber lediglich optischer Natur. Die Parameter der Breite und der Ausführung sind bei beiden Bausteinen identisch wählbar.

Streetmix.net bietet damit eine Möglichkeit, die den Anforderungen der Anschaulichkeit und der Verständlichkeit gerecht wird. Jedoch gibt es einige Einschränkungen. Aus dieser einfachen zweidimensionalen Darstellung lassen sich keine Informationen über Baumengen ermitteln, dafür fehlt eine weitere Dimension. Auch sind die Bausteine nur für die Verkehrswege an sich gedacht und nicht für die technische Ausstattung.

Die Internetseite bietet einen interessanten Ansatz, welcher durchaus weiterverfolgt werden sollte. Jedoch ist eine Anpassung notwendig, um für eine fachliche Anwendung geeignet zu sein. Die Idee ist daher, den Ansatz um die Dimension einer vorher definierten Achse zu ergänzen. Die Seite *de.remix.com* bietet die Verknüpfung mit der Verkehrsachse, ist jedoch hinsichtlich der technischen Differenzierung einzelner Bauteile nicht genau genug und ermöglicht auch keine Mengenausgabe. Zudem müsste eine Verknüpfung mit den hierzulande angewendeten Regelwerken und Richtlinien erfolgen.

Wenn die Bausteine der eigenen Methode vorher entsprechend definiert werden, kann auf diese Weise eine Aussage hinsichtlich der zu verbauenden Menge getroffen werden. Diese kann nach einzelnen Bauelementen aufgeschlüsselt und daraufhin mit Kostenkennwerten verknüpft werden. Damit wäre eine transparente Kostenaussage möglich. Aufgrund des Aufbaus mit den Bausteinen soll das Ganze anschaulich und für die planende Person leicht begreifbar sein. Infolge der umfassenden Definition der Methode ist ihre fachliche Funktionalität zu überprüfen.

Die Funktionen der aufzustellenden Methode sind prinzipiell auch mit der bestehenden Softwareangeboten darstellbar. Jedoch ist für die Anwendung dieser meist eine Schulung sowie der Kauf des Produkts notwendig. Insbesondere die Kosten des Kaufs lassen es nicht zu, dass die Anwendungen über Planungsbüros hinaus verfügbar sind. Die Methode soll daher bewusst einfach gehalten werden, um ein mögliches daraus resultierendes Tool anwendbar und

wirtschaftlich leistbar zu halten. Die Zielgruppe der Anwendung besteht nicht nur bei Planungsbüros, sondern auch bei Entscheidungsträgern und anderen Akteuren des Planungsprozesses.

Im Folgenden wird der Ablauf der Methode in einem Ablaufdiagramm dargestellt (Abbildung 12):

Legenden

Die erste Legende beschreibt die Bedeutung der in dem Ablaufdiagramm angegebenen Farben nach ihren Inhalten beziehungsweise in diesem Schritt ablaufenden Aktionen.

Farbe	Inhalte und Aktionen
	Datengrundlagen, Handlungsgrundlagen, Ausgangsinformationen
	Datensammlung
	Zwischenschritt, Datenbereitstellung- und Aufarbeitung
	Eingabemöglichkeiten der Methode
	automatische Kalkulationen und Ausgabe

Abbildung 9: Farblegende des Ablaufdiagramms

Die zweite Legende beschreibt, inwiefern der markierte Sachverhalt in dieser Arbeit eingehend untersucht wird. Es handelt sich dabei um die manuellen Eingaben der Methode sowie die daraus folgenden automatisch ablaufenden Kalkulationen. Diese werden in der vorliegenden Arbeit genauer untersucht. Die Datenausgabe wird nicht als zugehörig markiert, da deren Formierung abhängig von der späteren Umsetzung als Tool und dessen rechentechnischer Konzeption abhängig ist.

Gegenstand der Untersuchung der Methode	
ja	nein

Abbildung 10: Legende der Markierung der Ablaufelemente

Die dritte Legende beschreibt die einzelnen vordefinierten Symbole von BPMN-Darstellungen. BPMN steht für *Business Process Model and Notation* und beschreibt eine Darstellungsform von Prozessabläufen, indem jeder Prozessschritt und jede Aktion als Baustein abgebildet werden. Somit soll der Fluss von Daten und der Ablauf von Arbeitsschritten verdeutlicht werden. Eine Form der Darstellung ist eine Swimlane, welche sich auf den Ablauf der Datenverarbeitung

fokussiert und somit ein Datenflussdiagramm ist. Dabei werden alle Bestandteile des EVA-Prinzips der Informatik (Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe) abgebildet.

Verbindungen und Piktogramme	
	Informationsfluss, Nachrichtenfluss
	Sequenzfluss
	Empfang von Daten
	Datenobjekt
	Datenlisten
	externer Dateninput
	dauerhafter Datenspeicher
	Versand von Daten

Abbildung 11: Legende der BPMN-Symbolik (<https://www.bpmn.de/lexikon/bpmn-2-0-poster/>, 19.01.2023)

Eine vergrößerte Ansicht der Darstellung ist im Anhang zu finden.

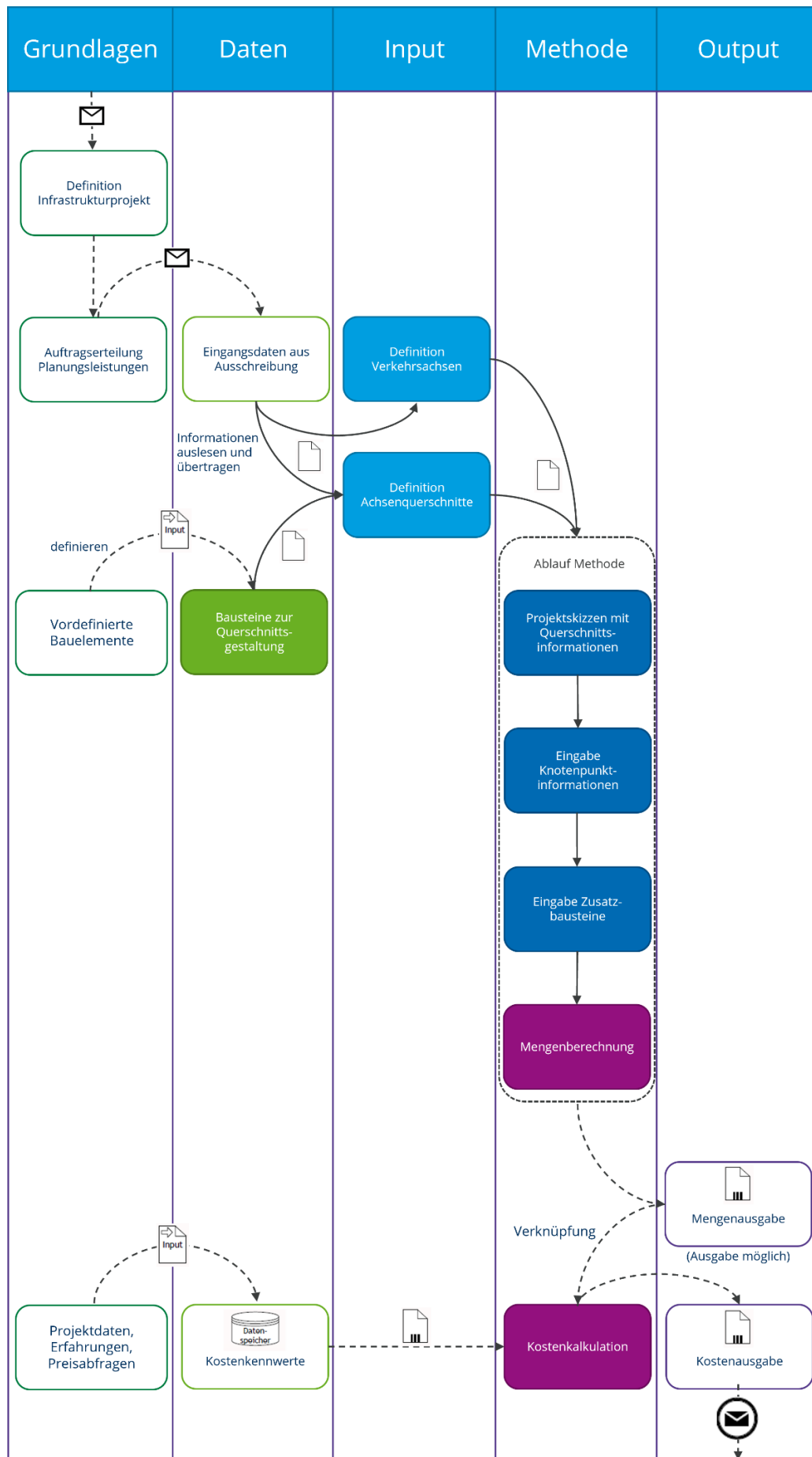


Abbildung 12: Darstellung der Methode als Swimlane

6.3.2 Beschreibung

Die Methode kann als Skizzenmethode beschrieben werden. Dieser Begriff wurde selbst erdacht, um die Funktion und den Genauigkeitsanspruch der Methode besser zu beschreiben. Das Infrastrukturbauwerk soll dabei als möglichst einfaches Konstrukt dargestellt werden. Dies resultiert aus dem geringen Gehalt an Ausgangsinformationen und der vorgesehenen Anwendbarkeit für ein möglichst breites Feld an potenziellen Nutzenden. Resultierend daraus sollte die Anzahl manuell einzugebender Informationen möglichst geringgehalten und den Planenden ein breites Angebot vorangefertigter Lösungsansätze angeboten werden.

Informationen, die sich meist relativ einfach beziehen lassen, sind Längenangaben zu den zu betrachtenden Verkehrsachsen. Dies betrifft sowohl Haupt- als auch Nebenachsen. Diese können als grundlegendes Gerüst für die Methode verwendet werden.

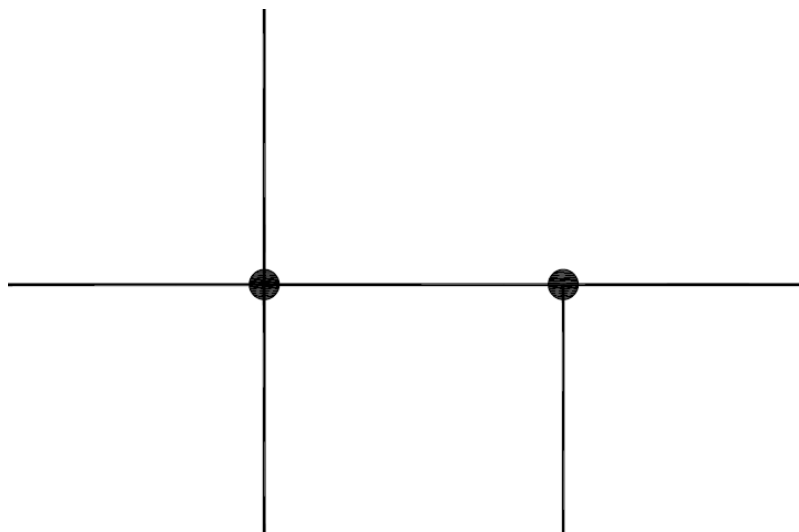
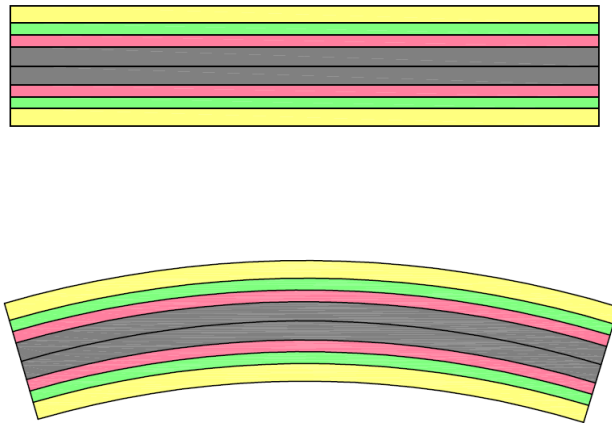


Abbildung 13: Darstellung der Verkehrsachsen als Grundlage der Methode

Als Ziel wurde eine Mengenausgabe formuliert, die sich bis auf die einzelnen Bauelemente des Projekts herunterbrechen lässt. Dafür werden Bausteine definiert, die aus Bauelementen bestehen und die üblichen Elemente eines Straßenquerschnitts oder einer Straßenbahnstrecke darstellen. Die Anwendbarkeit der Methode ist daher nicht ausschließlich auf das Untersuchungsfeld Nahverkehrsbahnanlagen begrenzt. Die Verkehrsachsen werden der Einfachheit halber als geradlinig angenommen.



Achslänge: 100 m			Fläche [m²]		Abweichung
Farbe	Baustein	Anzahl	gerade	gekrümmt	
Gelb	Gehweg	2	300	300	0
Grün	Grünfläche	2	200	200	0
Rosa	Radweg	2	200	200	0
Grau	Fahrstreifen	2	325	325	0

Abbildung 14: Darstellung der Unterschiede zwischen geradliniger und gekrümmten Flächen

Die Skizze (Abbildung 14) zeigt, dass es keinen Flächenunterschied zwischen gekrümmten und geradlinig verlaufenden Querschnitten gibt (Radien und Achslängen sind dabei irrelevant). Dies trifft jedoch nur zu, solange die Querschnitte symmetrisch sind. Sobald sich Unterschiede beidseitig der Mittelachse ergeben, sind in den Ergebnissen Unterschiede zu erwarten. Aufgrund der unterschiedlichen Krümmungen und Abstände zur Mittelachse, abhängig von der Konstruktion des Querschnitts, lassen sich diese aber nicht pauschal quantifizieren. Die Angabe von Krümmungslängen, Krümmungsradien und Achswinkel ist mit einer umfassenden Informationsrecherche verbunden, welche eigentlich durch die Methode überflüssig werden sollte. Für einen Vergleich mit den realen Gegebenheiten ist diese Vereinfachung als Fehlerquelle anzusehen.

Mithilfe dieser Bausteine lassen sich Querschnitte konstruieren, die über die zuvor angegebenen Verkehrsachsen gestreckt werden. Daraus lassen sich Angaben zu Längen, Flächen und Volumen der einzelnen Bauelemente herleiten, beispielsweise die Länge der vorgesehenen Gleisanlagen oder die Fläche des zu verbauenden Asphalts.

Infolgedessen erfolgt die genauere Definition der Knotenpunkte. Es können manuell Abbiegestreifen und Lichtsignalanlagen hinzugefügt werden. Weiterhin ist die Auswahl der Gleisverbindungen im Falle von Gleisanlagen möglich. Es erfolgt eine automatische Berechnung der Knotenpunktfäche, welche der Einfachheit halber als geschlossene Asphaltfläche angenommen wird. In den Mengenpositionen werden die Lichtsignalanlagen als technische Anlagen ergänzt.

Im nächsten Schritt werden Zusatzbausteine hinzugefügt, welche die genauere Ausgestaltung des Projekts bestimmen. Damit werden insbesondere die Nahverkehrsbahnanlagen erweitert.

Beispiele für diese Zusatzbausteine sind Haltestellen, Oberleitungsanlagen oder Fußverkehrsquerungen.

Auf Basis dieser Angaben und Berechnungen ist die Ausgabe einer Mengenliste an Bauelementen möglich. Um daraus eine Kostenaussage zu generieren, ist die Verknüpfung mit Kostenkennwerten notwendig.

6.4 Datensammlung und Vorbereitung

Um die angestrebte Methode zu entwickeln, ist die Definition von Bausteinen, welche die Elemente der Verkehrswegeplanung darstellen, gefordert. Diese bilden die Basis für eine spätere Umsetzung der Methode in ein Tool. Die fachlichen Grundlagen dafür lassen sich aus den bereits vorgestellten Regelwerken und Richtlinien ziehen. Ziel der Methode ist es, mit so wenig Bausteinen wie möglich ein Infrastrukturprojekt darzustellen. Die Anforderungen hinsichtlich der Anwendbarkeit und Einfachheit sollen dabei berücksichtigt werden. Gleichzeitig muss die fachliche Vollständigkeit berücksichtigt werden.

Die Anwendung der Bausteine stellt den manuellen Teil der Methode dar. Daraufgehend folgt die automatische Berechnung der Mengen. Dafür müssen Berechnungsvorschriften entwickelt werden. Um den Fehler der Mengenausgabe zu minimieren, ist es notwendig die vorher getroffenen Annahmen und Definitionen möglichst genau zu fassen. Die Maße sind den Regelwerken zu entnehmen. Entsprechend des Fehlerfortpflanzungsgesetzes, bekannt aus der Physik, wird der resultierende Gesamtfehler umso geringer, je kleiner die Fehler der einzelnen Bestandteile ist. Bezogen auf die Methode bedeutet dies: Je kleiner die Abweichungen zwischen den Markierungslängen in der Voruntersuchung und denen in der Realität sind, desto genauer ist das Ergebnis der Methode anzusehen. Gleiches lässt sich auf alle Elemente der Methode beziehen. Daher ist es wichtig, Berechnungsvorschriften zu definieren, welche auf Basis der Eingangsdaten ein stichhaltiges Ergebnis liefern können. Dem entgegen steht die Gewissheit, dass die Detaillierung des Projekts erst im Laufe der Bearbeitung und Kommunikation genauer wird, was zu Beginn jedoch nicht dargestellt werden kann. Auch angesprochen wurde bereits die mögliche Änderung des Projektumfangs. Das Ergebnis der Methode ist daher nur schwer hinsichtlich seiner Qualität und Aussagekraft über genauere Planungsstände zu überprüfen.

6.4.1 Einzelelemente

Ziel der Methode ist eine Kostenaussage bezüglich eines Infrastrukturprojekts. Um diese zu erreichen, braucht es eine Grundstruktur, bei der einzelne Bauelemente mithilfe von Kostenkennwerten verrechnet werden. Entwickelt wird dafür ein Bausteinsystem, welches leicht anzuwenden ist und die Darstellung einer Infrastrukturmaßnahme ermöglicht. Diese Bausteine wiederum bestehen aus einzelnen Bauelementen, welche mit den Kostenkennwerten verrechnet werden können. Als Quelle für die Bauelemente, welche aktuell bereits definiert sind, können vordefinierte Strukturen verwendet werden. Eine Möglichkeit sind die Dynamischen Baukosten DBD-Bim. Diese werden von der Firma *Dr. Schiller und Partner GmbH* aus Dresden angeboten. Diese bieten Kostenkennwerte für einzelne Bauelemente an, welche dann in einem AVA-

Programm mit den Daten des Modells verrechnet werden können. Problematisch ist jedoch, dass sich DBD-Bim bisher primär auf den Hochbau bezieht. Dies bedeutet nicht nur, dass für den Infrastrukturbau wenig Kostenkennwerte zur Verfügung stehen, sondern auch, dass die entsprechenden Bauelemente noch nicht direkt definiert sind. Zudem ist der Begriff Tiefbau bei DBD-Bim bisher ausschließlich auf den Straßenbau bezogen. Elemente der Straßenbahnplanung sind nicht zu finden (Dr. Schiller & Partner GmbH, 2021, S. 23). Eine weitere zu beachtende Datenquelle ist der *Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen* (Okstra). Dabei werden Objektklassen des Infrastrukturbaus auf informatischer Basis beschrieben und die Fachbedeutungen der einzelnen Begriffe und Objekte definiert und gelistet. Okstra konzentriert sich dabei zusätzlich auf die informationstechnische Implementierung der Bauelemente. Für die angestrebte stadtfeine Differenzierung bietet Okstra ebenfalls einen Ansatz. In diesem werden die Elemente in länderspezifische Ausprägungen gegliedert, es erfolgt somit eine Unterscheidung nach Bundesland (OKSTRA, 2021, S. 1).

Zu beobachten ist jedoch, dass auch diese Auflistung sich auf die Straßenplanung konzentriert und Elemente der Straßenbahnplanung nicht zu finden sind (OKSTRA, 2021). Die benannten Datenquellen können daher nur für einen Teil der definierten Bausteine als Grundlage verwendet werden.

Die Bauelemente, welche die Bausteine der Straßenbahnplanung darstellen, sind dahingehend definiert, dass der Oberbau von Schienenverkehrsanlagen in seinen Bestandteilen sehr eindeutig ist. Beispielsweise besteht der Baustein eines offenen Oberbaus aus Schienen und Schwelle. Diese stellen folglich die dafür benötigten Bauelemente dar. Dabei wird beispielsweise die VDV-Richtlinie 600 zu Rate gezogen.

6.4.2 Bausteine zur Darstellung der Verkehrswege

Die Methode soll das Infrastrukturprojekt als Skizze darstellen. Informationen zu den Achsenlängen liegen bereits vor, diese müssen aber in ihrem Querschnitt beschrieben werden. Um dies zu ermöglichen, sollen Bausteine definiert werden, welche die wichtigsten Elemente eines Regelquerschnitts darstellen. Dabei kann in Bausteine verschiedener Kategorien unterschieden werden.

Erstere beschreibt die Bausteine des Querschnitts selbst. Diese werden verwendet, um die grundlegende Straßenaufteilung und die Querschnittsbreite festzulegen. Deren Benutzung erfolgt direkt nach der Festlegung der Achsen (siehe Kapitel 6.3 *Konzeption der Methode*). Dabei wird zwischen Bausteinen der Straßenplanung und Bausteinen der Straßenbahnplanung unterschieden.

Zweitere Ebene umfasst die genauere Definition der Knotenpunkte. Über diese Ebene wird der Charakter und Ausbauzustand eines Knotenpunkts beschrieben, also hinsichtlich der baulichen und technischen Ausstattung differenziert. Damit verbunden ist auch die Unterscheidung zwischen „normalen“ Knotenpunkten und Kreisverkehren. Sämtliche Knotenpunkte sind plan- gleich.

Auf der dritten Ebene werden Einzelbausteine hinzugefügt, welche zur Vervollständigung der Infrastrukturmaßnahme notwendig sind, aber nicht im Querschnitt dargestellt werden können und deren Anwendung dennoch im Vorhinein bekannt und essenziell ist. Dazu zählen Haltestellen in verschiedenen Ausführungen, Querungsmöglichkeiten, Ampelanlagen und gesonderte technische Ausstattung, wie etwa die Energieversorgung und stadttechnische Anlagen.

Die Daten für die Bausteine sind den zuvor beschriebenen Regelwerken zu entnehmen. Die Bausteine selbst bestehen aus Einzelementen. Nach Definition der Bausteine kann eine Liste von Einzelementen erstellt werden, wodurch nach erfolgreicher Verknüpfung eine Kostenausgabe möglich ist.

Prinzipiell ist anzumerken, dass die Regelwerke allein nicht darstellen können, welche baulichen Variationen vor Ort am Ende vorzufinden sind. Häufig werden interne Regelungen über die genaue Ausführung der Bausteine getroffen, welche die in den Richtlinien gegebenen Spielräume bei den Maßen eingrenzen. Als Beispiel sind hierfür Straßenbahnhaltestellen zu nennen. Hinsichtlich der Maße, der Materialwahl und der technischen Ausstattung unterscheiden sich diese von Stadt zu Stadt. Daher ist es nicht ausreichend nur einen Baustein zu erstellen, sondern es müssen für diesen auch Eigenschaften und Modifikationen wählbar sein. Dies bedeutet zwar einen Mehraufwand, der aber eine stärkere Individualisierung bei vergleichsweise geringem Informationsbedarf ermöglicht. Da es in der Bestimmung der Bauelemente zu doppelten Namensvergaben kommt, resultierend aus den unterschiedlichen angewandten Regelwerken, müssen diese zunächst genauer erläutert werden (Abbildung 15).

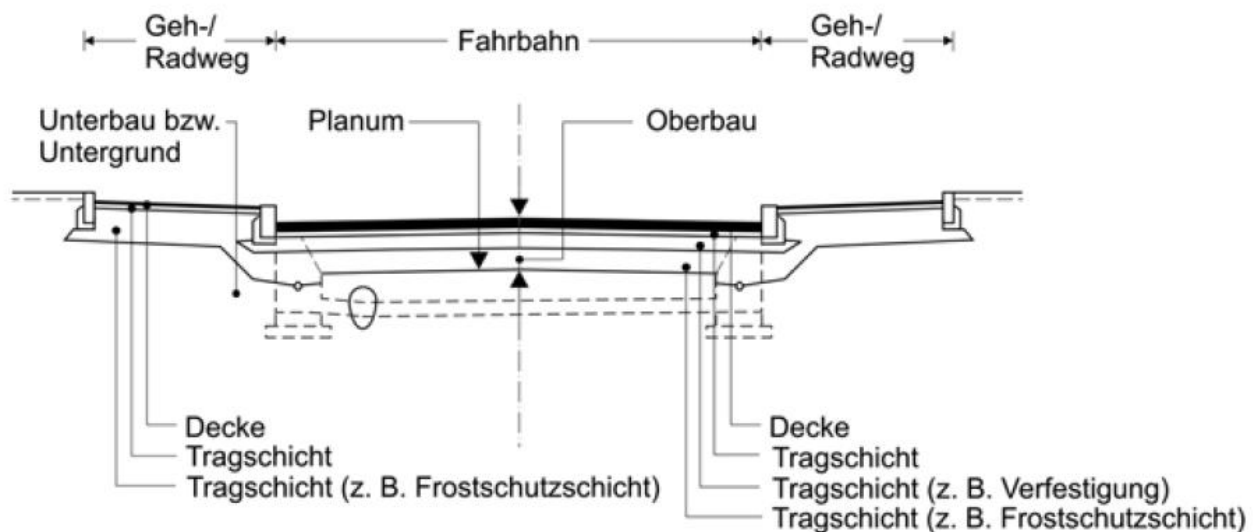


Abbildung 15: Aufbau eines innerstädtischen Straßenquerschnitts auf Basis der RStO

Die **Deckschicht** bezeichnet die oberste Schicht eines eingedeckten Bauwerks. Auf diese wirken sämtliche dem Verkehr entstammenden Kräfte. Die Ausführung dieser kann unterschiedlich sein, beispielsweise sind Asphaltbeton-, Zementbeton-, Pflaster- oder Platteneindeckungen üblich (FGSV, 2012, S. 3).

Die **Tragschicht** bezeichnet mehrere Schichten, die als Untergrund für die Deckschicht aufgebracht werden. Sie haben unterschiedliche Funktionen. Primär sollen die auf die Deckschicht einwirkenden Kräfte Richtung Untergrund weitergeleitet und somit der Verschleiß des Bauwerks verringert werden. Die Tragschichten können in Material und Ausmaßen unterschiedlich ausgeführt sein. Die unteren Tragschichten werden als *Tragschicht ohne Bindemittel* (ToB) ausgeführt. Die Dicke der unteren Tragschicht ist unter anderem von ihrer Frostschutzfunktion abhängig. Die oberen Tragschichten werden in der Regel als Tragschichten mit Bindemittel ausgeführt und dienen der Verbindung von unterer Tragschicht und Deckschicht sowie der Weiterleitung und Verteilung auftretender Kräfte (FGSV, 2012, S. 3).

Unterhalb der Tragschichten sind das zur Wasserableitung genutzte Planum sowie der Untergrund zu finden. Diese sind als solche nicht Teil des Oberbaus, sondern des Unterbaus. Daher werden sie hier nicht weiter betrachtet.

Die Dicken der angegebenen Schichten lassen sich aus den Anforderungen des Betriebs mithilfe der RStO ermitteln. Für die Methode wäre dieser Aufwand jedoch zu groß, sodass Standardwerte an Schichtdicken festgelegt werden (Abbildung 16). Als Belastungsklasse wird die Bk100 gewählt, dies entspricht einer relativ hohen Verkehrsbelastung und wird im innerstädtischen Bereich als Maximalbelastung angenommen (FGSV, 2012, S. 19).

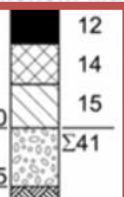
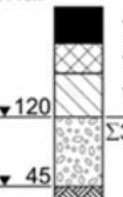
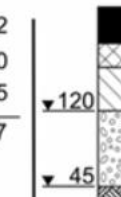
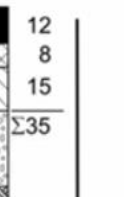
Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln auf Frostschutzschicht bzw. Schicht aus frostunempfindlichem Material														
2.1	Asphaltdecke		12	12	12	12								
	Asphalttragschicht		10	15	8	15								
	Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)		12	15	15	15								
	Frostschutzschicht		45	Σ41	Σ37	Σ35								
	Dicke der Frostschutzschicht	-	-	34 ²⁾	44	-	28 ³⁾	38	48	-	30 ²⁾	40	50	

Abbildung 16: Angenommene Standardschichtdicke bei Oberbauten von Fahrstreifen bei Bk100, entnommen aus den RStO

Für Gehwege werden geringere Standarddicken verwendet. Auch diese sind den RStO zu entnehmen. Das gewählte Beispiel entspricht einer Asphalteindeckung (Abbildung 17) (FGSV, 2012, S. 25).

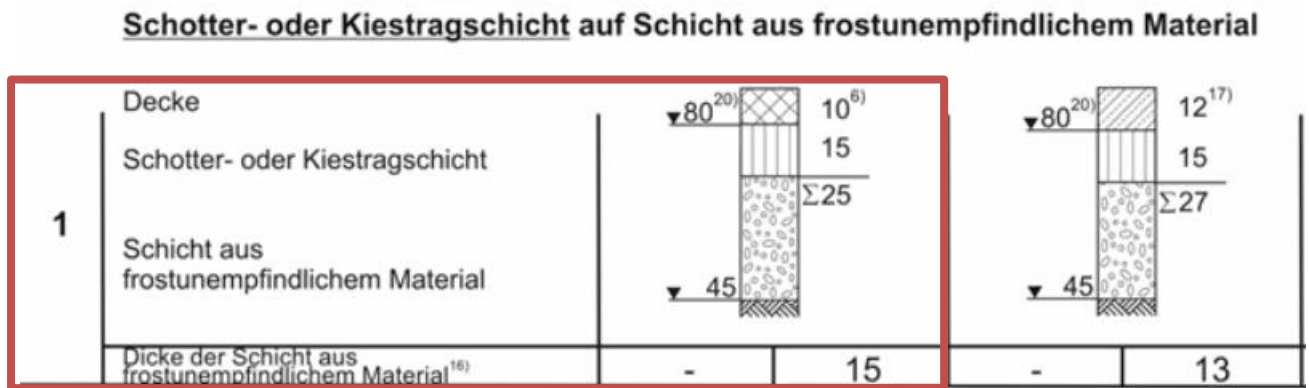


Abbildung 17: Angenommene Standardschichtdicke bei Oberbauten von Geh- und Radwegen, entnommen aus den RStO

Die so festgelegten Schichtdicken lassen sich später mit den ermittelten Flächen verrechnen und ermöglichen eine Ausgabe an benötigtem Material. Dies lässt sich mit den Kostenkennwerten verknüpfen. Bei einer möglichen Umsetzung als Tool und einer daraus resultierenden Verknüpfung mit Datenbanken wäre das Anlegen einer ständig aktuellen RStO-Datenbank denkbar, auf die das Tool zurückgreifen könnte. Damit besteht die Möglichkeit sämtliche im Regelwerk aufgelistete Bauweisen auch auf das Projekt anzuwenden. Um die Einfachheit der Anwendung zu wahren, ist jedoch die Vorauswahl einer Standardausführung empfehlenswert. Wenn notwendig wäre die Veränderung dieser Vorauswahl möglich. Falls erforderlich lassen sich diese Voreinstellungen mit der stadtfinen Auswahl und den vor Ort bevorzugten Bauweisen verknüpfen, Unterschiede finden sich beispielsweise in den ermittelten Frosteinwirkungszonen. Dabei wird in drei Zonen unterschieden, die eine unterschiedliche Dicke der Frostschutzschicht erfordern.

6.4.2.1 Bausteine der Straßenbahnplanung (Nahverkehrsbahnanlagen)

Zentraler Bestandteil dieser wissenschaftlichen Arbeit sind die schienengebundenen Nahverkehrssysteme des Stadtverkehrs und die dazugehörigen Infrastrukturanlagen. In der Vorbeurteilung wurde bereits eine Einschränkung der betrachteten Verkehrssysteme getroffen. Als Nahverkehrsbahnen werden im Folgenden alle Schienenbahnen bezeichnet, welche auf Basis der BOStrab verkehren und nicht als reines U-Bahnsystem ausgeführt sind. Wie in Kapitel 6.1.1 bereits angedeutet, sind für die untersuchten Verkehrssysteme folgende Trassenmerkmale relevant: Entweder die Bahnen verkehren als klassische Straßenbahn überwiegend im Straßenraum oder sie verkehren als Schnellstraßenbahn (auch als Stadtbahn vermarktet) auf besonderem oder eigenem Bahnkörper. Dabei wird von einem unabhängigen Bahnkörper gesprochen (Zschweigert, 1982, S. 10). Um diese Bahnanlagen für die Methode darstellbar zu gestalten, müssen auch hier Bausteine definiert werden. Im Vergleich zu den Anlagen des Straßenverkehrs müssen jedoch wesentlich mehr Parameter und eine größere Variabilität an Ausführungsmöglichkeiten beachtet werden. Folgende Ausprägungen können sich unterscheiden:

Die **Spurweite** bezeichnet das Regelmaß des Gleisabstandes. In Deutschland sind dabei fünf verschiedene Spurweiten geläufig: 1.000mm (z.B. Plauen, Mainz), 1.100mm (ausschließlich

Braunschweig), 1.435mm (z.B.: Chemnitz, Berlin), 1.450mm (ausschließlich Dresden) und 1.458mm (ausschließlich Leipzig). Der Einfluss dieser Größe wird als sehr gering eingeschätzt. Die Fahrzeugbreite ist meist unabhängig der Spurweite, wobei Fahrzeuge mit einer Breite von 2,65m (was der größten Breite bei Straßenbahnfahrzeugen entspricht) in Straßenbahnnetzen mit geringer Spurweite nicht anzutreffen sind. Der Einsatz solcher Fahrzeuge hat einen Einfluss auf das Lichtraumprofil.

Die Breite des **Lichtraumprofils** ergibt sich aus der Konstruktion des Querschnitts unter Berücksichtigung der vorgesehenen Sicherheitsräume. Das Profil beschreibt den im Bereich der Gleisanlagen freizuhaltenden Luftraum, um einen sicheren und unbehinderten Betrieb zu gewährleisten. Der Einfluss des Lichtraumprofils drückt sich darin aus, dass sich die äußeren Maße des benötigten Raums unter anderem aus den festgelegten Sicherheitsräumen ergeben.

Abhängig der eingesetzten Fahrzeuge sind die **Gleismittenabstände** mit einem Mindestmaß festgelegt, was sich aufgrund des unterschiedlichen Fahrzeugeinsatzes unter den Städten ergibt.

Dazu sind Einbauten zu beachten, welche sich beispielsweise aus der Wahl der Aufhängung der Fahrleitung ergeben. Konkret erweitert sich der Zwischenraum, wenn in diesem ein Oberleitungsmast eingefügt wird. Aufgrund der notwendigen Sicherheitsräume ist eine Aufweitung zwingend erforderlich.

Aus diesen Parametern ergeben sich die Grundbreiten der Bausteine. Aufgrund der Unterschiede zwischen den Städten ist zur genaueren Bestimmung dieser Breiten eine umfassende Datensammlung erforderlich. Eine Übersicht über die grundlegend angenommenen Breiten hat Schneider in seiner Bachelorarbeit erstellt (Schneider, 2021, 59 ff.). Aufgrund der möglichen Individualisierungen in der genaueren Ausführung ist diese Sammlung jedoch nur ein Grundstock. Auch werden nachfolgende Differenzierungen hinsichtlich der Eindeckung und der grundsätzlichen Führung als straßenbündiger, besonderer oder unabhängiger Bahnkörper nicht berücksichtigt.

Die genaue Ausführung des Oberbaus wird durch die Eindeckung des Gleiskörpers bestimmt. Grundsätzlich lässt sich zwischen straßenbündigen, besonderen und unabhängigen Bahnkörpern unterscheiden. Dabei bezieht sich die Unterscheidung, welche so in der BOStrab getroffen wird, primär auf die Trassierung und die damit verbundene Gestaltung.

Straßenbündige Bahnkörper sind so konstruiert, dass die Gleise der Bahn in den Fahrstreifen des Straßenverkehrs eingelassen sind und sich MIV und Straßenbahn den Raum teilen müssen. Im Unterbau sind diese verschiedenen Ansprüche an die Belastung des Gesamtkörpers zu berücksichtigen. In diesem Falle spricht man von der klassischen Straßenbahn. Überwiegend wird dafür eine Asphaltbetoneinbettung verwendet, wie dies bei den Fahrstreifen des MIV üblich ist. Seltener kommt eine Eindeckung mittels Verbundplatten oder Zementbeton zum Einsatz.

Besondere Bahnkörper stehen meist im Zusammenhang mit weiteren Verkehrswegen, wie etwa Straßenverkehrsanlagen, sind jedoch nicht zur Befahrung durch andere

Straßenverkehrsteilnehmer vorgesehen. Von anderen Verkehrswegen sind diese daher abgetrennt, was meistens durch Borde geschieht.

Unabhängige Bahnkörper werden, wie der Name ausdrückt, unabhängig eines anderen Verkehrswegs trassiert. Die Bauausführung bedarf daher keiner Abgrenzung zu anderen Verkehrswegen. Die Trassierung ist in der Regel freier und erlaubt daher höhere Geschwindigkeiten.

Die vorangegangene Unterscheidung entstammt der BOStrab. Rein baulich betrachtet ist aber nicht jede Bauform eindeutig einem Bahnkörper zuordenbar, sodass die Unterscheidung in der BOStrab als ungenau anzusehen ist. So sind sowohl bei besonderen als auch bei straßenbündigen Bahnkörpern Asphaltbetoneindeckungen möglich. Auch können die besonderen und unabhängigen Bahnkörper in Schotterbauweise ausgeführt werden. Für die methodische Anwendung müssten diese Doppelungen eliminiert werden. Auf Basis der VDV-Richtlinie 600 lässt sich jedoch noch eine andere Unterscheidung der Eindeckungen treffen.

Hier wird zwischen offenem Oberbau, Oberbau mit planmäßiger Vegetation (bekannt als Rasengleis und nicht begehbar) und geschlossenem Oberbau unterschieden. Für die Anwendung als Baustein, welcher mit möglichst wenigen Eingangsdaten Anwendung finden soll, ist die letztere Unterscheidungsart für die Benutzung sinnvoller. Für fachfremde Personen scheint diese Unterscheidung wesentlich verständlicher, sodass sie besser den Anforderungen der Methode entspricht.

Der **offene Oberbau** (Abbildung 18, li.) unterscheidet sich in verschiedene Hauptbauarten:

- Offener Oberbau mit Schwellen und Bettung
- Bettungsloser offener Oberbau mit Schwellen (Sonderbauart auf Tragwerken oder bei schlechten Untergrundverhältnissen)
- Schwellenloser offener Oberbau mit Bettung (Interimszustand während Bauphase)
- Schwellen- und bettungsloser offener Oberbau

Der **geschlossene Oberbau** (Abbildung 18, mi.) unterscheidet sich in:

- Geschlossener Oberbau mit Schwellen und Bettung (auch „eingedecktes Schwellengleis“)
- Bettungsloser geschlossener Oberbau mit Schwellen
- Schwellenloser geschlossener Oberbau mit Bettung
- Schwellen- und bettungsloser geschlossener Oberbau

Hinzu kommt der **Oberbau mit planmäßiger Vegetation** (Abbildung 18, re.), welcher auch, wenn auch manchmal unzutreffend, als „Rasengleis“ bekannt ist und entweder als hochliegendes oder als tiefliegendes Rasengleis ausgeführt werden kann. Sie werden vor allem angewendet, um eine optische Aufwertung des Verkehrsraums zu erreichen. Bei der Eindeckung kann dabei zwischen Rasen und Sedum unterschieden werden (Kappis, Schreiter & Reichenbacher, 2015).



Abbildung 18: Beispielbilder für offenen (li.), geschlossenen (mi.) und Oberbau mit planmäßiger Vegetation (re.),
Quelle: http://www.meyer-strassenbahn.de/vorbild/vorbild_gleisbau.html

Eine weitere Oberbauart, welche erst in den letzten Jahren ausgereift wurde und inzwischen in mehreren Städten angewandt wird, ist die **feste Fahrbahn**. Dabei handelt es sich um eine Form des geschlossenen Oberbaus, jedoch erfolgt die Befestigung im Unterbau mittels einer Einbetonierung von mit Metallstegen verbundenen Zweiblockschwellen.³³ Als solche wird sie in der VDV-Richtlinie 600 nicht erwähnt.

Als Baustein lassen sich die Gleisanlagen nach der Eindeckung unterscheiden. Durch die stadtfeine Angabe können Daten hinsichtlich der Gesamtbreite des Gleiskörpers gespeichert werden. Die Auswahl von Spurweite, Gleismittenabstand und Informationen zum Lichtraumprofil ist für die anwendende Person daher nicht mehr notwendig. Beachtet werden sollte die Definition von eingleisigen oder zweigleisigen Bausteinen. Diese werden wahrscheinlich am häufigsten angewendet.

Grundsätzlich lassen sich noch weitere Detailbetrachtungen anstellen. Diese betreffen dann spezifische Ausführungen des Oberbaus, beispielsweise die Wahl des Schienenprofils oder der Schienenbefestigung. Auch diese unterscheiden sich von Stadt zu Stadt. Gründe hierfür sind Erfahrungen der einzelnen Betriebe über die letzten Jahre („traditionelle Bauweisen“), Fragen der Instandhaltung oder andere Gründe. Für die Methode würde eine solche Differenzierung, beispielsweise bei den Schienenprofilen, zu detailliert sein und die Komplexität der Anwendung zu stark erhöhen. Daher sind für jeden Verkehrsbetrieb eigene Informationen hinsichtlich angewendeter Oberbauformen zu hinterlegen. Einen Ansatz zur Datensammlung hat (Schneider, 2021) in seiner Bachelorarbeit begonnen. Notwendig wäre eine Vervollständigung dieser Sammlung um Elemente aller Oberbauformen und Verkehrsbetriebe. Dafür ist die Kooperation dieser notwendig. Sollte eine solche Datensammlung vollständig ausgeführt und auch aktuell gehalten sein, wäre die Anwendung zielführend einsetzbar und die stadtfeine Unterscheidung möglich. Wie sich bei (Schneider, 2021) zeigte, unterscheiden sich die Oberbauformen, beispielsweise bei geschlossenem Oberbau, massiv voneinander, was Auswirkungen auf die Bauart (beispielsweise die Nutzung von Schwellen oder Fester Fahrbahn) oder einfach nur auf die Breite der daraus resultierenden, hier definierten Bausteine hat. Für die weitere Anwendung in

³³ (<https://www.dvb.de/de-de/die-dvb/technik/gleissysteme/feste-fahrbahn>, 20.12.2022)

dieser Arbeit sowie für die Methodenüberprüfung, muss sich daher auf eine Ausführungsart beschränkt werden.

Als Standardeinstellungen werden daher gewählt (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995):

Offener Oberbau → Offener Oberbau mit Schwellen und Bettung

Die Oberbauform stellt die Standardausführung für besondere und unabhängige Bahnkörper dar. Als Schwellenform wird eine Betonschwelle als Standard festgelegt. Als Bauelemente des geschlossenen Oberbaus lassen sich die Schienen, Schwellen sowie die Bettung in Form einer Schottertragschicht definieren. Der untere Teil des Oberbaus wird als Planumsschutzschicht und gegebenenfalls Frostschutzschicht ausgeführt (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, OR 8.5 - Z 1, Blatt 03).

Bauelemente (nach Verrechnung mit der Achslänge):

- Schiene [m] (2x pro Gleismeter)
- Schwelle [Stk] (Richtwert: 1,333 Schwellen pro [m]) (Zschweigert, 1982)
- Tragschicht [m²] (Schotter)
- Planumsschutzschicht [m²]
- Entwässerungsröhr [m]

Nach Angabe der erforderlichen Schichtdicken, welche sich je nach Stadt unterscheiden können, können die Mengenangaben als Volumen ausgegeben werden.

Geschlossener Oberbau → Schwellenloser geschlossener Oberbau mit Bettung

Diese Form des offenen Oberbaus stellt die Normalausführung des Rillenschienengleises in Straßenfahrbahnen dar. Der Oberbau wird mit Rillenschienen und Spurstangen ausgeführt. Die Bauelemente dieser Oberbauform stellen eine Kombination aus den bekannten Elementen des Gleisbaus und den Elementen der Straßenplanung dar.

Bauelemente (nach Verrechnung mit der Achslänge):

- Schiene [m] (2x pro Gleismeter)
- Betontragplatte [m²]
- Gussasphalt [m²] (entspricht Deckschicht)
- Asphaltbinder [m²] (entspricht Zwischenschicht zur Verbindung von Asphaltdeckschicht und Betontragschicht)
- Betontragschicht [m²] (entspricht Tragschicht)
- Frostschutzschicht [m²]

Als Beispieloberbau in geschlossener Bauart wird bei (Schneider, 2021, S. 93) der für die Straßenbahn Zwickau angegeben, welcher in dieser Arbeit in der nachfolgenden Methodenüberprüfung Anwendung finden kann (Abbildung 19). Definiert als Baustein hat dieser eine Breite

von 6 m, zur Einhaltung der in den RAST vorgegebenen Breiten für Fahrstreifen wird eine Verbreiterung auf 6,5 m (was zweimal 3,25 m entspricht) vorgenommen. Für Rillenschienen wird als Sockelbreite in der VDV-Schrift 600 meist (nicht bei allen Schienenarten) eine 180 mm (entspricht 0,18 m) angegeben. Für die genauere Bestimmung der einzubauenden Schichten sollte diese Lücke abgezogen werden.

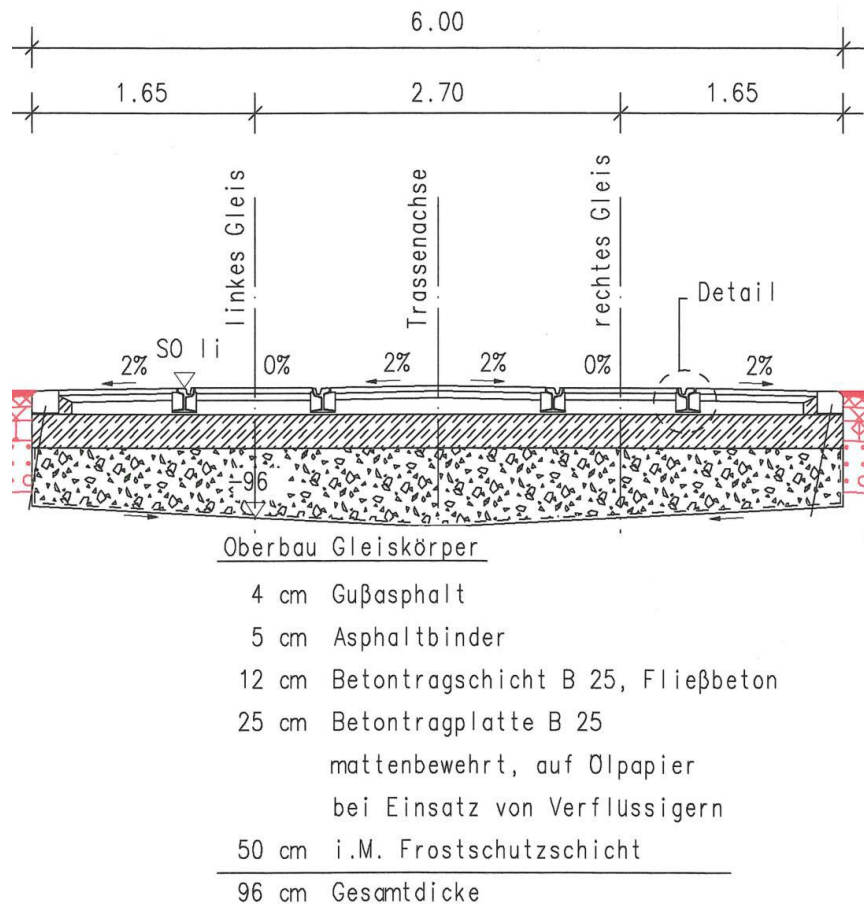


Abbildung 19: Querschnitt des geschlossenen Oberbaus wie er in Zwickau angewendet wird, aus (Schneider 2021, S. 93)

Oberbau mit planmäßiger Vegetation → Hochliegendes Rasengleis

Das Hochliegende Rasengleis wird aufgrund seiner optischen Vorzüge und lärmindernden Wirkung häufig verwendet. Die Verlegung der Gleise unterscheidet sich nicht von der Bauform des geschlossenen Oberbaus, nur dass die Eindeckung mit Rasen eine Auffüllung mit Erde erforderlich macht. Dahingehend beinhaltet diese Oberbauform Elemente der zuvor beschriebenen Freiflächen in Form von Grünanlagen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 2018).

Wieder wird der Querschnitt der Stadt Zwickau zugrunde gelegt. Jedoch bleibt die Breite des Bausteins bei 6,00 m Breite und die Füllung der Zwischenräume (bei geschlossenem Oberbau mit Betontragschicht, Asphaltbinder und Gussasphalt ausgeführt) wird mit einer Vegetationstragschicht gefüllt. Die Berechnungsvorschriften gleichen sich daher (Kappis et al., 2015).

Berechnung:

Gleislänge [m] = Achslänge [m] * Gleisanzahl

Schienenlänge [m] = Gleislänge [m] * 2

Berechnung Oberbauarten:**Offener Oberbau**

Anzahl Schwellen [Stk] = Gleislänge [m] * 1,333 Schwellen pro [m]

Fläche Tragschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Tragschicht [m]

Fläche Planumsschutzschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Planumsschutzschicht [m]

Länge Entwässerungsröhr [m] = Achslänge [m] * Anzahl Entwässerungsröhre [Stk]

Für sämtliche Schichten können Dicken angegeben werden, die die Berechnung der notwendigen Baumaterialien ermöglichen.

Geschlossener Oberbau

Fläche Betontragplatte [m²] = Achslänge [m] * Breite Betontragplatte [m]

Fläche Deckschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Deckschicht [m]

Fläche Asphaltbinder [m²] = Achslänge [m] * Breite Asphaltbinderschicht [m]

Breite Betontragschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Betontragschicht [m]

Fläche Frostschutzschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Frostschutzschicht [m]

Für sämtliche Schichten können Dicken angegeben werden, die die Berechnung der notwendigen Baumaterialien ermöglicht.

Die Breite der Schichten im Bereich der Gleise ergibt sich aus der Breite des Oberbaus (hier mit 6,50 m festgelegt) abzüglich der Lücken für die Gleise (mit 0,18 m pro Schiene angegeben, beispielsweise Rillenschiene Ri 60 N). Bei zwei Gleisen (vier Schienen) im Querschnitt ergibt dies eine Schichtbreite von 5,78 m. Grund ist die notwendige Entkoppelung der Gleise von der umgebenden Eindeckung (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 145).

Oberbau mit planmäßiger Vegetation

Der Einbau planmäßiger Vegetation in den Zwischenräumen der Gleise kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Es kann entweder als Eindeckung mit Rasengittersteinen oder -platten oder durch eine Auffüllung erfolgen. Letztere hat eine bessere optische Wirkung und wird daher oft angewendet. In diesem Falle wäre diese Oberbauart für andere nicht befahrbar (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 142). Bei der Auffüllung wird Humus, Mutterboden oder eine andere Vegetationstragschicht verwendet. Die Gleise selbst können auf unterschiedliche

Weise gebaut werden. Sowohl die Befestigung auf Schwellen als auch der schwellenlose Oberbau sind möglich. Zur Vereinfachung der Anwendung und späteren Überprüfung werden in diesem Falle die Oberbaudaten des geschlossenen Oberbaus aus Zwickau verwendet und die Schichten zwischen den Gleisen mit einer Vegetationstragschicht verfüllt. Die Berechnungsvorschriften sind daher leicht abgewandelt:

Fläche Betontragplatte [m²] = Achslänge [m] * Breite Betontragplatte [m]

Fläche Vegetationstragschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Vegetationstragschicht [m]

Fläche Frostschutzschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Frostschutzschicht [m]

Als Dicke der Vegetationstragschicht wird die Summe der zuvor ersetzten Schichten angenommen. Die Dicke beträgt damit 21 cm.

Feste Fahrbahn

Die Berechnung der festen Fahrbahn entspricht einer Kombination derer aus geschlossenem und offenem Oberbau. Aus dem offenen Oberbau kann das Element der Schwellen hinzugezogen werden. Diese werden als Zweiblockschwellen ausgeführt und in die tragende Betonplatte eingebunden. Das dadurch etwas geringere Volumen der Betonplatte, was durch die Zweiblockschwellen mit dem zwischenliegenden Metallsteg eingenommen wird, wird nicht beachtet.

Anzahl Schwellen [Stk] = Gleislänge [m] * 1,333 Schwellen pro [m]

Fläche Betontragplatte [m²] = Achslänge [m] * Breite Betontragplatte [m]

Fläche Deckschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Deckschicht [m]

Fläche Asphaltbinder [m²] = Achslänge [m] * Breite Asphaltbinderschicht [m]

Breite Betontragschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Betontragschicht [m]

Fläche Frostschutzschicht [m²] = Achslänge [m] * Breite Frostschutzschicht [m]

Im Vergleich zum geschlossenen Oberbau sind in der hier festgelegten Standardausführung andere Schichtdicken zu beachten.

Resultierend aus den unterschiedlichen Ausführungen ist eine große Menge an Informationen erforderlich, um die erforderlichen Bausteinausführungen abbilden zu können. Dabei hilft die stadtfeine Voreinstellung, sodass sich das Angebot an Differenzierungen der Bausteine für die anwendende Person im Vorhinein einschränkt. Die Handhabung wird dadurch erleichtert. Dennoch werden pro Stadt diverse Varianten zur Verfügung stehen.

Weichenwahl

Wichtige Elemente der Schienenverkehrsanlagen sind Schienenverbindungen und Gleisabzweige. Letztere sind an Knotenpunkten oder auf freier Strecke vorzufinden und dienen der Verknüpfung von Straßenbahnstrecken. Daher sollten sie Teil dieser Untersuchung sein. Elemente dieser Abzweigungen und Verbindungen sind Einzelweichen. Für diese werden

Standardausführungen festgelegt, welche durch Abzweigradius und Neigung (Weichenendneigung) definiert sind (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, OR 14.3.1 - Z 1, Blatt 01). Die Auswahl einer Weiche für diese Methode wäre zu umfassend, sodass die Auswahl einer standardmäßigen Einfachweiche getroffen werden muss. Die in der BOStrab aufgelisteten Weichenbauarten entsprechen dem in der Realität verbauten Standard, sind jedoch nicht mit Kostenwerten verknüpft. Alternativ kann der Kostenkennwertekatalog der Deutschen Bahn AG begutachtet werden. Dieser soll die Kostenschätzung von Schienenverkehrsanlagen vereinfachen, bezieht sich jedoch auf die EBO. Die Angaben sind daher nur schwer zu verwenden, da Unterschiede in der Dimensionierung hinsichtlich Achslasten und andere Bauteilarten vorzufinden sind. Zudem ist der Kostenkennwertekatalog hinsichtlich seiner Ausführungen und Kostenangaben teilweise als unlogisch zu bewerten (Pöppelbaum, 2022, S. 54).

Die Informationen zur hier dargestellten Standardweiche entstammen der VDV-Schrift 600. Es handelt sich dabei um zwei Weichen mit geradem Endteil. Sie sind grundsätzlich von gleicher Bauform, unterscheiden sich jedoch in ihrer Spurweite (Darstellung unabhängig der Spurweite). Daraus resultierend sind einige geometrische Maße trotz der gleichen Grundkonstruktion unterschiedlich (Abbildung 21 und Tabelle 7).

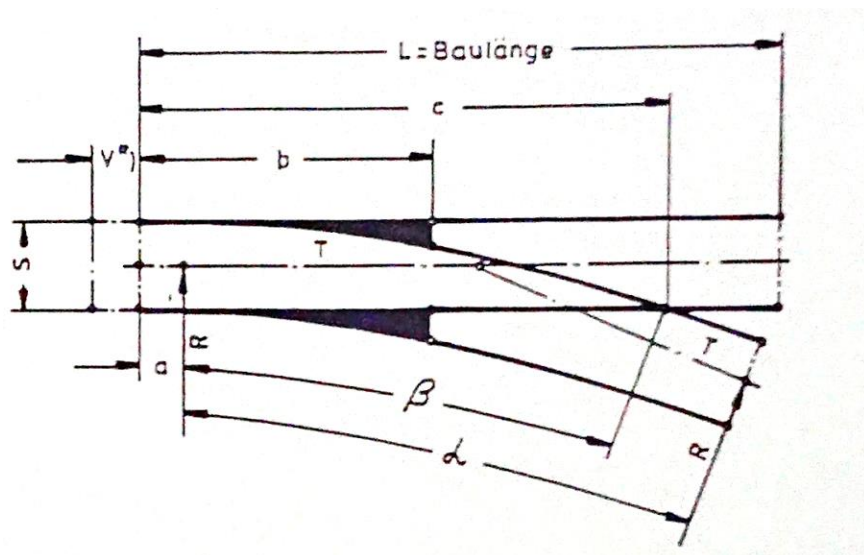


Abbildung 21: Skizze und Bezeichnung einer Weiche mit durchgehendem Bogen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995)

Weiche		1:4	
S	Spurweite [mm]	1000	1435
R	[m]	25	25
a	[mm]	500	500
b	[mm]	4500	4500
c	[mm]	7571	8970
T	[mm]	4542	5242
L	[mm]	9571	10970
V*	[mm]	500	500

Tabelle 7: Daten der festgelegten Standardweichen (mit durchgehendem Bogen) $r = 25$ m, Neigung 1:4 aus der VDV-Schrift 600 (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, 370)

Gleisverbindungen resultieren in ihren Abmessungen aus den Angaben der verwendeten Weichen. Die Länge des Gleiszwischenstücks ist abhängig vom Gleismittenabstand, welcher sich je nach in einer Stadt vorherrschenden Bauweise unterscheidet. Als Standard wird in dieser Arbeit der Gleismittenabstand von 3,00 m angenommen (Abbildung 22 und Tabelle 8).

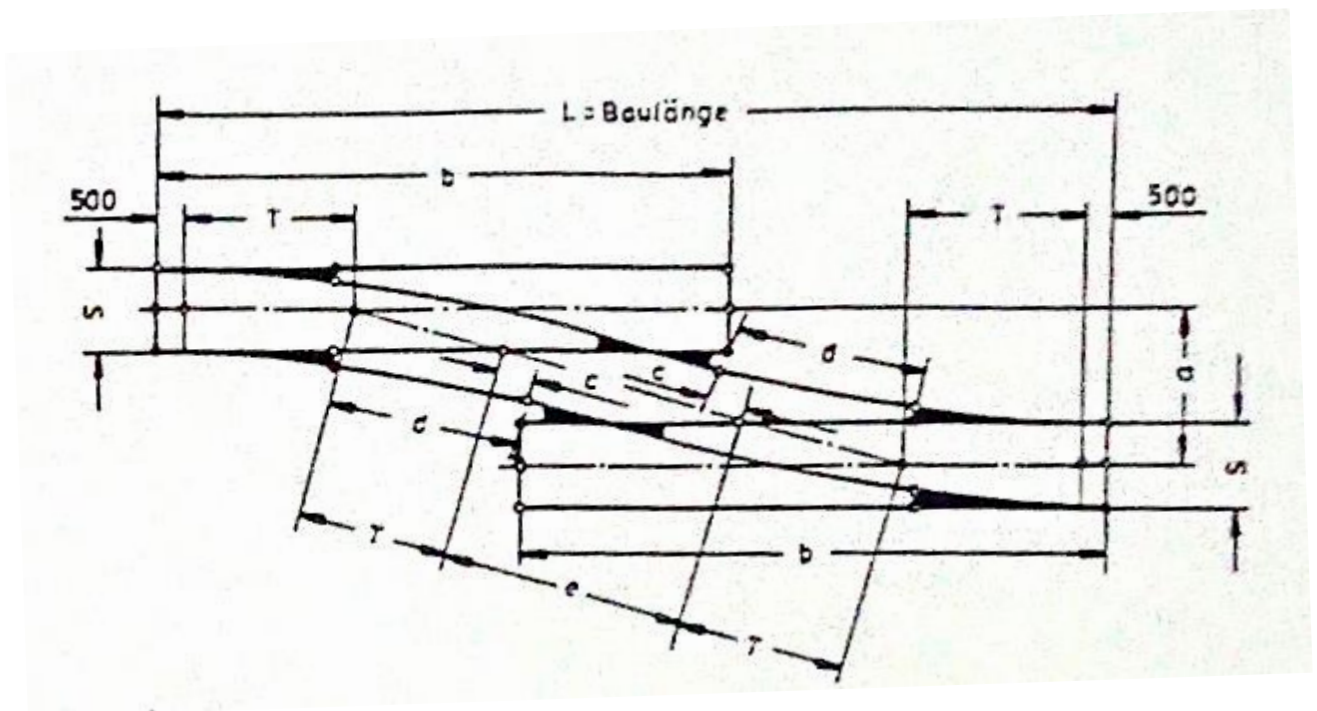


Abbildung 22: Gleisverbindung mit $r = 25$ m und Neigung 1:4

Gleisabstand	a	[mm]	3000
	T	[mm]	3078
	L	[mm]	19156
	e	[mm]	6213
Spurweite 1000 mm	b	[mm]	9640
	c	[mm]	3229
	d	[mm]	5231
Spurweite 1435 mm	b	[mm]	11406
	c	[mm]	1463
	d	[mm]	3412

Tabelle 8: Daten einer Gleisverbindung basierend auf der Standardweiche $r = 25$ m, Neigung 1:4 aus der VDV-Schrift 600 (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, OR 14,3,1 - Z 2, Blatt 05)

An Knotenpunkten und auf freien Strecken können Abzweigungen verbaut werden. Bei einer zweigleisigen Strecke ist der Einbau von zwei Weichen sowie einer Kreuzung notwendig. Eine Kreuzung besteht aus zwei kreuzenden Gleisen, in denen vier Herzstückblöcke verbaut werden. Die VDV-Schrift 600 enthält eine Auflistung von Herzstücken. Für die Überprüfung der Methode wird ein Zweiggleis mit einem Radius $r=25$ m angenommen. Die genaue Ausführung einer Abzweigung ist abhängig vom Gleismittenabstand, da über diesen der Kreuzung des Zweiggleises in Bezug zum geraden Stammgleis bestimmt wird.



Abbildung 23: Skizze einer zweigleisigen Rechtsabzweigung, verbaut sind zwei Weichen und eine einfache Kreuzung (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 277)

Für die Anwendung in der Überprüfung der Methode soll eine Beispielabzweigung konstruiert werden, um die entstehenden Längen der Gleise zu demonstrieren. Bei der Abzweigung liegen an einem Knotenpunkt drei Verkehrsachsen an, die jeweils mit Gleisanlagen einer Straßenbahn konstruiert sind. Für die geometrische Betrachtung ist die Art des Oberbaus irrelevant. Damit entsteht ein doppelgleisiges Gleisdreieck (Abbildung 24).

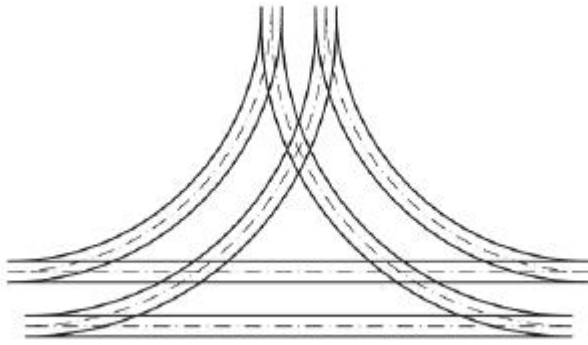


Abbildung 24: Skizze eines doppelgleisigen Gleisdreiecks (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1995, S. 278)

In der vorliegenden Form müssen sechs Weichen des vorher betrachteten Einheitstypen eingebaut werden (als Spurweite wird 1.435 mm angenommen). Die symmetrischen Weichen der hier dargestellten Nebenachse werden zur Vereinfachung zu diesen gezählt. Zudem müssen drei Gleiskreuzungen mit gekrümmten Gleisen eingebaut werden. Je Kreuzung werden vier Herzstücke verbaut. Als Abzweigradius wird, um die Krümmung der Weichen fortzusetzen, 25 m angenommen (Tabelle 9). Die Berechnung der Gleislänge erfolgte mittels einer Rekonstruktion in AutoCAD (Gleismittenabstand 3 m, Gleisradius $r = 25$ m)

Elemente	Menge	Einheit
Weiche	6	Stk
Kreuzung	3	Stk
Gleis	257,0796	m

Tabelle 9: Zahl der Bauelemente eines zweigleisigen Gleisdreiecks (Gleismittenabstand 3 m)

Für eine spätere Datensammlung und der Implementierung mehrerer Kreuzungsmöglichkeiten für Straßenbahnen kann eine automatische Berechnung der Gleislängen abhängig der eingehenden Gleismittenabstände, verwendeten Weichen oder Gleisradien erfolgen. Dafür müssten umfassende Berechnungsvorschriften aufgestellt werden.

Zusätzlich zum Weichenbauteil selbst können noch diverse Ausrüstungen hinzugefügt werden. Beispielsweise können Schmieranlagen und Weichenheizungen installiert werden. Dies zeigt, dass die genaue Ausführung einer Weiche beziehungsweise ganzer Weichenkonstruktionen sehr individuell und daher nur schwer in einem einfachen Baustein darstellbar sind.

Als Bauelemente, die in der Methode Verwendung finden können, sind die Anzahl der Weichen in einer Abzweigung oder Verbindung sowie die Anzahl der Kreuzungen anzugeben. Weitere Details sind Teil der Planung in den späteren Leistungsphasen. Jedoch lässt sich festhalten, dass sich die Angabe der Mengen für eine Verzweigung sehr komplex gestaltet, da die Geometrie derer von diversen Faktoren abhängig ist. Pauschale Angaben über Gleislängen, Herzstückausführungen und Kreuzungsdimensionen sind daher nicht möglich. Eine spätere Verknüpfung mit Kostenkennwerten gestaltet sich daher schwierig. Für eine automatisierte Angabe eines Kreuzungsbereichs mit Gleisabzweigen sind daher eigene Berechnungsvorschriften zu entwickeln,

die aber den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würden. Daher wird in der Folge in der Mengenkalkulation mit Pauschalwerten gearbeitet. Die Berechnung dafür ist im Kapitel 6.4.2.3 *Bausteine der Knotenpunktgestaltung* zu finden. Die fachliche Richtigkeit soll dabei trotzdem beachtet werden.

Bauelemente:

- Weiche [Stk]
- Kreuzung [Stk], ggf. differenziert in unterschiedliche Kreuzungswinkel
- Gleis [m]

6.4.2.2 Bausteine der Straßenplanung

Fahrstreifen des Individualverkehrs

Als Träger des Individualverkehrs ist der Fahrstreifen einer der zentralen Bausteine der Methode. Zusätzlich kann er als Verkehrsweg des Radverkehrs dienen und in Erschließungsstraßen sogar als solcher für den Fußverkehr. Für die Anlage der Fahrstreifen sind mehrere Faktoren zu beachten. Im Vergleich zu den Radverkehrsanlagen ist die Fahrstreifenbreite nicht im Vorhinein auf einen Wert festgelegt, sondern ist abhängig von seiner Lage und den Nutzungsansprüchen (FGSV, 2006, S. 43). Ein Wert ist grundsätzlich zu merken: In der Regel wird ein Fahrstreifen (für eine Richtung) mit 3,25 m festgelegt. Dies trifft zu, wenn die Fahrstreifen beider Richtungen aneinandergrenzen oder wenn zwei oder mehr Fahrstreifen auf zweibahnigen Straßen je Richtung geführt werden. Daher kann man von dem Breitenwert sprechen, der am häufigsten Anwendung findet. Dieser kann sich jedoch verändern. Wenn ein Fahrstreifen allein in eine Richtung geführt wird, erhöht sich dessen Breite aus Sicherheitsgründen auf 3,50 m. Für Straßen mit geringerer Bedeutung, beispielsweise Erschließungsstraßen, sind auch andere Fahrbahnbreiten üblich. Diese können bis auf 4,50 m Gesamtfahrbahnbreite reichen. Doch auch auf Hauptverkehrsstraßen gibt es abhängig der Nutzungsansprüche Unterschiede. Bei der Anlage eines Radschutzstreifens sind beispielsweise 7,50 m Gesamtfahrbahnbreite vorgesehen, wobei auf jeder Seite 1,50 m Radschutzstreifen markiert wird. Zur Vereinfachung der Berechnungsvorschriften sollten zusammenhängende Zweirichtungsfahrstreifen in zwei Einrichtungsfahrstreifen gesplittet werden.

Berechnung:

Fläche Fahrstreifen [m²] = Achslänge [m] * Breite Fahrstreifen [m]

Die Bauelemente für die Fahrstreifen ergeben sich aus den Angaben in der RStO. Demnach besteht der Baustein aus:

- Untere Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Mittlere Tragschicht (z.B. Verfestigung)
- Obere Tragschicht
- Deckschicht

Wie auch beim Gehweg entsprechen die Flächen der Schichten der Fläche des Bausteins. Die notwendigen Dicken sind aus der RStO zu entnehmen. Zur Vereinfachung der Methode wird eine Standarddicke festgelegt, welche im zu entwickelnden Tool variabel sein kann. Auf Basis der stadtfinen Gliederung kann darüber eine Verknüpfung zur notwendigen Frostschutzstufe erfolgen. Über die Festlegung der Dicke der einzelnen Schichten kann das Flächenmaß in ein Volumenmaß umgewandelt und somit eine Beschaffungsmenge des Baumaterials ermittelt werden.

Gehweg

Gehwege sind essenzielle Bestandteile der Straßenrauminfrastruktur und sind innerorts nahezu überall zu finden. Sie bilden die Grundlage für den Fußverkehr und sind daher unverzichtbar. Über diese werden sämtliche Gebäude, Verkehrs- und Grünanlagen angeschlossen. In ihren baulichen Ausführungen sind Gehwege jedoch sehr unterschiedlich. Dies trifft sowohl auf die Breitenmaße als auch auf die Materialwahl zu. Die RAST sieht für Gehwege eine Regelbreite von 2,50 m vor. Bei beengten Platzverhältnissen ist auch eine Breite von 2 m zulässig. Daneben haben aber die meisten Städte, zumindest die Großstädte, eigene Vorgaben über die Anlage von Gehwegen, um ein einheitliches Stadtbild zu gewährleisten. Diese Leitbilder können sich auf die Wahl des Baumaterials beziehen oder sogar auf die Breite der Gehwege selbst. So kann festgelegt werden, dass grundsätzlich eine größere Gehwegbreite gewünscht ist. Dem sollte bei einer entsprechenden Planung Rechnung getragen werden.

Berechnung:

Fläche Gehweg [m²] = Achslänge [m] * Breite Gehweg [m]

Als Baustein stellt der Gehweg eine Verknüpfung aus folgenden Bauelementen dar (FGSV, 2012, S. 4):

- Ungebundene Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Gebundene Tragschicht
- Deckschicht

Die Ausführung dieser Bauelemente, also die Wahl der Materialien, ist teilweise mit der Ausführung der anliegenden Straße verknüpft. Das Material der Tragschichten wird mit dem der Tragschichten der Fahrbahnen identisch sein. Die berechnete Fläche wird somit auf jede der vorgesehenen Schichten bezogen. Obwohl punktuell Abweichungen möglich sind, wird dies zur Vereinfachung nicht angenommen. Aufgrund der geringen zu erwartenden Lasten sind an die Tragschichten keine besonderen Anforderungen gestellt.

Radverkehrsanlagen

Für den Radverkehr sind im Grunde fünf verschiedene Arten von Verkehrswegen vorgesehen. Zwei davon beschränken sich auf die Mitbenutzung der Infrastruktur anderer Fortbewegungsmöglichkeiten. Dies betrifft den kombinierten Geh-/Radweg sowie die Führung des Radverkehrs auf dem Fahrstreifen des MIV ohne Markierung. Erstere Variante ist beispielsweise

außerorts der Regelfall, wobei hier eigene Maße bezüglich der Breite gegeben sind. Letztere ist besonders in ruhigeren Verkehrsgebieten (geringe Verkehrsstärken und/oder Geschwindigkeiten) üblich. Daneben stehen drei eigene Arten von Infrastruktur zur Verfügung.

Radweg

Auf Höhenniveau des Gehwegs kann der Bau eines Radweges vorgesehen sein. Dieser hat eine Regelbreite von 2 m und schließt direkt an den Gehweg an. Alternativ findet sich dazwischen ein Grünstreifen. Unabhängige Radwege werden in der Regel rechts der Parkstände geführt, sodass es dort zu keinen Konflikten kommt. Vorteil von Radwegen ist eine vom MIV gesicherte Führung, sodass eine erhöhte Sicherheit gewährleistet werden kann. Der Radweg wird vom MIV-Fahrstreifen durch einen Bord (zumeist Hochbord) getrennt. Baulich wird er in der Regel dem Gehweg angepasst, wobei auch andere Arten der Befestigung üblich sind. Im Bereich von Knotenpunkten sollten Radwege in Radfahrstreifen überführt werden (mindestens 20 m dem Knoten) um die Verkehrsteilnehmenden gegenseitig ins Sichtfeld zu rücken. In Richtung Fahrbahn ist ein Sicherheitstrennstreifen in der Breite von 0,75 m vorzusehen.

Berechnung:

Fläche Radweg [m²] = Achslänge [m] * Breite Radweg [m]

Da der Radweg als Bauwerk mit dem Gehweg, zumindest in bautechnischer Hinsicht, in gleicher Form ausgeführt, werden die einzelnen Bauelemente als identisch zum Gehweg angenommen (FGSV, 2012, S. 4).

- Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Tragschicht (gebunden)
- Deckschicht

Die Fläche sämtlicher Schichten ist dabei identisch mit der zuvor errechneten Fläche des Bausteins.

Radfahrstreifen

Eine weitere Möglichkeit ist die Anlage eines Fahrstreifens auf der Fahrbahn. Dieser hat eine Regelbreite von 1,85 m und wird durch eine Markierung vom Fahrstreifen des MIV abgegrenzt. Trotz der Führung auf der Fahrbahn wird ein vergleichsweise sicherer Verkehr gewährleistet, bei dem die Seitenabstände in der Regel eingehalten werden. Ein Überfahren der Markierung ist für den MIV nicht gestattet. Ein Vorteil des Radfahrstreifens ist, dass Radfahrende und Autofahrende sich ständig gegenseitig im Blick haben können, sodass stärker aufeinander Rücksicht genommen werden kann. Insbesondere an Knotenpunkten ist das vom Vorteil. Bei den zuvor erwähnten Radwegen ist das nicht immer der Fall. Nachteile ergeben sich oft da, wo Radfahrstreifen zwischen Fahrstreifen und Parkständen verlaufen, da es mit den parkenden oder aus- und einparkenden Fahrzeugen häufig zu Konflikten kommt. Rein baulich besteht zwischen dem Fahrstreifen des MIV und dem Radfahrstreifen (abgesehen von dem Breitenmaß) kein

Unterschied, daher ist er als Teil der Fahrbahn zu betrachten. Die Abgrenzung erfolgt ausschließlich durch Markierungen.

Berechnung:

Fläche Radfahrstreifen [m²] = Achslänge [m] * Breite Radfahrstreifen [m]

Da der Radfahrstreifen direkt an die Fahrbahn für den motorisierten Individualverkehr angebunden und nur über eine Markierung getrennt ist, ist dessen bauliche Umsetzung mit dem der Fahrstreifen verknüpft. Folgende Bauelemente sind dabei zu beachten:

- Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Tragschicht (Verfestigung, gegebenenfalls hydraulisch gebunden)
- Tragschicht (gebunden)
- Deckschicht

Radschutzstreifen

Eine kleinere Variante des Radfahrstreifens ist der Radschutzstreifen. Dieser ist lediglich 1,50 m breit in der Regelbreite und vom restlichen MIV durch eine gestrichelte Markierung abgegrenzt. Dies bedeutet nach StVO, dass im Falle der Begegnung zweier Fahrzeuge der Radschutzstreifen genutzt werden darf, um ein gefahrloses Ausweichen zu ermöglichen. Dies steht jedoch in der Kritik, da somit der Radschutzstreifen blockiert wird oder es zu gefährlichen Situationen kommt, bei denen die geforderten Seitenabstände nicht eingehalten werden. Perspektivisch soll daher auf Radschutzstreifen verzichtet werden, stattdessen wird das Aufbringen eines Radfahrstreifens empfohlen. Genauere Ausführungen dazu sind in der Novellierung der RAST zu erwarten. Dennoch ist der Radschutzstreifen als wichtiger Bauteil der Radverkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen. Wie auch der Radfahrstreifen ist der Aufbau der Radschutzstreifen mit dem der MIV-Fahrstreifen gleich, die Abgrenzung erfolgt ebenfalls nur über die Markierung.

Berechnung:

Fläche Radschutzstreifen [m²] = Achslänge [m] * Breite Radschutzstreifen [m]

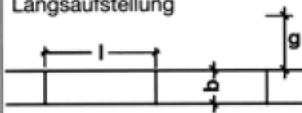
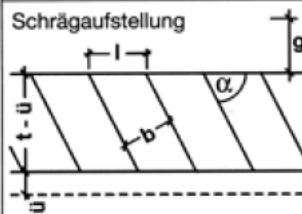
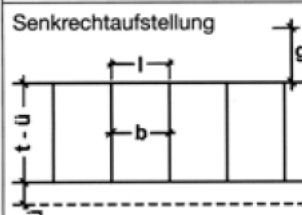
Wie auch der Radfahrstreifen ist der Radschutzstreifen mit den Fahrstreifen des MIV verknüpft. Ein baulicher Unterschied besteht deshalb nicht, lediglich die Regelmaße, welche bereits zuvor angegeben werden, sind unterschiedlich. Die Abgrenzung erfolgt über eine Markierung.

- Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Tragschicht (Verfestigung, gegebenenfalls hydraulisch gebunden)
- Tragschicht (gebunden)
- Deckschicht

Parkstreifen/Parkstand (in verschiedenen Ausführungen)

Die Umgebung des städtischen Straßenraums ist geprägt von zumeist dichter Bebauung. Resultierend daraus gibt es viele Menschen mit Nutzungsansprüchen an den Straßenraum, sei es als Anwohner oder durch Kunden des ansässigen Einzelhandels. All das führt zu einem Bedarf an Stellplätzen für den Individualverkehr, was sowohl den MIV als auch den nichtmotorisierten Individualverkehr (NIV) betrifft. Als Teil der RAST werden die Abstellplätze für den Autoverkehr genauer beschrieben. Unterschieden wird zwischen drei verschiedenen Aufstellarten: Längsparken (entlang der Fahrtrichtung des Hauptfahrstreifens), Schrägparken (Aufstellen in einem ca. 50 gon-Winkel zur Hauptfahrbahn) und das Senkrechtparken (Aufstellen im 100 gon-Winkel zur Hauptfahrbahn).

Neben der Anlage dieser Parkstreifen ist auch die Berücksichtigung von Sicherheitsräumen wichtig. Diese stehen oftmals im Zusammenhang mit den vor Ort vorhandenen Radverkehrsanlagen, sodass nach unterschiedlicher Ausführung der Parkstände und der Radverkehrsanlagen auch unterschiedliche Sicherheitsräume angewandt werden müssen (Tabelle 10). Es wird empfohlen, diese in der Anwendung der Methode automatisiert zu ermitteln, da sonst die Komplexität für die anwendende Person zu groß werden könnte. Die Existenz und die Position der Radverkehrsanlage kann in Bezug auf den Parkstand automatisch erkannt werden.

	Aufstell- winkel a [gon]	Tiefe ab Fahr- gassen- rand t - ü [m]	Breite des Überhang- streifens ü [m]	Breite des Park- stands b [m]	Straßenfrontlänge l [m]		Fahrstreifen bzw. Fahrbahnbreite g [m]	
					beim Einparken vorwärts	rückwärts	beim Einparken vorwärts	rückwärts
Längsaufstellung 	0			2,00	6,70 ¹⁾	5,70 5,20 ²⁾	3,25	3,50
Schrägaufstellung 	50	4,15	0,70	2,50	3,54		3,00	
	60	4,45	0,70	2,50	3,09		3,50	
	70	4,60	0,70	2,50	2,81		4,00	
	80	4,65	0,70	2,50	2,63		4,50	
	90	4,55	0,70	2,50	2,53		5,25	
Senkrechtaufstellung 	100	4,30	0,70	2,50	2,50	2,50	6,00	4,50

¹⁾ In Sonderfällen, z. B. um Behinderungen im Radverkehr beim Rückwärtseinparken zu vermeiden

²⁾ Durchschnittswert ohne Markierung

Tabelle 10: Abmessungen von Parkständen und Flächenbedarf für Pkw im Straßenraum (FGSV, 2006, S. 52)

Berechnung der Bausteine oder Bauelemente nach Aufstellarten:

Längsparken:

Parkfläche:

Fläche Parkstandfläche [m²] = Achslänge [m] * Parkstandbreite [m]

Sicherheitsfläche mit Radweg zwischen Gehweg und Parkstand:

Fläche Sicherheitsraum [m²] = Achslänge [m] * 0,75 m

Sicherheitsfläche mit Radfahrstreifen bzw. Radschutzstreifen zwischen Fahrstreifen und Parkstand:

Sicherheitsfläche zur Radverkehrsanlage:

Sicherheitsfläche [m²] = Achslänge [m] * 0,75 m

Sicherheitsfläche zum Gehweg:

Sicherheitsfläche [m²] = Achslänge [m] * 0,50 m

Schrägparken:

Parkfläche:

Fläche Parkstandfläche [m²] = Achslänge [m] * Parkstandbreite [m]

Regelmaß für Parkstandbreite (bei einem Aufstellwinkel von 50 gon): 4,15 m

Fläche des Überhangstreifens zum Gehweg bzw. Radweg:

Fläche Überhangstreifen [m²] = Achslänge [m] * 0,70 m

Fläche des Zwischenstreifens zur Radverkehrsanlage bzw. zum Fahrstreifen:

Fläche Zwischenstreifen [m²] = Achslänge [m] * 0,75 m

In Folge der Anordnung von Schrägparkplätzen sind Mindestmaße für den angrenzenden Fahrstreifen zu berücksichtigen (FGSV, 2006, S. 52). Diese sollte, abhängig vom Aufstellwinkel, eine Gesamtbreite von mindestens 3,00 m haben. Bei zu stark befahrenen Straßen wird diese Art der Parkraumgestaltung nicht empfohlen.

Senkrechtaufstellung:

Parkfläche:

Fläche Parkstandfläche [m²] = Achslänge [m] * Parkstandbreite [m]

Regelmaß für Parkstandbreite: 4,30 m

Fläche des Überhangstreifens zu Gehweg bzw. Radweg:

Fläche Überhangstreifen [m] = Achslänge [m] * 0,70 m

Fläche des Zwischenstreifens zur Radverkehrsanlage bzw. zum Fahrstreifen:

Fläche Zwischenstreifen [m²] = Achslänge [m] * 0,75 m

Sofern auf den anliegenden Fahrstreifen Straßenbahnen verkehren, was in der Methode mit beachtet werden sollte, so muss der Zwischenstreifen breiter ausgeführt werden. Genauere Angaben dazu macht die RASt aber nicht. Es wird empfohlen dann auf Senkrechtparken zu verzichten (FGSV, 2006, S. 53).

Die Bauelemente ergeben sich aus denen der angrenzenden Fahrstreifen. Der Oberbau kann identisch, aber auch unterschiedlich ausgeführt sein. Da angenommen wird, dass eine Entscheidung über die exakte bauliche Ausführung der Parkstände erst in einer späteren Leistungsphase entschieden wird, wird in der Methode ausschließlich eine der Fahrstreifeneindeckung identische Ausführung der Deckschicht gewählt.

- Untere Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht)
- Mittlere Tragschicht (z.B. Verfestigung)
- Obere Tragschicht
- Deckschicht

Grünfläche, Freiflächen (mit und ohne Bepflanzung)

Trotz der gewünschten möglichen optimalen Ausnutzung der verfügbaren Straßenraumbreite ist es oftmals notwendig oder auch gefordert, Freiflächen einzuplanen, die für die Verkehrsaufgabe selbst nicht nutzbar sind. Gründe hierfür sind zumeist städtebaulicher Natur und dienen der Gestaltung des Straßenraums. Manchmal ergeben sie sich aber auch aus funktionellen Gründen, beispielsweise aus der Konstruktion der einzelnen Verkehrswege. Die Ausführung dieser Freiflächen ist dabei unterschiedlich. Besonders beliebt ist die Anlage von Grünflächen, gegebenenfalls mit Bäumen oder Sträuchern bepflanzte. Sie dienen nicht nur der optischen Verschönerung des Straßenraums, sondern haben auch positive Auswirkungen auf die mikroklimatischen Verhältnisse vor Ort, beispielsweise kann der Schatten der Bepflanzung die Abkühlung der Oberflächen bewirken.

Andererseits können diese Freiflächen auch befestigt ausgeführt werden, vergleichbar mit der Eindeckung des Gehwegs. Im Oberbau selbst müssen dabei keine Belastungen durch Verkehr berücksichtigt werden, da eine Befahrung sowieso nicht vorgesehen ist.

Daher ist für diese Freiflächen auch keine Standardbreite festlegbar. Um in der Anwendung der Methode dennoch einen Startwert geben zu können, wird das Maß von 2 m vorgeschlagen. Damit wäre zumindest die Bepflanzung mit Bäumen möglich. In der Anwendung selbst ist die Veränderung des Breitenwertes möglich, sodass der Startwert als Vorschlag ausreichend ist.

Berechnung:

Freifläche [m²] = Achslänge [m] * Breite Freifläche [m]

Eine Freifläche wird an beiden Seiten mit einer Randeinfassung von den angrenzenden Flächen abgegrenzt. Sofern sie als Pflanzgrube für eine Baumbepflanzung vorgesehen sind, muss eine Vegetationstragschicht mit mindestens 1,5 m Tiefe sowie Belüftungsrohre eingeplant werden (FGSV, 2006, S. 18).

Als Bauelemente für eine Freifläche als Grünfläche sind daher der Einbau von Randeinfassungen sowie gegebenenfalls eine Vegetationstragschicht in Form von Erde und Belüftungsrohre, abhängig von der Vegetation, vorzusehen.

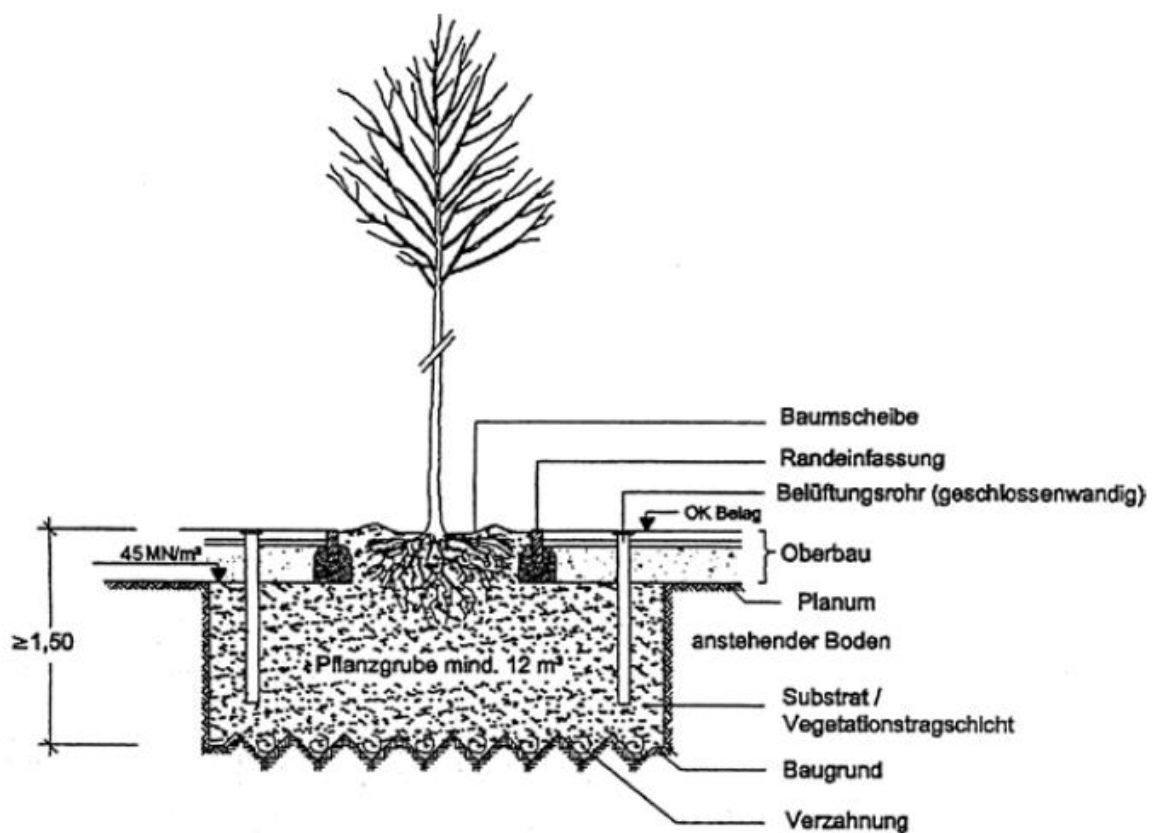


Bild 22: Pflanzgrubenbauweise 2 (Pflanzgrube ganz oder teilweise überbaut)

Abbildung 25: Darstellung der Ausführung einer Freifläche als Bepflanzungsfläche für Straßengrün, entnommen den RAST

Sofern eine Freifläche als geschlossene Fläche ausgeführt wird, ist auf dem Untergrund eine Tragschicht zu verbauen. Darauf erfolgt die Eindeckung, welche je nach Ausführung aus unterschiedlichen Materialien bestehen kann.

Es bleibt zu hinterfragen, inwiefern die in den Regelwerken abgebildeten Bauweisen und Regemaße noch den reellen Anforderungen entsprechen und auch so umgesetzt werden. Gerade in Bezug zu den Grünflächen haben sich in den letzten Jahren die Anforderungen stark verändert. So wird mehr darauf geachtet, sie als Ausgleichsflächen zur sonstigen Versiegelung zu

sehen und somit einen Beitrag zum Schutz vor extremen Wetterereignissen zu leisten („Schwammstadt“). Auch sonst entwickeln sich die Techniken zur Umsetzung ständig weiter, sodass auch hier weiterer Recherchebedarf besteht.

6.4.2.3 Bausteine der Knotenpunktgestaltung

An den Punkten, wo sich mehrere definierte Verkehrsachsen treffen, entsteht ein Knotenpunkt. Dieser dient der Verknüpfung der Verkehrswege und unterscheidet sich in seiner baulichen Form massiv von den Strecken zwischen den Knotenpunkten. Die vorher definierten Querschnitte können hier nur in sehr geringem Maße angewendet werden. Brauchbar sind sie hinsichtlich der Gesamtbreite, sodass die Größe des Knotenpunkts in seinen Ausmaßen bestimmt werden kann. Hinzukommen aber noch diverse Zusatzinformationen, welche die Dimension und die technische Ausstattung des Knotenpunktes beschreiben. Dabei geht es konkret um die Anzahl von Abbiegestreifen, den Einbau von Lichtsignalanlagen sowohl für den Individualverkehr als auch für den öffentlichen Verkehr inklusive der technischen Anlagen dazu und um die Ausführung der Abzweigung für die eventuell vorhandene Straßenbahn in dem Fall, dass die Nahverkehrsbahnen auf mehr als zwei zu verknüpfenden Achsen verlaufen, festzulegen.

Zur genauen Ausführung eines Knotenpunkts sind von Seiten der anwendenden Person einige manuelle Angaben zu tätigen. Grund hierfür sind die vielfältigen Möglichkeiten einen Knotenpunkt zu gestalten. Die Anzahl einzustellender Faktoren sollte dabei möglichst geringgehalten werden. Konkret geht es dabei um folgende Punkte:

Um die Verkehrsqualität zu verbessern ist die **Anzahl der Abbiegestreifen** zu bestimmen. Sie helfen dabei, den von den von einer Verkehrsrichtung abbiegenden Fahrzeugen eine Aufstellfläche zu bieten, um die anders verkehrenden Fahrzeuge in ihrem Verkehrsfluss nicht zu behindern. Der Verkehrsfluss wird als wichtiges Maß in der Bestimmung der Knotenpunktdimensionen genutzt. Maßgebendes Regelwerk hierfür ist das *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen* (HBS). Ein Abbiegestreifen wird in der Breite mit zusätzlichen 3,25 m berechnet. Zu beachten ist, dass der Einbau einer Mittelinsel zur Unterstützung der Fußgänger beim Queren der Fahrstreifen vorgesehen sein kann. Die Regelungen können von Stadt zu Stadt je nach baulicher Gewohnheit variieren.

Um die Verkehrssicherheit an einem Knotenpunkt zu gewährleisten und um den Verkehrsfluss zu verbessern, kann der Einbau von **Lichtsignalanlagen** (technisch LSA, juristisch LZA (Lichtzeichenanlage)) angeordnet werden. Die Signalisierung eines Knotenpunkts betrifft, wenn vorhanden, immer alle Verkehrssysteme, die an solchen aufeinandertreffen.

Eine weitere Form von Knotenpunkten sind Kreisverkehre. Diese sind bauliche Sonderformen, bestehend aus Zufahrten, Kreisfahrbahn und Mittelinsel. Sämtliche Elemente können unterschiedlicher baulicher Ausführung und Dimensionierung sein. Im Rahmen der Planung von Nahverkehrsbahnanlagen sind Kreisverkehre jedoch unüblich. Die wenigen Praxisbeispiele sind als Einzelanfertigungen zu verstehen und unterstehen keiner Systematik. Daher wird diese Knotenpunktform in dieser Arbeit nicht genauer beachtet. Für eine weiteren Ausarbeitung der

Methode, bei der die Planung von Straßenverkehrsanlagen im Mittelpunkt stehen könnte, würde die genauere Definition von Kreisverkehrsanlagen erfordern.

Den zuvor getätigten manuellen Angaben zur Dimension und technischen Ausstattung von Knotenpunkten erfolgen automatische Berechnungen, um die Angabe von Baumengen zu ermöglichen.

Aus den anliegenden Querschnitten eines Knotenpunkts kann sich beispielsweise die Grundfläche des Knotenpunkts ergeben. Bei den Querschnitten sind dabei die zuvor eingefügten Abbiegestreifen zu berücksichtigen. Die Fläche würde sich dann aus der Aufspannung eines Vierecks ergeben, von denen ein eingehender Querschnitt jeweils eine Seite darstellt. Der Einfachheit halber kann von einer gesamtheitlich ausgeführten Asphalteindeckung ausgegangen werden. Hintergrund ist die geplante Befahrbarkeit des Knotenpunkts. Dabei handelt es sich um einen plangleichen Knotenpunkt. Dieser Ansatz wäre zur Bestimmung der notwendigen Asphaltfläche am pragmatischsten und in einer potenziellen Umsetzung am einfachsten. Jedoch können damit wahrscheinlich nicht alle Knotenpunktsituationen dargestellt werden. Beispiel hierfür ist, wenn eine Zufahrt in Form von Ein- und Ausfädelungen gestaltet wird und damit die Befahrung des gesamten Knotenpunkts nicht vorgesehen ist. Die Eckabschlüsse der Knotenpunkte werden als Ausrundung gestaltet. Die RASSt bietet dafür diverse Möglichkeiten, von der einfachen Ausrundung mit ausschließlich einer durchgehenden Krümmung bis hin zur Ausführung eines dreiteiligen Korbbogens. Um die Anwendbarkeit und Einfachheit zu gewährleisten ist in diesem Fall eine einfache Ausrundung ausreichend. In den RASSt wird dafür ein Minimalwert von 10 m angegeben.

Extra zu klären ist die Frage der Abzweigungen von Schienenverkehrsanlagen auf dem Knotenpunkt. Abhängig der Anzahl von Zufahrten können die Schienenwege unterschiedlich ausgeprägt sein. Dies bedeutet, dass nicht automatisch alle Schienenverbindungen, sondern nur einzelne vorgesehen werden. Für den Betrieb der Bahnen bedeutet dies, dass nicht alle Fahrtrationen gebraucht werden und, um Baukosten zu sparen, entsprechende Verbindungen nicht ausgeführt werden.

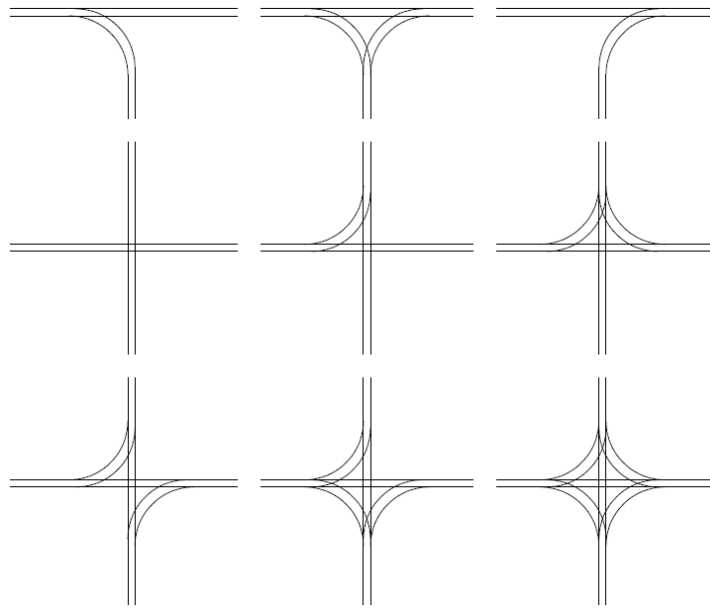


Abbildung 26: Skizze möglicher Gleisdrei- oder Vierecke an dreiarmligen und vierarmigen Knotenpunkten

Die Variation der Querschnitte, beispielsweise beim Vergleich unterschiedlicher Varianten, kann zu einer Veränderung der Knotenpunktflächen führen.

Berechnung Knotenpunktfläche

Zur Berechnung der Knotenpunktelemente, insbesondere die Veränderung der baulichen Flächen und Borde im Vergleich zu den vorhandenen Querschnitten müssen betrachtet werden. Die Berechnungsmethode sollte ein Ergebnis liefern, dass die Breiten aller eingehenden Querschnitte berücksichtigt und die Fläche zwischen diesen mathematisch darstellen kann. Dabei können verschiedene Ansätze verwendet werden, um die Knotenpunktfläche darzustellen.

Eine Möglichkeit sieht vor nur die breitesten Querschnitte der eingehenden Hauptachsen und der Nebenachsen zu berücksichtigen. Diese stellen die Kantenlängen eines aufzuspannenden Rechtecks dar. Die Innenwinkel dieses Rechtecks betragen allesamt 90 Grad. Damit wäre eine sehr einfache Berechnungsvorschrift möglich:

Berechnung

Fläche Knotenpunkt [m²] = Breite Querschnitt Hauptachse (max) [m] * Breite Querschnitt Nebenachse (max) [m]

Nachteil dieser Berechnungsvorschrift wäre, dass die Fläche tendenziell als zu groß angenommen wird. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die jeweiligen Breitendifferenzen der eingehenden Querschnitte der Hauptachse und Nebenachse relativ groß sind. Damit würde eine zusätzliche Fläche berechnet werden, welche sich nicht aus den realen Bedürfnissen, sondern ausschließlich aus der Berechnungsvorschrift ergeben würde. Vorteil dieser Berechnungsvorschrift wäre, dass die den Querschnitten abzuziehende Baumenge leichter zu berechnen wäre. Zudem wäre die Berechnungsvorschrift auch anwendbar, wenn nur drei Verkehrsachsen in einen Knotenpunkt münden.

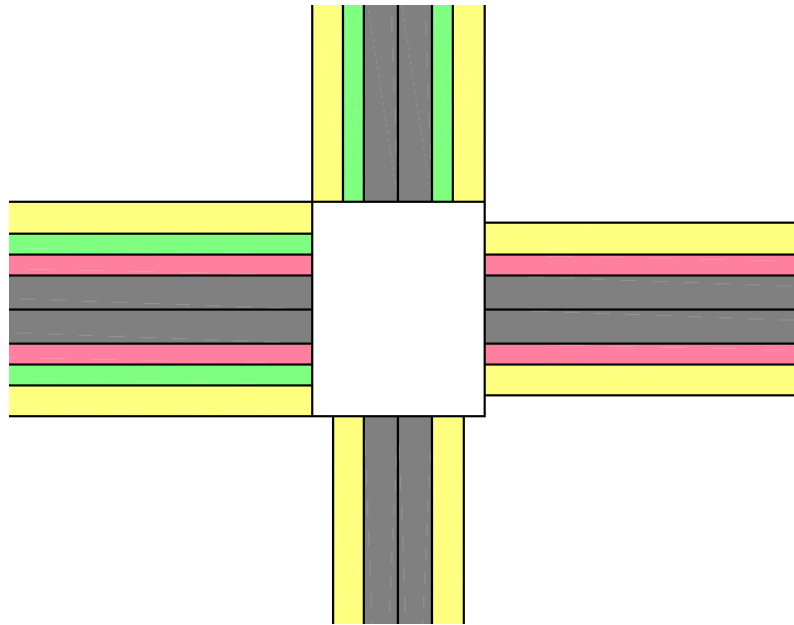


Abbildung 27: Skizze eines Knotenpunkts mit einfacher Rechteckfläche als Knotenpunktinnenfläche

Eine weitere Möglichkeit stellt die Betrachtung als allgemeines Viereck dar, genauer um die Form eines konvexen Vierecks. Dabei würden sämtliche Querschnitte in ihrer vollständigen Breite die Fläche des Vierecks bestimmen. Zusätzlich müssen jedoch die Innenwinkel genauer bestimmt werden, da diese ebenfalls für die Flächenberechnung notwendig sind. Eine solche Bestimmung wird im Rahmen einer frühen Planungsphase als nicht konsistent angesehen. Lediglich der Rückgriff auf Erfahrungen könnte eine Möglichkeit darstellen. Alternativ kann die Größe zweier Innenwinkel bereits vorher festgelegt werden, wobei geprüft werden muss, ob infolgedessen die Konstruktion des Vierecks überhaupt möglich ist.

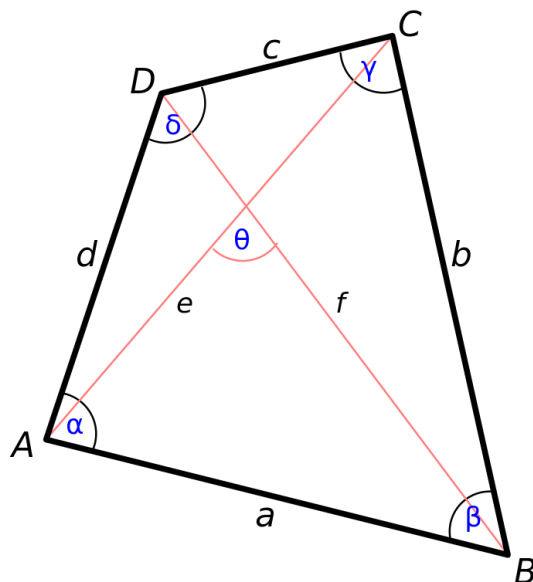


Abbildung 28: Darstellung eines allgemeinen Vierecks
(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d0/Tetragon_measures.svg/691px-Tetragon_measures.svg.png, 13.01.2023)

Alternativ wäre die Ausführung als Sehnenviereck denkbar. Dieses definiert sich darüber, dass die gegenüberliegenden Innenwinkel in ihrer Summe jeweils gleich sind. Die Flächenberechnung lässt sich somit wesentlich einfacher und mit einem geringeren Informationsgehalt darstellen. Vorteil wäre, dass somit den unterschiedlichen eingehenden Querschnittsgrößen Rechnung getragen werden kann. Nachteil ist, dass die Darstellung von Knotenpunkten mit nur drei eingehenden Verkehrswegen nur unter einer Annahme möglich ist. Diese ist, dass bei fehlender Eingangsgröße (weil ein eingehender Querschnitt fehlt) die Querschnittsbreite der gegenüberliegenden Verkehrsachse angenommen wird.

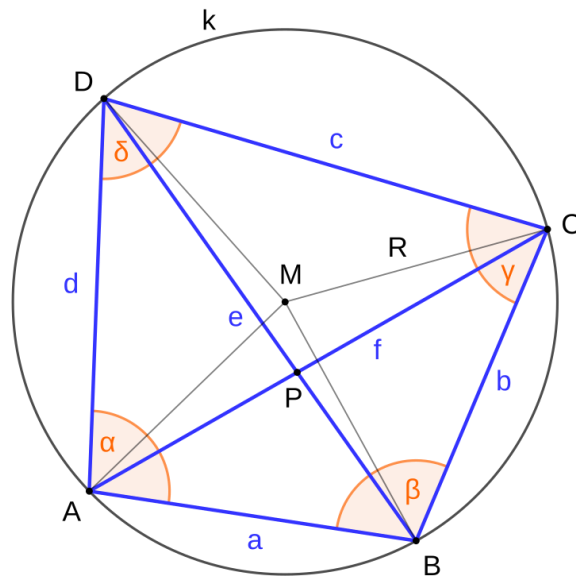


Abbildung 29: Darstellung eines Sehnenvierecks
(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b9/Sehnenviereck2.svg/779px-Sehnenviereck2.svg.png>, 13.01.2023)

Die Fläche eines Sehnenvierecks kann ohne die Angabe von Winkeln berechnet werden. Jedoch muss die Bedingung erfüllt sein, dass die Summe der gegenüberliegenden Winkel gleich groß ist.

Berechnung:

$$A = \sqrt{(s - a) * (s - b) * (s - c) * (s - d)}$$

mit

$$s = \frac{a + b + c + d}{2}$$

Komplexer wird es, wenn mehr als vier Achsen in einen Knotenpunkt münden. Die Annahme, dass mit fünf in der Breite identischen Querschnitten ein regelmäßiges Fünfeck aufgespannt wird, wird als unrealistisch angesehen und daher nicht weiterverfolgt. Ein Ansatz bietet die Betrachtung als unregelmäßiges Fünfeck. Die Flächenberechnung eines solchen erfolgt dabei über die Unterteilung des Fünfecks in drei Dreiecke, deren Flächen separat berechnet werden. Dafür sind jedoch Informationen über die Innenwinkel notwendig. Über die Heronformel

gelangt man zu einem mathematisch korrekten Ergebnis. Die Berechnung erfolgt über die Festlegung der Koordinaten der Eckpunkte. Jedoch bedeutet ein solcher Ansatz nicht, dass der real zu bauende Knotenpunkt mit diesem Ansatz wirklich dargestellt wird.

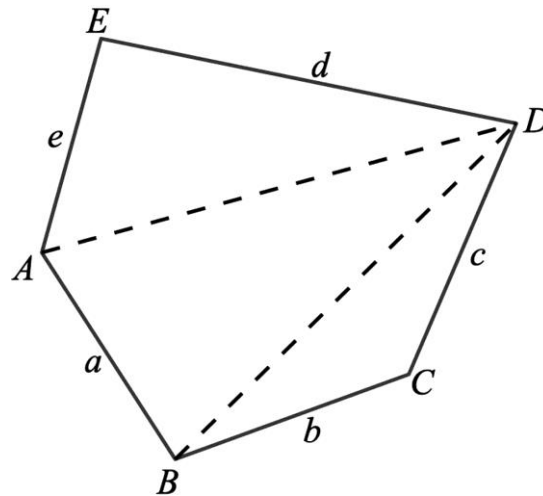


Abbildung 30: Skizze eines unregelmäßigen Fünfecks mit eingezeichneten Dreiecken zur Flächenberechnung (<https://www.sofatutor.com/mathematik/geometrie/vierecke-und-vielecke-berechnungen-saetze-und-konstruktionen/flaecheninhalte-und-umfang-von-vielecken>, 13.01.2023)

Die Anwendung der Gaußschen Trapezformel zur Flächenberechnung eines Polygons wäre sinnvoll, da der Flächeninhalt des Knotenpunkts somit unabhängig der Anzahl der eingehenden Querschnitte berechnet werden kann. Jedoch ist dafür die Kenntnis über diverse Randbedingungen notwendig, etwa müssen Annahmen über den Flächencharakter getroffen werden, was über die Angabe von Innenwinkeln abgedeckt werden kann. Solche Informationen sind jedoch nicht immer vorhanden und würden die Komplexität der Anwendung wesentlich erhöhen. Zudem sind plangleiche Knotenpunkte mit mehr als fünf Zufahrten in der Realität selten zu beobachten, sodass die Anwendung der oben genannten Berechnungsvorschriften ausreichend sein sollte.

Zu beachten ist jedoch, dass die Gehwege im Knotenpunktbereich anders bedacht werden müssen und es daher nicht sinnvoll ist, diese in die Knotenpunktfläche mit einzubeziehen. Am Rande des Knotenpunkts sind daher Bordabrundungen vorzusehen. Die damit vom Knotenpunktzentrum abgeschnittenen Flächen sind dem Gehweg zuzuordnen.

Daher wird die Berechnung als einfaches Viereck, wie zuerst aufgezeigt, angestrebt. Damit würde die Methode der Anforderung einer einfachen Anwendung noch am ehesten gerecht werden. Die Schaffung zusätzlicher Informationen durch die Anwendung komplexerer Berechnungsmethoden, beispielsweise für die Berechnung als Sehnenviereck, würde die Realität genauso wenig abbilden wie die getroffene Annahme. Es erscheint daher nicht zielführend, die Berechnungsvorschriften zu komplex auszuführen, um ein scheinbar genaueres Ergebnis zu erhalten, was als solches aber nicht überprüft werden kann.

Abzugsrechnung für die eingehenden Verkehrsachsen

Die ursprüngliche Darstellung des Knotenpunkts, also vor seiner genaueren Bestimmung mit Eigenschaften und einer damit erfolgenden Dimensionierung, ist die eines Punktes. Durch die Berechnung der Knotenpunktfläche kann die Ausdehnung dessen ermittelt werden. Dies hat auch Auswirkungen auf die Mengenausgaben der eingehenden Verkehrsachsen, da diese ebenso ursprünglich bis zum eben angesprochenen Punkt definiert sind. Die Flächen vom Rand des Knotenpunkts bis zum Mittelpunkt muss daher ermittelt und von den eingehenden Abschnitten abgezogen werden. Ebenso sind die Veränderungen der Querschnitte, beispielsweise durch das Einfügen von Abbiegestreifen, zu berücksichtigen. Folgende Faktoren sind dafür zu beachten:

- Veränderung der Querschnittsgestaltung im Knotenpunktbereich
- Einhaltung von festgelegten Abständen durch Einfügen von LSA-Anlagen und Fußverkehrsquerungen
- Ein- und Ausfädeln von Radverkehrsanlagen am Knotenpunkt

Daraus folgend ergeben sich Bereiche, die auf Basis einzuhaltender Mindestlängen einen veränderten Querschnitt aufweisen und somit gesondert betrachtet werden müssen. Ansätze für die quantitative Bestimmung dieser Veränderungen bieten die in den RASSt angegebenen Richtwerte. Weiterhin ist die Bachelorarbeit von Aya Basha zum Thema „Erarbeitung einer Methode zur parametrischen Verschiebung von Zwangspunkten in Straßenkreuzungsbereichen“ vom August 2022, erarbeitet an der TU Braunschweig zu nennen. Sie beschäftigt sich mit der Bestimmung von Positionen im Knotenpunkt mithilfe von Zwangspunkten. Der hier zuvor beschriebene Ansatz nimmt die eingehenden Querschnitte als Grundlage um die Dimensionen des Knotenpunkts zu bestimmen. Für die Umsetzung des Tools wäre der von (Basha, 2022) untersuchte Ansatz sinnvoll. Darin wird folgendes Szenario beschrieben. Im Rahmen einer Planung eines Knotenpunktes wird einer der einfließenden Straßenquerschnitte verändert, was Auswirkungen auf die Gestaltung des Knotenpunktes hat. Diese Auswirkungen resultieren aus der Berücksichtigung der in den RASSt vorgeschriebenen Abstandsmaße. Aktuell bedeutet dies für die planende Person, dass der Knotenpunkt neu konstruiert werden muss, was wiederum Zeit in Anspruch nimmt. Der Ansatz von (Basha, 2022) versucht diese Rekonstruktion zu vereinfachen, indem die Verschiebung von Zwangspunkten genauer beschrieben und mit Berechnungsvorschriften hinterlegt wird. Die Umsetzung dieser Berechnungsvorschriften ist jedoch auf CAD-Basis einfacher.

Für die Skizzenmethode muss eine Verkürzung des homogenen Querschnittsabschnitts (als festgelegter Querschnitt einer Achse) der eingehenden Verkehrsachsen vorgenommen werden. Über die zuvor erfolgte Berechnung der Knotenpunktfläche könnte eine Verkürzung der Achsen bestimmt werden. Von der Position des Mittelpunkts des Vierecks kann eine senkrechte Achse zur Außenkante, welche den eingehenden Querschnitt darstellt, konstruiert werden. Die Länge dieser Achse wäre das abzuziehende Maß. Bei der Vereinfachung der Knotenpunktfläche zu einem Rechteck, welches die maximalen Querschnittsbreiten von Haupt- und Nebenachse als

Kantenlängen annimmt, wäre die halbe Querschnittsbreite der nicht betrachteten Achse abziehen.

Berechnung:

Achslänge (neu) [m] = Achslänge (alt) [m] – Querschnittsbreite (eingehende Verkehrsachse) [m]

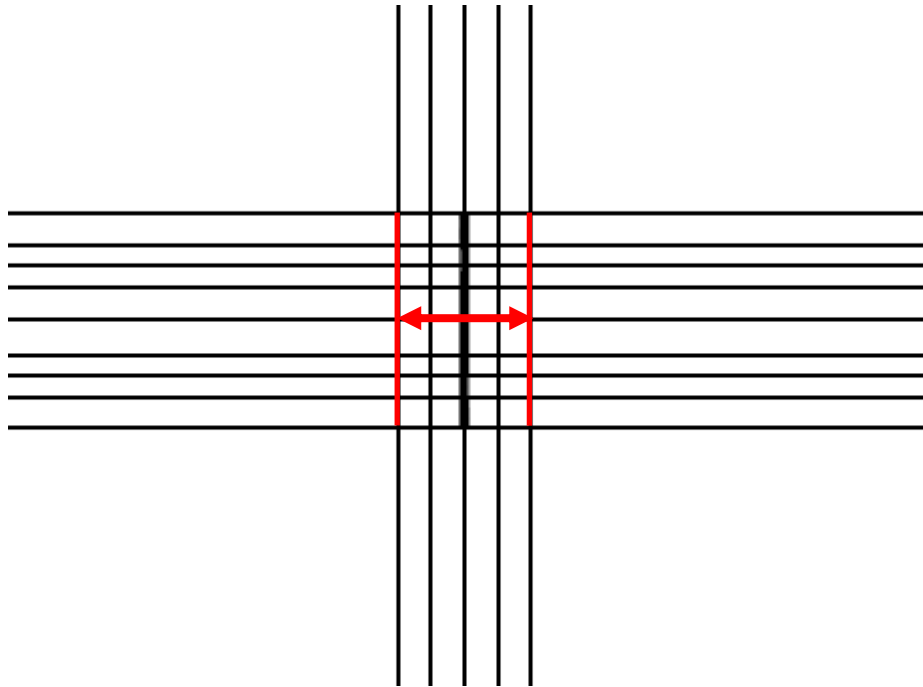


Abbildung 31: Darstellug der Verkürzung einer Verkehrsachse an einem Knotenpunkt (angezeichnet an der Hauptachse)

Bordabrundungen

Um eine fahrgeometrische Gestaltung des Verkehrsweges zu gewährleisten, müssen an Knotenpunkten Bordabrundungen vorgesehen werden. Die RAST schlagen für eine solche Realisierung bis zu drei verschiedene Möglichkeiten vor: die Ausführung als einfache Ausrundung, als zweiteiliger oder als dreiteiliger Korbbogen. Die Korbbögen werden konstruiert, um die fahrdynamische Bewegung des Fahrzeugs wenigstens etwas abzubilden. Die normale Ausrundung ist im Gegenzug sehr einfach zu konstruieren. Für die Kalkulation in dieser Methode soll diese Art der Bordabrundung genügen.

Berechnung:

Für die Berechnung der neuen Bordlänge muss der Radius der Ausrundung und der Winkel der bisher vorgesehenen Borde zueinander bekannt sein. Der Radius kann selbst bestimmt werden. Jedoch wird geraten, einen Standardwert vorzugeben. Die RAST sehen bei innerörtlichen Einmündungen einen Mindestradius von $r = 10 \text{ m}$ vor. Dies gilt jedoch für Ausrundungen, an denen der Fahrvorgang freigegeben ist. Im Falle von gesperrten Fahrbeziehungen können auch

engere Radien zulässig sein. Der Standardwert wird aber vorerst auf 10 m festgelegt, sollte aber variabel sein.

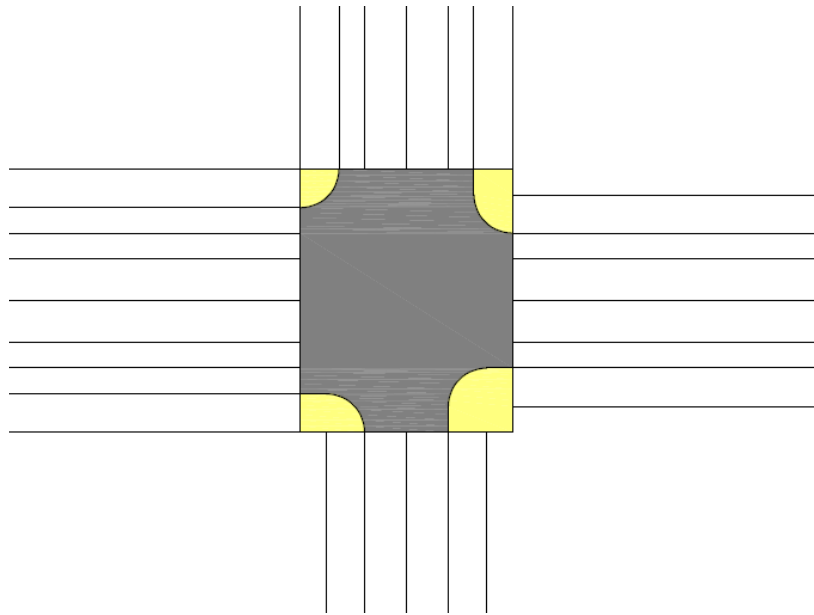


Abbildung 32: Darstellung der teilweisen Umwandlung der Knotenpunktfächen in Gehwegecken

Um die Bordlänge zu berechnen ist das Bogenmaß der Abrundung erforderlich.

$$b = 2 * r * \pi * \alpha^\circ / 360^\circ$$

mit b...Bogenlänge, r...Abrundungsradius, α ...Abrundungswinkel (α wird zur Vereinfachung mit 90° (100 gon) angenommen)

Die daraus ergebende eingeschlossene Fläche, welche dem Gehweg und gegebenenfalls dem Radweg als außerhalb der äußeren Borde liegenden Fläche zugerechnet wird, ist über folgende Formel zu ermitteln und von der zuvor berechneten Knotenpunkttinnenfläche abzuziehen.

$$A = \pi * r^2 * \alpha^\circ / 360^\circ$$

mit A...eingeschlossene Fläche in den Ecken (pro Ecke)

Der erforderliche Winkel α stellt in dieser Anwendung ein Problem dar. Zur Vereinfachung der Methode wurde auf die Eingabe von Winkeln eingehender Verkehrsachsen verzichtet. Hintergrund ist auch die Arbeit mit möglichst wenigen Eingangsinformationen. Zur vereinfachten Skizze wurde daher ein 90° -Winkel angenommen. Dies gleicht sich jedoch durch die gegenüberliegenden Flächen aus, da die Winkel über eine Kante 180° ergeben. Einen Ansatz zur Bestimmung des Winkels bei Sehnenvierecken bietet die Berechnung des Vierecks selbst. Über dieses sind die entstehenden Winkel auslesbar und können für die Berechnung der Bordabrundung verwendet werden. Auf die richtige Abstimmung der genutzten Winkel mit den dazu passenden Ecken muss geachtet werden.

Berechnung:

Für den Fall einer Rechteckfläche als Knotenpunktfläche werden 90°-Winkel zur Abrundung angenommen. Das Bogenmaß für diese Winkel, angenommen mit einem Radius von $r = 3 \text{ m}$, wird wie folgt berechnet.

$$b = 2 * 3 * \pi * 90^\circ / 360^\circ = 4,712 \text{ m}$$

Die mit dieser Abrundung eingeschlossene Fläche wird wie folgt berechnet:

$$A = \pi * 3^2 * 90^\circ / 360^\circ = 7,069 \text{ m}^2$$

Die errechneten Flächen müssen von der zuvor ermittelten Knotenpunktfläche abgezogen werden, da sie keiner Eindeckung der Knotenpunktfläche, sondern derer des Gehwegs entsprechen. Die für die Borde errechneten Längen werden addiert. Zudem müssen Flächen beachtet werden, welche aufgrund an den Seiten der geringeren Querschnitte angerechnet werden müssen. Für den Fall von durchgehenden Verkehrsachsen, beispielsweise an dreiarmligen Knotenpunkten, sollte an der nichtangeordneten Seite die bestehenden Breiten der Gehwege und Radwege übernommen werden.

Grundlegend bleibt festzuhalten, dass die Berechnungsvorschriften wahrscheinlich nicht ausreichen, um den Knotenpunkt realistisch darzustellen. Die hier angenommenen Radien entsprechen nicht den in den Regelwerken vorgesehenen Angaben. Jedoch würden größere Radien die Dimensionen des Knotenpunkts deutlich erweitern, was eine umfassendere Berechnung, aber auch umfassendere Eingangsinformationen erfordern. Der Bogen zwischen einfacher Anwendung und ausreichender Komplexität ist an dieser Stelle sehr schwer zu spannen. Für erweiterte Berechnungsvorschriften könnte der bereits erwähnte Ansatz von (Basha, 2022) sinnvoll sein, um den Knotenpunkt als zu berechnende Formel zu untersuchen. Damit würde jedoch die Methode stark in Richtung einer CAD-Anwendung tendieren.

6.4.2.4 Zusatzbausteine

Borde

Borde bilden ein wichtiges Element zur Abgrenzung von Verkehrswegen. Im innerörtlichen Bereich sind sie immer vorzufinden und grenzen dort die Fahrstreifen des Individualverkehrs von den Gehwegen, Grünanlagen oder Gleisanlagen der Straßenbahnen ab, sofern diese unabhängig geführt werden. Die Borde selbst lassen sich in ihren Höhen unterscheiden. Der Hochbord dient standardmäßig als Abgrenzung der Verkehrswege und hat aufgrund seiner Höhe (ca. 20 cm) auch eine Schutzfunktion. Damit soll im Unglücksfall ein Überfahren des Bordes und eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer, beispielsweise der Fußverkehr oder im Falle von Radwegen auch der Radverkehr, verhindert werden. Im Bereich von Fahrbahnquerungen für den Fußverkehr, beispielsweise an Knotenpunkten oder auf freier Strecke, werden zur besseren Nutzbarkeit Rundborde verbaut. Diese sind flacher und können somit für solche leichter

passiert werden. Die Abgrenzung von Gehwegen zu Grundstücken und die Eingrenzung von Freiflächen, welche als Grünanlagen ausgeführt werden, erfolgt mit Tiefbordsteinen.³⁴

Für die Methode sind mehrere Sachverhalte zu klären. Ersterer besteht aus der Frage, ob die oben beschriebene Differenzierung der Bordsteine für die Methode als sinnvoll erachtet wird. Einer Anfrage an den Hersteller *Berding Beton GmbH* zufolge besteht zwischen den Elementen in der einfachsten Ausführung nur ein sehr geringer Unterschied bei Preis pro Meter³⁵. Einzig die Tiefborde sind für den halben Preis zu bekommen.

Hochbord 9,70 €/m

Rundbord 9,60 €/m

Flachbord 9,60 €/m

Tiefbord 4,80 €/m

Eine Unterscheidung zwischen Hochbord, Rundbord und Flachbord ist daher nicht sinnvoll. Da die Eingrenzung der Grünflächen auch über Tiefborde erfolgt, sollte an dieser Stelle auf das Bauelement „Tiefbord“ zurückgegriffen werden. Die restlichen Abgrenzungen werden nur als „Borde“ bezeichnet. Eine weitere tiefergehende Bezeichnung ist nicht sinnvoll, da dies eine mögliche alternative technische Ausführung, beispielsweise als Betonblock, ausschließen würde.

Ein weiterer Sachverhalt ist die Frage nach der Berücksichtigung der Borde. Es gibt die Möglichkeit diese als einzelnen Baustein zu betrachten und die anwendende Person wählen zu lassen, inwiefern an der gewünschten Position ein Bord eingefügt werden soll. Eine weitere Möglichkeit wäre es die bereits bestehenden Bausteine der Verkehrswege mit dem Einbau von Borden zu verknüpfen. Um dies umzusetzen, müssen jedoch diverse Kriterien formuliert werden, die eine Doppelung am Übergang der Bausteine ausschließen und andererseits keine Borde vorsehen, wo keine benötigt werden. Erstere Lösung würde auch bedeuten, dass gewählt werden kann, ob bestehende Borde bearbeitet werden müssen oder ob diese bestehen bleiben. Daher wird diese Variante als praktikabler angesehen. Die Auswahl, ob ein Baustein „Bord“ eingesetzt werden soll, kann über eine einfache Auswahl mit einem Häkchen in einem dafür vorgesehen Kästchen sichergestellt werden. Eine manuelle Einstellung der Bordpositionen wird daher bevorzugt, da diese am einfachsten und genauesten ist.

Die Berechnung der Borde erfolgt über die Multiplikation der einzelnen Elemente mit der Achslänge.

³⁴ (<https://www.berdingbeton.de/produkte/produkte-oeffentlicher-bereich/strassen-galabau/service-planung/wissen-qualitaet/gut-zu-wissen/bordstein-bauarten>, 22.12.2022)

³⁵ Anfrage an *Berding Beton GmbH*, 03.12.2022, siehe Anhang 5

Berechnung:

Bordlänge [m] = Achslänge [m] + Bordlänge (Knotenpunkt) [m]

An Knotenpunkten muss eine Anpassung der Bordlängen erfolgen. Genauerer dazu wird im Abschnitt zur Knotenpunktgestaltung beschrieben.

Haltestellen (in verschiedenen Formen)

Insbesondere bei der baulichen Gestaltung der Haltestellen zeigt sich, dass eine stadtfeine Unterscheidung der Bausteine sinnvoll ist. Angepasst an die vorhandenen Materialien vor Ort, resultierend aus den baulichen Gewohnheiten und auf Basis unterschiedlicher Leitbilder zur Gestaltung des Straßenraums haben sich in den Städten unterschiedliche Formen von Haltestellen ergeben. Zu unterscheiden sind dabei beispielsweise die Bahnsteighöhen, die vorgesehenen Standardlängen sowie die Ausstattung und deren bauliche Ausführung. Die Definition einer deutschlandweit gültigen Einheitshaltestelle ist daher nicht möglich. Auf eine einzelne Stadt heruntergebrochen ist es jedoch auch nicht ausreichend, sich auf einen einzelnen Haltestellentyp zu beschränken. Dabei sind mehrere Faktoren zu beachten: Haltestellenlänge, Verkehrssystem(e) der Haltestelle, Bauart, Bahnsteighöhe, Lage der Bahnsteige, Ausstattungsdetails etc. (siehe Anhang 7).

Hinsichtlich der **Haltestellenlänge** ist grundlegend zwischen Einfach- und Mehrfachhaltestelle (am häufigsten Doppelhaltestellen) zu unterscheiden. Je nach eingesetztem Fahrzeugtyp können diese in einem städtischen Verkehrssystem auch unterschiedlich definiert sein.

Die Unterscheidung nach **Verkehrssystemen** beruht auf der Frage, ob eine Haltestelle lediglich von Straßenbahnen, nur von Bussen oder beiden bedient wird. Dies hat zur Folge, dass für jeden dieser Fälle die Bahn-/Bussteige unterschiedlich aufgebaut sind. Bei Haltestellen für kombinierten Bus- und Bahnverkehr wurden beispielsweise in vielen Städten (u.a. Braunschweig oder Dresden) spezielle Kombiborde entwickelt, die einen barrierefreien Zugang zu beiden Systemen ermöglichen.

Bei den **Bauarten** sind drei verschiedene Typen zu unterscheiden. Beschrieben werden diese u.a. in den RAST und den EAÖ. Bei Straßenbahnen in Seitenlage werden Haltestellenkaps verwendet, in Mittellage sind Seitenbahnsteige in Form von Inseln oder eine angehobene Fahrbahn des angrenzenden Verkehrswegs vorgesehen. Im Busverkehr sind Haltestellenkaps, Haltebuchten oder einfache, an die Fahrbahn angebaute Haltestellen vorgesehen (FGSV, 2006, 70 ff.).

Die **Bahnsteighöhen** können von Bahnsystem zu Bahnsystem variieren. Meistens definieren die Verkehrsbetriebe für ihr Netz einheitliche Höhen, die Systemübergreifend jedoch nicht übereinstimmen müssen. Grundsätzliche zu unterscheiden ist zwischen Hochbahnsteig und Tiefbahnsteig, in einigen Städte (z.B. Bonn, Dortmund) können auch Mischformen zum Einsatz kommen. Abhängig von der Bahnsteighöhe gestalten sich auch die Rampenlängen, um den Zugang zur Haltestelle selbst zu ermöglichen.

Die **Lage der Haltestelle** kann sich zwischen der einfachen Seitenlage oder einer Inselanlage unterscheiden. Bei letzterer liegt der Bahnsteig zwischen den Gleisen der Straßenbahn. Im Busverkehr wird dieser Typ nicht eingesetzt, da, zumindest in Deutschland, alle Bussysteme auf Einrichtungsverkehr ausgelegt sind und somit eine Bedienung von Haltestellen auf der in Fahrtrichtung linken Seite des Fahrzeugs nicht möglich ist. Der Einbau von Inselhaltestellen ist auf Straßenbahnbetriebe beschränkt, welche über Zweirichtungsfahrzeuge verfügen. Aufgrund der leichteren Einpassung in die Umgebung werden überwiegend Seitenbahnsteige verbaut. Ein Beispiel für den perspektivisch überwiegenden Einsatz von Inselbahnsteigen ist die Verlängerung der Straßenbahn in Berlin westlich des Hauptbahnhofs zur Turmstraße in Berlin-Moabit.

Die **Ausstattungsdetails** einer Haltestelle bezeichnen die Einbauten, die zum Komfort der Haltestelle beitragen. Beispiele dafür sind die Haltestellenhäuschen, die Dynamischen Fahrgastinformationsanlagen (DFI), Sitzbänke, Mülleimer, Begrünung, Geländer etc. Sämtliche Details können sich in ihrer Ausführung und Größe, aber auch stadtfrein in ihrer Bauart unterscheiden. Beispiel hierfür sind die nahezu immer gebauten Wartehäuschen, die sich in ihrer Bauart von Stadt zu Stadt unterscheiden. Würde man dieses Bauelement selbst in weitere Bauelemente unterteilen, also die Verglasung und das Metallgerüst als solches beschreiben, wäre eine stadtfübergreifende Zusammenfassung nicht möglich. Auch kann die Anzahl der Wartehäuschen je nach prognostizierter Frequentierung unterschieden werden.

Die vorangegangene Aufzählung von Haltestellenmerkmalen soll aufzeigen, dass die Definition einer einzelnen Standardhaltestelle, selbst für eine Stadt, sehr schwer beziehungsweise, deutschlandweit betrachtet, nicht sinnvoll ist. Die Variation durch die einzelnen Möglichkeiten wäre zu groß. Dem Ziel einer möglichst einfachen und schnellen Handhabung der Methode würde dies widersprechen. Daher ist die stadtfreine Definition von Standardhaltestellen wünschenswert. Pro Stadt sollte dies dann auf ein verständliches und überschaubares Maß heruntergebrochen werden. Am Beispiel Dresden würden solche Standardhaltestellen wie folgt aussehen:

Verkehrssystem	Einfachhaltestelle	Doppelhaltestelle
Straßenbahn		
Bus		
Straßenbahn und Bus		

Tabelle 11: Matrix der möglichen Bauformen von Haltestellen

Allein die einfache Auffächerung der möglichen Bauformen für die Stadt Dresden zeigt, dass sechs Standardbauarten zu definieren sind, um eine sinnvolle Auswahl zu bieten. Individuelle Bauformen sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Der ADFC zeigt in einer Veröffentlichung eine andere Unterteilung von Haltestellen, wobei die DVB laut diesen sechs Typen definiert hat (ADFC Dresden e.V.). Bezieht man dies auf andere Städte, so ist es wahrscheinlich, dass oftmals individuelle Ansätze zur Definition von Standardhaltestellen getroffen werden, welche über die hier gezeigte Unterteilung (Tabelle 11) hinausgeht.

Ausstattungsdetails ließen sich nach dieser Übersicht individuell einstellen. Dies würde die bestehende Matrix um eine weitere Dimension erweitern. Weitere Punkte, die dabei in Betracht gezogen werden können, sind beispielsweise die Einbindung von Radverkehrsanlagen (wird bei Haltestellenkaps häufig mit eingebunden) oder die Anpassung an örtliche Gegebenheiten (beispielsweise eine notwendige Verkürzung der Haltestelle mangels Platzes) (FGSV, 2006). Ein Einfließen weiterer Faktoren zur genaueren Bestimmung der Haltestelle würde die Dimension der stadtfeinen Matrix zusätzlich erweitern.

Grundlage dafür wäre eine umfassende Datensammlung, welche der Kooperation sämtlicher Verkehrsbetriebe bedarf.

Hinsichtlich der Betrachtung der anstehenden Baumenge ergibt sich bei den Haltestellen ein sehr genaues Bild. Durch die Vordefinition ist eine genaue Angabe der verwendeten Längen und Baumassen sowie durch die Vorerfahrung der Verkehrsbetriebe bereits eine grobe Kostenaussage möglich.

In Folge einer vollständigen Definition der Haltestellen aller Städte wäre ein Vergleich der Haltestellenbauarten untereinander möglich. Wenn notwendig wäre damit die Auswahl einer günstigeren Möglichkeit im Vergleich zum bisherigen Standard möglich. Wie angedeutet kann eine einheitliche Ausstattung nur schwer definiert werden. Als Datengrundlage wären eindeutig definierte Standardhaltestellen notwendig, welche jedoch bisher nicht zur Verfügung stehen. Als fest zusammenhängender Block bestünde der Vorteil, dass diese direkt mit einem Preissatz versehen werden könnte. Somit wäre die Vergleichbarkeit von Haltestellen unter den Städten möglich.

Für die Berechnung wurde eine Beispielhaltestelle angegeben, die so in der Stadt Braunschweig gebaut wird. Die Anzahl der Bahnsteige geht auf die Tatsache ein, dass eine Haltestelle in der Regel, aber eben nicht immer, aus zwei Bahnsteigen (einer je Richtung) besteht. Für diese Regelgestaltung mit zwei Bahnsteigen ist daher die Anzahl „2“ anzugeben, der Einfachheit halber auch bei Inselbahnsteigen.

Berechnung:

Baustein Haltestelle * Anzahl (Angabe der Bahnsteiganzahl) = Anzahl Haltestellenbausteine

Die Bauelemente einer Haltestelle werden daraufhin in die Elementliste aufgenommen. Je nach stadtfeiner Unterscheidung oder Art der Ausführung kann es zu einer Verrechnung mit anderen Bausteinen kommen. So nutzen Haltestellen, welche als Kap oder bei angehobener Fahrbahn ausgeführt werden, auch den Gehweg (entweder vollständig oder teilweise ergänzt) als Wartebereich für die Fahrgäste. Der Baustein „Haltestelle“ muss daher verschiedene Ausführungsmöglichkeiten zur Auswahl bieten.

Bauelemente der Haltestelle:

Baustein Haltestelle (Seitenbahnsteige, Mittellage, Einfachhaltestelle):

Unterbau:

- Grundfläche der Haltestelle mit Eindeckung (Breite festgelegt, Länge festgelegt)
- Anrampung (1x oder 2x pro Bahnsteig, Fläche abhängig von Bahnsteighöhe (festgelegt))
- Bord (Abgrenzung zur Fahrbahn, gegebenenfalls Kombibord)

Ausstattung:

- Wartehäuschen (1x oder 2x pro Bahnsteig)
- offene Sitzmöglichkeiten (1x oder 2x pro Bahnsteig)
- Haltestellenschild (1x pro Bahnsteig)
- Mülleimer (1x oder 2x pro Bahnsteig)
- DFI (Dynamisches Fahrgastinformationssystem)

Querungsanlagen für Fußgänger

Als Beispiel für Zusatzbausteine sollen in dieser Arbeit die Querungsstellen für den Fußverkehr angebracht werden. Je nach zu querendem Verkehrsweg können diese unterschiedliche bauliche Ausführungen und Dimensionen haben. Zusätzlich zu den baulichen Ausführungen und ggf. Markierungen können technische Einrichtungen notwendig sein.

Eine einfache Form der Fahrbahnquerung ist die Markierung von Fußgängerfurten als geradlinige Führung, welche von Lichtsignalanlagen gesichert werden. Dabei wird über die Fahrbahnbreite eine Markierung gezogen, welche einen Gehbereich eingrenzt. Eine Lichtsignalanlage ist dabei nicht immer notwendig. Jedoch sollte auf eine ausreichende Beleuchtung geachtet werden. Die Markierung kann als gestrichelte Markierung oder als „Zebrastrifen“ ausgeführt werden. Bei letzterer Variante hat der Fußverkehr Vorrang, sodass auf eine LSA nicht vorgesehen ist.

Eine weitere Möglichkeit ist die Ausführung einer Mittelinsel, welche ein stückweises Überqueren der Gesamtfahrbahn ermöglicht. Eine Markierung der Furten ist dabei nicht immer erforderlich. Auf Lichtsignalanlagen wird dabei in der Regel verzichtet. Die Mittelinsel stellt damit einen eigenen zu definierenden Baustein dar. Aufgrund der festgeschriebenen Größen, welche nur geringfügig variieren, kann eine Standardlösung mit pauschalen Mengen definiert werden.

Für Straßenbahnanlagen, insbesondere offene oder mit Rasengleis eingedeckte Bahnkörper, sind Z-Querungen oder Querungen mit Versatz vorgesehen (Abbildung 33). Diese sind so gestaltet, dass die Aufmerksamkeit der Querenden auf die beiden Fahrtrichtungen der Straßenbahnen gelenkt wird. Die bauliche Ausführung kann den RASSt entnommen werden. Alternativ kann für die Querung von Straßenbahnanlagen wie auch bei Straßen eine LSA-gesicherte Furt vorgesehen sein (FGSV, 2013, S. 85).

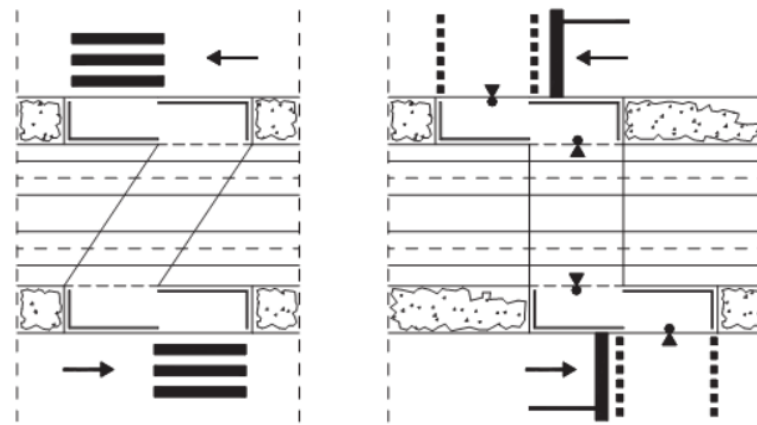


Bild 144: Prinzip einer Überquerungsstelle für Fußgänger in Z-Form bzw. mit Versatz

Abbildung 33: Darstellung der Form von Querungsanlagen von Straßenbahngleisen (aus EAÖ, S.85)

Bei straßenbündigen Bahnkörpern sind Fußgängerüberwege nicht zulässig (FGSV, 2013, S. 85). Sie sollten nur im Zusammenhang mit Knotenpunkten oder nahe Haltestellen errichtet werden.

Als solche sind Querungen Bestandteile von Knotenpunkten. Diese dienen häufig der Verknüpfung der Gehwege, welche beiderseits der Fahrbahnen angeordnet werden und zwangsläufig an Knotenpunkten zusammenlaufen. Auf die in diesem Kapitel definierten Querungsanlagen greift also auch die Ausstattung der Knotenpunkte zurück.

Berechnung:

Markierte Querung:

Fläche Markierung [m²] = Querschnittsbreite (Fahrbahn) [m] * Anzahl Markierungen * Breite Markierung (Schmal- oder Breitstrich) [m] * Strich/Lücke-Verhältnis

Zusätzlich kann die Anzahl der LSA-Anlagen angegeben werden.

- LSA-Anlagen [Stk]

Die Bausteine der Z-Querungen oder Querungen mit Versatz können werden als einzelner Baustein angegeben. Die einzelne Ausgestaltung mit Bauelementen kann nicht pauschal gegeben werden, da deren genaue Dimensionierung von diversen Faktoren abhängig ist (Platzgestaltung, Fahrgeschwindigkeiten und andere).

Aufgrund der komplexen und unterschiedlichen Gestaltung inklusive der Abhängigkeiten von den zu querenden Anlagen werden Querungsanlagen zunächst nur als Baustein definiert.

Markierung

Zur Unterscheidung der einzelnen Verkehrsbereiche, welche teilweise auf einer Ebene angeordnet werden (siehe Radfahrstreifen im Bezug zum Fahrstreifen des MIV) werden Markierungen aufgebracht. Zusätzlich dienen Sie der Verdeutlichung geltender Verkehrsregeln (in Form

von Piktogrammen) oder der Markierung von Parkständen. Auch weitere Anwendungsbereiche sind üblich.

Die Bemessung der Längen der Markierungen ist in dem Stadium, in dem die Methode angewendet wird, schwierig. Grund hierfür ist, dass die Dimensionen der Markierung je nach Wunsch stark variieren kann. So gibt es beispielsweise keine einheitliche Regelung für die Markierung von Knotenpunkten, es können nur annähernd Lösungen beschrieben werden, die in der Regel angewendet werden.

Weiterhin ist zu klären, in welchem Zusammenhang die Markierung automatisch in die Berechnung einfließt. Sobald zwei Fahrstreifen aneinandergrenzen, kann eine Markierung vorgesehen werden. Gleiches gilt, wenn Fahrstreifen und Radverkehrsanlage (Radfahrstreifen und Radschutzstreifen) aneinandergrenzen. Die Längen dieser Markierungen sind abhängig von den vorzufindenden Achslängen und müssen sich daher auf diese beziehen.

Anwendung finden Markierungen auch bei der Anlage von Fußgängerquerungen. Die Länge der Markierungen an diesen Stellen ist abhängig von den zu querenden Verkehrsweegelementen. In diesem Fall muss sich daher auf den Fahrbahnquerschnitt bezogen werden.

Die als Ergebnis ausgegebene Menge sollte sich auf die Fläche der notwendigen Markierung beziehen. Daher ist die Breite dieser vorher festzulegen. Die Festlegung der Markierungsbreiten erfolgt über die *Richtlinien zur Markierung von Straßen* (RMS).

Der Baustein kann, wie Borde auch, über eine Auswahl hinzugefügt werden.

Berechnung:

Fläche Markierung [m] = Achslänge [m] * Breite Markierung [m] * Anzahl Markierungen * Strich/Lücke-Verhältnis

In der Breite der Striche wird für den innerörtlichen Bereich zwischen Schmalstrich (0,12 m) und Breitstrich (0,25 m) unterschieden. Zu beachten ist, dass unterschiedliche Strichtypen zur Anwendung kommen.

Die Abgrenzung zweier Fahrstreifen zueinander erfolgt mit einem Strich-Lücke-Verhältnis von 1:2 und mit Längen von 3 m/6 m.

Bei Fußverkehrsquerungen werden bei Furten mit einem Strich-Lücke-Verhältnis von 2,5:1 als Schmalstrich eingesetzt. Zebrastreifen werden mit 0,5 m Strich und 0,5 m Lücke ausgeführt. Verrechnet mit der Breite ergibt sich die zu markierende Fläche (FGSV, S. 8).

Die Abgrenzung von Radfahrstreifen erfolgt über einen durchgehenden Breitstrich.

Grundsätzlich ist zu hinterfragen, inwiefern die Markierungen kostenrelevant sind.

6.4.2.5 Technische Ausstattung

Fahrleitungen

Außer dem Einsatz von Verbrennungsmotoren ist der Einsatz von Elektroenergie die häufigste Art der Energieversorgung bei Landverkehrsanlagen. Im öffentlichen Verkehr sind bei Eisenbahnen beide Antriebsarten zu finden, während Straßenbahnen praktisch ausschließlich als elektrische Bahnen unterwegs sind. Bei Bussystemen werden überwiegend Verbrennersysteme angewandt, international sind jedoch auch häufig O-Bussysteme vorzufinden. In den letzten Jahren werden vermehrt Hybrid- oder emissionsfreie Systeme getestet.

Bei Straßenbahn- und O-Bussystemen wird auf eine dauerhafte Energieversorgung gesetzt. Dies bedeutet, dass neben dem Oberbau zum Verkehren der Fahrzeuge auch eine Infrastruktur für die Energieversorgung entlang des Verkehrsweges aufgebaut werden muss. Üblicherweise wird dafür der Bau einer Fahrleitung vorgesehen. Hybridsysteme bei Straßenbahnen, in denen auf Streckenabschnitten die Energieversorgung mit Akkumulatoren abgedeckt wird (siehe Sevilla), sind in Deutschland unüblich und werden bisher (Stand 2022) noch nicht angewendet. Die Fahrleitungsanlagen sollten als bauliche Komponente in der Methode als Baustein berücksichtigt werden.

In diesem Kapitel soll die Fahrleitung als Baustein beschrieben werden. Zunächst müssen die Arten der Fahrleitungen betrachtet werden. Für die BOStrab können sowohl Oberleitungen, Stromschienenoberleitung als auch eine Stromversorgung mittels Stromschiene vorgesehen sein. Letzteres wird jedoch nur bei U-Bahnsystemen angewendet, sodass sie nicht Teil dieser Arbeit sind. Stromschienenoberleitungen werden in der Regel in Tunnelbauwerken eingebaut und sind daher ebenfalls zu vernachlässigen. Eine bei Straßenbahnen, wenn auch bisher nicht in Deutschland, angewendete Bauart ist das APS-System (Alimentation par le Sol), welches aus einer versenkten stromführenden Mittelschiene besteht und bei Bedarf zugeschaltet werden kann. In dieser Betrachtung sollen sie erstmal keine Rolle spielen.

Oberleitungen unterteilen sich in Einfachoberleitung oder Kettenwerksoberleitung. Die Hauptkomponenten dieser Bauarten unterscheiden sich nur in der detaillierten Ausführung. Makroskopisch betrachtet besteht eine Oberleitung aus der Leitung zur Energieversorgung der Fahrzeuge, welche an Oberleitungsmasten mit Auslegern aufgehängt wird. Die Versorgung erfolgt über speziell zu errichtende Unterwerke. Dazu kommen diverse detailliertere Bauteile, beispielsweise Nachspanner, elektrische Schalterantriebe, Trennschalter etc. Den Baustein „Fahrleitung“ auf eine solche Detaillierung auszudehnen wäre aber nicht zielführend. Die Unterscheidung nach Bauart, also Einfachoberleitung oder Kettenwerksoberleitung, kann über die stadtfeine Unterteilung voreingestellt werden. Die Oberleitungen von O-Bussen unterscheiden sich dahingehend grundlegend, als dass über diese sowohl die Stromzu- als auch Rückleitung übernommen werden muss. Sie werden daher als Zweileiter ausgeführt. Im Vergleich dazu erfolgt die Stromrückleitung zum Unterwerk bei Straßenbahnen über die Schiene, sodass nur ein Leiter zur Stromversorgung notwendig ist.

Für die Anwendung in der Methode ist zu klären, inwiefern die Einbindung der Fahrleitung in den Baustein „Gleisanlage“ sinnvoll ist. Praktisch betrachtet werden in Deutschland keine Straßenbahnabschnitte gebaut, welche nicht mit Oberleitungen ausgestattet sind. Dennoch wird ein gesondertes Einfügen einer Fahrleitung als Baustein vorgeschlagen. Grund ist zum einen, dass die Methode auch im Falle von Sanierungen angewendet werden soll und der Austausch von Gleisanlagen nicht immer den Austausch der Fahrleitungsanlagen mit sich bringt. Zum anderen kann, mit vorheriger Definition, so auch ein O-Bussystem dargestellt werden, auch wenn solche in Deutschland nur in drei Städten (Eberswalde, Esslingen und Solingen) zum Einsatz kommen. Der Baustein „Fahrleitung“ ist daher nicht ausschließlich mit dem Baustein „Gleisanlage“ zu verknüpfen. Alternativ könnte „Oberleitung“ als Option bei allen Bausteinen angebracht werden.

Der Einbau von Fahrleitungen in den Querschnitt der Gleisanlagen kann Auswirkungen auf die Breite des Bausteins haben. Der Einbau von Mittelmasten mit zwei Auslegern ist nicht unüblich, jedoch muss dieser in der Bestimmung des Gleismittenabstandes berücksichtigt werden. Dies würde die Komponente Gleisanlagen um einen Faktor komplexer gestalten. Aufgrund der Benutzung geschlossener Gleiskörper durch andere Verkehrsteilnehmer werden bei solchen in der Regel keine Mittelmasten verbaut. Eine weitere Möglichkeit zur Aufhängung einer Fahrleitung ist die Anbringung an Richtseilen, welche auch an Fahrleitungsrosetten in Hauswänden angebracht werden können. In solchen Fällen kann auf Masten verzichtet werden.

Für den Baustein ist daher folgendes Auswahlformat vorgesehen:

Oberleitung

1. Einfachfahrleitung
 - a. Seitliche Mastaufhängung
 - b. Mittelmast
 - c. Richtseilaufhängung ohne Mast
2. Kettenfahrleitung
 - a. Seitliche Mastaufhängung
 - b. Mittelmast
 - c. Richtseilaufhängung ohne Mast

Berechnung:

Länge Oberleitung [m] = Achslänge [m] * Anzahl Gleise oder Fahrbahn [Stk]

→ Auswahl Aufhängungsart

Anzahl Oberleitungsmasten [Stk] = Länge Oberleitung [m] * Anzahl Masten pro [m]

Ein allgemeingültiger Standardwert für die Distanz von Oberleitungsmasten zueinander ist schwer festzustellen. Möglicherweise gibt es dabei stadtfeine Unterschiede. Eine grobe Anzahl kann mit 1500 Masten pro 100 km Gleis festgelegt werden (Dölling, S. 39), dies entspräche 0,015 Masten pro [m]. Der Mastabstand beträgt damit ca. 67 m. Bei seitlichen Mastaufhängungen

sind pro Gleis eine Mastreihe zu berechnen, bei Mittelmasten (welche nur bei zweigleisigen Streckenabschnitten verbaut werden können) ist eine Mastreihe für zwei Gleise vorgesehen.

Stadttechnische Anlagen:

- Elektroenergieversorgung
- Wasserversorgung
- Abwasserentsorgung
- Entwässerung
- Gasversorgung
- Internet

Die Baulastträgerschaft der stadttechnischen Anlagen liegen meist in den kommunal-, landes- oder bundeseigenen Versorgungsunternehmen. Deren Medien verlaufen häufig im Bereich der Verkehrsinfrastruktur in Form der stadttechnischen Anlagen. Dementsprechend müssen diese Akteure in ein anstehendes Projekt eingebunden werden. Im Bereich einer Straße werden die Medien in Form von Kabel, Rohren oder Kanälen verlegt. Für jedes Medium wird in den RASt ein unterirdischer Korridor vorgesehen. Auf Basis dessen wird der Baustein „stadttechnische Anlagen“ in die Methode eingebunden. Genauere Informationen über Dimensionierung der Leitungen oder spezielle bevorzugte Bauarten sind aus der Kommunikation mit den zuständigen Unternehmen zu entnehmen. Stadtfen können hier Unterschiede auftreten. Als Bauelemente werden die in den RASt angegebenen Leitungsarten verwendet.

Im Zusammenhang mit diesen stehen Erdbauarbeiten, die notwendig sind, um die Verlegung der Leitungen zu ermöglichen. Diese können jedoch nicht genauer quantifiziert werden. Sie sind daher in den zu ermittelnden Kostenkennwerten zu berücksichtigen. Mit dem Hinzufügen des Bausteins in die Anwendung muss die Auswahl einzelner Medien möglich sein.

Lichtsignalanlagen (auch betriebliche Signalisierung)

Zur Regelung des Verkehrsablaufs bei konkurrierenden Verkehrsströmen werden Lichtsignalanlagen eingesetzt. Damit sollen Konfliktsituationen gelöst werden, welche über die einfachen Vorfahrtregeln nicht mehr abgedeckt werden können. Dafür ist die Installation einer Lichtsignalanlage erforderlich. Da diese Konfliktsituationen nicht nur an Knotenpunkten, sondern auch an Fußgängerüberwegen auftreten können, sollten die LSA separat betrachtet werden. Da Eingangsinformationen über die genauen Dimensionen der LSA-Anlagen (beispielsweise Anzahl der Signalgeber) fehlen, ist eine tiefgreifende Betrachtung nicht zielführend. Vielmehr sollte abhängig der Knotenpunktgestaltung über den Einbau einer LSA manuell entschieden werden. Als Grundvariante wird, bei gewählter Knotenpunktdimension, pro Zufahrt ein Mast mit jeweils drei Signalgebern (2x Straßenverkehr, 1x Fußverkehr) verbaut.

Beleuchtung

Um die Sichtbarkeit und damit die Sicherheit der Verkehrswege im Dunkeln zu gewährleisten ist die Nutzung von Beleuchtungselementen notwendig. Unabhängig der unterschiedlichen

Ausführungsmöglichkeiten und stadtfeinen Unterschiede wird meist ein einheitlicher Mastabstand gewählt. In der Anwendung sollte die Anzahl der Beleuchtungsmasten im Querschnitt (ein- oder zweiseitig), sowie der Abstand der Masten zueinander bestimmt werden. Abhängig davon lässt sich über die Achslänge die Menge an einzubauenden Beleuchtungsmasten ermitteln. Als Bauelemente können diese angegeben werden. Diese beinhalten sowohl die Masten samt Fundament, sondern auch die elektrischen Elemente zum Betrieb der Beleuchtung.

Berechnung:

Anzahl Masten [Stk] = Achslänge [m] * Anzahl Masten pro [m] * Anzahl Masten im Querschnitt [Stk]

6.4.3 Erdbauwerke

Die Errichtung von Infrastrukturbauwerken ist in der Regel mit Erdbauarbeiten verbunden. Im Untersuchungshorizont dieser Arbeit erfordert insbesondere die Vorplanung (Leistungsphase 2) die Festlegung eines Verkehrswegs in Lage und Höhe. Sofern die in den Regelwerken festgelegten Grenzwerte für Steigung und Gefälle nicht eingehalten werden können, sind oftmals Erdbauarbeiten erforderlich. Diese können sowohl Einschnitte als auf Aufschüttungen darstellen und sind mit dem Ab- beziehungsweise Auftrag von Erdmassen verbunden. Für eine sinnvolle Kostenschätzung ist daher die Modellierung des Projekts im Raum notwendig, um die zu bewegendenden Erdmassen hinreichend genau quantifizieren zu können. Dies erfordert die Arbeit mit einem digitalen Geländemodell (DGM), um die genaue Lage der Trasse im Raum darstellen zu können. Das digitale Geländemodell in Kombination mit der festgelegten Trassierung ermöglicht die Abschätzung der zu bewegendenden Erdmengen. Für die eigenentwickelte Methode stellt sich dadurch jedoch folgendes Problem dar: Für das Einspielen eines DGM ist es notwendig, dass das der Methode folgende Tool die Daten auch entsprechend verarbeiten und darstellen kann. Nur so ist eine technisch konsistente und nachvollziehbare Schätzung der zu bewegendenden Erdmassen möglich. Das erweitert die Funktion des Tools und damit der Methode um Komponenten, welche bereits durch andere, in der Praxis auch eingesetzte Software, bereits abgedeckt wird. Es erscheint daher nicht sinnvoll die Methode in dieser Hinsicht weiterzuentwickeln. Die dann bestehenden Konkurrenzangebote würden aufgrund ihrer Historie und Verbreitung eine wesentlich bessere Lösung darstellen. Ohne die Bestimmung von zu bewegendenden Erdmengen ist eine den Ansprüchen genügende Vorplanung jedoch nicht möglich.

Alternativ wäre eine überschlägige Mengenschätzung zu erwägen, die pauschale Erdmengen annimmt. Jedoch sind die Datenbasis und die genaue Bestimmung der Mengen unklar und auch keine Grundlagen für ein mögliches Vorgehen bekannt. Der Ansatz erscheint daher als nicht zielführend und sollte nicht weiterverfolgt werden.

Sinnvoll erscheint daher die Einschränkung der Anwendbarkeit der Methode. Zum einen muss festgestellt werden, dass für die in der Aufgabenstellung erwähnte Leistungsphase 2 die Methode nicht geeignet sein wird. Dafür stehen mit etablierten Programmen zur Modellierung von Verkehrswegen genügend Alternativen zur Verfügung. Zum anderen sollte auch die Art der

Projekte auf solche eingeschränkt werden, bei denen keine oder nur sehr geringumfängliche Erdbauarbeiten zu erwarten sind. Darstellbar wären damit Umbauarbeiten oder Sanierungen bestehender Verkehrswege, deren Planum bereits geschaffen ist und keine weitere Überarbeitung bedarf. Damit kann auch der Bezug zu den Anforderungen an die Methode hergestellt werden, die eine möglichst einfache Anwendung fordern. Die Organisation und Einspielung eines DGM würde diesen Anforderungen entgegenstehen. Ausgenommen von diesen Einschränkungen sind die Bearbeitung stadttechnischer Anlagen, welche in der Regel mit Erdbauarbeiten entsprechend den ZTV-A abgewickelt werden.

Es bleibt also festzuhalten, dass sich die Anwendung der Methode auf den Umbau der Verkehrswege oder allgemeine Sanierungsprojekte ohne Erdbauarbeiten oder ausschließlich auf die Anwendung zur Grobkostenschätzung beschränkt.

6.4.4 Ingenieurbauwerke

Im Zuge von Verkehrsanlagen kann auch der Einbau von Ingenieurbauwerken notwendig sein. Das können zum einen Durchlässe für kleinere Gewässer, beispielsweise für einen Bach, oder größere Brückenbauwerke zur Überspannung von Tallagen sein. Die damit entstehenden Bauwerke stellen in ihrer Ausführung in der Regel Einzelanfertigungen dar. Insbesondere größere Bauwerke, beispielsweise große Talbrücken, sind aufgrund verschiedener Faktoren immer individuelle Bauwerke. Bei Tunnelbauwerken trifft dies in ähnlicher Weise zu, jedoch kann man bei einheitlichem Tunnelquerschnitt von einer gewissen Skalierbarkeit hinsichtlich der Tunnellänge ausgehen. Eine Definition von Tunnelquerschnitten wäre somit prinzipiell möglich, aufgrund der diversen Spezifikationen und der Tatsache, dass mit solchen Bauwerken in der Regel massive Erdbauarbeiten verbunden sind, wird in dieser Arbeit darauf verzichtet.

Für kleine Ingenieurbauwerke lässt sich wahrscheinlich ein Katalog von Einheitsbauwerken entwerfen. Dies bezieht sich insbesondere auf die bereits angesprochenen Durchlässe. Abhängig wären diese von der vorgesehenen Länge und der sich aus dem Querschnitt ergebenden Breite des Bauwerks. In der Methode können diese als Sonderkostenpunkt zusammengefasst werden.

6.5 Kostenkennwerte

Aus den zuvor beschriebenen Berechnungen können die notwendigen Baumengen eines Infrastrukturbauwerks ermittelt werden. Mithilfe der Bausteine kann die Menge eines jeden einzelnen Bauelements berechnet werden. Die Aufgabenstellung fordert jedoch eine Methode zur Kostenermittlung eines Infrastrukturprojekts. Aus der Mengenauflistung der Baumengen heraus sollen Gesamtkosten ermittelt werden.

Dies geschieht über Kostenkennwerte. Mit diesen werden Kennwerte beschrieben, die sich auf eine Einheit eines definierten Bauelements mit der entsprechenden Bezugsgröße beziehen. Voraussetzung für deren Anwendung ist zum einen die Definition und Bestimmung eines

Bauelemente im Zusammenhang mit einer Quantifizierung samt Bezugsgröße, zum anderen die Recherche eines Kostenkennwerts. Ersteres wurde mit der beschriebenen Methode erreicht.

Die Recherche von Kostenkennwerten wird ein sehr umfassendes Unterfangen sein. Neben dem Bezug der Daten muss deren Differenzierung geklärt werden. In der Methode erfolgt eine stadtfeine Differenzierung der Bausteine. Für Baumaterialien und Arbeitsleistungen, welche durch die Kostenkennwerte dargestellt werden, kann eine solche Differenzierung ebenfalls sinnvoll sein. Grund hierfür sind die regionalen Unterschiede hinsichtlich Arbeitskosten und Materialverfügbarkeit mit entsprechend verbundenen Aufwänden.

In der Regel werden zur Kostenbestimmung interne Datenquellen aufbereitet und genutzt, welche gegebenenfalls um externe Datenquellen ergänzt werden. Für ein Tool, welches auf der Methode basieren soll, wäre die Festlegung einer einheitlichen Grundlage sinnvoll. So sollen die Vollständigkeit und Aktualität der Kostendaten gewährleistet werden.

Zudem kann über eine Erweiterung der Kostenkennwerte nachgedacht werden. Neben der Verknüpfung mit monetären Kosten können sich die Kennwerte auch auf andere Eigenschaften beziehen. Ein Vorschlag wäre der Bezug zu Umweltkosten hinsichtlich der kalkulierten Emissionen für den Bau. Die Berücksichtigung der Umweltauswirkungen im Bauwesen ist seit längerem Thema von Diskussionen. Wie zuvor bereits beschrieben, müssen insbesondere Infrastrukturbauwerke Umweltaspekte berücksichtigt werden, mehr als das im Hochbau der Fall ist. Daher scheint dieser Ansatz sehr sinnvoll. Zu beachten ist jedoch, dass für eine fachlich korrekte Schätzung der Umweltauswirkungen die Lage und Höhe der Trasse im Raum bekannt sein sollte. Diese Informationen sind jedoch erst ab Leistungsphase 2 festzuhalten. Wie zuvor beschrieben wird in diesem Fall die entwickelte Methode nicht mehr anwendbar sein.

Für den Hochbau gibt es bereits Ansätze zur Erstellung einer Umweltbilanz für ein Bauwerk. Im Vergleich zu ökonomischen Daten sind ökologische Daten frei verfügbar. Für den Tiefbau ist ein solches Datenangebot jedoch noch nicht gegeben.³⁶

Zusammenfassung	Bauelement	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwerte [€ pro Einheit]	Kosten [€]
	Schiene	20	m	10	200
	Markierung	30	m ²	10	300
	Tragschicht	40	m ³	10	400
	Gesamt				900

Tabelle 12: Beispiel der Einberechnung von Kostenkennwerten mit fiktiven Daten zur Bestimmung von Einzel- und Gesamtkosten

³⁶ <https://www.oekobaudat.de>, 07.02.2023

6.6 Kurzzusammenfassung der Methode

- 1) Definition der Verkehrsachsen
- 2) Definition der Querschnitte der Verkehrsachsen
- 3) Definition der Knotenpunkte hinsichtlich Veränderung der eingehenden Querschnitte,
Auswahl Gleiskonstruktionen
- 4) Auswahl der Zusatzbausteine zur Ergänzung (zusätzliche Bausteine und technische
Ausstattung)
- 5) Mengenkalkulation
- 6) Kostenkalkulation infolge der Verknüpfung mit Kostenkennwerten

7. Anwendung und Überprüfung der Methodik

Die zuvor aufgestellte Methode sollte in der Theorie ein anstehendes Infrastrukturprojekt für Nahverkehrsbahnanlagen darstellen können. Resultierend daraus sollte auch eine Mengenausgabe und eine Verknüpfung dieser mit Kostenkennwerten möglich sein. Eine theoretische Betrachtung reicht jedoch nicht aus, um die Methode als funktionsfähig anzusehen.

7.1 Vorgehen

Um die Funktionsfähigkeit der Methode festzustellen, ist eine Prüfung dieser notwendig. Dabei soll untersucht werden, inwiefern sich die Methode zur Darstellung von Infrastrukturprojekten eignet. Gleichzeitig sollen die zuvor beschriebenen Anforderungen erfüllt werden. Einige der Anforderungen beziehen sich auf ein sich auf die Methode berufendes Tool, welches erst entwickelt werden muss. Diese können logischerweise nicht beachtet werden. Andere sind jedoch zentraler Bestandteil der Methode selbst. Beispiele hierfür sind die Handhabbarkeit und Übersichtlichkeit sowie die fachliche Vollständigkeit und Richtigkeit der Daten. Um diese Überprüfung zu ermöglichen, muss eine entsprechende Strategie entwickelt werden. Im Laufe der Arbeit wurde ein Vorgehen erwogen, welches sich aber aufgrund mangelnder Datenlage nicht darstellen lässt:

Geplant war der Abgleich der Ergebnisse aus der eigenen Methode mit realen Beispielprojekten. Von einem solchen Vorgehen wird auch in der Aufgabenstellung geschrieben. Vorgesehen war zunächst eine Datensammlung, bei denen reale Projekte hinzugezogen werden, welche grundsätzlich in das Profil der zuvor definierten Möglichkeiten der Methode passen. Dabei sollte es sich um Grobkostenschätzungen bzw. die dazugehörige Mengenschätzung handeln. Die Projekte sollten Elemente der Planung von Nahverkehrsbahnanlagen, also Straßenbahnen oder Stadtbahnen, enthalten. Beispielhaft wäre dafür die Sanierung oder den Neubau einer Straßenbahnstrecke entlang eines innerstädtischen Verkehrszuges zu nennen. Aus den eigenen Erfahrungen heraus hätten sich bei solchen in der Regel keine großen Erdbauarbeiten ergeben, sodass die Einschränkung der Methode hinsichtlich Erdbauarbeiten keine Auswirkungen gehabt hätte. Von diesen Beispielprojekten wäre das Leistungsverzeichnis bzw. das Mengenverzeichnis und die verfügbaren Ausgangsinformationen wichtig gewesen. Auf Basis der Ausgangsinformationen wäre versucht worden, das Infrastrukturprojekt zu rekonstruieren und somit das reale Beispiel nachzubilden. Anschließend hätte darauf basierend eine Mengenausgabe stattgefunden. Der Einbezug von Kostenkennwerten wäre nicht sinnvoll gewesen. Zum einen hätten die einzelnen Projekte wahrscheinlich über eine unterschiedliche Datenbasis verfügt, sodass die Vergleichbarkeit der Projekte untereinander nicht gegeben gewesen wäre. Zum anderen stellen die Kostenkennwerte genau das Problem der aktuellen Planung dar, da sich diese im Laufe eines Projekts ändern können. Daher wäre der einfache Vergleich der Baumen- gen am sinnvollsten gewesen, da sich diese im Vergleich zu den Kosten im Verlauf des Projekts nicht ändern. Die Mengenaufstellung der Rekonstruktion und der realen Ausführung hätten dann verglichen und auf Unterschiede hin untersucht werden können. Auf dieser Basis wären Aussagen zur Genauigkeit der Methode oder gegebenenfalls zur Anpassungsnotwendigkeit

dieser möglich gewesen. Dieses Vorgehen konnte jedoch aufgrund mangelnder Vergleichsprojekte nicht durchgeführt werden.

Alternativ wurde ein Vorgehen überlegt, welches die Möglichkeiten der Methode zur Rekonstruktion von Projekten darstellen sollte. Dabei sollen fiktive Projekte erdacht werden, die jeweils eine Schwierigkeitsstufe repräsentieren. Über mehrere Projekte soll die Schwierigkeitsstufe gesteigert werden, bis die Methode an ihre Grenzen kommt. Mit steigender Schwierigkeitsstufe werden die Projekte entsprechend komplexer, sodass die Anforderungen an die Methode mit jeder Stufe steigen. Somit soll getestet werden, bis wohin die Methode nutzbar ist. Jedoch sind dafür keine Vergleichsprojekte vorhanden. Wichtigstes Kriterium bleibt die Vollständigkeit der Daten.

7.2 Grundkonzeption

Im Folgenden soll versucht werden mit der entwickelten Methode fiktive Infrastrukturprojekte zu rekonstruieren. Die fiktiven Projekte sollen dabei an reale Infrastrukturmaßnahmen angelehnt sein, ohne jedoch auf einen Ort zugeschnitten zu sein. Wie bereits erläutert ließen sich für das ursprünglich gedachte Vorgehen keine Vergleichsprojekte finden. In dem nun aufgestellten Konzept soll mit möglichst wenigen Eingangsinformationen Infrastrukturprojekte dargestellt werden, welche sich mit zunehmender Stufe in ihrem Schwierigkeitsgrad steigern. Durch die Rekonstruktionen soll eine Mengenausgabe an Bauelementen dargestellt werden. Da die DIN 276 für Infrastrukturbauwerke nur eine sehr ungenaue Differenzierung der Ausgabestruktur angibt, wird eine eigene Auflistung erstellt. Nach DIN 276 werden sämtliche Anlagen des Infrastrukturbaus der Kostengruppe 370 zugeordnet, die als solche Teil der Kostengruppe 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) ist. Als Ergebnis würde die Kostengruppe 300 als erste Kostengliederungsebene ausgegeben werden. Innerhalb der Kostengruppe 370 würde eine Unterscheidung nach Straßen- und Schienenverkehrsanlagen erfolgen, jedoch ist eine genauere Differenzierung dieser nach DIN 276 nicht vorgesehen.

Ziel ist es aus den Dimensionen der Bausteine die Mengen einzelner Bauelemente zu bestimmen. Die dafür notwendigen Berechnungsgrundlagen wurden im Kapitel 6 ausführlich beschrieben. Die Eingangsdaten für die Überprüfung bestehen aus den Längenangaben der Verkehrsachsen (Hauptachse sowie anliegende Nebenachsen) und die Angabe von Querschnittswechseln. Als Querschnitte können die in den RASt vorgeschlagenen Regelquerschnitte genutzt oder mithilfe der Bausteine individuell zusammengestellt werden. Die Verknüpfung mit Kostenkennwerten soll nicht geschehen, da, wie zuvor bereits mehrfach beschrieben, diese sehr variabel sind und die Datensammlung einen großen Aufwand darstellt. Zumal kann in dieser Arbeit nicht, wie in Planungsbüros üblich, auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die Vollendung der Untersuchung als vollständige Kostenermittlung (sei es eine Grobkostenschätzung oder Kostenrahmenbestimmung) wäre daher nicht seriös. Die Beispielprojekte sollten Elemente der Straßenplanung und/oder Elemente der Nahverkehrsbahnanlagenplanung enthalten. Zu beachten sind die vorher getroffenen Annahmen und Einschränkungen zur Nutzbarkeit

der Methode. Es handelt sich folglich um Projekte zur Sanierung oder zum Neubau ohne große Erdbauarbeiten.

Stufe 1

- Szenario: Sanierung einer kurzen Straße
- Länge: 1000 m, keine Knotenpunkte, Querschnitt aus Bestand gegeben
- Gegenstand: Sanierung der Fahrbahn, Radverkehrsanlagen, Gehwege

Stufe 2

- Szenario: Sanierung einer Straßenbahnstrecke
- Länge: 1000 m, keine Knotenpunkte, Sanierung des Oberbaus
- Gegenstand: Sanierung der Schienen und Schwellen des offenen Oberbaus, keine weiteren Verkehrswege betrachtet

Stufe 3

- Szenario: Sanierung einer Straßenbahnstrecke, Neubau Haltestellen und Querungen
- Länge: 1000 m, keine Knotenpunkte, Sanierung des Oberbaus in geschlossener Oberbauausführung, Neubau von vier Bahnsteigen entlang der Strecke, Einbau zweier Fußverkehrsquerungen mit LSA
- Gegenstand: Sanierung einer Straßenbahnstrecke (siehe Stufe 2), ergänzt um den Neubau zweier Haltestellen (mit je zwei Bahnsteigen) und zweier Z-Querungen entlang des Verlaufs

Stufe 4

- Szenario: Sanierung einer kurzen Straße mit Knotenpunkt
- Länge: 1000 m, kein Querschnittswechsel, zwei Nebenachsen, Einbau LSA und Abbiegestreifen
- Gegenstand: Sanierung einer Straße entsprechend Stufe 1 (Berücksichtigung Fahrbahn, Radverkehrsanlagen, Gehwege) mit einem Knotenpunkt, an Knotenpunkt Berücksichtigung der Veränderung des Querschnitts, Nebenachsen sollen nicht saniert werden (Betrachtung endet an der Grenze des Knotenpunkts)

Stufe 5

- Szenario: Sanierung einer kurzen Straße mit Knotenpunkt und dortigem Querschnittswechsel
- Länge: Hauptachse 1: 500 m, Hauptachse 2: 300 m, Nebenachse (gesamt): 500 m

- Gegenstand: Sanierung einer Straße entsprechend Stufe 1 (Berücksichtigung Fahrbahn, Radverkehrsanlagen, Gehwege) mit Knotenpunkt auf der Hauptachse, dort Querschnittswechsel, Knotenpunktfläche rechteckig, Einbau LSA ohne Abbiegestreifen

Stufe 6

- Szenario: Sanierung einer Straße mit Straßenbahngleiskörper und Knotenpunkt, Abzweig der Straßenbahn am Knotenpunkt

- Länge: 1000 m (2x500m), kein Querschnittswechsel am Knotenpunkt, Einbau LSA, Einbau Haltestelle

- Gegenstand: Sanierung einer Straße wie Stufe 1, kombiniert mit Straßenbahnplanung wie in Stufe 3, Haupt- und Nebenachsen mit Straßenbahngleisen, drei Verkehrsachsen am Knotenpunkt

In den Szenarien wird immerzu von Sanierungen gesprochen. Im Falle von Neubauten entlang eines bestehenden Straßenzugs im innerstädtischen Gebiet sind die gleichen Ergebnisse zu erwarten, da der Rückbau nicht Gegenstand der Betrachtung ist. Es erfolgt eine Berechnung nach den vorher getroffenen Berechnungsvorschriften, darauf erfolgt eine Mengenausgabe.

7.3 Berechnungen

Im Zuge der Berechnungen sind Querschnitte zu definieren, die mit den festgelegten Verkehrsachsen verrechnet werden. Die Querschnitte bestehen aus den zuvor definierten Bausteinen der Methode.

7.3.1 Vorgefertigte Querschnitte der RAS

Die RAS bietet, wie bereits angesprochen, vorgefertigte Querschnitte in Abhängigkeit der verfügbaren Breite des Verkehrsraums, der zu erwartenden Belastung durch den Verkehr und weitere Nutzungsansprüche. Um die Anwendung der Methode einfacher zu gestalten, können diese Querschnitte als Vorlage zur Definition einer Verkehrsachse verwendet werden. Die Auswahl eines Querschnitts könnte auf vorher eingegebenen Eingangsdaten beruhen. Zu beachten ist dabei jedoch, dass genau diese nicht immer verfügbar sind. Daher sollte der individuelle Entwurf möglich sein.

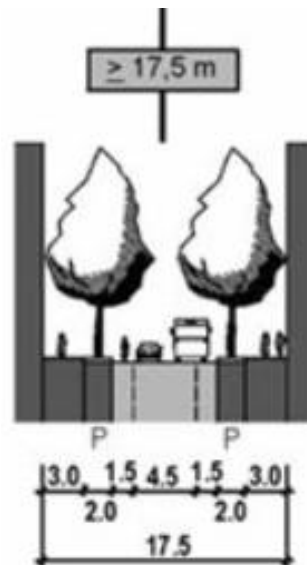


Abbildung 34: Beispiel eines vorentworfenen Querschnitts aus den RAST, S. 41, QS 3.5

Der gezeigte vorentwurfene Querschnitt lässt sich mit folgenden Bausteinen darstellen (von links nach rechts):

- Gehweg
- Parkraum/Freifläche (Angabe von Anteilen an der Gesamtlänge)
- Radschutzstreifen
- Fahrstreifen (Verknüpfung mit zweitem Fahrstreifen zu 4,5 m Gesamtbreite, Einzelbreite 2,25 m)
- Fahrstreifen
- Radschutzstreifen
- Parkraum/Freifläche (Angabe von Anteilen an der Gesamtlänge)
- Gehweg

7.3.2 Individueller Entwurf

Der individuelle Entwurf der Querschnitte ermöglicht die Anpassung der Planung an die speziellen Bedürfnisse, die sich aus der Analyse vor Ort ergeben können. Im Vergleich zu den vorgefertigten Querschnitten obliegt es der Erfahrung der planenden Person, ob mit der Querschnittsgestaltung auch die erforderlichen Verkehrsqualitäten erreicht werden können. Weiterhin können die vorgefertigten Querschnitte als Grundlage und individuell modifiziert werden. Der individuelle Entwurf erfolgt über das Zusammensetzen der Bausteine zu einem Querschnitt. Als Standardbreiten werden die zuvor angegebenen Regelwerte genutzt. Diese sind jedoch individuell anpassbar. Auch hier besteht eine Abhängigkeit zur Gesamtbreite des Verkehrsraums zur Einschränkung. Möglich wäre eine vorherige Definition einer Maximal- oder Minimalbreite.

7.4 Ergebnisse

Im Gegensatz zu einer späteren Anwendung in einem Tool muss die Methode in dieser Arbeit manuell überprüft werden. Dabei wird in einer Excel-Tabelle (siehe Anlagen) die später automatisch ablaufende Rechnung samt Verknüpfungen dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit wurden Anmerkungen über den aktuell laufenden Berechnungsschritt angeführt. Unterteilt ist die Kalkulation in die zuvor beschriebenen Stufen, die einen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad darstellen. Ziel der gezeigten Rechnung ist die anschauliche Darstellung des Rechenwegs. Daher werden als Zwischenschritt oftmals Zusammenfassungen gelistet, um einen guten Überblick zu gewährleisten. Eine Verknüpfung mit Kostenkennwerten wird mangels Daten nicht durchgeführt. Jedoch wird aufgezeigt, an welcher Position eine potenzielle Verknüpfung stattfinden kann. Als Ergebnis steht somit eine Mengenausgabe der erforderlichen Baumaterialien. Im Gegensatz zur späteren Anwendung wurde auf eine stadtfeine Gliederung verzichtet. Hintergrund ist auch die schwierige Datenrecherche, bei der die Informationen verschiedener Städte zusammen genutzt werden mussten. Dem Zweck der Demonstration der Funktionsweise sollte dies aber genügen. Über die Notwendigkeit einer umfassenden Datensammlung in Kooperation mit den beteiligten Akteuren wurde bereits ausführlich geschrieben.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Massenbestimmung aufgelistet. Die Berechnungen selbst inklusive eingefügter Kommentare sind in der in den Anlagen angefügten Excel-Datei „Methodenüberprüfung“ zu finden. Die behandelten Querschnitte wurden zur Veranschaulichung in streetmix.net nachgestellt.

Stufe 1

Die Stufe 1 wurde bewusst einfach gestaltet, um die grundlegende Funktion der Massenbestimmung aufzuzeigen. Zunächst wurde ein Querschnitt definiert. Die Zusammensetzung dessen erfolgte auf fiktiver Basis. Von den gegebenen Regelwerten wurden keine Abweichungen eingefügt.

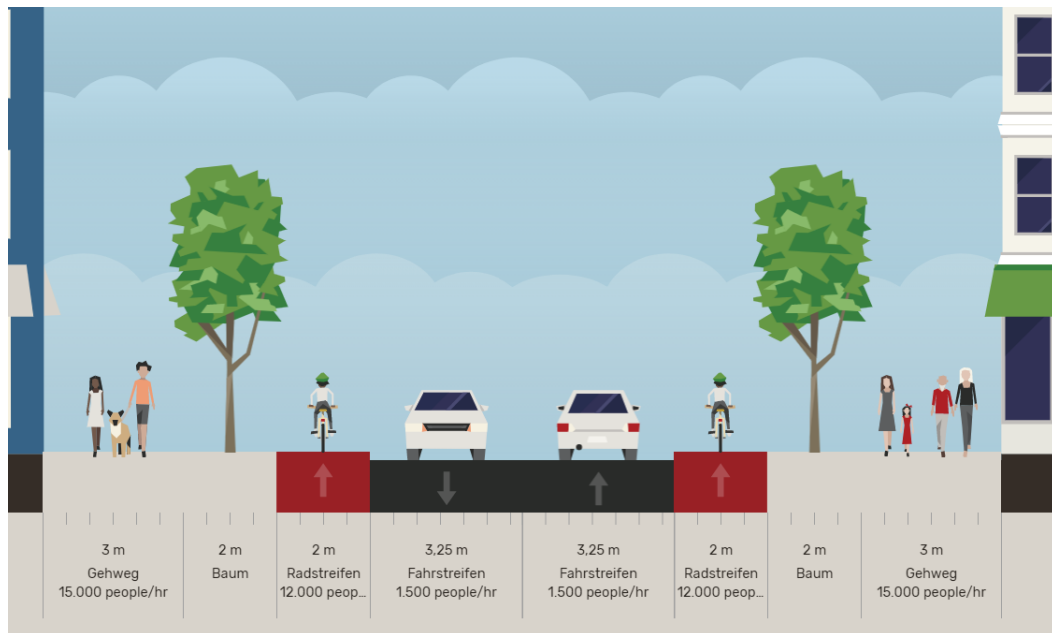


Abbildung 35: Querschnitt des in Stufe 1 betrachteten Abschnitts

Infolge der Berechnung wurden folgende Ergebnisse ermittelt. Diese können mit Kostenkennwerten verrechnet werden, um eine gesamte Kostenaussage über das anstehende Projekt zu erhalten. Als Aufbau des Fahrstreifens wurde ein Beispielaufbau aus der RStO gewählt. Aus diesem ergeben sich auch die drei genannten Tragschichten, welche sich in ihrer Zusammensetzung des Materials unterscheiden. Die errechneten Volumina ergeben sich aus den in der RStO vorgesehenen Dicken und der zuvor errechneten Gesamtfläche.

Zusammenfassung	Bauelement	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwerte	Kosten
	Deckschicht	1755	m ³		
	Tragschicht (oben)	2372,5	m ³		
	Tragschicht (Mitte)	975	m ³		
	Tragschicht (unten)	4647,5	m ³		
	Bordstein	2000	m		

Tabelle 13: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse für Stufe 1

Stufe 2

Stufe 2 ist ebenso wie Stufe 1 sehr einfach gestaltet, bezieht sich dabei aber auf den Untersuchungsgegenstand der Nahverkehrsbahnanlagen. Es soll eine zweigleisige Straßenbahnstrecke über eine vorgegebene Distanz von 1000 m erneuert werden. Die Oberleitungsanlagen, die Bettung und sonstige Einrichtungen sollen dabei nicht weiter beachtet werden. Die Strecke wird als offener Oberbau ausgeführt.

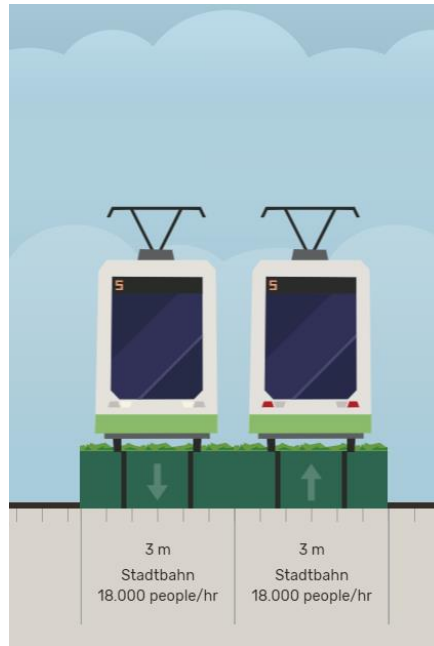


Abbildung 36: Querschnitt des in Stufe 2 betrachteten Abschnitt

(Anmerkung: In streetmix.net lassen sich keine offenen Oberbauten darstellen. Deshalb wurde hier ein Oberbau mit vegetativer Eindeckung gewählt, um die Anordnung der Bausteine sowie die eingegebenen Breiten aufzuzeigen.)

Die Berechnung ergab folgendes Ergebnis.

Zusammenfassung	Bauelement	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwerte	Kosten
	Schiene	4000	m		
	Schwelle	2666	Stk		

Tabelle 14: Ergebnisse der Stufe 2 der Methodenüberprüfung

Anmerkung: „Schiene“ ist hier nicht mit dem Begriff „Gleis“ zu verwechseln. Ein Gleis stellt die Gesamtheit aus zwei Schienen und einem Schwellenband dar. Bei zwei Gleise a zwei zu verbauenden Schienen ergibt sich somit eine Gesamtzahl von vier Schienen.

Stufe 3

In Stufe 3 der Überprüfung werden erstmals Zusatzbausteine in Form von Haltestellen und Querungsmöglichkeiten verwendet. Die Haltestellen können jedoch nicht in Bauelemente aufgeschlüsselt werden, da eine genauere Definition der Ausführung nicht erfolgte. Die Querungsanlagen werden unterdessen mit Markierungen und Lichtsignalanlagen dargestellt.

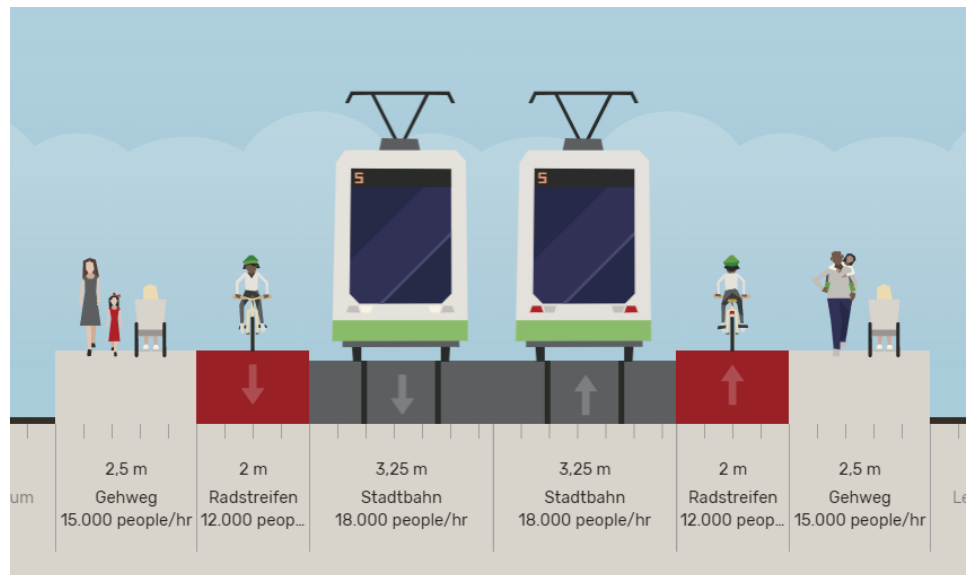


Abbildung 37: Querschnitt des in Stufe 3 betrachteten Abschnitts

Um das Ergebnis besser aufschlüsseln zu können, wurde der Baustein Haltestelle (hier in Form der Haltestellenbahnsteige) als Teil der Bauelemente angeführt, obwohl dies eigentlich nicht exakt ist.

Zusammenfassung	Bauelement	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwert	Kosten
	Schiene (inkl. Befestigung)	4000	m		
	Gussasphalt	231,2	m³		
	Asphaltbinder	289	m³		
	Betrontragschicht	693,6	m³		
	Betonttragplatte	1625	m³		
	Frostschuttschicht	3250	m³		
	Haltestellenbahnsteig	4	Stk		
	Markierung	82,22857143	m²		
	Lichtsignalanlage	2	Stk		

Tabelle 15: Ergebnisse der Stufe 3 der Überprüfung

Stufe 4

Stufe 4 dient der Untersuchung zur Berechnung von Verkehrsflächen in Knotenpunktbereichen. Dabei kreuzen sich zwei durchgehende Verkehrsachsen, eine Hauptachse mit 1000 m und eine Nebenachse mit 500 m Länge. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen die Fahrbahnen der Hauptachse und der Knotenpunktfläche, welche saniert werden sollen. Die Gehwege und die Borde zur Abgrenzung derer zur Fahrbahn bleiben unangetastet. Der Querschnitt der Hauptachse wird am Knotenpunkt um einen Abbiegestreifen erweitert. Dabei wird die Länge des Abbiegestreifens sowie dessen Ausfädelung aus dem Hauptfahrstreifen berücksichtigt.

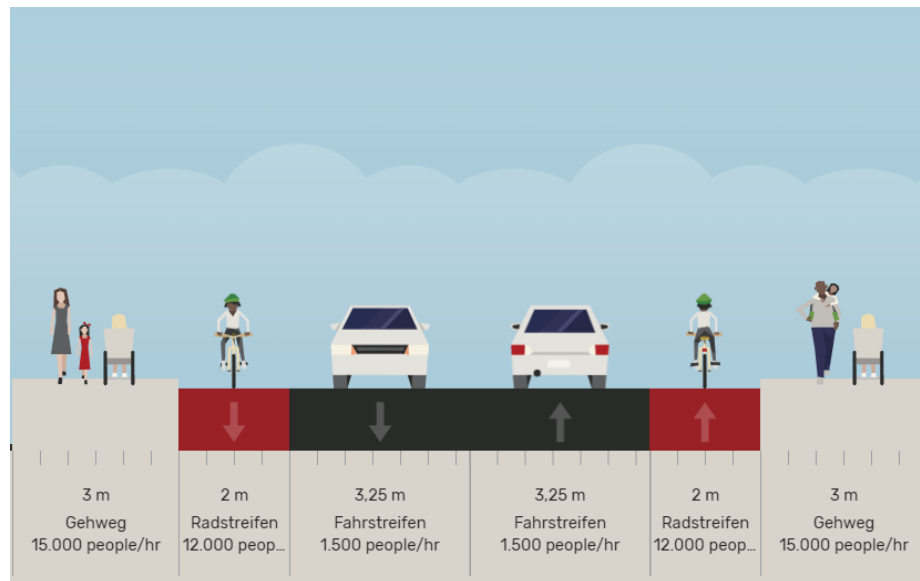


Abbildung 38: Querschnitt der Hauptachse des in Stufe 4 betrachteten Abschnitts

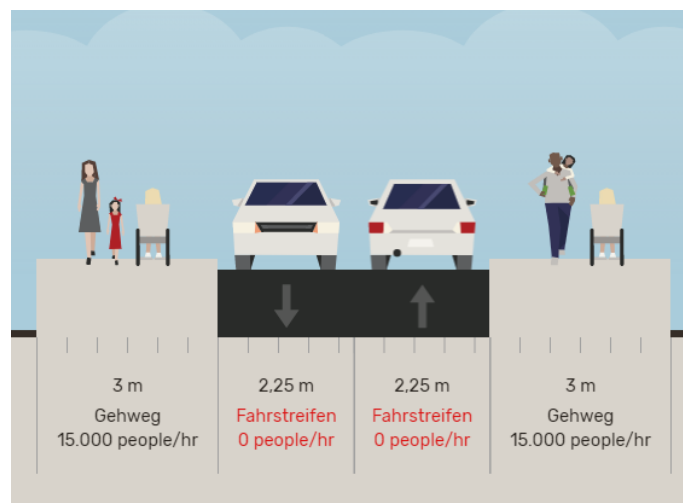


Abbildung 39: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 4 betrachteten Abschnitts

(Anmerkung: Die einzelne Breite von 2,25 m wird in streetmix.net nicht angenommen. Alternativ könnte ein Fahrstreifen mit 4,5 m Breite angegeben werden, jedoch ist dieser nicht als Zweirichtungsfahrstreifen darstellbar und wird vom Programm als zu breit angesehen.)

Baustein	Bauelement	Standarddicke [m]	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwert	Kosten
Fahrbahn	Deckschicht	0,12	1264,32	m ³		
	Tragschicht (oben)	0,14	1475,04	m ³		
	Tragschicht (Mitte)	0,15	1580,4	m ³		
	Tragschicht (unten)	0,34	3582,24	m ³		
Technik	Lichtsignalanlage		4	Stk		
Markierung	Markierung		593,9	m ²		

Tabelle 16: Ergebnisse der Stufe 4 der Überprüfung

Stufe 5

Der Fokus der Untersuchungsstufe 5 liegt in dem Umgang mit Querschnittsänderungen am Knotenpunkt. Die Hauptachse wird dabei in zwei Querschnittsabschnitte von 500 m bzw. 300 m Länge unterteilt. Die Wahl der Achslängen erfolgte willkürlich. Die Nebenachse ist 500 m lang und durchgängig. In die Auswahl der Berechnung fließen alle Elemente der Hauptachse sowie der Knotenpunktfläche ein. Der Querschnittswechsel hat zur Folge, dass das Kriterium der maximalen Querschnittsbreite am Knotenpunkt zu beachten ist, um die Kantenlängen der angenommenen Knotenpunktflächen zu bestimmen.

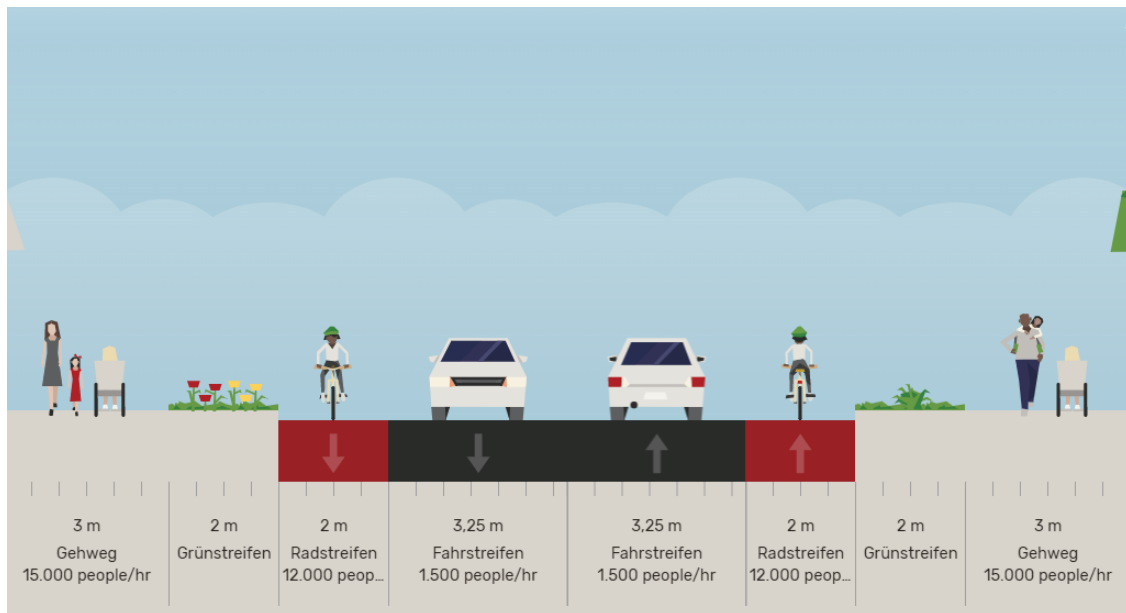


Abbildung 40: Querschnitt des ersten Teils der Hauptachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts

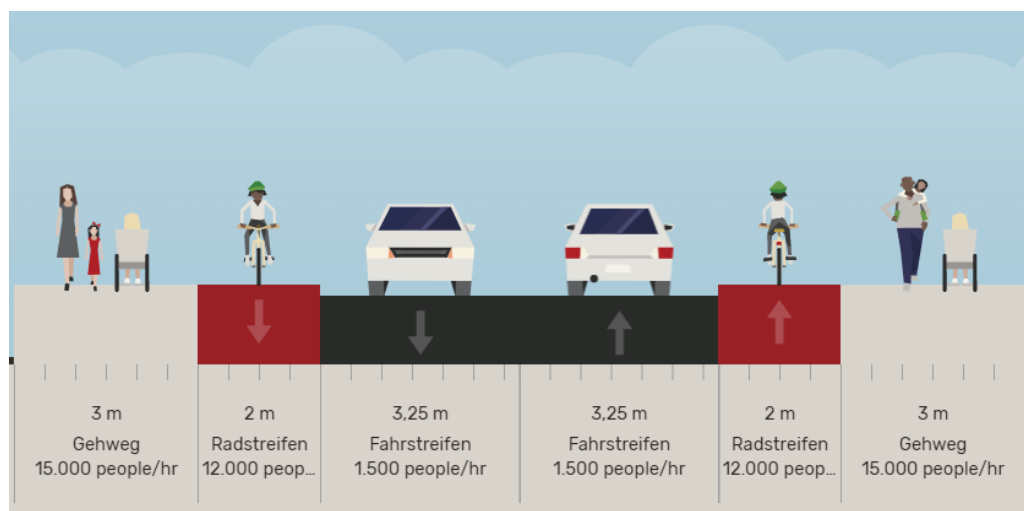


Abbildung 41: Querschnitt des zweiten Teils der Hauptachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts

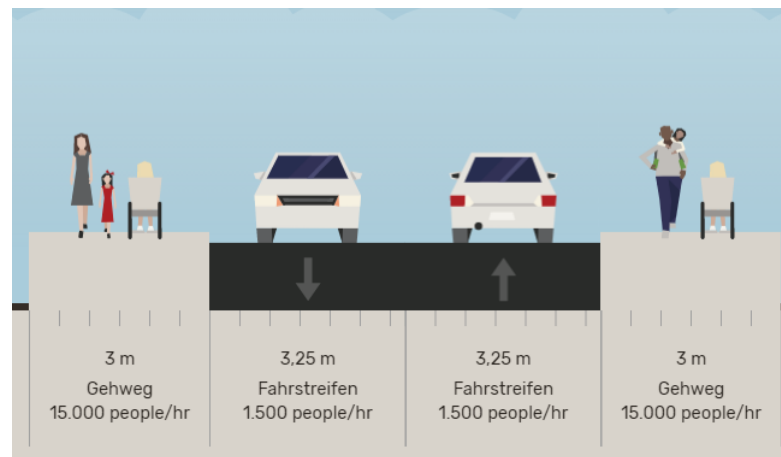


Abbildung 42: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 5 betrachteten Abschnitts

Als Ergebnis wurde eine grob gefasste Tabelle ausgegeben. Äquivalent zu den vorherigen Berechnungen sind die einzelnen Bausteine weiterhin in Bauelemente zu unterteilen. Das Bauelement der Markierung wurde in dieser Stufe nicht berücksichtigt, da dieses bereits in den vorhergehenden Stufen untersucht wurde.

Zusammenfassung	Bausteine	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwerte	Kosten
	Gehweg	4753,276	m ²		
	Freifläche	1971	m ²		
	Bord	1591,688	m		
	Radfahrstreifen	1971	m ²		
	Radweg	1171	m ²		
	Fahrstreifen	5391,724	m ²		
	Fußgängerüberweg	4	Stk		
	Lichtsignalanlage	4	Stk		

Tabelle 17: : Ergebnisse der Stufe 5 der Überprüfung

Stufe 6

In Stufe 6 soll der Fokus erneut auf die Nahverkehrsbahnanlagen gelegt werden. Dabei wird ein Gleiskörper offener Oberbauart verwendet. Im Knotenpunktbereich findet ein vorher berechnetes zweigleisiges Gleisdreieck zur Verknüpfung der Gleiskörper der Haupt- und Nebenachse. Oberleitungsanlagen werden als bestehend angesehen und sind deshalb nicht Teil der Betrachtung.

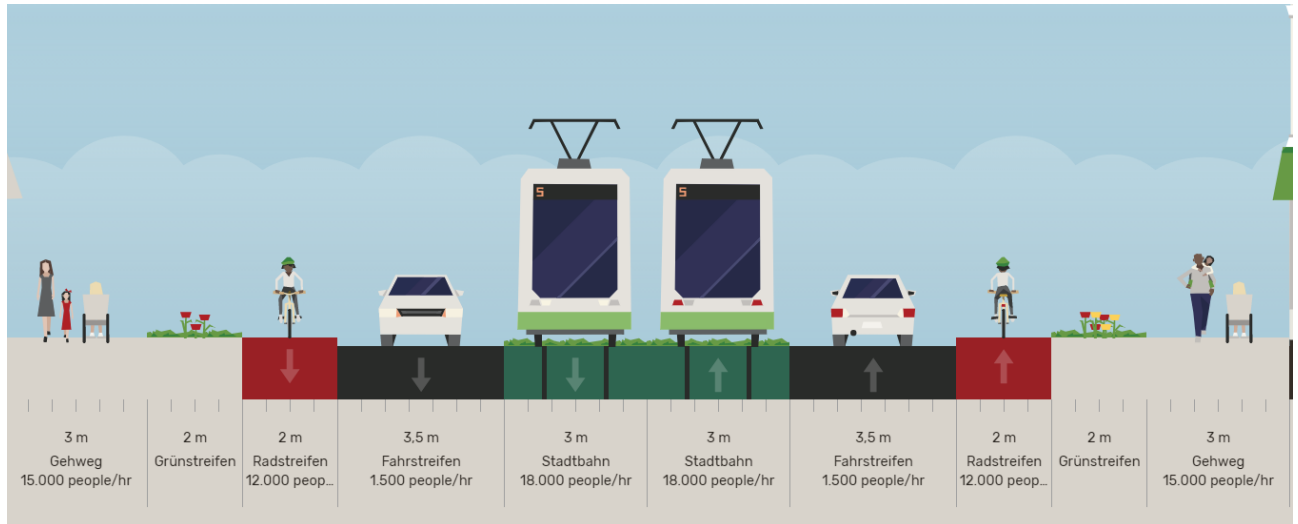


Abbildung 43: Querschnitt der Hauptachse des in Stufe 6 untersuchten Abschnitts

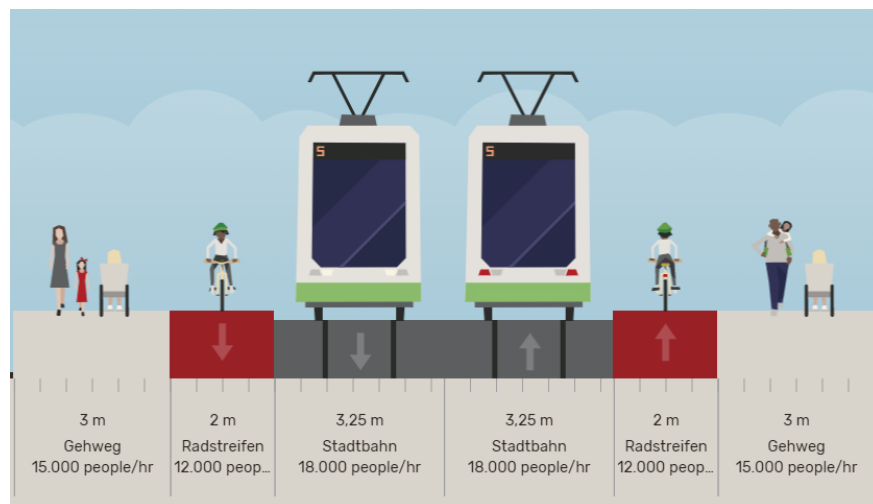


Abbildung 44: Querschnitt der Nebenachse des in Stufe 6 untersuchten Abschnitts

Zusammenfassung	Bauelement	Gesamtmenge	Einheit	Kostenkennwert	Kosten
Fahrbahnen	Deckschicht FS	7266,362	m ²		
	Tragschicht (oben)	7266,362	m ²		
	Tragschicht (Mitte)	7266,362	m ²		
	Tragschicht (unten)	7266,362	m ²		
Gehweg	Deckschicht GW	5964,638	m ²		
	Tragschicht (oben)	5964,638	m ²		
	Tragschicht (unten)	5964,638	m ²		
Radweg	Deckschicht RW	3934	m ²		
	Tragschicht (oben)	3934	m ²		
	Tragschicht (unten)	3934	m ²		
Straßenbahn	Schiene	24118,154	m		
	Weiche	6	Stk		
	Kreuzung	3	Stk		
	Tragschicht	5901	m ²		
	Planumsschutzschic	5901	m ²		
	Oberleitung	983,5	m		
	Fahrleitungsmasten	15	Stk		
Knotenpunkt	Fußgängerüberweg	2	Stk		
	Markierung	2	Stk		

Tabelle 18: Ergebnisse der Stufe 6 der Überprüfung

8. Bewertung der Methode

8.1 Interpretation der Ergebnisse

Die Methode setzt in ihrer Konzeption auf eine starke Vereinfachung der realen oder potenziell realen Gegebenheiten. Auf der einen Seite soll eine möglichst einfache Anwendung ermöglicht, auf der anderen Seite die fachliche Richtigkeit und Vollständigkeit garantiert werden. Den Bogen zwischen diesen Anforderungen zu spannen, stellt sich jedoch als schwierig dar. Für eine vollständige Darstellung der Infrastrukturmaßnahme benötigt es eine Vielzahl von Bausteinen, die, wie sich zeigte, unterschiedliche Ausprägungen aufweisen müssten, um dem realen Projekt möglichst nah zu kommen. Dies würde jedoch auf Kosten der einfachen Anwendbarkeit geschehen.

Zunächst zeigen die Ergebnisse der Methodenüberprüfung, dass eine grundsätzliche Mengenausgabe möglich ist. Infolge der aufgestellten Berechnungsvorschriften ist, mit Anwendung der zuvor erwähnten Regelwerke, eine Berechnung der notwendigen zu verbauenden Massen durchführbar. Als vergleichsweise einfach stellte sich dabei die Aus- bzw. Abwahl einzelner Bauelemente heraus, welche in der Endabrechnung ausgeblendet werden können. Damit ist die Anwendung der Methode auf Teilbereiche eines Infrastrukturprojekts und nicht nur auf das gesamte Projekt möglich. Das Einfügen zusätzlicher Bausteine gestaltet sich als einfach machbar. Auch die darin notwendigen Referenzen, etwa zu den Querschnittsbreiten der Verkehrsachsen bei der Anbringung einer Fußgängerquerung, können hergestellt werden. Insbesondere für die einfachen linearen Verkehrswege ohne Knotenpunkt, wie in den Stufen 1, 2 und 3 betrachtet, lassen sich mit den erarbeiteten Berechnungsvorschriften gut darstellen.

Bei der Einarbeitung von Knotenpunkten sind Probleme zu erkennen. In der Vorbetrachtung wurden verschiedene Varianten von automatischen Knotenpunktflächen vorgeschlagen, welche zur Berechnung dienlich sein können. Die gefundene Lösung eines einfachen Rechtecks ist in der Anwendung sehr einfach, zumal die Berechnungsvorschriften klar formuliert sind. Jedoch ist zu erwarten, dass eine so berechnete Knotenpunktfläche tendenziell zu klein ist. Grund hierfür sind unter anderem die Eckausrundungen, welche in der Regel einen größeren Radius aufweisen als in der Methodenüberprüfung angenommen. Dies erweitert die Dimensionen des Knotenpunkts erheblich. Direkt darstellbar ist diese Erweiterung mit den bisherigen Berechnungsvorschriften nicht. Zur Vereinfachung wurden geometrische Formen gesucht, die eine Knotenpunktfläche darstellen können. In der Realität werden diese jedoch nicht anzutreffen sein, sondern bestenfalls eine Näherung darstellen.

Die einzubauenden Zusatzelemente lassen sich ebenfalls als Baustein einfügen. Am Beispiel der Haltestellen zeigt sich jedoch, dass einige Facetten der Planung nicht berücksichtigt werden können, beispielsweise die Einbindung und Verrechnung mit bestehenden Bausteinen (Gehweg und Radweg beim Bau von Haltestellenkaps).

Ein grundlegendes Problem der Methodenüberprüfung ist die mangelnde Vergleichbarkeit. In der Arbeit sollte ursächlich anhand von realen Projekten die Genauigkeit der Methode

überprüft werden. Alternativ wurden fiktive Projekte mit unterschiedlicher Schwierigkeit erdacht und rekonstruiert. Jedoch kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie genau die errechneten Ergebnisse sind.

8.2 Kritik an der Methode

Die Methode wurde entwickelt, um eine einfache und schnelle Kostenermittlung zu ermöglichen. Wie sich in der Entwicklung und Überprüfung zeigte, ist der Ansatz eines Bausteinsystems grundlegend möglich, auch wenn nur sehr wenige Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Jedoch zeigten sich schnell Grenzen, die eine komplexere Aufstellung der Methode nur wenig sinnvoll erscheinen lassen. Für die in der Aufgabenstellung erwähnte Leistungsphase 2 ist die Festlegung des Infrastrukturbauwerks mit Lage und Höhe im Raum gefordert, was nur mit der Arbeit mit einem digitalen Geländemodell möglich ist. Sollte die Methode diese Möglichkeit besitzen, bewegt man sich sehr schnell in einer Komplexität, die denen bereits existierender und etablierter CAD-Lösungen nahekommt. Die Konzeptionierung der Methode würde dann einer Rekonzeptionierung bestehender Softwarelösungen entsprechen und wäre nicht zielführend. Zumal hätte dies zur Folge, dass die beschriebenen Anforderungen hinsichtlich der Anwendbarkeit für fachfremde Personen nicht mehr gegeben wären.

In ihrer jetzigen Konzeption ist die Anwendung eines potenziellen Tools relativ einfach gestaltet. Grund ist die überschaubare Anzahl von Bausteinen, welche auch für fachfremde Personen verständlich sind. Dazu kommt der Bezug auf die Regelwerke und stadtindividuelle Maße als Standardwerte, sodass eine stadtfeine Detaillierung möglich ist. Die Theorie der Methode ist damit beschrieben.

Jedoch muss festgehalten, dass die Methode in ihrer Grundkonstruktion nur sehr eingeschränkt anwendbar ist. Dies resultiert aus der mangelnden Fähigkeit mit dreidimensionalen Daten umzugehen. Begründet wurde dies mit der Komplexität einer solchen Implementierung. Zudem würden damit die Grenzen zu gebräuchlichen CAD-Programmen verschwimmen, sodass die Methode keinen neuen Ansatz mehr bieten würde bzw. keinen Vorteil in der Simplizität der Anwendung hätte.

In der genaueren Definition der Bausteine zeigen sich diverse Schwierigkeiten. Grund hierfür ist die Möglichkeit der umfassenden Differenzierung jedes einzelnen Bausteins. Resultat ist dabei, dass das Angebot an Einzelbestandteilen immer umfassender wird, sodass die Einfachheit und damit die Anwendbarkeit für fachfremde Personen darunter leidet. Die stadtfeine Gliederung bietet einen Ansatz der Filterung nach relevanten Daten (beispielsweise Haltestellenausführungen, Querschnittsmaße, Bauweisen etc.), kann die Menge an Möglichkeiten jedoch nur bedingt einschränken und erfordert im Gegenzug eine wesentlich umfassendere Datensammlung.

In der Methodenüberprüfung haben sich zudem einige Schwächen gezeigt. Die nur schwer mögliche Vergleichbarkeit mit realen Projekten führt dazu, dass die Ergebnisse nicht überprüft werden können. Daher muss davon ausgegangen werden, dass der hier präsentierte Stand der

Berechnungsvorschriften nicht den Endzustand eines veröffentlichten Tools darstellen kann. Wahrscheinlich ist, dass es sich bei der Implementierung des Tools um einen iterativen Prozess handeln wird. Schwierigkeiten, welcher einer Anpassung bedürfen, zeigen sich wie folgt: Bei einfachen linearen Verkehrsprojekten ohne Knotenpunkt wird davon ausgegangen, dass sich über eine Verkehrsachse ein Querschnitt in sehr homogener Form zieht. Als realistisch ist dies jedoch nicht anzusehen. Auch bei den Knotenpunkten zeigen sich Probleme: Es wird eine einfache Rechteckform als Knotenpunktfläche angenommen, um eine Dimension für die Fläche festzulegen. Untersucht wurden verschiedene Ansätze, wie der Knotenpunktinnenraum zwischen den eingehenden Verkehrsachsen aufgespannt werden kann, ohne zu viele Eingangsdaten zu benötigen.

Diese angedeuteten Probleme weisen auf eine grundlegende Schwierigkeit hin. Für die Anwendungsphasen der Methode, beispielsweise zur Grobkostenschätzung, existieren keine festgeschriebenen Anforderungen hinsichtlich der Genauigkeit der zugrundeliegenden Planung. Es ist daher allgemein zu hinterfragen, auf welcher Basis eine Grobkostenschätzung ablaufen kann. Im Hinblick auf die mangelnde Detaillierung der Methode lässt sich sowohl ein Vorteil als auch ein Nachteil erkennen. Der Nachteil ist, dass das Ergebnis der Methode sehr wahrscheinlich nur sehr wenig mit dem zu erwartenden Endergebnis der Planung übereinstimmt. Vorteil ist jedoch, dass das Projekt bewusst offengehalten werden kann, da zum Zeitpunkt der Anwendung die notwendigen Eingangsinformationen noch nicht vollständig ausgearbeitet sein können. Mit Blick auf den gesamten Verkehrsplanungsprozess stellt die Anwendung erst den Anfang dar. Aufgrund der Vielzahl von Akteuren im Prozess bis zu einem Ergebnis sind Änderungen die Regel. Vor dem Hintergrund ist die bewusste Grobheit der Detaillierung als ausreichend anzusehen. Diese Feststellung lässt sich auch auf weitere Sachverhalte der Methode übertragen:

Inwiefern ist es vertretbar, die Verkehrsachsen zur Vereinfachung als Geraden darzustellen?
 Inwiefern ist es vertretbar, Verzierungen von Straßen- und Gleisanlagen zu vernachlässigen?
 Inwiefern ist es vertretbar, einzelne Details, beispielsweise Bordabschlüsse, auszublenden?

Diese Fragen werden in dieser Arbeit nicht geklärt werden können, da hier mit dieser Methode nur ein Ansatz bzw. eine Möglichkeit beschrieben wird.

Ein weiterer Bestandteil, welcher bisher noch nicht berücksichtigt wurde, ist eine mögliche grafische Darstellung. Dies würde die Anwendung wesentlich vereinfachen, wenn der anwendenden Person die eingestellten Gegebenheiten auch gezeigt werden können. Dies betrifft sowohl die Querschnitte als auch das Projekt an sich. Wünschenswert wäre eine Gesamtdarstellung, die einem später konstruierten Lageplan bereits ähnelt, sodass das Lesen des Ergebnisses relativ leichtfällt. Regeln bzw. Vorschriften über die Art der grafischen Darstellung sind in den RE zu finden. Die eingeführten Vereinfachungen können jedoch dafür sorgen, dass keine schlüssige Darstellung möglich ist. Als Beispiel sind die bereits erwähnten Verzierungen zu nennen, welche bisher nicht berücksichtigt werden. Grundsätzlich zeigt sich damit das Problem der

mangelnden Definition von Detaillierungsgraden, insbesondere in den frühen Planungsphasen.

Inwiefern das Ergebnis von den Akteuren, seien es Auftraggeber oder Auftragnehmer, angenommen wird, bleibt diesen überlassen. Aufgrund der starken Vereinfachung der Projekte ist die Interpretation der Aussagekraft der Ergebnisse sehr schwierig. Dies liegt auch an der mangelhaften Definition der notwendigen Detaillierung in den entsprechenden Leistungsphasen. Im Vergleich zum bisherigen Vorgehen, welches teilweise auf dem verkehrsplanerischen Bauchgefühl beruht, basiert die Methode auf einem fachbezogenen Konzept. Eine Festlegung, bis zu welchem Grad die Detaillierung erfolgen soll, kann nicht getroffen werden.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Mengenausgabe für einen Verkehrsweg ohne Knotenpunkte relativ einfach ist. Die Berechnungsvorschriften für Knotenpunkte stellen eine Schwierigkeit dar. Zum einen beruhen diese auf der Anwendung einfacher geometrischer Formen, welche in der Realität wahrscheinlich so nicht vorkommen werden. Auch die Annahme einer einheitlichen Eindeckung der Knotenpunktfläche ist zu hinterfragen. In der Realität sind Knotenpunkte meist einheitlich eingedeckt, jedoch können diverse Zusatzelemente, beispielsweise Verkehrsinseln, Einfluss auf die Gestaltung haben. In der Methode werden diese nicht abgedeckt. Die genaue Definition von Kreisverkehren wurde in dieser Arbeit vernachlässigt, da, wie beschrieben, deren Anwendung bei Projekten mit Nahverkehrsbahnanlagen sehr selten vorkommt. In diesem Fall sollte das Projekt individuell betrachtet werden.

Wahrscheinlich wird die Implementierung eines entsprechenden Tools einem iterativen Prozess entsprechen, bei dem die Berechnungsvorschriften den realen Planungsergebnissen angepasst werden müssen, bis die Mengenausgabe in einer hinreichenden Genauigkeit erfolgt. In diesem Sinne stellt die Methode eine sehr grundlegende Betrachtung dar. Die Nutzbarkeit für Nichtingenieure beziehungsweise fachfremde Personen ist gegeben. Personen mit Fachbezug wird die Anwendung wahrscheinlich als zu einfach erscheinen, da die Angabe diverser Details nicht möglich ist. Eine komplexere Aufstellung der Methode würde aber mit einer Erschwerung der Lernbarkeit der Anwendung einher gehen.

9. Fazit

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit wurden folgende Forschungshypothesen aufgestellt:

1. Der konventionelle Ansatz der Infrastrukturplanung birgt diverse Risiken und Probleme, welche mit der fortschreitenden Digitalisierung behoben werden können.
2. Die Building Information Modeling-Methode kann eine starke Vereinfachung des Planungsprozesses darstellen, besteht jedoch aktuell noch zu sehr aus Insellösungen.
3. Die Voraussetzungen für die flächendeckende Einführung der BIM-Methode als vorherrschende Planungsmethode sind hinsichtlich der Software bereits vorhanden, jedoch fehlt die Erfahrung in der Anwendung und Verknüpfung der Daten.
4. Als ersten Ansatz für eine Grobkostenschätzung kann eine Methode entwickelt werden, um erste Kostenaussagen zu einem Infrastrukturprojekt auf methodischer Basis treffen zu können.
5. Mithilfe einer Methode ist die Darstellung von Infrastrukturprojekten auf derart einfache Weise möglich, dass auch fachfremde Akteure davon Gebrauch machen können.

Die Digitalisierung ist ein schon seit einigen Jahrzehnte ablaufender und nicht endender Prozess, welcher eine zunehmende Professionalisierung, aber auch eine Erweiterung der Komplexität nach sich zieht. Dies trifft vor allem auf die zu betrachtenden Sachverhalte diverser Planungsdisziplinen, etwa die Umweltplanung, und die Einbindung unterschiedlicher Akteure zu. In diesem Zusammenhang wandelt sich die Herangehensweise an ein Projekt, auch wenn die grundlegenden Abläufe gleich bleiben. In der Arbeit stellte sich heraus, dass man zunächst nur schwer von einem konventionellen Ansatz sprechen kann. Aufgrund der fließenden Entwicklung von Softwareangeboten und die Erweiterung solcher zu immer komplexeren Konstrukten, muss man vielmehr von einem Status Quo in einem Prozess sprechen. Wie bei jedem Status Quo zeigen sich in der Infrastrukturplanung Probleme, die einen reibungslosen und vergleichsweise aufwandsarmen Prozess behindern. Diese Probleme können auf vielen Ebenen des Prozesses auftauchen und technische Unzulänglichkeiten, etwa Informationsverluste beim Datenaustausch oder unpassende Schnittstellen, kommunikative Schwierigkeiten, beschrieben wurden die auftretenden Verzögerungen oder strukturelle Probleme, etwa rechtliche Hindernisse, sein. Die fortschreitende Digitalisierung und die damit verbundene, erhoffte, Verbesserung der Angebote an Softwareprodukten und öffentlich zugänglichen Datenelementen kann nur für einen Teil der Probleme eine Lösung darstellen.

Viel Hoffnung wird in die BIM-Methode gesteckt. Dadurch versprechen sich die Akteure einen reibungsfreieren, direkteren und schnelleren Datenaustausch, sodass die technischen Probleme merklich reduziert werden. Grund hierfür ist, dass die Anforderungen an die technischen Daten und Schnittstellen zentral definiert werden sollen. Nach aktuellem Stand sind diese Standardisierungen und offen zugänglichen Angebote jedoch noch in der Ausarbeitung. Das

Grundprinzip der BIM-Methode kann theoretisch eine starke Verbesserung und Vereinfachung der Kommunikationsverhältnisse in der Infrastrukturplanung darstellen.

Nach der Strategie des BMDV (ehem. BMVI) wurden ab 2015 erste Pilotprojekte mit der BIM-Methode bearbeitet. Seitdem sind sowohl die Akteure eines Planungsprojekts als auch die Anbieter von notwendigen Softwareprodukten in einem Prozess, der die vollständige und fehlerfreie Anwendung von BIM als Ziel hat. Von Seiten der Softwareanbieter wurden in den letzten Jahren Schnittstellen eingerichtet, sodass eine Anwendung ihrer Produkte in der BIM-Methode möglich ist. Inwiefern damit das Problem des Informationsverlustes bei der Datenübergabe gelöst ist, konnte nicht geklärt werden, jedoch ist dahingehend noch von Problemen auszugehen. Zur BIM-Methode gehört auch die Vereinheitlichung von Definitionen, etwa was Objektklassen und Bausteine der Planung angeht. Dahingehend zeigen sich noch akute Lücken. In der Arbeit wurde beschrieben, dass das Portal BIM DEUTSCHLAND einen Objektkatalog anbieten will, der eine Informationsangabe von Objekten auf einheitlicher Basis ermöglicht. Stand Anfang 2023 ist dieser jedoch noch in Arbeit.

Es bleibt jedoch zu hinterfragen, inwiefern die BIM-Methode zu einer Zusammenfassung von Funktionen in wenigen Softwareprodukten mündet. Das Risiko von Insellösungen, auch wenn diese miteinander interagieren können und ein informationsverlustfreier Datenübergang möglich ist, besteht weiterhin. Jedoch muss dies nicht unbedingt ein Problem darstellen, sofern die Interaktion der Angebote funktioniert. Verbunden ist die Beschaffung der Softwareprodukte jedoch weiterhin mit einem hohen finanziellen Aufwand, sodass deren Anwendung meist auf die spezialisierten Planungsunternehmen beschränkt bleibt.

Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Arbeit eine Methode entwickelt, die eine starke Vereinfachung von Infrastrukturbauwerken und dennoch eine möglichst genaue Mengen- und damit Kostenermittlung ermöglicht. Es wurde gezeigt, dass dies grundsätzlich möglich ist, jedoch auch, dass damit erhebliche Probleme verbunden sind. Ein Teil der Probleme bezieht sich auf die unklare Definition von Anforderungen im Vorfeld einer Bewerbung auf eine Planungsleistung. Die dafür durchzuführenden Grobkostenschätzungen sollen einen groben Kostenwert für ein Infrastrukturprojekt angeben, jedoch zeigt sich, dass dafür eine umfassende und zugängliche Datengrundlage erforderlich ist. Ein weiteres Problem stellt die Kostenaussage vor dem Hinblick der langen Projektlaufzeiten dar, sodass deren Richtigkeit hinterfragt werden kann. Die Methode stellt aufgrund ihrer starken Vereinfachung kein reales Abbild dar, sondern lediglich eine Skizze der vorgesehenen Gegebenheiten. Es ist daher nicht zu erwarten, dass das Ergebnis der Methode, mit den aktuell aufgestellten Berechnungsvorschriften, mit der Realität übereinstimmt. Die Erarbeitung eines rechentechnischen Tools auf Basis der Methode wird daher einen iterativen Prozess darstellen.

Die vorher aufgestellte Anforderung, dass auch fachfremde Akteure die Methode anwenden können, sollte soweit erfüllt sein. Es wurde versucht, die Anzahl an Bausteinen möglichst gering und diese verständlich zu halten. Dennoch steckt hinter diesen teilweise eine Vielzahl an Auswahlmöglichkeiten über mögliche Ausführungen hinsichtlich Bauart, Dimensionen etc., welche

Kenntnisse über die geforderten Eigenschaften der Bauelemente erfordert. Hinsichtlich der zu erwartenden Kosten für die Beschaffung der Anwendung können keine Angaben gemacht werden. Grundlegend bleibt aber festzuhalten, dass sich das Feld potenzieller anwendender Akteure nicht nur auf Planungsbüros mit entsprechender vorher bestehender Expertise beschränkt. Dies kann als Stärke der Methode angesehen werden.

10. Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war die Beschreibung einer Methode zur vereinfachten Kostenbestimmung einer Infrastrukturmaßnahme mit dem Fokus auf Nahverkehrsbahnanlagen. In der Recherche wurden die Grundlagen des Verkehrsplanungsprozesses sowie der aktuelle Stand der Implementierung der BIM-Methode in der Infrastrukturplanung dargelegt. Die in der Aufgabenstellung angesprochenen Insellösungen konnten dahingehend ausfindig gemacht werden, dass für die Bearbeitung eines Projekts eine große Anzahl von Softwarelösungen und dementsprechend Schnittstellen notwendig sind. Insbesondere das Einlesen bestehender Dateien in Softwareprodukte, die nicht denen entsprechen, mit denen die Dateien erstellt wurden, ist häufig mit einem Informationsverlust verbunden. Dies führt nicht dazu, dass die Planungsaufgabe nicht erfüllt werden kann, sondern, dass für eine fachlich richtige Planung ein hoher Zeit- und Arbeitsaufwand betrieben werden muss. Jedoch zeigt sich, dass der Prozess der technischen Fortentwicklung im Planungsprozess voran geht und immer mehr Informationen und Daten für eine BIM-konforme Planung zur Verfügung stehen. Dies können beispielsweise die konsequentere Definition von Begriffen oder die Bereitstellung einheitlicher Informationsformate (Definitionen von Bauelementen) sein. Im Vergleich zum Hochbau zeigt sich, dass der Infrastrukturbau in seinen Möglichkeiten zur Automatisierung bzw. Teilautomatisierung von Planungsleistungen sehr rückständig ist.

Zudem zeigen sich Lücken in der HOAI im Umgang mit den wachsenden Anforderungen an die Planung und die Verschiebung von notwendiger Arbeitsleistung unter den Leistungsphasen. Es wurde angeführt, dass das Grundkonzept der HOAI, Honorare auf Basis von Projektkosten und Schwierigkeiten zu ermitteln, aus diversen Gründen nicht sinnvoll erscheint. Das liegt zum einen an der Entwicklung von Projektkosten im Laufe der Projektbearbeitung, beispielsweise kann sich aufgrund von Baukostenentwicklungen oder politischen Entscheidungen der Projektumfang ändern, sodass zu keinem Zeitpunkt eine realistische und seriöse Einschätzung über die resultierenden Kosten gegeben werden kann. Zum anderen ist zu hinterfragen, inwiefern die Kopplung des Honorars an die Projektdimensionen überhaupt sinnvoll sind, da diese nicht direkt den erforderlichen Planungsaufwand widerspiegeln, sondern lediglich einen Anhaltspunkt bieten. Des Weiteren wird die Einführung der BIM-Methode für Veränderungen in der Struktur einer Projektplanung sorgen. So müssen folglich Kompetenzen, beispielsweise die Projektkoordination, anders aufgestellt werden und die Anforderungen an zu liefernde Daten ändern sich. Eine solche Verschiebung der Aufgaben und Anforderungen ist mit der aktuellen HOAI nicht darstellbar.

Die Methode soll eine Möglichkeit der Kostenbestimmung eines Infrastrukturprojekts darstellen, ohne dabei eine kostenintensive CAD-Anwendung zu gebrauchen. Vorteil ist dabei, dass sich das Feld der anwendenden Personen nicht nur auf spezialisierte Ingenieurbüros beschränkt, sondern auch Akteure in den Kommunen ohne Vorkenntnisse zum Umgang mit

digitalen Geländemodellen oder Planungsrichtlinien die Möglichkeit der Anwendung haben. Voraussetzung ist die Umsetzung in einem Tool.

10.2 Ausblick

Umsetzung der Methode als Tool

Der Grundgedanke hinter der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Tools, welches die Ermittlung von Kosten einer Infrastrukturbaumaßnahme mit Fokus auf Nahverkehrsbahnanlagen ermöglichen soll. Als Grundlage wurde eine Methode entwickelt, die mithilfe eines Bausteinsystems die Konstruktion der Maßnahme wiedergibt und gleichzeitig die Anforderungen hinsichtlich einer einfachen Anwendung und dennoch fachlichen Richtigkeit erfüllt. Die Entwicklung des Tools auf rechentechnischer Basis wurde in dieser Arbeit jedoch nicht begonnen. Grund sind die zuvor noch zu klärenden Fragen, welche dem Fachbereich der Informatik zuzuordnen und daher von anderer Seite besser zu beurteilen sind. Die betrifft zunächst Fragen der Programmiersprache. Dabei kann diskutiert werden, ob es sinnvoller ist das Tool als Teil einer bestehenden Software zu organisieren oder als unabhängige Anwendung zu etablieren. Bei letzterer gibt es ebenso mehrere Möglichkeiten zur Umsetzung, sei es als Internettool, welches über den Browser angewandt wird, oder als eigenständige Software. Für ein eigenständiges Softwareprodukt müsste die Art der technischen Umsetzung, beispielsweise welche Programmiersprache zum Einsatz kommen soll, geklärt werden. Auch wurden noch keine Aussagen zu einem möglichen Interface des Tools erwähnt. Dies wird auch abhängig von einer potenziellen Einbindung in bestehende Software sein. Die in der Arbeit erwähnten Vorbilder *streetmix.net* und *de.remix.com* bieten dafür Ansätze, jedoch können aufgrund der Erweiterung um eine Dimension als Methode sie nicht 1:1 umgesetzt werden. Es gilt daher eine eigene Lösung zu finden. Nachteil einer Anbindung an bestehende Software, entweder als Feature in einer CAD-Software oder in einer AVA-Software, ist der Preis der Anschaffung des zugrundeliegenden Programms. Im Gegensatz dazu wäre eine eigenständige Software sicherlich ebenso kostenpflichtig, wahrscheinlich jedoch in weitaus geringerem Maße. Aufgrund der Simplizität der Anwendung und der geringeren Kosten ist zu überlegen, wer als Zielgruppe in Frage kommt. Es bietet sich an auch fachfremde Personen einzubeziehen. Es ist nur schwer abzuschätzen, welche Auswirkungen dies auf den Planungsprozess selbst hat. So könnte es für die Auftraggeber, im häufigsten Fall die Kommunen, möglich sein mit geringem Aufwand erste Kostenaussagen über mögliche Verkehrsprojekte zu treffen und auf relativ einfache Art verschiedene Möglichkeiten und Varianten zu erproben. Die Verantwortung und Initiative der Planung könnte sich damit wieder von den Fachbüros zu den Kommunen verschieben. Insbesondere im Hinblick auf den Fachkräftemangel in der Ingenieursbranche wäre damit ein Ansatz gegeben, Arbeitskapazitäten freizuschaffen. Für die Kommunikation zwischen den Akteuren einer Planung bietet sich der Vorteil einer besseren fachlichen Transparenz und einer früheren Einbindung aller Beteiligten.

Zudem ist eine interdisziplinäre Erweiterung der Methode denkbar. Der Kreis potenzieller Nutzer würde dadurch massiv erweitert werden. Neben den Bahnen nach BOStrab kann auch die

Anwendung auf Bahnen nach EBO überlegt werden. Für eine solche Umsetzung ist das Einarbeiten der geltenden DB-Richtlinien für die Infrastruktur notwendig. Die Anforderungen an ein solches Infrastrukturprojekt werden sich wahrscheinlich von denen für Nahverkehrsbahnanlagen unterscheiden, so sind die Bausteine der Straßenverkehrsplanung dahingehend überflüssig, jedoch kann das gleiche Grundprinzip der Skizzenmethode angewendet werden. Ergänzungen müssten dann hinsichtlich der Bausteine und Bauelemente, beispielsweise auf Basis des Kostenkennwertekatalogs der Deutschen Bahn, und der technischen Ausstattung (Leit- und Sicherungstechnik) vorgenommen werden. Als Beispiel für eine Erweiterung der Differenzierung bereits bestehender Bausteine sind zudem die unterschiedlichen Formen von Bahnsteigen oder andere Unterbauvorschriften aufgrund höherer Achslasten zu nennen. Neben der Weiterentwicklung der Methode in Richtung der Eisenbahnplanung sind auch die Bausteine der Straßenplanung genauer zu definieren. Als Beispiel für eine fehlende Definition wurden bereits mehrfach Kreisverkehre angebracht.

Datenverfügbarkeit und Datensammlung

Wie bereits beschrieben ist die Frage nach der Verfügbarkeit der Kostenkennwerte zentral. Gezeigt wurde, dass die Methode für eine Mengenausgabe brauchbar ist. Eine Kostenaussage ist jedoch nur mit Kostenkennwerten möglich. Bereits angesprochen wurden die Möglichkeiten zur Beschaffung dieser Daten auf externer oder interner Basis. Eine Herausforderung ist die Datenhaltung, sodass diese ständig auf dem aktuellen Stand sind. Sinnvoll erscheint daher eine zentrale Verwaltung einer Datenbank, welche sich um die Datenpflege kümmert. Die von privater Seite bestehenden Angebote, beispielsweise DBD-Bim, stellen dahingehend eine zuverlässige Quelle dar, da die Datenhaltung eben das Geschäftsmodell des Unternehmens ist. Sollten die Daten frei zugänglich sein, beispielsweise nach dem Big-Data-Ansatz, kann zumindest angezweifelt werden, ob die Qualität der Daten dadurch verbessert wird, da der geschäftliche Zweck entfällt. Ähnlich der Datensammlung der Geodaten könnte ein Landes- oder Bundesamt die Verwaltung der Daten übernehmen. Dennoch sollte eine Konkurrenz dazu zugelassen werden, was einen Zwiespalt darstellt: Zum einen soll eine gemeinsame Datengrundlage geschaffen werden, zum anderen sollten die Software- und Datenangebote möglichst offen und variabel gehalten werden. Für die Unterhaltung des Tools und der Daten ist Arbeitszeit und Arbeitskraft notwendig. Eine unentgeltliche Nutzung ist daher nur schwierig umzusetzen, eine Honorierung erscheint als angemessen. Dennoch finden sich auch allgemeinverfügbare Angebote, die auf unentgeltlicher Basis erstellt wurden. Als Beispiel ist OpenStreetMap.org zu nennen. Die darin hinterlegten Daten können von angemeldeten Mitgliedern frei eingearbeitet werden und sind für diese auch frei zugänglich. Von diesem netzwerklichen Denken profitieren die Mitglieder, indem die Daten kostenlos zur Verfügung stehen. Trotz dieses Vorteils ist eine Kontrollebene notwendig, um die Richtigkeit der Daten überprüfen zu können.

Nicht nur die Kostenkennwerte, sondern die eingespeicherten Standardwerte stellen eine Herausforderung dar. Wie in der Arbeit aufgezeigt sind unter den Städten diverse Unterschiede hinsichtlich der Standardausführungen der Verkehrswege zu beobachten. Insbesondere in der Ausführung der Straßenbahninfrastruktur sind selten einheitliche Lösungen vorzufinden. Eine

stadtfeine Vorauswahl ist daher sinnvoll, um die Unterschiede über Voreinstellungen zu umgehen, was für die anwendende Person die Arbeit vereinfachen soll. Darüber hinaus wäre die Erweiterung des Untersuchungsgebiets über die nationalen Grenzen hinaus anzudenken. Die Grundbausteine eines Verkehrsweges sind in allen Ländern gleich, wenn nicht noch welche ergänzt werden müssen, und unterscheiden sich lediglich in den Standardmaßen. Dahingehend ist die Methode universell einsetzbar. Dies könnte mit einem zur Stadtauswahl hinterlegten Ländercode ermöglicht werden. Doch auch in diesem Punkt ist die Datenverfügbarkeit zu beachten. Die stadtspezifischen Daten müssen gesammelt und regelmäßig aktualisiert werden. Aufgrund der Menge an Daten ist dies wohl nur in Kooperation mit den Kommunen und Betrieben möglich.

Ebenso im Text bereits angedeutet muss die Frage der Datengrundlage geklärt werden. Es wurden Vorschläge gemacht, welche auf dem bewährten Vorgehen mit eigenen Erfahrungswerten und extern gesammelten Daten bestehen oder auch der Ansatz Big Data wurde eingebracht. Letzterer ist sinnvoll, um die Datengrundlage für alle Unternehmen auf einen Stand zu bringen und deren Richtigkeit sicherzustellen. Dies würde die Fairness im Wettbewerb verbessern. Zudem passt es in den Trend, dass Daten zunehmend freier zugänglich werden und gegebenenfalls von Auftraggebern bereits vollständig zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere die Diskussion um die Kostenkennwerte würde somit geklärt werden. Auf welcher Basis diese Big Data-Datensammlung erstellt werden würde, muss anderweitig geklärt werden. Die bisherigen Lösungen, beispielsweise DBD-Bim, sind in ihrer Anschaffung und Nutzung noch mit hohen Kosten verbunden. Diese sind für private Unternehmen auch notwendig, um den Aufwand der Datensammlung entsprechend zu honorieren. Auf entsprechende Schnittstellen sollte in der Umsetzung als Tool geachtet werden. Eine weitere Arbeit würde daher eine rechentechnische Konzeption untersuchen müssen.

Datenaktualität

Der angebrachte Kritikpunkt der Kostenentwicklung und die mangelhafte Darstellung potenzieller preislicher Entwicklungen stellt ein Problem dar. Aufgrund von Verzögerungen in der Planung oder langen Umsetzungszeiträumen ist das Ergebnis einer Kostenschätzung oder Kostenrahmenbestimmung nur selten mit dem Endergebnis übereinstimmend. Es ist zu überlegen, inwiefern der Zeithorizont eines Projekts als Baustein eingebracht werden kann. Dafür wäre zu überlegen, auf welcher Basis eine zu prognostizierende Kostenentwicklung bestimmt wird. Die Aussage über die Kosten, welche aus der Anwendung der Methode getroffen werden können, können nur darstellen, was das Projekt kosten würde, wenn es zum Zeitpunkt der Untersuchung umgesetzt werden würde. Nimmt man aber einen Umsetzungszeitraum von beispielsweise zehn Jahren an, so müssten die Kostenkennwerte auf die zu erwartenden Werte hochgerechnet werden. Eine solche Abschätzung der Kostenkennwertentwicklung ist jedoch sehr schwierig. Neben der allgemeinen Annahme, dass die Kosten in einem gewissen Maße steigen werden, sind die Preise auch abhängig externer Ereignisse. In der Arbeit wurde für das Jahr 2022 der Krieg in der Ukraine als Beispiel für einen Preistreiber für Kraftstoff angeführt. Solche Ereignisse sind nicht vorhersehbar. Eine Hochrechnung von Kostenkennwertdaten für einen

langen Zeitraum erscheint daher, obwohl für die Auftraggeber sicherlich wünschenswert, als nicht seriös umsetzbar. Als Ansatz für die Reduzierung der nicht vorhersehbaren Kosten ist daher die Verkürzung der Projektplanungs- und Umsetzungszeit anzusehen. Der Einbau eines Bausteins zur Berücksichtigung des zeitlichen Umsetzungshorizont wird daher als nicht sinnvoll erachtet. Realistisch betrachtet stellt sich auch das Problem, dass ein Planungsunternehmen, welches hochgerechnete Kostenwerte annimmt, wahrscheinlich höhere Projektkosten annimmt und damit den Auftrag nicht gewinnen wird. Dahingehend ist auch die HOAI zu kritisieren. Zudem besteht die Abhängigkeit von den später abgegebenen Angeboten der Baufirmen für die Umsetzung des Baus.

Datenausgabe

Zu klären ist die Form, in welcher die ermittelten Mengen ausgegeben werden. Einfachste Lösung wäre die Ausgabe als Tabelle, welche in einem AVA-Programm eingelesen werden kann. Diese können die eingehenden Daten in ein Leistungsverzeichnis umschreiben, welches beispielsweise auf Basis des StLB-Baus (Standardleistungsbuch Bau) erstellt wird. Jedoch ist zu beachten, dass das Leistungsverzeichnis nach StLB-Bau nicht als Standard festgelegt ist, also auch andere Formen eines LVs gefordert sein können, und dass die Anschaffung eines AVA-Programms mit hohen Kosten verbunden ist. Das schränkt die Anwendung eines Tools ein. Daher wird vorgeschlagen auch die Ausgabe eines Leistungsverzeichnisses durch das Tool selbst zu ermöglichen.

Die Genauigkeit der Bausteine als solche kann ebenso hinterfragt werden. Da keine expliziten Genauigkeiten gefordert werden, ist es schwer festzulegen, wie tief die Detaillierung gehen muss, um ein verwendbares Ergebnis zu erzielen. Am Beispiel der Lichtsignalanlagen lässt sich dies verdeutlichen: Ein Mast mit drei Signalgebern wird sehr wahrscheinlich günstiger sein als ein Mast mit fünf Signalgebern. Im Vergleich ist jedoch zu hinterfragen, inwiefern dieser Unterschied relevante Auswirkungen auf das Gesamtergebnis hat, zumal zum Zeitpunkt der Anwendung die Eingangsinformationen nur einen geringen Umfang haben und die genaue Dimensionierung der Anlage erst mit der Berechnung der Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes festgelegt wird.

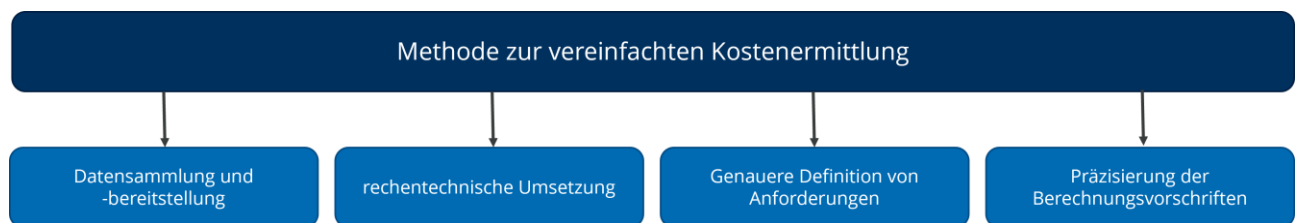


Abbildung 45: Darstellung der folgend notwendigen Untersuchungen für ein funktionsfähiges Tool

Zu diskutieren ist zudem, inwiefern die Erweiterung der Methode um einen Variantenvergleich sinnvoll ist. Bei einem Variantenvergleich können grundsätzlich unterschieden werden: Unterschiedliche Ausführungen der gleichen Verkehrsachsen oder die Untersuchung unterschiedlicher Korridore. Für den Vergleich von Korridoren wird normalerweise eine Kosten-Nutzen-

Analyse durchgeführt (Klaus, 1984, S. 37). Dabei werden die Kosten und Nutzwerte unterschiedlicher Ausführungen/Korridore unterschieden. Mithilfe der Methode lassen sich, angenommen die Kostenkennwerte sind vorhanden, die entstehenden Kosten miteinander vergleichen. Problematisch ist jedoch die Ermittlung der Nutzwerte. Sofern nur Querschnittsvarianten untersucht werden, ist ein solcher Vergleich wenigstens im Ansatz möglich. Es kann beispielsweise angenommen werden, dass sich aus allen Varianten ein ähnlicher, wenn nicht gleicher, Nutzwert ergibt. Praktisch werden bei den Nutzwerten dennoch Unterschiede festzustellen sein. Beispielsweise kann die Führung einer Straßenbahn auf unabhängiger Trasse eine andere Verkehrswirkung besitzen als eine solche mit straßengebundenem Oberbau. Ein weiterer Ansatz wäre, aus den Kosten eines Querschnitts automatisch neue Vorschläge zu generieren. Dabei können die Anforderungen festgelegt werden und beispielsweise auf Basis der von den RAST festgelegten Querschnitte ein System entwickelt werden, welches Alternativen anzeigt und die Kostensätze miteinander vergleicht. Dies wäre dem Back-Engineering anzurechnen.

Verzeichnis der Quellen

Literaturverzeichnis

- ADFC Dresden e.V. (Hrsg.). *DVB-Standardhaltestellen*. Zugriff am 06.12.2022. Verfügbar unter: <https://www.adfc-dresden.de/index.php/verein/138-radverkehr/2346-dvb-standardhaltestellen>
- AKG Software (Hrsg.). *Vestra INFRAVISION. Flexibler arbeiten: Ein System – mehrere CAD-Plattformen!* Zugriff am 27.12.2022. Verfügbar unter: https://www.akgsoftware.de/fileadmin/user_upload/PDFs/AKG_VESTRA_INFRAVISION_A4.pdf
- Basha, A. (2022, August). *Erarbeitung einer Methode zur parametrischen Verschiebung von Zwangspunkten in Straßenkreuzungsbereichen*. Bachelorarbeit. Technische Universität, Braunschweig.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hrsg.). (2012). *Richtlinie zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau*. RE.
- BMVI (Hrsg.). (2012). *Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau*. RE.
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). (2015). *Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*, planen-bauen 4.0 - Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). (2020a). *Datenaustausch mit Industry Foundation Classes. Handreichungen und Leitfäden - Teil 9*, Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: <https://bim4infra.de/handreichungen/>
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg.). (2020b). *Grundlagen und BIM-Gesamtprozess. Handreichungen und Leitfäden – Teil 1*, Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: <https://bim4infra.de/handreichungen/>
- Breddehorn, J., Dohmen, P., Heinz, M., Liebsch, P. & Sauter, H.-P. (Drees & Sommer AG & vrame Consult GmbH, Hrsg.). *LOD / LOI – Informationen zur Detaillierungs- und Informationstiefe BIM. Ein Dokument des BIM Praxisleitfaden 1.0*. www.bim-blog.de. Zugriff am 17.12.2022. Verfügbar unter: <https://bauen-digital.ch/assets/Uploads/1604-Dreso-LOD-LOI-Definitionen-v1-0-neu.pdf>
- Bundeskartellamt (Hrsg.). (2022, Dezember). *Tagesdurchschnittspreise von Super und Diesel in Deutschland vom 1. Januar 2021 bis zum 04. Dezember 2022*. Zugriff am 15.12.2022.

Verfügbar unter: <https://de-statista-com.wwwdb.dbod.de/statistik/daten/studie/1299261/umfrage/tagesdurchschnittspreise-von-kraftstoffen-in-deutschland/>

Bundesregierung. (2021). Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und Ingenieure 2021. HOAI. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: <https://www.hoi.de/hoai/volltext/hoai-2021/>

DIN 276:2018-12. *DIN 276*. Berlin: BEUTH Verlag GmbH.

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.). *STLB-BauZ, Prospekt*, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: <https://storageaccountdbdweb.blob.core.windows.net/uploads/e5c8d870-26dc-4783-bc17-65f9a7fb4272-STLB-BauZ-Prospekt.pdf>

Dölling.. *Vorlesung Fahrleitungen Kapitel 1*. Vorlesung. Technische Universität Dresden, Dresden.

Dynamische BauDaten (Dr. Schiller & Partner GmbH, Hrsg.). (2021). *DBD-BIM. Inhalt der Pakete*. Paket: Hochbau / Tiefbau / Freianlagen, Dynamische BauDaten. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: https://www.dbd-bim.de/App_Themes/BIM/doc/DBD-BIM_Inhalt_der_Pakete_2021-04.pdf

Dziemba, J., Wogan, M. & Berger, M. (2022). Zum Stand der BIM-Implementierung in der Straßenplanung. Einleitung - Aufgabenstellung - Umfrage - Fazit - Ausblick. *Verkehr und Technik*, (05), 179-186. Verfügbar unter: <https://vtdigital.de/ce/zum-stand-der-bim-implementierung-in-der-strassenplanung/detail.html>

FGSV (Hrsg.). *Richtlinien für die Markierung von Straßen. RMS-1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen*.

FGSV (Hrsg.). (2006). *RASt. Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen*. FGSV 200.

FGSV (Hrsg.). (2012). *RStO. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus*. FGSV 499.

FGSV (Hrsg.). (2013). *EAÖ. Ergänzungen für Anlagen des öffentlichen Personenverkehrs*. 289.

FGSV (Hrsg.). (2018a). *Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse. EVP*.

FGSV (Hrsg.). (2018b). *EVP. Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse*. FGSV 116.

Hasselmann, W. & Schramm, C. (Hrsg.). (2020). *Normengerechtes Bauen nach DIN 276DIN 277. Baukosten Wirtschaftlichkeit Haftung* (21., aktualisierte und erweiterte Auflage). Köln: RM Rudolf Müller.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (Hrsg.). (2021). *BIM im Verkehrswegebau. Forderungen der Bauindustrie*. Zugriff am 05.09.2022. Verfügbar unter: <https://www.bauindustrie.de/pm/bim-verkehrswegebau-version-20-online>

Kappis, C., Schreiter, H. & Reichenbacher, K. (2015). Grünes Gleis - Stand und Überblick. Ein Beitrag des Grüngleisnetzwerks. *Eisenbahntechnische Rundschau*, (6).

- Klaus, J. (1984). *Entscheidungshilfen für die Infrastrukturplanung. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Analyse und Bewertung öffentlicher Projekte* (Schriften zur Öffentlichen Verwaltung und Öffentlichen Wirtschaft, Bd. 75). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- OKSTRA. *Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen*. Fachbedeutung für "allgemeine Geometrieobjekte". (2021).
- Pöppelbaum, M. (2022, 27. Juli). *Integration des vollständigen Kostenkennwertekatalogs der Deutschen Bahn zur automatisierten Kostenauswertung von Bahnanlagen in einer BIM-Software*. Studienarbeit. Technische Universität, Dresden.
- Rösel, W., Busch, A. & Rode, B. (2020). *AVA-Handbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29522-6>
- Schneider, M. (2021, 25. März). *Entwurf von Standardquerschnitten und Entwicklung eines Leitfadens zur Vorplanung von Straßenbahnprojekten gemäß BIM-Prozess*. Bachelorarbeit. Technische Universität, Braunschweig.
- Stadt Braunschweig (Hrsg.). (2022). *Kompaktbericht Stadt.Bahn.Plus. Stadtbahnausbau Braunschweig Zielnetz 2030*. Verfügbar unter: <https://www.stadt-bahn-plus.de/infomaterial>
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. (1995). *Oberbau-Richtlinien und Oberbau-Zusatzrichtlinien (OR/OR-Z) des VDV für Bahnen nach der BOStrab*. Köln: VDV (VDV-Schrift 600).
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. (2018). *Oberbau-Richtlinien und Oberbau-Zusatzrichtlinien (OR/OR-Z) des VDV für Bahnen nach der BOStrab*. Köln: VDV (VDV-Schrift 600).
- Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen. BOStrab.
- Webeler, G., Summa, H. & Klaeser, J. (2014). *Vergabe von Planungsleistungen. Mit kommentiertem Mustervertrag*. Berlin: De Gruyter.
- Wons, B. D. (2022, März). *Untersuchung zur digitalen Überarbeitung der Regelwerke für die innerstädtische Straßen- und Straßenbahninfrastrukturplanung*. Bachelorarbeit. Technische Universität, Braunschweig.
- Zschweigert, M. (1982). *Bahnanlagen des Nahverkehrs. Eisenbahnbau* (1. Aufl.). Berlin: Transpress. Verfügbar unter: http://slubdd.de/katalog?TN_libero_mab22412206 ER -

Selbstständigkeitserklärung

Hierdurch erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage eingereichte Diplomarbeit selbstständig verfasst und andere als die angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Dresden, 10.02.2023

.....
Unterschrift des Diplomanden