

BERICHT

Nutzen-Kosten-Untersuchung für die Teilautomatisierung auf Abschnitten der U-Bahn-Linien U2 und U4 in Hamburg nach dem Verfahren 2016+ der Standardisierten Bewertung

Auftraggeber:

Hamburger Hochbahn AG
Steinstraße 20
20095 Hamburg

Auftragnehmer:



PTV
Transport Consult GmbH
Stumpfstr. 1
76131 Karlsruhe

Im Unterauftrag:

TransportTechnologie-Consult Karlsruhe
GmbH (TTK)
Durlacher Allee 73
76131 Karlsruhe

Karlsruhe, 17.02.2025

Dokumentinformationen

Kurztitel	Standardisierte Bewertung Teilautomatisierung U2 / U4 (GoA2)
Auftraggeber	Hamburger Hochbahn AG Steinstraße 20 20095 Hamburg
Auftrags-Nr.	
Auftragnehmer	PTV Transport Consult GmbH in Unterauftrag: TransportTechnologie-Consult Karlsruhe
Bearbeitungsteam	PTV Transport Consult GmbH:  Im Unterauftrag; TransportTechnologie-Consult Karlsruhe: 
PTV-Projekt-Nr.	TC5000538
Erstellungsdatum	01.10.2024
zuletzt gespeichert	17.02.2025

Inhalt

1	Ausgangssituation und Einordnung des Vorhabens.....	8
1.1	Ausgangssituation Ziele der Maßnahme	8
1.2	Einordnung des Vorhabens in die übergeordnete Planung.....	9
2	Bewertungskonzept und Beteiligung	10
2.1	Bewertungskonzept	10
2.2	Beteiligung im Abstimmungsprozess	10
3	Beschreibung des Investitionsvorhabens	11
3.1	Technische Beschreibung des Vorhabens.....	11
3.2	Bauzeit und Realisierung	11
3.3	Investitionen in die Infrastruktur	12
3.4	Vorläufige Finanzierungsübersicht.....	12
4	Informationen zum Verkehrsmodell.....	13
4.1	Verkehrsmodell.....	13
4.2	Verkehrszellen im Untersuchungsraum.....	13
4.3	Strukturdaten im Analyse- und Prognosezustand.....	15
5	Verkehrsangebot	18
5.1	ÖPNV-Angebot im Analysezustand	18
5.2	Geplantes ÖPNV-Angebot im Ohne- und Mitfall.....	18
5.3	Fahrzeugtypen der betroffenen Linien.....	20
5.4	ÖPNV-Qualitätskriterien	20
5.5	Verkehrsangebot MIV	20
5.5.1	MIV-Reisezeiten und Reiseweiten	20
5.5.2	Parkraumverfügbarkeit.....	21
6	Fakultativer Modellbaustein Betriebsqualität	22
6.1	Vorgehensweise	22
6.2	Modellaufbau und Pünktlichkeitsanalyse Analysefall.....	24
6.3	Modellanpassungen und Pünktlichkeitsanalyse Ohne- und Mitfall	30
6.4	Ergebnisse	32
6.5	Übernahme der Ergebnisse die Bewertung der Teilautomatisierungsabschnitte der U2 und U4	37

7	Verkehrsnachfrage	39
7.1	Verkehrsnachfrage im Analyse- und Ohnefall	39
7.1.1	Verkehrsnachfrage im Analysezustand	39
7.1.2	Methode der Prognose vom Analyse- zum Ohnefall	41
7.1.3	Verkehrsnachfrage im Ohnefall	42
7.2	Verkehrsnachfrage im Mitfall	45
7.2.1	Methode der Prognose vom Ohnefall zum Mitfall	45
7.2.2	Ergebnisse der Nachfrageprognose	45
7.2.3	ÖV-Umlegung und Angebotsdimensionierung im Mitfall	46
8	Nutzen und Kosten der Maßnahme	49
8.1	Fahrgastnutzen	49
8.2	Nutzen aus ÖPNV-Fahrgeld	49
8.3	Umweltfolgen MIV	50
8.4	Änderung der ÖPNV-Betriebskosten	50
8.5	Kapitaldienst und Unterhaltungskosten ÖV-Fahrweg	51
8.6	Änderung der Unfallfolgen	52
8.7	Treibhausgasemissionen für die Streckeninfrastruktur	52
8.8	Saldo der Umweltfolgen	52
8.9	Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch	53
8.10	Primärenergieverbrauch	53
9	Bewertungsergebnis	55
10	Zusammenfassung	57
11	Anlagen	58
11.1	Haltestellenkürzel	58
11.2	Formblätter der Standardisierten Bewertung	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eckwerte Strukturdatenentwicklungen in Hamburg _____	15
Tabelle 2:	Übersicht Analysefall, Ohnefall und Mitfall für die Betriebssimulation _____	24
Tabelle 3:	Verspätungszuwachs im Mit- und Ohnefall _____	35
Tabelle 4:	Nachfrageänderungen im Ohnefall durch das Deutschlandticket _____	42
Tabelle 5:	Dimensionierungsprüfung im Ohnefall _____	44
Tabelle 6:	Dimensionierungsprüfung im Mitfall _____	48
Tabelle 7:	Bewertungsergebnisse – Nutzen-Kosten-Indikatoren _____	55

[zusätzlich: Formblätter in Kapitel 11.2]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Taktlichten auf dem Liniennetz der Hamburger Hochbahn AG	9
Abbildung 2: Übersichtsplan (Quelle: HOCHBAHN)	11
Abbildung 3: Verkehrszellen im Untersuchungsraum	14
Abbildung 4: Verkehrszellen im engeren Untersuchungsgebiet	15
Abbildung 5: Neubauentwicklung Horner Geest	16
Abbildung 6: Neubauentwicklung Grasbrook (Quelle: HafenCity Hamburg GmbH)	17
Abbildung 7: Fahrplankonzeption Ohne- und Mitfall	19
Abbildung 8: Parkraumverfügbarkeit	21
Abbildung 9: Vorgehen Modellbaustein Betriebsqualität	23
Abbildung 10: Schritte zum Modellaufbau und zur Pünktlichkeitsanalyse im Analysefall	24
Abbildung 11: HVZ (links) und NVZ (rechts) der ITCS-Daten	25
Abbildung 12: Beispielhafte Verteilung Haltestellenaufenthaltszeit	25
Abbildung 13: Beispiel Beförderungszeiten U2 Mümmelmannsberg – Christuskirche	26
Abbildung 14: Ergebnisse Auswertung ITCS-Daten der U2	26
Abbildung 15: Ergebnisse Auswertung ITCS-Daten der U4	27
Abbildung 16: Taktfahrplan Ist 2019	27
Abbildung 17: Vorgehen Kalibrierung Fahrzeiten	28
Abbildung 18: Kategorisierung der Haltezeiten	29
Abbildung 19: Beispielhafter Vergleich der Beförderungszeit	30
Abbildung 20: Schritte zu Modellanpassungen und Pünktlichkeitsanalyse	30
Abbildung 21: Fahrplankonzeption Ohne- und Mitfall	31
Abbildung 22: Taktschema für Ohne- und Mitfall	31
Abbildung 23: Verspätungszuwachs U2 CH-MG	32
Abbildung 24: Verspätungszuwachs U2 MG-CH	33
Abbildung 25: Verspätungszuwachs U4 EB-DA	33
Abbildung 26: Verspätungszuwachs U4 DA-EB	34
Abbildung 27: Ankunftsverspätung U2 CH-MG	36
Abbildung 28: Ankunftsverspätung U2 MG-CH	36
Abbildung 29: Ankunftsverspätung U4, EB-DA	36
Abbildung 30: Ankunftsverspätung U4, DA-EB	37

Abbildung 31: Linie U2 - Taktfolgezeit und Ankunftsverspätung im Ohnefall	38
Abbildung 32: Linie U4 - Taktfolgezeit und Ankunftsverspätung im Ohnefall	38
Abbildung 33: Umlegung Analysezustand	40
Abbildung 34: Umlegung Ohnefall und Dimensionierungsquerschnitte	43
Abbildung 35: Umlegung Mitfall und Dimensionierungsquerschnitte	47
Abbildung 36: Bewertungsergebnisse - Teildindikatoren	57

1 Ausgangssituation und Einordnung des Vorhabens

1.1 Ausgangssituation Ziele der Maßnahme

Hamburg plant den umfassenden Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs gemäß der Strategie „Hamburg-Takt“. Das Ziel ist, den ÖPNV so auszubauen, dass alle Hamburgerinnen und Hamburger binnen fünf Minuten ein öffentliches Verkehrsmittel erreichen können. Die Strategie beinhaltet den Bau neuer U-Bahn- und S-Bahn-Strecken, eine Verdichtung des Taktverkehrs sowie die Einführung moderner Technologien zur Verbesserung der Effizienz und Zuverlässigkeit des Verkehrssystems.

Die Teilautomatisierung (Grade of Automation 2 kurz „GoA2“) der U-Bahn-Linien U2 und U4 in Hamburg zielt darauf ab, die Kapazität und Effizienz des U-Bahn-Systems zu erhöhen. Mit der neuen Technologie werden bis zu sechs Züge in zehn Minuten zwischen Horner Rennbahn und der Innenstadt verkehren. Dies bedeutet, dass in jede Richtung alle 100 Sekunden eine U-Bahn fahren kann.

Im Rahmen des Hamburg-Takts und den gesetzten Modal-Split-Zielen der Freien und Hansestadt Hamburg zugunsten des ÖPNVs wird ein Fahrgastwachstum im ÖPNV-Netz erwartet. Die Linien U2 und U4 werden bereits heute von 120m-Zügen bedient. Der Einsatz von noch längeren Zügen ist nicht möglich. Eine zweite Möglichkeit ist eine Taktverdichtung. Welche Taktfolgen auf welchem Abschnitt notwendig sind, ist in Abbildung 1 dargestellt. Je dunkler ein Streckenabschnitt, desto höher ist der notwendige Takt. Insbesondere auf dem gemeinsamen Abschnitt der Linien U2 und U4 zwischen Horner Rennbahn (HN) im Osten und Jungfernstiegt (JG) im Westen wird ein 2,5- bzw. 2,0-Minuten-Takt notwendig. So können weitere Fahrgastfahrten abgewickelt werden.

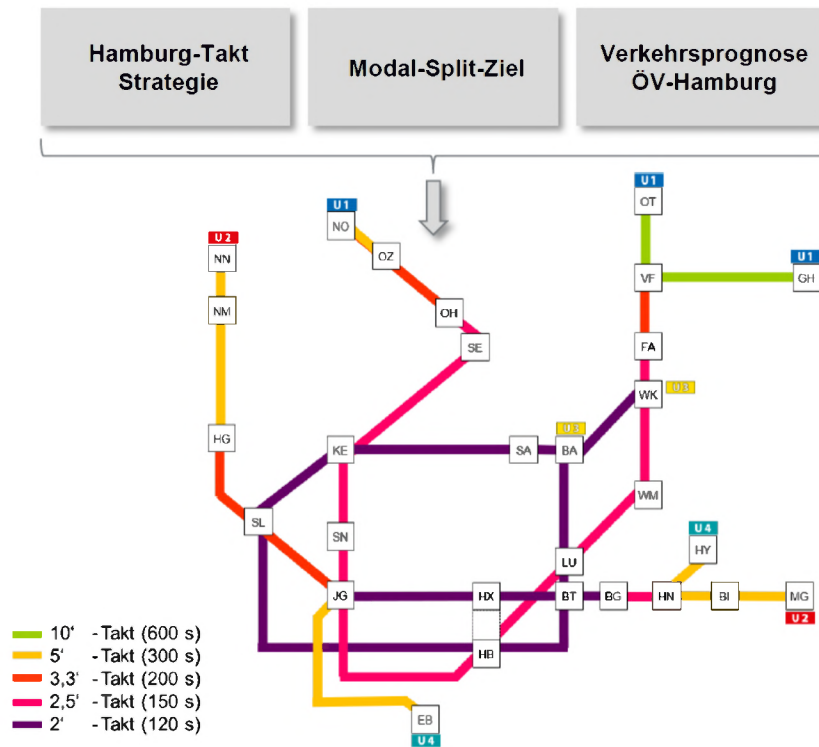


Abbildung 1: Notwendige Taktichten auf dem Liniennetz der Hamburger Hochbahn AG

Insgesamt strebt die Maßnahme eine deutliche Verbesserung der Betriebsqualität bei einer erhöhten Kapazität im U-Bahn-Netz in Hamburg an. Das Ziel ist es, den Fahrgästen ein zuverlässigeres und komfortableres Verkehrsangebot zu bieten und gleichzeitig die betriebliche Effizienz und Nachhaltigkeit zu erhöhen.

Ein weiteres Ziel ist die Erhöhung der Effizienz und Betriebsstabilität. Mit GoA2 sollen interne Störfaktoren wie Fahrzeitschwankungen eliminiert und die Stabilität der Betriebsabwicklung gesteigert werden. Dies trägt zu einer insgesamt verbesserten Leistungsfähigkeit und Qualitätssteigerung des U-Bahn-Systems bei.

Zusätzlich zielt die Maßnahme auf Energieeinsparungen und die Schaffung von Kapazitätsreserven ab. Eine energiesparende Fahrweise und die Automatisierung von Kehrfahrten sollen zur Effizienzsteigerung beitragen und zusätzliche Kapazitätsreserven schaffen.

1.2 Einordnung des Vorhabens in die übergeordnete Planung

Die Maßnahme Teilautomatisierung (GoA2) der U-Bahn-Linien U2 und U4 steht im Einklang mit dem umfassenden Ausbauplan "Hamburg-Takt", der darauf abzielt, eine maximale Erreichbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel zu gewährleisten. Durch die Einführung eines 100-Sekunden-Takts auf dem gemeinsamen Abschnitt beider Linien wird die Kapazität und Effizienz des U-Bahn-Systems deutlich verbessert.

2 Bewertungskonzept und Beteiligung

2.1 Bewertungskonzept

Die Untersuchung wurde entsprechend dem Verfahren der Standardisierten Bewertung in der aktuell gültigen Fassung („Version 2016+“) erstellt.¹ Prognosehorizont ist das Jahr 2030.

Die Linien U2 und U4 nutzen zwischen Jungfernstieg und Horner Rennbahn dieselbe Streckeninfrastruktur. Aufgrund künftiger Fahrgastzahlensteigerungen insbesondere in der Hafencity sowie im Bereich Niendorf / Stellingen / Eimsbüttel wird aus Kapazitätsgründen eine Verdichtung des Angebotes erforderlich. Durch die Implementierung einer Teilautomatisierung (GoA2) soll auch nach der erforderlichen Angebotsverdichtung ein stabiler pünktlicher Betrieb bei den Linien U2 und U4 insbesondere auf dem gemeinsam genutzten Streckenabschnitt möglich sein.

Zur Abbildung der Maßnahmenwirkung wurde der fakultativer Modellbaustein „Betriebsqualität“ mit einer modellgestützten Prognose der Betriebsqualität angewendet.

Von den optionalen, nutzwertanalytischen Teilindikatoren wurden die Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch und der Primärenergieverbrauch berücksichtigt. Die sonstigen fakultativen Teilindikatoren sind nicht relevant.

Als Grundlage wurde das Verkehrsmodell der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende der Stadt Hamburg (BVM-Modell) verwendet.

Die Modellierung des relevanten Verkehrsangebotes für den gesamten Untersuchungsraum, die Prognosen und die Umlegungen der Nachfragematrizen erfolgte im Planungsprogramm VISUM. Dieses von der PTV selbst entwickelte Programm wird allen Anforderungen der Version 2016+ der Standardisierten Bewertung gerecht.

2.2 Beteiligung im Abstimmungsprozess

Festlegungen zu den Untersuchungsfällen und zur Methodik wurden in mehreren Abstimmungsgesprächen getroffen. Beteiligte im Abstimmungsprozess waren:

- das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMDV),
- die Behörde für Verkehr und Mobilitätswende Hamburg (BVM),
- die Hamburger Hochbahn AG (Hochbahn),
- die PTV Transport Consult GmbH (PTV) und die TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH (TTK).

¹ Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen öffentlichen Personennahverkehr (Version 2016+), Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr im Rahmen des Forschungsprojektes FE 70.976/2019 durch die Arbeitsgemeinschaft Intraplan Consult GmbH / Verkehrswissenschaftliches Institut Stuttgart GmbH

3 Beschreibung des Investitionsvorhabens

3.1 Technische Beschreibung des Vorhabens

Eine Ausrüstung der Strecke mit GoA2 beschreibt eine Aufhebung der heutigen Blockabschnitte, sodass die Folgezüge im optimalen Bremswegabstand hintereinander herfahren können. Hierzu kommunizieren die Züge konstant mit dem Stellwerk, welches dem Folgezug die Position des vorausfahrenden Zuges mitteilt. Es müssen sowohl Stellwerke als auch Fahrzeuge umgerüstet werden. Im Fall von GoA2 bleibt das Fahrpersonal weiterhin im Fahrzeug zur Überwachung der Fahrt und dem Eingreifen in Notfällen.

Mittels Ausrüstung der Strecke mit GoA2 findet eine Digitalisierung der Infrastruktur statt, sodass Störungen schneller abgebaut werden können als mit dem heutigen Signalsystem. Es können weiterhin die Fahrzeuge der Typs DT5 verwendet werden.

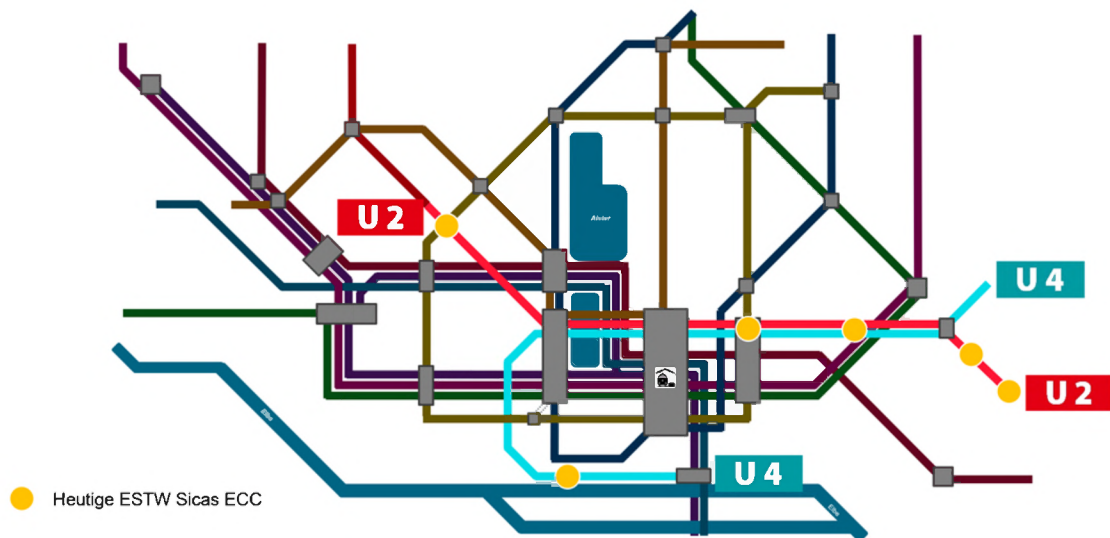


Abbildung 2: Übersichtsplan (Quelle: HOCHBAHN)

3.2 Bauzeit und Realisierung

Im Rahmen des Verfahrens wurde eine technisch angemessene Bauzeit von 4 Jahren berücksichtigt.

Während der Realisierung sind keine größeren Sperrpausen geplant, sondern nur gegebenenfalls kurze Betriebsunterbrechungen im Zuge der Anpassung der Stellwerke. Die Fahrzeuge werden sukzessive umgerüstet.

3.3 Investitionen in die Infrastruktur

Investitionen im Mitfall

Formblatt 1-2

Die Summe der Investitionen, die in die Standardisierte Bewertung (ohne Planungskosten) einget, betragen 108,3 Mio. €. Sie beziehen sich auf verschiedene Preisstände.

- Investitionen aus Umsetzung mit Preisstand 2022 25,5 Mio. €
- Investitionen aus Umsetzung mit Preisstand 2023 10,4 Mio. €
- Investitionen aus Umsetzung mit Preisstand 2024 0,9 Mio. €
- Investitionen aus Planung mit Preisstand 2022 81,7 Mio.€
- Investitionen aus Planung mit Preisstand 2024 9,9 Mio.€
- Summe der Investitionen mit verschiedenen Preisständen 108,3 Mio. €

Die Investitionen belaufen sich mit Preisstand 2022 auf 106,9 Mio. € (Eingang mit Preisstand 2022 in Formblatt 1-2 und 10-2).

Investitionen im Ohnefall

Im Ohnefall wurden keine Investitionen berücksichtigt.

3.4 Vorläufige Finanzierungsübersicht

Formblatt 1-3

Die Finanzierung ist gänzlich im Investitionsplan der Hochbahn (100-prozentige Beteiligung der Freien und Hansestadt Hamburg) gesichert. Es fließen keine Landesmittel in das Vorhaben. Nach einer GVFG-Zusage werden Einzahlungen vom Bund an die Freie und Hansestadt Hamburg über ein Zuwendungsverfahren an die Hochbahn weitergegeben.

4 Informationen zum Verkehrsmodell

4.1 Verkehrsmodell

Grundlage der Untersuchung ist das Verkehrsmodell der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende der Stadt Hamburg (BVM-Modell). Der Analysezustand des Modells ist das Jahr 2018, der Prognosehorizont bezieht sich auf 2030.

Für die Standardisierte Bewertung erfolgt eine Nachkalibrierung des Analysefalls anhand von Fahrgastzählungen (AFZS-Daten) aus dem Jahr 2018, analog zum Analysejahr des BVM-Modells.

Die Modellierung des Prognosehorizontes 2030 wurde geprüft, und es wurden alle geplanten strukturellen Entwicklungen (Kapitel 4.3) und Verkehrsanpassungen im Ohnefall (Kapitel 5.2) berücksichtigt.

In das Verkehrsmodell wurden zusätzlich alle bewertungsrelevanten Vorgaben übernommen, beispielsweise zu den Anbindungszeiten an den ÖPNV.

4.2 Verkehrszellen im Untersuchungsraum

Das Investitionsvorhaben liegt im Stadtgebiet Hamburg. Darüber hinaus umfasst der Untersuchungsraum die angrenzenden Landkreise in Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Sie sind überwiegend auf Gemeindeebene abgebildet (siehe Abbildung 3).

Der gesamte Untersuchungsraum ist in einem Visum-Verkehrsmodell abgebildet und in 2.672 Verkehrszellen eingeteilt, diese setzen sich zusammen aus

- 1.496 Verkehrszellen in der Freien und Hansestadt Hamburg
- 703 Verkehrszellen in Schleswig-Holstein
- 362 Verkehrszellen in Niedersachsen und
- 95 Verkehrszellen im sonstigen Deutschland, 16 Verkehrszellen in den an Deutschland grenzenden Ländern.

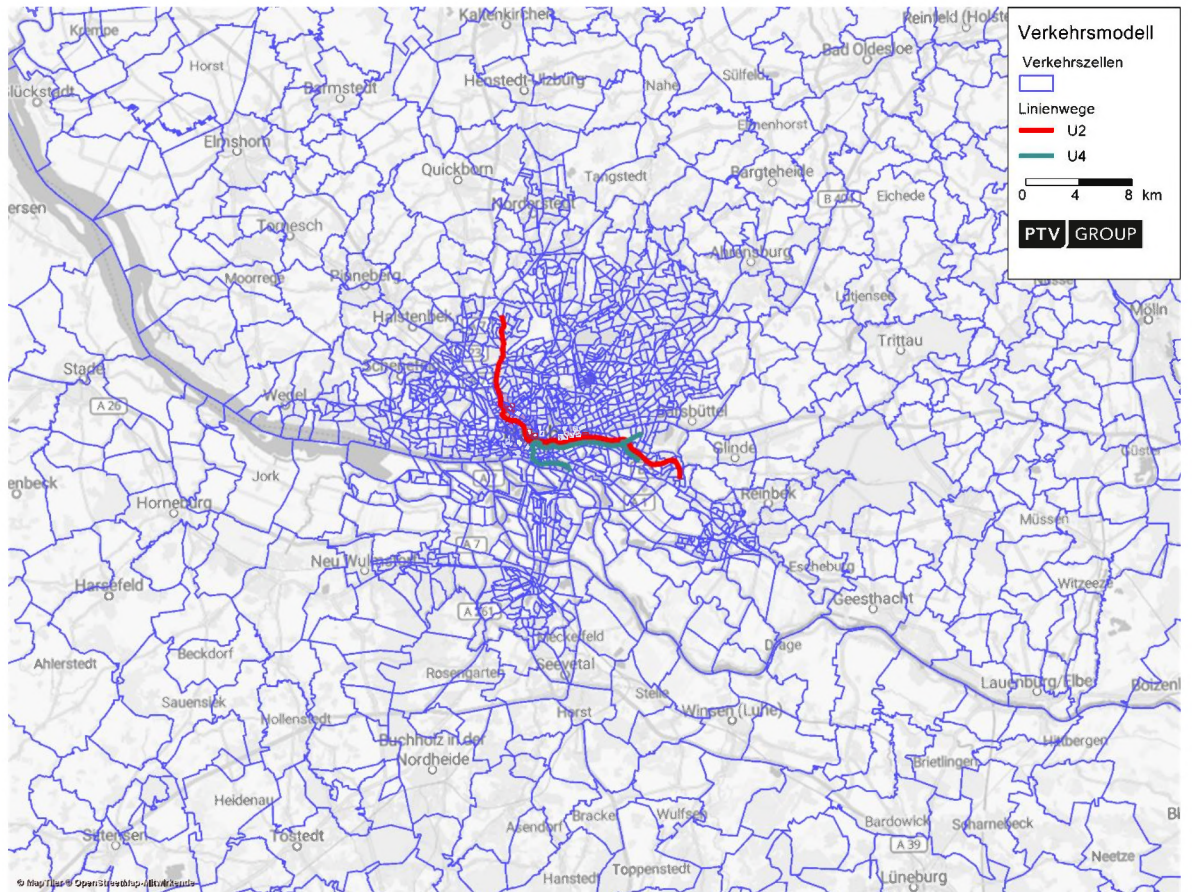


Abbildung 3: Verkehrszellen im Untersuchungsraum

Im engeren Einzugsgebiet der Maßnahme ist die Verkehrszelleneinteilung so fein, dass sich in jeder Verkehrszelle maximal eine U-Bahn-Station befindet und die fußläufigen Einzugsbereiche der Haltestellen abgegrenzt sind. Die folgende Abbildung zeigen die Verkehrszelleneinteilung im engeren Untersuchungsgebiet und die Einzugsradien der Stationen der U2 / U4 (500 m).

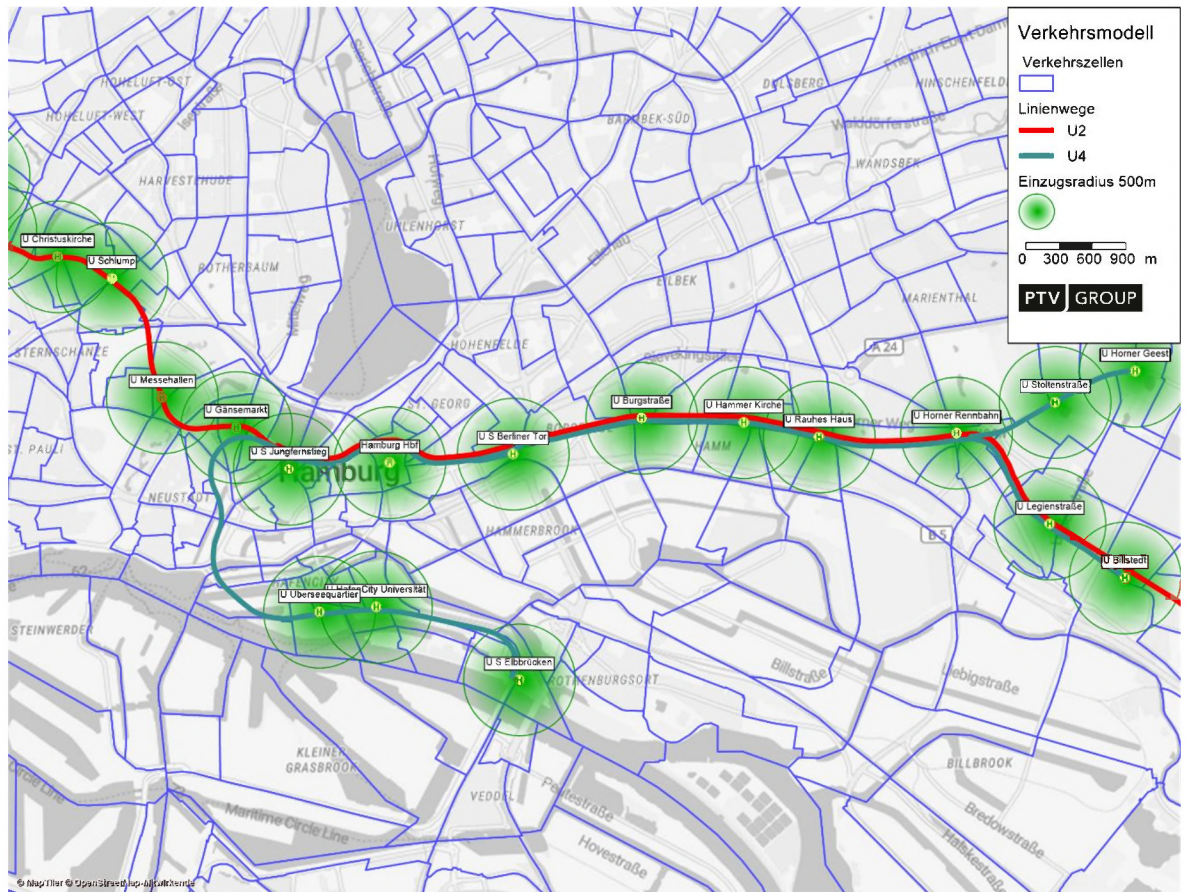


Abbildung 4: Verkehrszellen im engeren Untersuchungsgebiet

4.3 Strukturdaten im Analyse- und Prognosezustand

Formblatt 3-1

Einwohner- und Arbeitsplätze in Hamburg

Für die Freie und Hansestadt Hamburg wurden die Einwohnenden und Arbeitsplätze aus dem Verkehrsmodell der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende der Stadt Hamburg (BVM-Modell) übernommen. Die Prognose der Arbeitsplatzzahlen für 2030 wurden anhand einer Studie zur Beschäftigungsentwicklung der GWS (Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung, Osnabrück) ermittelt.

Die Eckwerte für den Analyse- und Prognosezustand sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

	2018	2030	Steigerung in %
Einwohnende	1.923.470	2.034.570	+ 5,8 %
Arbeitsplätze	1.274.017	1.413.405	+ 10,9 %

Tabelle 1: Eckwerte Strukturdatenentwicklungen in Hamburg

Innerhalb dieser Eckwerte wurden die bis zum Prognosehorizont geplanten Wohn- und Gewerbegebiete erhoben und in der Bewertung berücksichtigt.

Berücksichtigung Neubaugebiete zum Prognosehorizont 2030

Horner Geest:

Es wurden in der Horner Geest 6.800 zusätzliche Einwohnende berücksichtigt. Dies entspricht den Werten der Standardisierten Bewertung für die Verlängerung der U4 auf die Horner Geest.

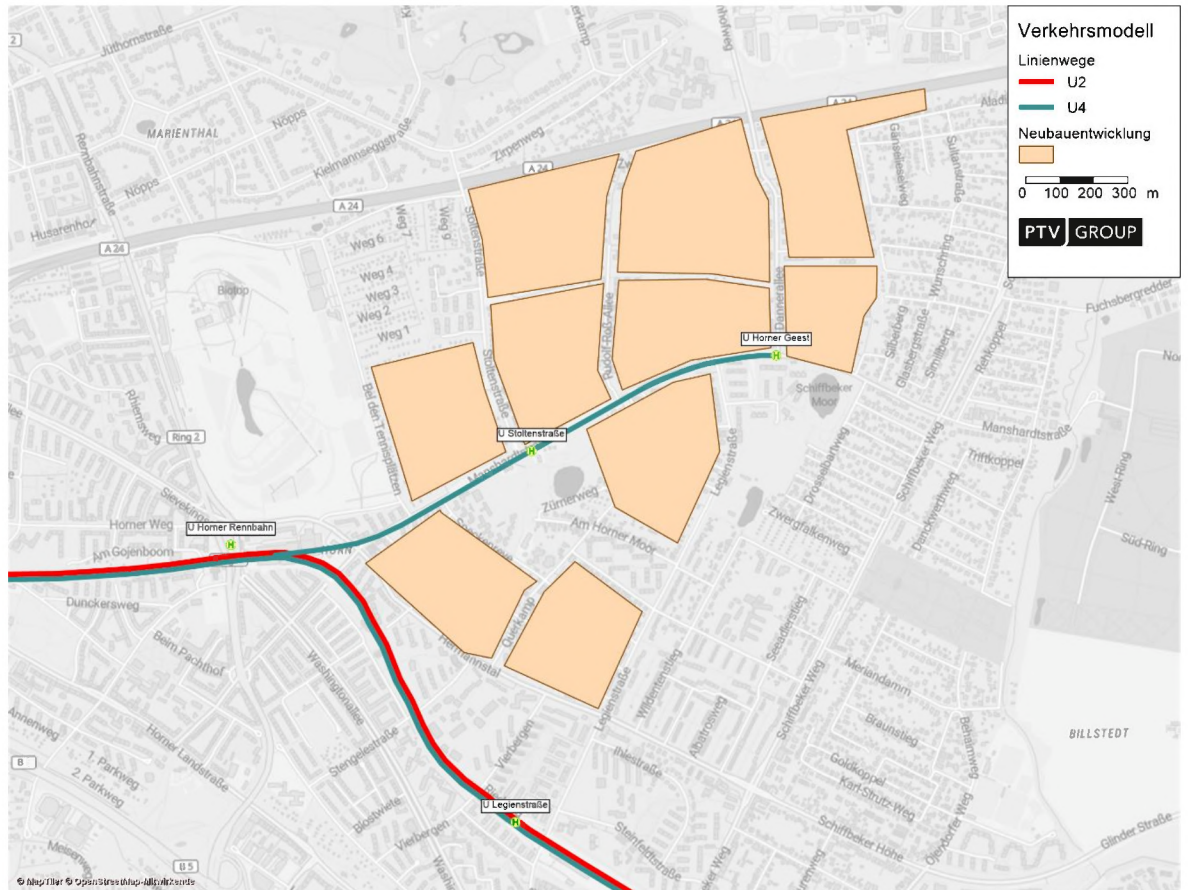


Abbildung 5: Neubauentwicklung Horner Geest

HafenCity

In der HafenCity wurden im Prognosezustand 15.000 Einwohnende und 45.000 Arbeitsplätze berücksichtigt. Dies entspricht dem zur Zeit dieser Standardisierten Bewertung aktuellem Planungsstand der Stadt Hamburg vom Oktober 2021.

Grasbrook

Auf dem Grasbrook wurden im Prognosezustand 6.000 Einwohnende und 16.000 Arbeitsplätze berücksichtigt². Die folgende Abbildung zeigt die geplante Aufteilung zwischen Wohn- und Gewerbebebauung.

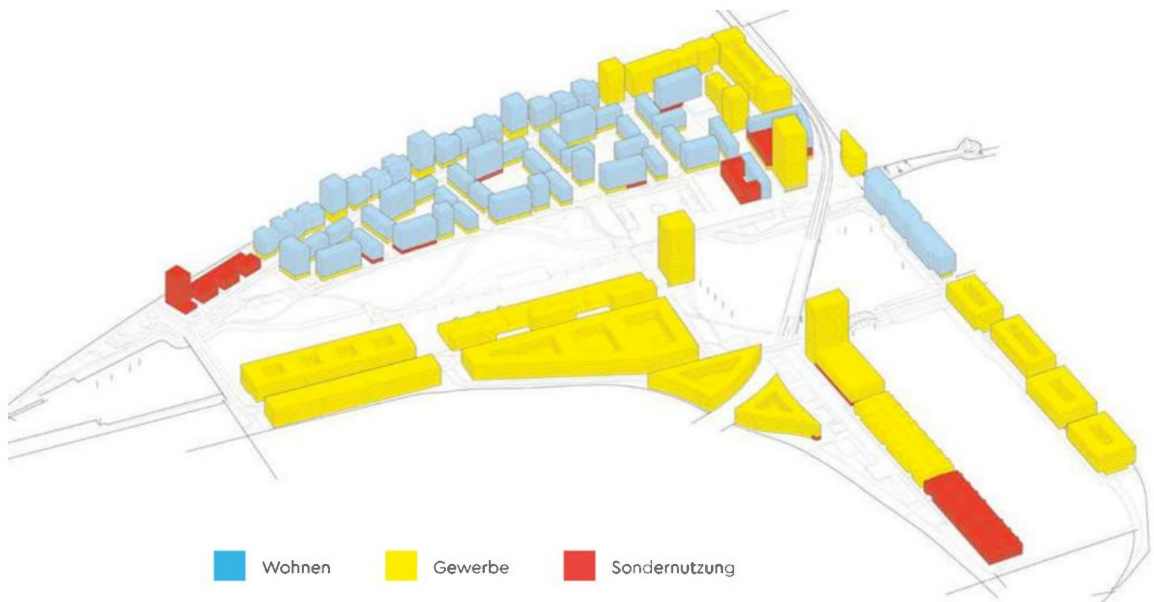


Abbildung 6: Neubauentwicklung Grasbrook (Quelle: Hafencity Hamburg GmbH)

DESY Forschungscampus

Auf dem Forschungscampus DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) und des International Science Park Hamburg werden die geplanten Verlagerungen einiger Fakultäten der Universität Hamburg in den Forschungscampus und dessen Entwicklung im Rahmen des Projekt Campusentwicklung DESY 2030 berücksichtigt. Dies entspricht den Werten der Standardisierten Bewertung für den Neubau der U-Bahn-Linie U5.

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)

Am UKE wurden im Prognosezustand gegenüber der Analyse 4.000 zusätzliche Arbeitsplätze und 4.500 zusätzliche Studienplätze berücksichtigt. Dies entspricht den Werten der Standardisierten Bewertung für den Neubau der U-Bahn-Linie U5.

² Der Stadtteil Grasbrook - Ziele, Konzepte und Perspektiven, September 2022, Herausgeberin Hafencity Hamburg GmbH

5 Verkehrsangebot

5.1 ÖPNV-Angebot im Analysezustand

Im Analysezustand ist im Verkehrsmodell das Verkehrsangebot des Jahres 2018 hinterlegt.

Von der geplanten Maßnahme sind die U-Bahn-Linien U2 und U4 betroffen:

- Die U2 verkehrt von Niendorf Nord nach Mümmelmansberg. Zwischen Niendorf Markt und Billstedt wird während der ganzen Betriebszeit ein 5-Minuten-Takt gefahren. An den Außenästen wird teilweise auf einen 10-Minuten-Takt reduziert.
- Die U4 verkehrt von HafenCity Universität bis nach Billstedt in einem 10-Minuten-Takt. Zwischen Billstedt und Mümmelmansberg verkehren nur einzelne Fahrten während der Randzeiten.

Auf dem gemeinsamen Abschnitt der U2 und U4 zwischen den Haltestellen Jungfernstieg und Billstedt ergibt sich ein 3,3-Minuten-Takt.

5.2 Geplantes ÖPNV-Angebot im Ohne- und Mitfall

Im **Ohnefall** sind folgende Änderungen am ÖPNV-Angebot relevant:

- Im Ohnefall wurde der vollständige Ausbau der U5 von den Arenen bis Bramfeld berücksichtigt. Infrastruktur und Betriebsprogramm entsprechen der Standardisierten Bewertung für den Neubau U5.
- Die U2 verkehrt wie im Analysezustand von Niendorf Nord nach Mümmelmansberg. Der Grundtakt auf diesem Abschnitt beträgt 5 Minuten. Auf dem zentralen Abschnitt Hagenbecks Tierpark – Burgstraße wird in der HVZ das Angebot auf einen 3,3 Minuten-Takt verdichtet, um die größere Fahrgastnachfrage bedienen zu können.
- Die U4 wird in die Horner Geest und von der Haltestelle HafenCity Universität bis zu den Elbbrücken verlängert. Sie verkehrt zwischen der Haltestelle Horner Geest und den Elbbrücken in einem 5-Minuten-Takt. Um die größere Nachfrage in der HVZ bedienen zu können, verkehrt die U4 in der HVZ auf dem Abschnitt HafenCity Universität – Billstedt zusätzlich in einem 10-Minuten-Takt. Daraus resultiert bei der U4 auf dem Abschnitt HafenCity Universität – Horner Rennbahn in der HVZ ein 3,3 Minuten-Takt.
- Auf dem gemeinsamen Abschnitt der U2 und U4 zwischen Jungfernstieg und Horner Rennbahn resultiert somit ein 100s-Takt in der HVZ.
- Das auf Basis des Verkehrsentwicklungsplans Hamburg fortgeschriebene Busangebot wurde mit zusätzlichen Anpassungen aufgrund der ausgebauten U5 und den Verlängerungen der U4 im Verkehrsmodell hinterlegt.

- Darüber hinaus wurde der Neu- /Ausbau der S-Bahnlinien S4 und S21 inklusive ergänzenden Busnetzen berücksichtigt. Infrastruktur und Betriebsprogramme entsprechen den jeweiligen Standardisierten Bewertungen für die S4 und die S21.

Die geplanten Verkehrsangebote im **Mitfall** entsprechen denen aus dem Ohnefall. Die Änderungen sind ausschließlich infrastrukturseitig, d.h. im Mitfall fahren die U-Bahnlinien 2 und 4 auf dem Abschnitt Jungfernstieg – Horner Rennbahn teilautomatisiert.

Die folgende Abbildung zeigt die Linienverläufe der U2 und U4 und deren Taktschema. Der Automatisierungsabschnitt erstreckt sich vom Jungfernstieg bis zur Horner Rennbahn.

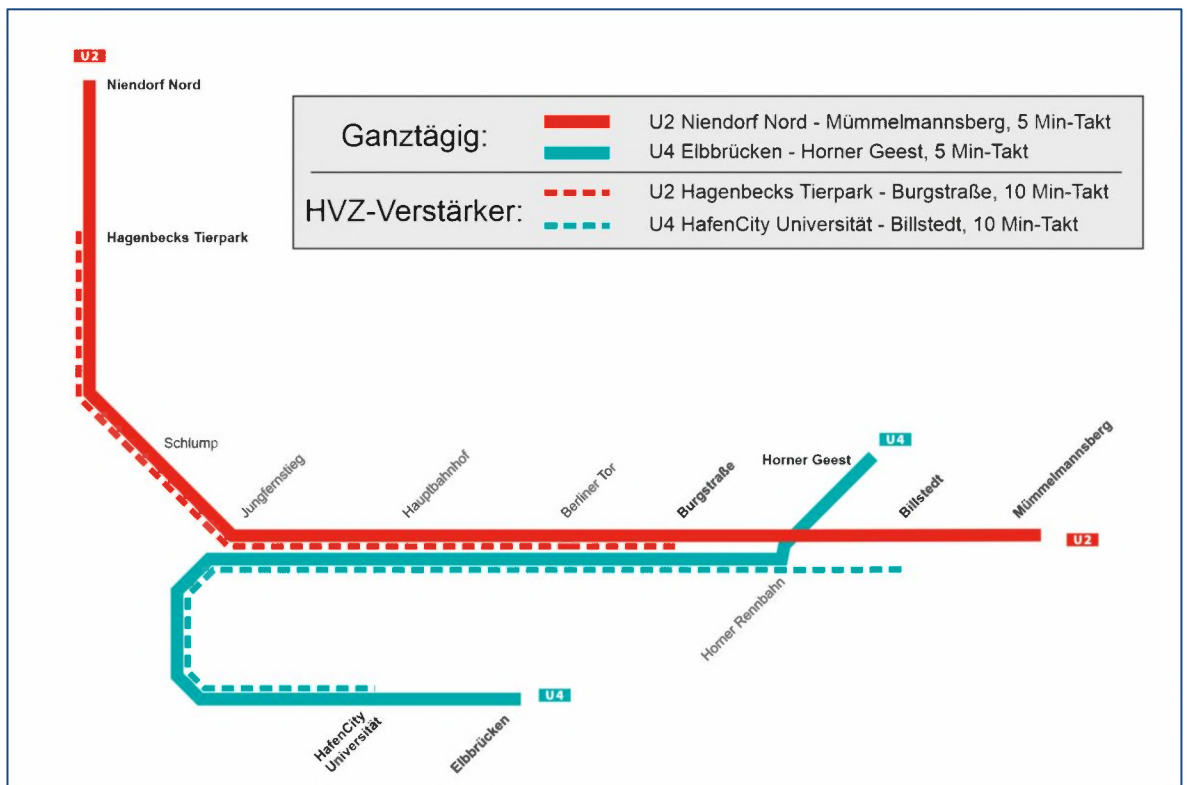


Abbildung 7: Fahrplankonzeption Ohne- und Mitfall

Weitere Informationen zum ÖPNV-Angebot können dem Kapitel 6 zum fakultativer Modellbaustein Betriebsqualität entnommen werden.

Da sich das Verkehrsangebot im Ohne- und Mitfall nicht unterscheidet wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Formblätter 8-1 bis 8-5 verzichtet. Dieses Vorgehen ist im begleitenden Arbeitskreis besprochen.

5.3 Fahrzeugtypen der betroffenen Linien

Auf den betroffenen Linien U2 und U4 werden im Mit- und Ohnefall folgende Fahrzeuge eingesetzt:

- U-Bahn-Triebwagen des Typs DT5 mit 88 Sitz- und 232 Gesamtplätzen
- Anschaffungskosten [REDACTED] je Fahrzeug mit Preisstand 2016

Die Fahrzeugangaben in der Bewertung basieren auf Angaben der Hochbahn mit Stand Oktober 2023 und sind im Rahmen der Standardisierten Bewertung der U5 mit dem BMDV abgestimmt worden.

Für die Teilautomatisierung werden insgesamt 163 Fahrzeuge für den GoA2-Betrieb nachgerüstet. Je Fahrzeug liegen die Investitionen bei [REDACTED] in Summe sind es [REDACTED]. In der geplanten Umrüstung von 163 Fahrzeugen ist eine Reserve von über 30 % enthalten, damit bei der Hochbahn ein flexibler Fahrzeugeinsatz möglich ist. Die Kosten für die Fahrzeugnachrüstung sind kein Bestandteil der in dieser Standardisierten Bewertung berücksichtigten Investitionskosten in die ortsfeste Infrastruktur. Der zusätzliche jährliche Kapitaldienst wird aber im Rahmen der ÖPNV-Betriebskosten berücksichtigt (siehe Kapitel 8).

5.4 ÖPNV-Qualitätskriterien

In der Standardisierten Bewertung werden Qualitätskriterien bei Fahrzeugen und Stationen berücksichtigt, wenn wichtige Kriterien nicht erfüllt sind. Die Kriterien sind vom Verfahren definiert.

In U-Bahn-System der Stadt Hamburg herrscht bereits weitestgehende Barrierefreiheit, daher ist in dieser Untersuchung bei den U-Bahnen kein Malus im Ohne- und Mitfall anzusetzen.

Das ergänzende Busangebot weist eine hohe Systemqualität auf. Es werden alle Kriterien der Fahrzeugausstattung erfüllt. Gemäß der Verfahrensanleitung wird bei der Bewertung der Beförderungszeiten bei den Bussen im Ohne- und Mitfall ein absoluter Zeitzuschlag von 1,8 Minuten und ein relativer Zeitzuschlag von 0,18 vergeben.

5.5 Verkehrsangebot MIV

Das MIV-Angebot wurde aus dem BVM-Modell übernommen und beinhaltet Push-Maßnahmen im MIV wie die geplante Tempo 30-Maßnahmen und Parkraumbewirtschaftung.

Der IV-Widerstand wird aus den MIV-Reisezeiten und der Parkplatzverfügbarkeit ermittelt.

5.5.1 MIV-Reisezeiten und Reiseweiten

Die MIV-Reisezeiten und Reiseweiten wurden aus dem BVM-Verkehrsmodell übernommen.

5.5.2 Parkraumverfügbarkeit

Die Parkraumeinschränkungen wurden aus der Standardisierten Bewertung der U5 übernommen. Für den Grasbrook, der südlich des Endhaltepunktes der U4 (Ebbrücken) als Wohn- und Gewerbegebiet als autoarmer Stadtteil realisiert wird, wurde zusätzlich eine Einschränkung von 0,7 berücksichtigt.

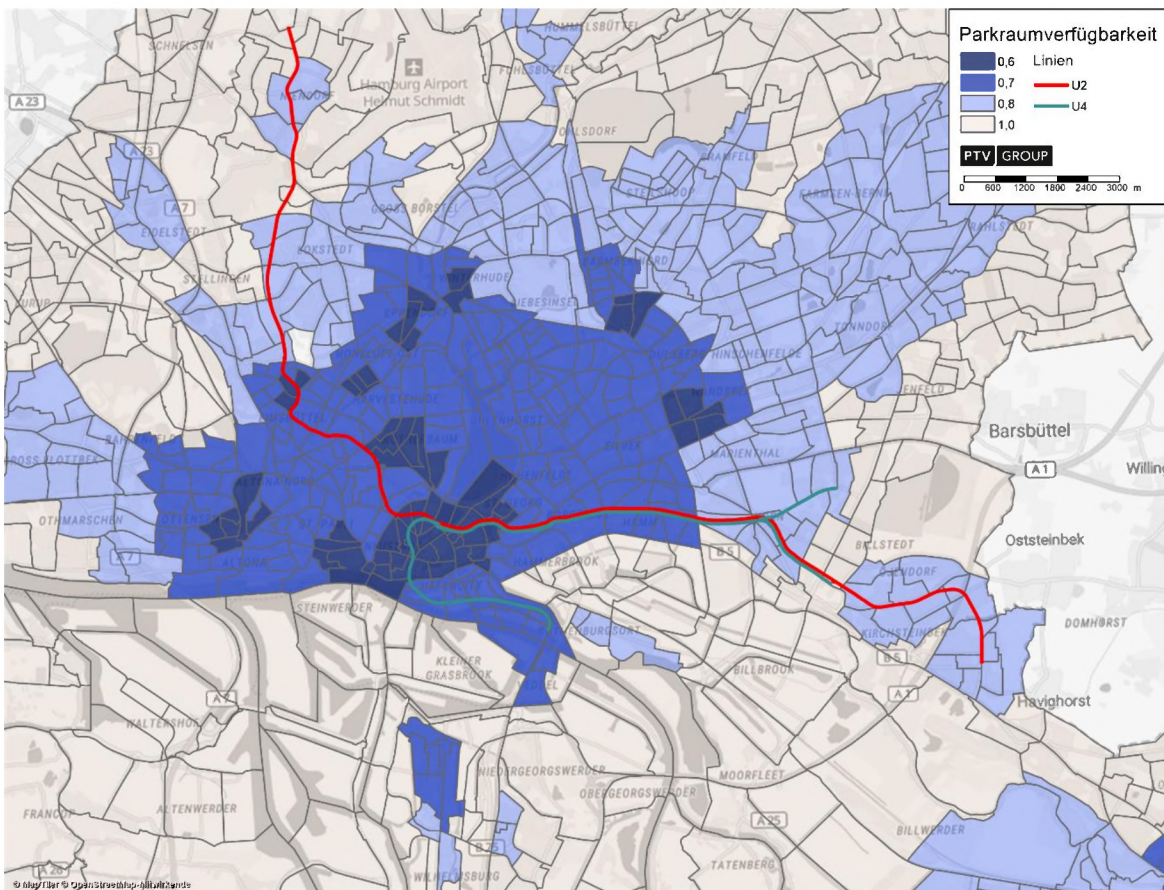


Abbildung 8: Parkraumverfügbarkeit

6 Fakultativer Modellbaustein Betriebsqualität

Der Modellbaustein Betriebsqualität kann angewendet werden, wenn *eine mittlere Einbruchverspätung von mehr als drei Minuten, die innerhalb des Vorhabenbereichs nicht adäquat abgebaut werden kann, oder ein durchschnittlicher Verspätungszuwachs von mehr als einer Minute festgestellt wird.*³ Dadurch, dass sich der Ohnefall durch den geänderten Fahrplan deutlich vom Analysefall unterscheidet, werden die Voraussetzungen zur Anwendung des Modellbausteins nicht im Analysefall nachgewiesen, sondern im Ohnefall. Dafür wird auf Grundlage von Modellprognosen eine Pünktlichkeitsanalyse im Ohnefall durchgeführt. Darüber hinaus ist nachzuweisen, dass die geforderte Verbesserung der Betriebsqualität nicht allein durch eine nachfragegerechte Modifizierung des Betriebsprogramms erreichbar ist.

Zur Durchführung des Modellbausteins kann sowohl ein vereinfachtes Verfahren als auch das Regelverfahren mit einer Betriebssimulation eingesetzt werden. Das vereinfachte Verfahren findet bei überschaubaren betrieblichen Verhältnissen Anwendung. Der theoretische Vorteil, der sich aus dem vereinfachten Verfahren ergibt, ist der Verzicht auf eine Betriebssimulation. Trotzdem müssen hier die behinderungsbedingten Wartezeiten ermittelt werden, was einen hohen Aufwand bedeutet. Da bereits ein Modell zur Durchführung der Betriebssimulation vorhanden ist, wird die Anwendung des herkömmlichen Verfahrens empfohlen.

6.1 Vorgehensweise

Für die Durchführung der Betriebssimulation wird die Software OpenTrack (OT) genutzt. OpenTrack ist ein am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich realisiertes Forschungsprojekt zum Thema interaktive Betriebssimulation von Schienennetzen. Während der Simulation fahren die vordefinierten Züge auf der gegebenen Gleistopologie unter den gewünschten Randbedingungen (Fahrplan, Verspätungsverteilung, Umweltbedingungen, etc.). Die Software erlaubt die Modellierung eines theoretischen Betriebs sowie dynamische Simulationen in Abhängigkeit von Betriebsstörungen (Fahrgastwechsel, Wartezeit an Kreuzungen, unterschiedliche Fahrbeziehungen, usw.). Die Software wurde auch bei der im Auftrag der Hochbahn durchgeführten Studie „Betriebliche Potenziale für die Automatisierung U2/U4 2018/19 der Firma TelSys GmbH genutzt. Dadurch sind Open-Track Modelle für GoA1 und GoA2-Betrieb bereits vorhanden und können für die vorliegende Studie übernommen, aktualisiert und genutzt werden.

In Abbildung 7 ist dargestellt, auf welchen Abschnitten die Teilautomatisierung geplant ist. Der Bereich zwischen Christuskirche und Mümmelmannsberg, sowie zwischen Elbbrücken und Horner Geest stellt diesen Vorhabenbereich dar, so dass die Anwendungsvoraussetzungen des Modellbausteins in diesem Bereich nachgewiesen werden müssen.

³ Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen öffentlichen Personennahverkehr (Version 2016+), Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr im Rahmen des Forschungsprojektes FE 70.976/2019 durch die Arbeitsgemeinschaft Intraplan Consult GmbH / Verkehrswissenschaftliches Institut Stuttgart GmbH, S.61

Das Ergebnis der Ausführung des Regelverfahrens sind Pünktlichkeitsdaten, die in die Modal-Split-Berechnung des Visum-Verkehrsmodells im Mit- und Ohnefall übernommen werden. Das grundsätzliche Vorgehen ist in Abbildung 9 dargestellt. Für die Beschreibung des Analysefalls in der Pünktlichkeitsanalyse werden die Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Fahrzeiten über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen, getrennt nach den Zeitbereichen HVZ und NVZ, mittels Daten des rechnergestützten Betriebsleitsystems (Intermodal Transport Control System, ITCS) ausgewertet. Die Messstellen befinden sich dabei an Verkehrshalten bzw. an Ein- und Ausbruchsquerschnitten. Daraus ergeben sich Mittelwerte der Verspätung je Linie, Richtung, Haltestelle und Zeitbereich. Auf dieser Grundlage erfolgt die Modellkalibrierung des Analysefalls. Anschließend ist ein Nachweis zur Abbildegenauigkeit anhand einer Gegenüberstellung von modellierten und empirisch ermittelten Verspätungsdaten für den Analysefall mittels Pünktlichkeitsanalyse zu führen.

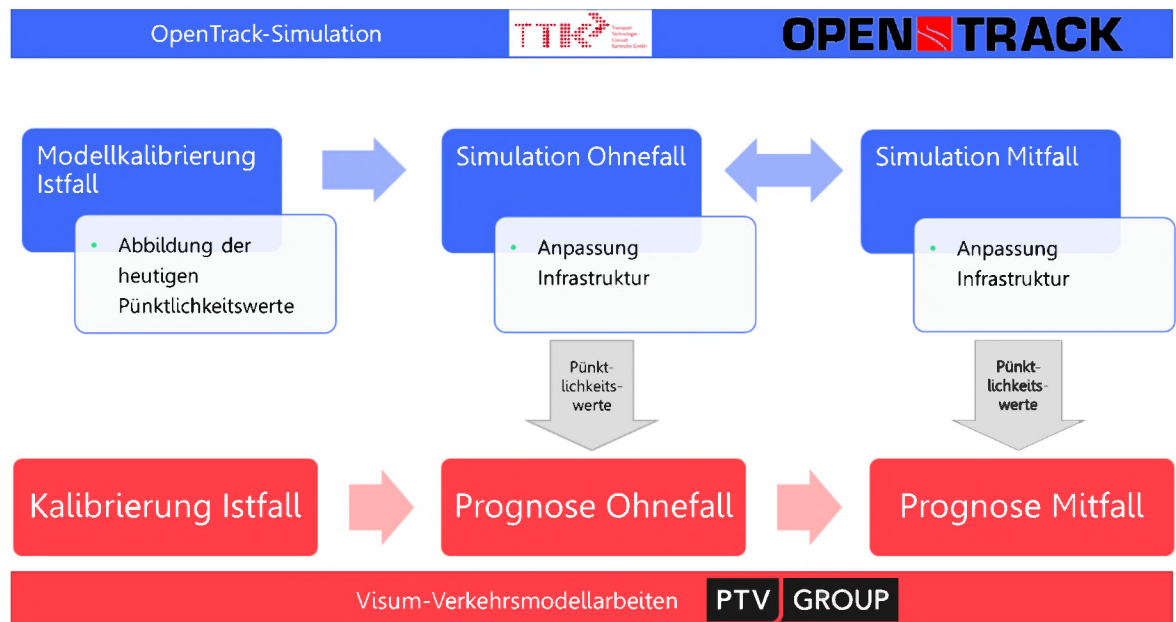


Abbildung 9: Vorgehen Modellbaustein Betriebsqualität

In Tabelle 2 ist zusammenfassend dargestellt, für welche Fälle eine Betriebssimulation durchgeführt wird und was mit der Pünktlichkeitsanalyse abgebildet wird.

	Analysefall	Ohnefall	Mitfall
Zeithorizont	Ende 2019	~2030	~2030
Infrastruktur	Gemäß Zustand 2019	Analysefall + Verlängerung Horner Geest	Analysefall + Verlängerung Horner Geest
Automatisierungsgrad	GoA 1 (konventionell)	GoA 1 (konventionell)	GoA 2 (teilautomatisiert)
Takt	Ø 200 Sekunden	Ø 100 Sekunden	Ø 100 Sekunden

	Analysefall	Ohnefall	Mitfall
Betriebssimulation	Ja, für Kalibrierung OpenTrack-Modell	Ja, für Pünktlichkeitsanalyse	Ja, für Pünktlichkeitsanalyse
Pünktlichkeitsanalyse	Ja, für Nachweis Abbildgenauigkeit	Ja, für Nachweis Anwendungsvoraussetzung Modellbaustein und für Ohnefall/Mitfall-Vergleich	Ja, für Ohnefall/Mitfall-Vergleich

Tabelle 2: Übersicht Analysefall, Ohnefall und Mitfall für die Betriebssimulation

6.2 Modellaufbau und Pünktlichkeitsanalyse Analysefall

Die Vorgehensweise zur Durchführung der Pünktlichkeitsanalyse ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Datengrundlage zur späteren Kalibrierung des Modells bilden die ITCS-Daten vom 04.11.2019 bis zum 30.11.2019 für die Linien U2 und U4 im Betrachtungsbereich. Über die Verkehrstage Montag bis Freitag wurden ca. 10.000 Fahrten ausgewertet, wobei zwischen HVZ und dem restlichen Betriebszeitraum unterschieden wurde.

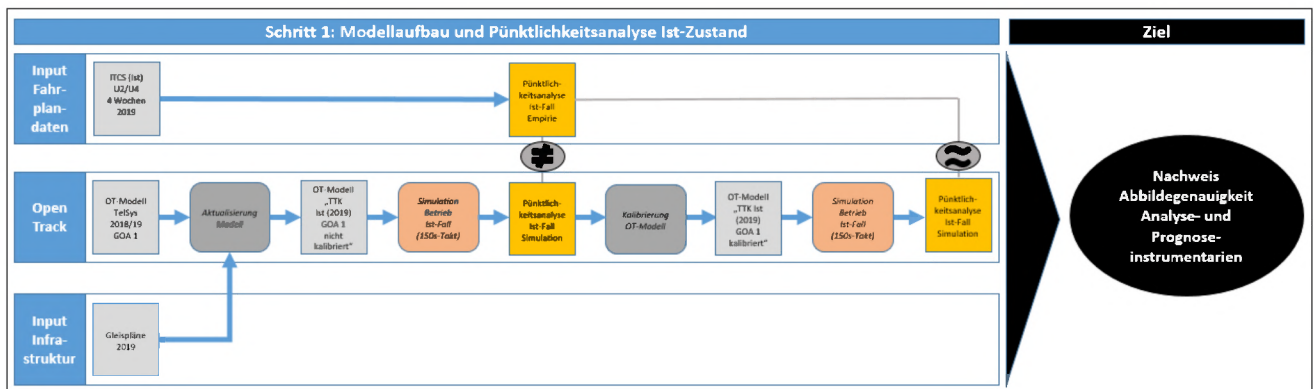


Abbildung 10: Schritte zum Modellaufbau und zur Pünktlichkeitsanalyse im Analysefall

Bei der Auswertung der Daten wurde die durchschnittliche Fahrzeit zwischen den Haltestellen ermittelt sowie die durchschnittliche Haltezeit. Durch die Berücksichtigung der Standardabweichung wurden diese Mittelwerte um „außergewöhnliche“ Fahrten bereinigt. Das Ergebnis der Ermittlung der durchschnittlichen Fahrzeit ist beispielhaft in Abbildung 11 (links) für den Abschnitt von der Haltestelle Hauptbahnhof Nord bis zu der Haltestelle Berliner Tor für die U2 zur HVZ dargestellt. Auf der rechten Seite ist die durchschnittliche Haltezeit dargestellt, am Beispiel der Haltestelle Hauptbahnhof Nord in Richtung Mümmelmannsberg für die U2.

Hauptbahnhof - Berliner Tor		Hauptbahnhof	
Fahrzeit		Haltezeit	
Median [s]	92	Median [s]	36
Mittelwert [s]	96	Mittelwert [s]	38
Max [s]	365	Max [s]	177
Min [s]	80	Min [s]	21
Standardabweichung	19,01	Standardabweichung	9,30
Mittelw.-2*StdAbw	57,71	Mittelw.-2*StdAbw	18,99
Mittelw.+2*StdAbw	133,76	Mittelw.+2*StdAbw	56,19
Mittelwert neu [s]	93	Mittelwert neu [s]	37

Abbildung 11: HVZ (links) und NVZ (rechts) der ITCS-Daten

Für die Haltezeit ergibt sich jeweils für die U2 und die U4 in beide Richtungen, unterschieden nach HVZ und NVZ, jeweils eine Verteilung der Haltestellenaufenthaltszeit, wie in Abbildung 12 beispielhaft dargestellt.

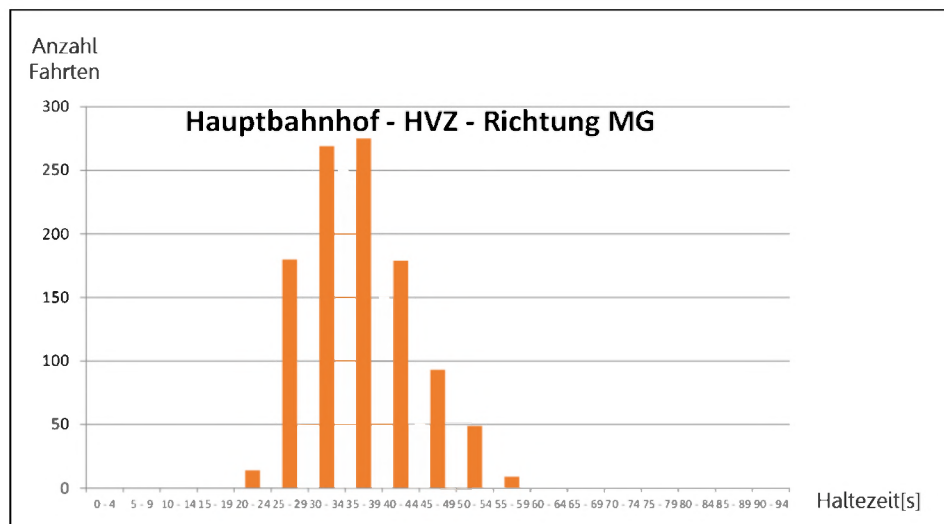


Abbildung 12: Beispielhafte Verteilung Haltestellenaufenthaltszeit⁴

Abbildung 13 zeigt die gesamte Auswertung der ITCS-Daten für den Betrachtungsraum der U2 in Richtung Niendorf Nord für die HVZ. Es wird deutlich, dass sich die geringfügigen Verspätungen überwiegend an den Haltestellen ergeben. Die längeren Haltezeiten zu den Stoßzeiten werden dann durch kürzere Fahrzeiten ausgeglichen, die durch höhere Abschaltgeschwindigkeiten möglich sind. Da im Fahrplan Puffer für Verspätungen enthalten sind, kann das Fahrzeug je nach Verspätung auf eine höhere oder niedrigere Geschwindigkeit beschleunigt werden. Diese Abschaltgeschwindigkeit wird bei der Hamburger Hochbahn dynamisch in Abhängigkeit der Betriebslage berechnet, um den Fahrplan einzuhalten und um ein möglichst energieeffizientes Fahren zu ermöglichen.

⁴ Abkürzungen der Haltestellen siehe Anhang 11.1

Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Mümmelmannsberg ab - Steinfurter Allee an	02:07	02:05	-00:02	02:05	-00:00
Halt in Steinfurter Allee	00:24	00:24	00:00	00:22	-00:02
Steinfurther Allee ab - Merkenstraße an	01:15	01:18	00:03	01:15	-00:03
Halt in Merkenstraße	00:22	00:22	00:00	00:24	00:02
Merkenstraße ab - Billstedt an	01:29	01:32	00:03	01:29	-00:03
Halt in Billstedt	00:27	00:27	00:00	00:31	00:04
Billstedt ab - Legienstraße an	01:09	01:14	00:05	01:14	00:00
Halt in Legienstraße	00:22	00:22	00:00	00:25	00:03
Legienstraße ab - Horner Rennbahn an	01:24	01:33	00:09	01:26	-00:07
Halt in Horner Rennbahn	00:27	00:27	00:00	00:29	00:02
Horner Rennbahn ab - Rauhes Haus an	01:25	01:32	00:07	01:26	-00:06
Halt in Rauhes Haus	00:24	00:24	00:00	00:25	00:01
Rauhes Haus ab - Hammer Kirche an	00:58	01:06	00:08	00:59	-00:07
Halt in Hammer Kirche	00:22	00:22	00:00	00:27	00:05
Hammer Kirche ab - Burgstraße an	01:13	01:20	00:07	01:15	-00:05
Halt in Burgstraße	00:24	00:24	00:00	00:27	00:03
Burgstraße ab - Berliner Tor an	01:36	01:40	00:04	01:38	-00:02
Halt in Berliner Tor	00:42	00:42	00:00	00:56	00:14
Berliner Tor ab - Hauptbahnhof Nord an	01:35	01:38	00:01	01:33	-00:03
Halt in Hauptbahnhof Nord	00:30	00:30	00:00	00:37	00:07
Hauptbahnhof Nord ab - Jungfernstieg an	01:08	01:11	00:03	01:09	-00:02
Halt in Jungfernstieg	00:30	00:30	00:00	00:39	00:09
Jungfernstieg ab - Gansemarkt an	00:58	01:02	00:04	00:58	-00:04
Halt in Gansemarkt	00:24	00:24	00:00	00:27	00:03
Gansemarkt ab - Messehallen an	01:02	01:09	00:07	01:02	-00:07
Halt in Messehallen	00:22	00:22	00:00	00:24	00:02
Messehallen ab - Schlump an	01:26	01:29	00:03	01:27	-00:02
Halt in Schlump	00:27	00:27	00:00	00:29	00:02
Schlump ab - Christuskirche an	00:56	00:59	00:03	00:56	-00:03
Gesamt (Mümmelmannsberg ab - Christuskirche an)	25:46	26:53	01:07	26:54	00:01
Mittlere Einbruchverspätung					

Abbildung 13: Beispiel Beförderungszeiten U2 Mümmelmannsberg - Christuskirche

Die ITCS-Daten zeigen im Bestand einen zuverlässigen Betrieb auf den beiden Linien, wie die Abbildung 14 und die Abbildung 15 verdeutlichen. Die längeren Haltezeiten in der HVZ werden durch kürzere Fahrzeiten ausgeglichen. Im Fahrplan, der über den ganzen Tag identische Fahr- und Haltezeiten vorsieht, sind somit entsprechende Reserven berücksichtigt, damit auch in der HVZ ein stabiler Betrieb möglich ist.

U2 HVZ					
Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Gesamt (Christuskirche ab - Mümmelmannsberg an)	25:44	26:47	01:03	26:58	00:11
Mittlere Einbruchverspätung				00:06	
U2 NVZ					
Gesamt (Christuskirche ab - Mümmelmannsberg an)	25:44	26:47	01:03	26:58	00:11
Mittlere Einbruchverspätung				-00:03	
U2 HVZ					
Gesamt (Mümmelmannsberg ab - Christuskirche an)	2:46	26:53	01:07	26:54	00:01
U2 NVZ					
Gesamt (Mümmelmannsberg ab - Christuskirche an)	25:46	26:53	01:07	26:49	-00:04

Abbildung 14: Ergebnisse Auswertung ITCS Daten der U2

U4 HVZ					
Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Gesamt (Elbrücken ab - Bilstedt an)	20:24	20:47	00:23	20:54	00:07
U4 NVZ					
Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Gesamt (Elbrücken ab - Bilstedt an)	20:24	20:47	00:23	20:45	-00:02
U4 HVZ					
Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Gesamt (Bilstedt ab - Elbrücken an)	20:50	21:25	00:35	22:02	00:37
U4 NVZ					
Streckenabschnitte (zwischen Messstellen)	Mindest-Regelfahrzeit/ Mindesthaltezeit	planmäßige Fahrzeit/ planmäßige Haltezeit	Differenz mindest - planmäßig	realisierte Fahrzeit/ realisierte Haltezeit	Differenz realisiert - planmäßig
Gesamt (Bilstedt ab - Elbrücken an)	20:50	21:25	00:35	21:30	00:05

Abbildung 15. Ergebnisse Auswertung ITCS-Daten der U4

Bei der U4 ergeben sich Verspätungen vor allem in der HVZ in Fahrtrichtung Elbrücken aufgrund der planmäßig nur ca. 120 Sekunden vorausfahrenden U2, die sich wiederum durch die bestehende Anschlusssicherung am Berliner Tor (mit der Linie U3) und durch das hohe Fahrgastaufkommen an der Haltestelle Jungfernstieg verspätet.

Für die Kalibrierung des OpenTrack Modells wurde das bei der Hochbahn vorhandene OpenTrack-Modell für den GoA1-Betrieb auf der U2/U4 übernommen und zunächst der heutige Takt mit DT4 Fahrzeugen simuliert. Grundsätzlich wird bei der Simulation zwischen HVZ und NVZ unterschieden. Der Ist-Taktfahrplan ist in Abbildung 16 dargestellt. Hier ist die HVZ morgens und nachmittags markiert. Bei der Auswertung wird für die HVZ aus beiden Auswertungszeiträumen ein Mittelwert gebildet.

Taktfahrplan Ist (2019)		HVZ										HVZ													
Uhrzeit		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
U2: Takt [min]	20'	Betriebspause					20'	10'	5'										10'						
U4: Takt [min]	20'	Betriebspause					20'	10'																	
Gesamt: Züge pro 10 Minuten	1	Betriebspause					1	2	3										2						
Ø Zugfolgezeit [s]	600	Betriebspause					600	300	200										300						

Abbildung 16: Taktfahrplan Ist 2019

Wie auch in Abbildung 10 dargestellt, entspricht die sich aus der ersten Simulation ergebende Pünktlichkeitsanalyse nicht derjenigen, die mithilfe der ITCS-Daten ermittelt wurde.

Die hierfür erforderliche Kalibrierung des Modells erfolgte in fünf Schritten. Im ersten Schritt wurde das Modell auf die Mindestregelfahrzeit kalibriert, siehe Abbildung 17. Dafür wird der Wert der Performance⁵ skaliert, wodurch die Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit angepasst werden.

⁵ Der in OpenTrack einzugebende „Performance“-Wert beeinflusst das Fahrverhalten der Züge. Das Beschleunigungsvermögen und die zukünftige Höchstgeschwindigkeit werden abhängig vom Attribut Performance [%] ausgenutzt. Dabei können benutzerdefinierbare Verteilungsfunktionen für die Performancewerte (Performance Distribution) eingeführt werden, eine Verteilfunktion für pünktlich verkehrende Züge (on time) und eine für verspätete Züge (delayed).

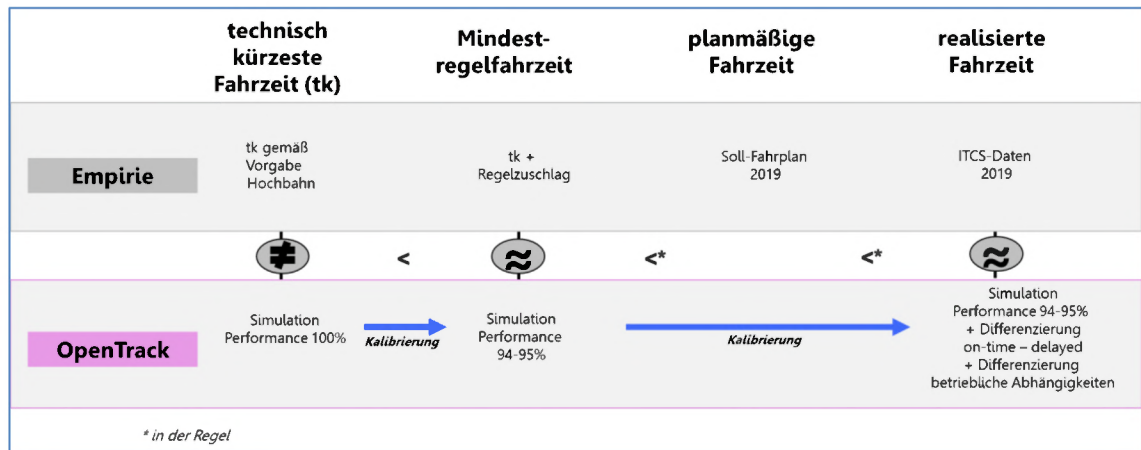


Abbildung 17: Vorgehen Kalibrierung Fahrzeiten

Im Modell mit den kalibrierten Mindestregelfahrzeiten wurde im zweiten Schritt die Haltezeit kalibriert. Zur Implementierung der realisierten Haltezeiten wurden die Haltestellen anhand ihrer Verspätungsverteilungen kategorisiert. Dafür wurden drei Kategorien gebildet, in die die meisten Haltestellen eingeteilt wurden. Bei Haltestellen mit stark abweichender bzw. individueller Verteilung wurden die Verteilungen individuell betrachtet und entsprechend im Modell kalibriert. Dabei handelt es sich um folgende Verteilungen:

- U4 an der Haltestelle Jungfernstieg zur HVZ in Richtung Billstedt,
- U4 an der Haltestelle Jungfernstieg zur NVZ in Richtung Billstedt,
- U4 an der Haltestelle Berliner Tor zur HVZ in Richtung Billstedt,
- U4 an der Haltestelle Berliner Tor zur NVZ in Richtung Billstedt,
- U2 an der Haltestelle Berliner Tor zur HVZ in Richtung Mümmelmansberg,
- U2 an der Haltestelle Berliner Tor zur NVZ in Richtung Mümmelmansberg,
- U2 an der Haltestelle Berliner Tor zur HVZ in Richtung Niendorf Nord,
- U2 an der Haltestelle Berliner Tor zur NVZ in Richtung Niendorf Nord,
- U2 an der Haltestelle Schlump zur HVZ in Richtung Mümmelmansberg und
- U2 an der Haltestelle Schlump zur NVZ in Richtung Mümmelmansberg.

Die Verteilungen der drei Kategorien und eine beispielhafte individuelle Verteilung einer Haltestelle sind in Abbildung 18 dargestellt.

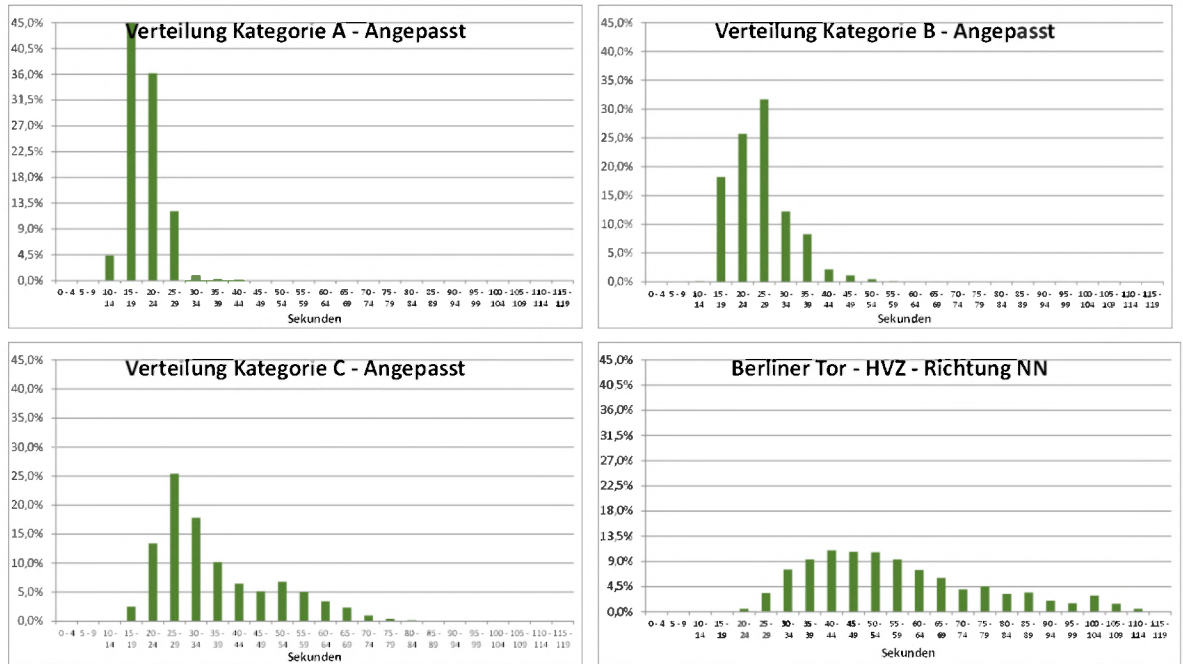


Abbildung 18: Kategorisierung der Haltezeiten

Bei den ersten beiden Schritten wurden „statische Simulationen“ einzelner (voneinander unabhängiger) linienreiner Züge durchgeführt. Im dritten Schritt wurden dann die wenigen betrieblich bedingten Verspätungen (aufgrund von Gleisbelegungen durch andere Züge) anhand der statischen Simulation identifiziert, durch auffallende Fahrzeitunterschiede zwischen den OpenTrack Simulationsdurchläufen und den ITCS-Daten. Dabei handelt es sich um folgende betriebliche Störfaktoren:

- Fahrzeiten:
 - U4: Einfädelung in Billstedt zur HVZ (Streckenbelegung durch vorausfahrende U2)
 - U4: Gleisbelegung U2/U4 in Berliner Tor aufgrund von Anschlusssicherung U2/U3
- Haltezeiten:
 - U2: Haltezeitverteilung Berliner Tor aufgrund von Anschlusssicherung U2/U3

Diese betrieblich bedingten Verspätungen wurden dann im OpenTrack-Modell im vierten Schritt „herausgerechnet“, da sich diese in der dynamischen Simulation im Folgenden Schritt automatisch ergeben. Im fünften Schritt wurde die dynamische Simulation aller Züge (alle Kurse U2 und U4 im Betrachtungsbereich im Betrachtungszeitraum HVZ bzw. NVZ) anhand der realisierten Fahrzeiten sowie der Einbruchsverspätungen im Gesamtmodell durchgeführt. Die Implementierung der realisierten Fahrzeiten erfolgt, wie in Abbildung 17 aufgeführt, durch die Unterscheidung zwischen der *Performance on time* und der *Performance delayed*. Ist der Zug verspätet, fährt er mit der Performance, die mit der Mindestregelfahrzeit möglich ist. Ist der Zug nicht verspätet, fährt dieser mit einer geringeren eingestellten Performance. Dies bildet die betriebliche Anpassung der Abschaltgeschwindigkeit im Bestand nach.

Abbildung 19 zeigt beispielhaft den Vergleich der Beförderungszeit der U4 von Elbbrücken nach Billstedt zur HVZ zwischen der OpenTrack Simulation (OT) und den ausgewerteten Daten (ITCS).

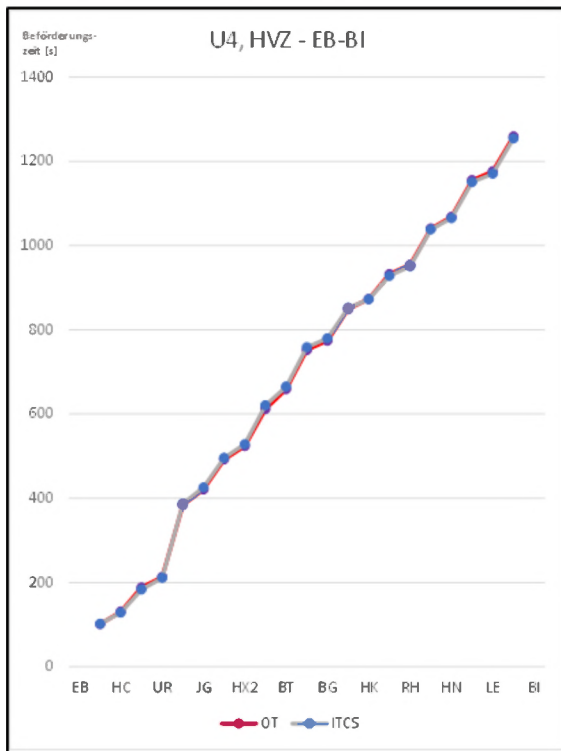


Abbildung 19: Beispielhafter Vergleich der Beförderungszeit

Die Kalibrierung war erfolgreich mit nur minimalen Abweichungen im einstelligen Sekundenbereich, womit der Nachweis der Abbildegenauigkeit des Analyse- und Prognoseinstrumentarium geführt ist und der Schritt 1 aus Abbildung 10 abgeschlossen ist.

6.3 Modellanpassungen und Pünktlichkeitsanalyse Ohne- und Mitfall

Das weitere Vorgehen für die Pünktlichkeitsanalyse im Mit- und Ohnefall ist in Abbildung 20 dargestellt.

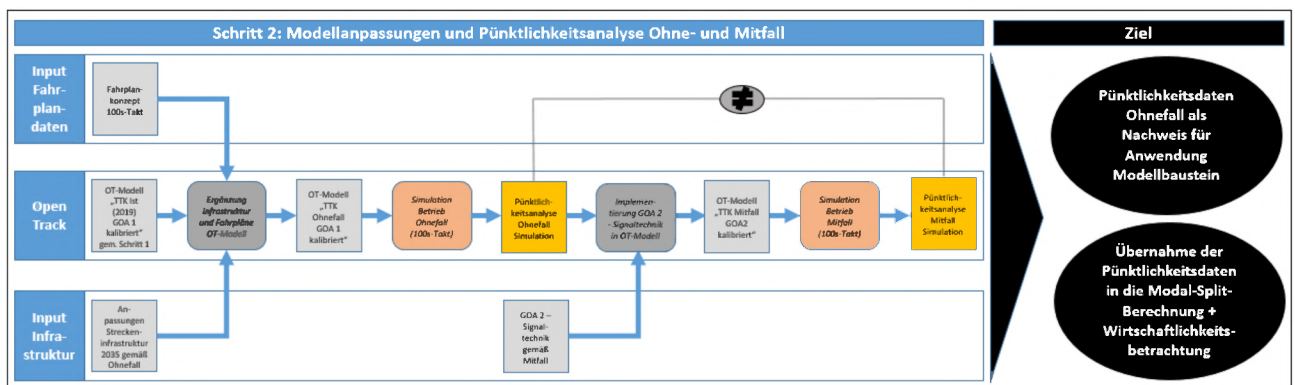


Abbildung 20: Schritte zu Modellanpassungen und Pünktlichkeitsanalyse

Zunächst wurde das OpenTrack-Modell aus dem Analysefall übernommen und angepasst. Folgende Anpassungen wurden vorgenommen:

- Fahrplankonzeption Ohne- und Mitfall
 - Zu Beginn der Untersuchung war ein 5-Minuten-Takt für die U2 und die U4 mit einem Verstärker auf der U2 zwischen Hagenbecks Tierpark und Burgstraße bzw. Billstedt vorgesehen. Nach der Dimensionierungsprüfung (siehe Kapitel 7.1.3) hat sich ergeben, dass ein zusätzlicher U4 Verstärker zur HVZ (7:30 – 9:30 Uhr und 16:30 – 18:30 Uhr) zwischen HafenCity-Universität und Billstedt erforderlich ist. Der U2 Verstärker wird nur noch bis Burgstraße geführt. Das Fahrplankonzept ist in Abbildung 21 dargestellt.
 - Wie die Abbildung 22 zeigt, sieht das zukünftige Fahrplankonzept im Wesentlichen einen 100-Sekunden-Takt auf dem gemeinsamen Abschnitt der U2 und der U4 zur HVZ vor.

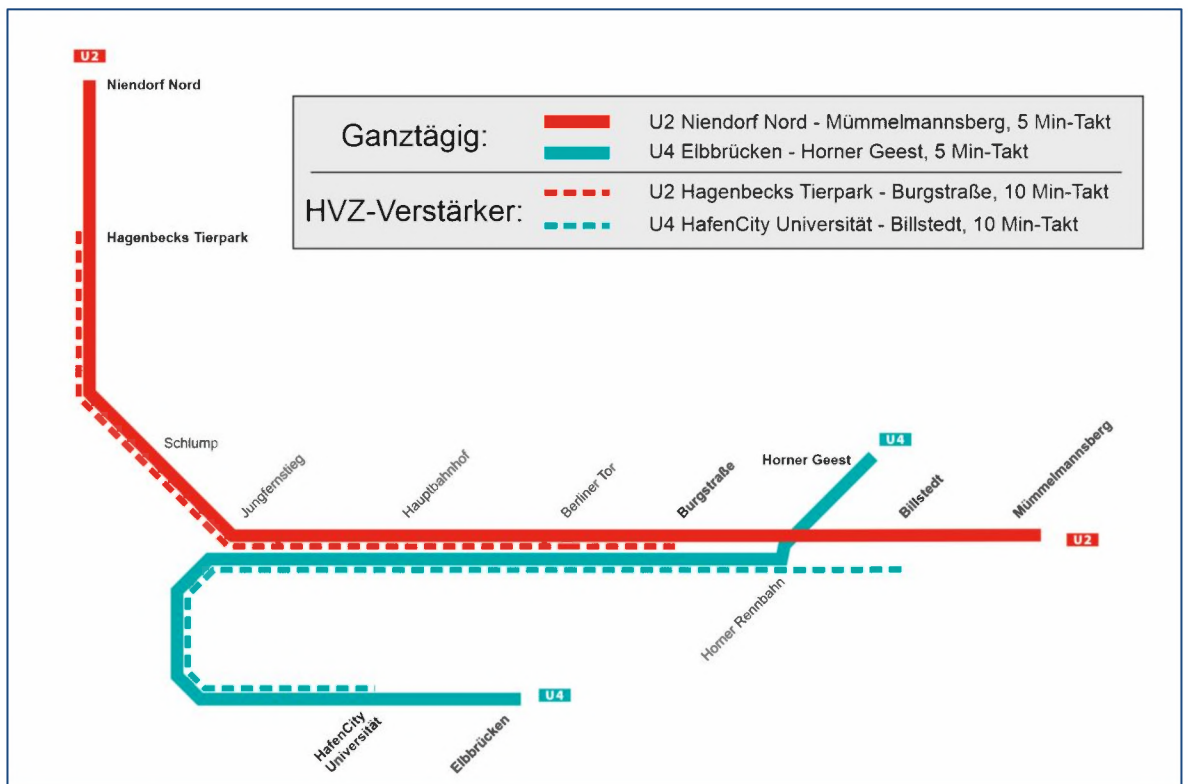


Abbildung 21: Fahrplankonzeption Ohne- und Mitfall

Uhrzeit	HVZ										HVZ													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
U2: Takt [min]	20'	Betriebspause			10'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	10'
U4: Takt [min]	7.17'	Betriebspause			15.20'	10'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	10'
Gesamt: Züge pro 10 Minuten		Betriebspause			2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
Ø Zugfolgezeit [s]		Betriebspause			300	150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	300

Abbildung 22: Taktschema für Ohne- und Mitfall

- Weitere Anpassungen im Ohnefall gegenüber dem Analysefall
 - Die infrastrukturelle Ergänzung der Strecke der U4 auf die Horner Geest wurde im Modell mit den vorliegenden Plänen überprüft.
 - An der Haltestelle Berliner Tor wird es aufgrund der Taktverdichtung im Ohne- und Mitfall keine Anschlusssicherung mehr geben, wodurch davon ausgegangen werden kann, dass die Verteilung der Haltezeit hier weniger gestreut ist. Daher wird die Haltezeit in die

Kategorie C (vgl. Abbildung 18) eingeordnet, anstelle einer individuellen Verteilung, bei gleichbleibendem Mittelwert der Haltezeit.

- Des Weiteren ergibt sich im Mit- und Ohnefall ein veränderter Fahrzeugeinsatz im Vergleich zur Kalibrierung im Analysefall. Im Mit- und Ohnefall erfolgt die Simulation mit DT5-Fahrzeugen, da die DT4 Fahrzeuge in den kommenden Jahren ausgemustert werden.
- Anpassungen im Mitfall
 - Durch die Teilautomatisierung im Mitfall ergibt sich eine Änderung hinsichtlich der Zugicherung. Während im Analyse- und Ohnefall mit konventioneller Signaltechnik im diskreten Blockabstand (GoA1) gefahren wird, wird im Mitfall das System „Communication-Based Train Control“ (CBTC) eingesetzt (GoA2) und somit das Fahren im wandernden Raumabstand „Moving Blocks“ ermöglicht.

6.4 Ergebnisse

Zum Nachweis der Anwendbarkeit des Modellbausteins Betriebsqualität ist zu zeigen, dass der durchschnittliche Verspätungszuwachs im Ohnefall mindestens eine Minute beträgt. Im Folgenden ist der Verspätungszuwachs der U2 und der U4 ab der ersten Haltestelle im Betrachtungsbereich dargestellt, getrennt nach Verkehrszeit und Mit- und Ohnefall.

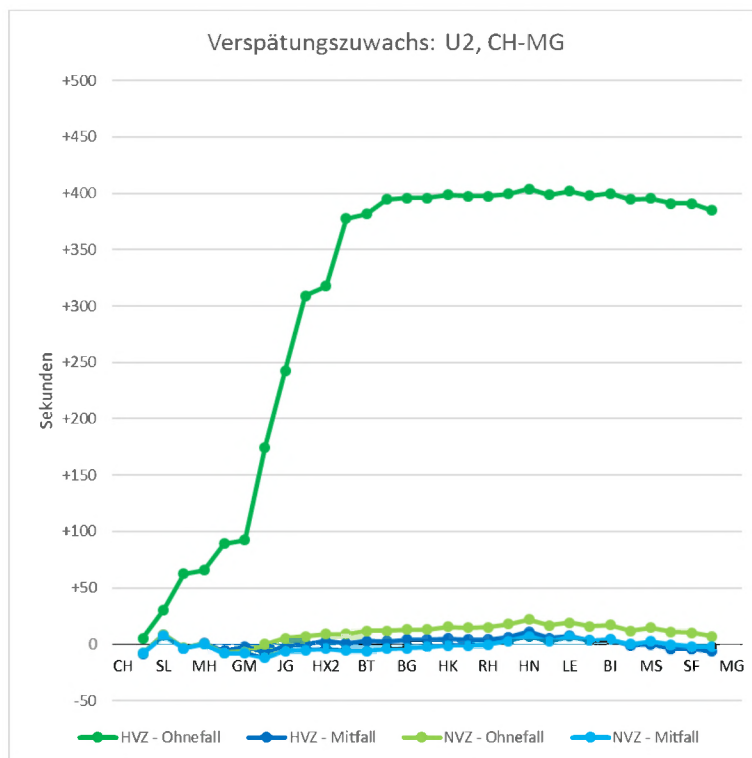


Abbildung 23: Verspätungszuwachs U2 CH-MG

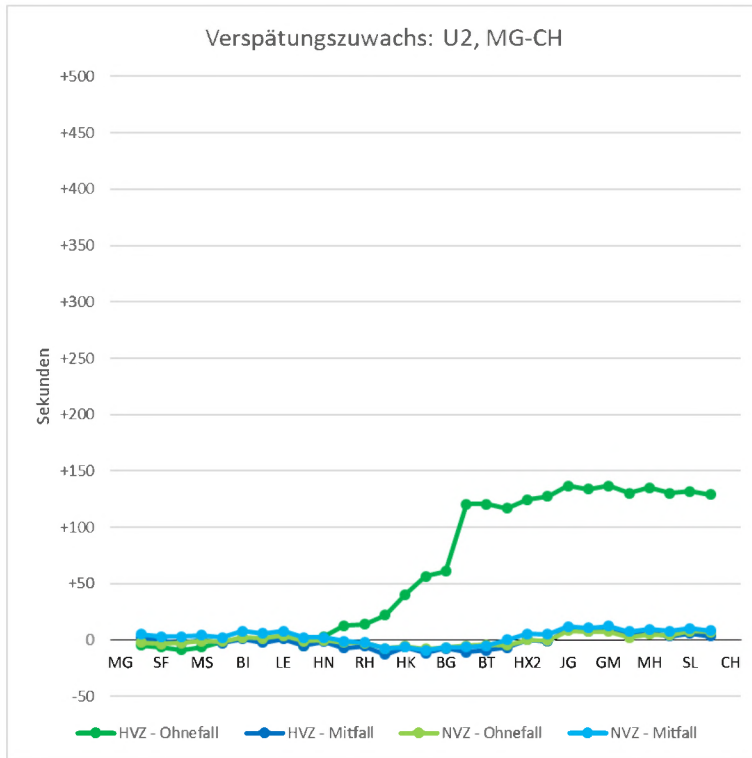


Abbildung 24: Verspätungszuwachs U2 MG-CH

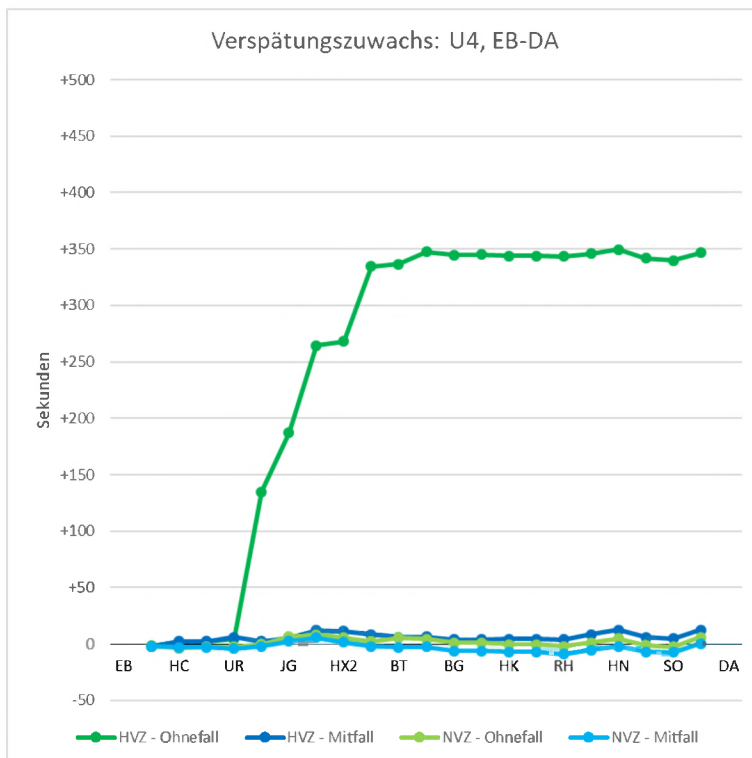


Abbildung 25: Verspätungszuwachs U4 EB-DA

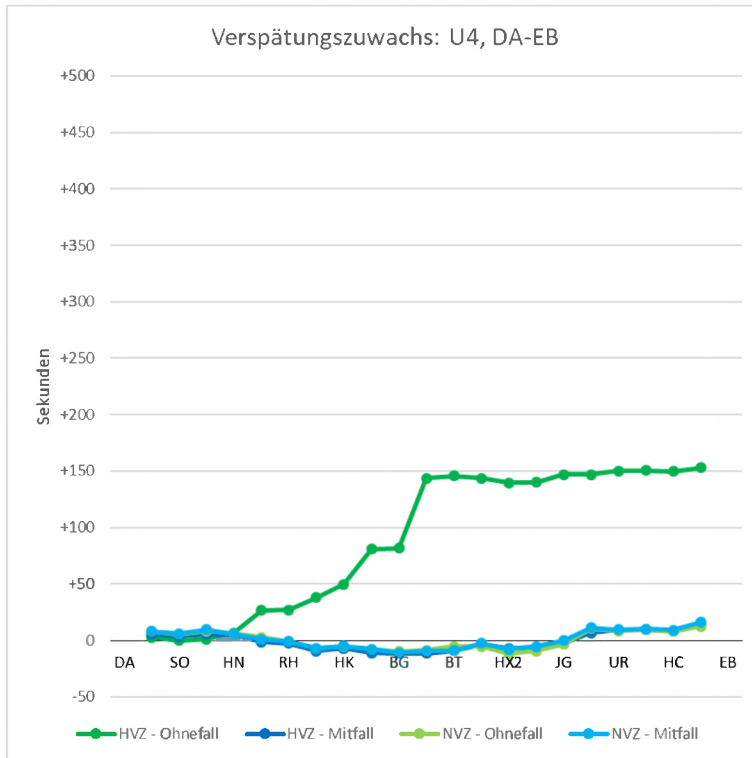


Abbildung 26: Verspätungszuwachs U4 DA-EB

In Abbildung 26 ist beispielweise zu erkennen, dass auf vereinzelt Abschnitten auch ein negativer Verspätungszuwachs auftritt. Dies ist mit der vorangegangenen Kalibrierung der ITCS-Daten zu erklären, da die Fahrzeiten nur anhand der Gesamtfahrzeit im Betrachtungsbereich kalibriert wurden und nicht haltestellengenau. Betrachtet man die ITCS-Daten, so erkennt man, dass auch im Bestand negative Verspätungszuwächse auftreten. Daher werden die hier simulierten Fahrzeiten als plausibel angesehen.

In der folgenden Tabelle ist zusammenfassend der durchschnittliche Verspätungszuwachs aufgeführt, der sich am Ende des Betrachtungsraumes für beide Linien und beide Richtungen ergibt. Es zeigt sich, dass im Ohnefall in der HVZ ein extrem hoher Verspätungszuwachs auf beiden Linien und beiden Richtungen entsteht. Der Verspätungszuwachs liegt hier etwa zwischen 2 und 6,5 Minuten. In der Simulation ist zu beobachten, dass sich die Züge in beiden Richtungen jeweils vor dem gemeinsam durch beide Linien bedienten Abschnitt stauen. Der dadurch entstehende Verspätungszuwachs fällt dabei in Fahrtrichtung Mümmelmannsberg stärker aus. Dies ist vor allem mit der auf diesem Abschnitt dichteren Taktfolge (U2-Verstärker) zu begründen. Diese Verspätungen können auch gegen Ende des Laufweges nicht mehr wesentlich abgebaut werden und führen an den Endhaltestellen zu Folgeverspätungen. Der Verspätungszuwachs im Ohnefall in der HVZ ergibt sich jedoch nur bedingt durch Verzögerungen in Folge von Verspätungsübertragung aus vorheriger Fahrt.

Verspätungszuwachs [s] im Betrachtungsbereich			
Linie und Richtung	Verkehrszeit	Ohnefall	Mitfall
U2 Richtung Mümmelmannsberg	HVZ	+385	-7
	NVZ	+7	-2
U2 Richtung Niendorf Nord	HVZ	+129	+4
	NVZ	+7	+9
U4 Richtung Horner Geest	HVZ	+347	+13
	NVZ	+6	+1
U4 Richtung Elbbrücken	HVZ	+153	+16
	NVZ	+13	+16

Tabelle 3: Verspätungszuwachs im Mit- und Ohnefall

Da der Verspätungszuwachs im Ohnefall durchschnittlich ca. 130 Sekunden und damit mehr als eine Minute beträgt, ist der Nachweis zu Anwendbarkeit des Modellbausteins Betriebsqualität geführt und dieser kann somit angewendet werden.

Zur Übernahme der Pünktlichkeitsdaten in die weitere Berechnung im Verkehrsmodell muss die Ankunftsverspätung an jeder Haltestelle bestimmt werden, getrennt nach Verkehrszeit, Linie und Richtung. Im Folgenden sind die Ankunftsverspätungen grafisch für den Betrachtungsraum dargestellt.

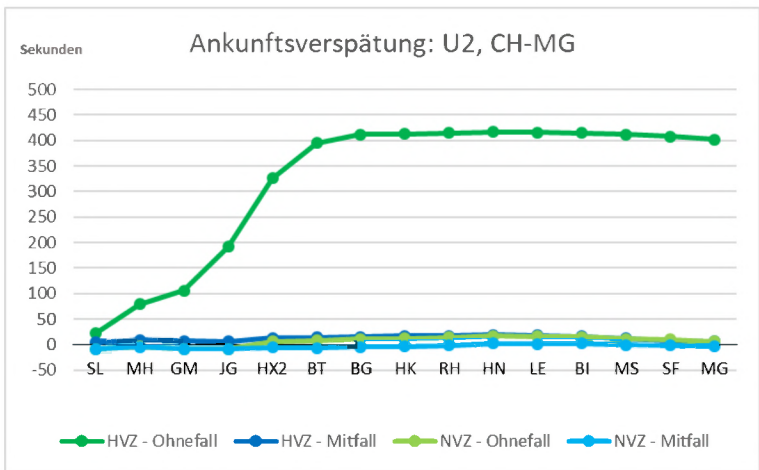


Abbildung 27: Ankunftsverspätung U2 CH-MG

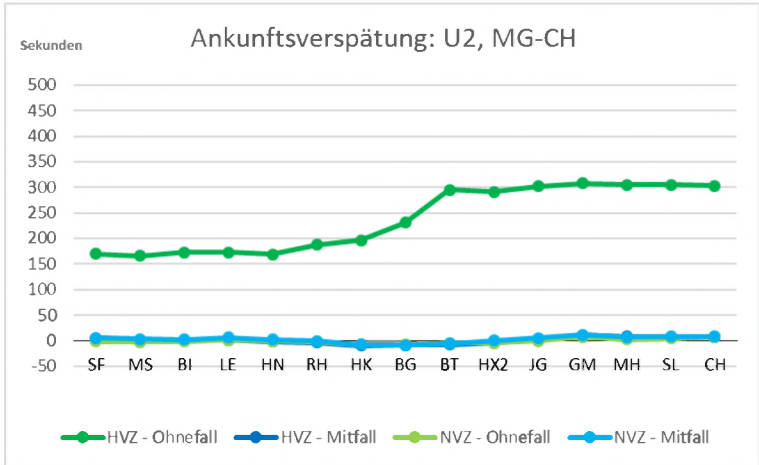


Abbildung 28: Ankunftsverspätung U2 MG-CH

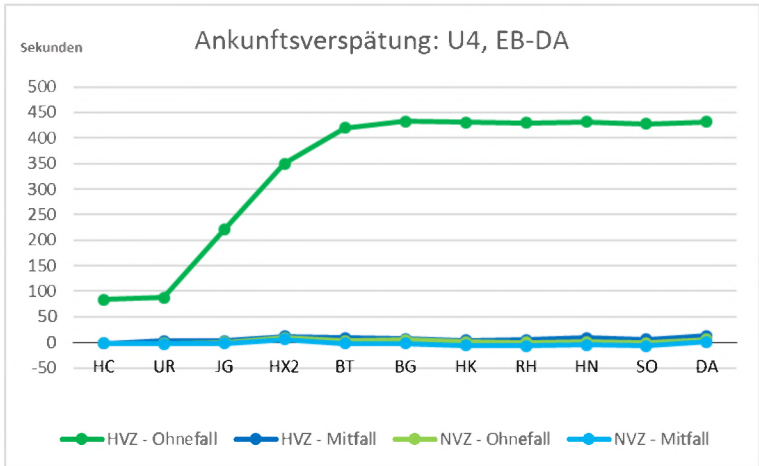


Abbildung 29: Ankunftsverspätung U4, EB-DA

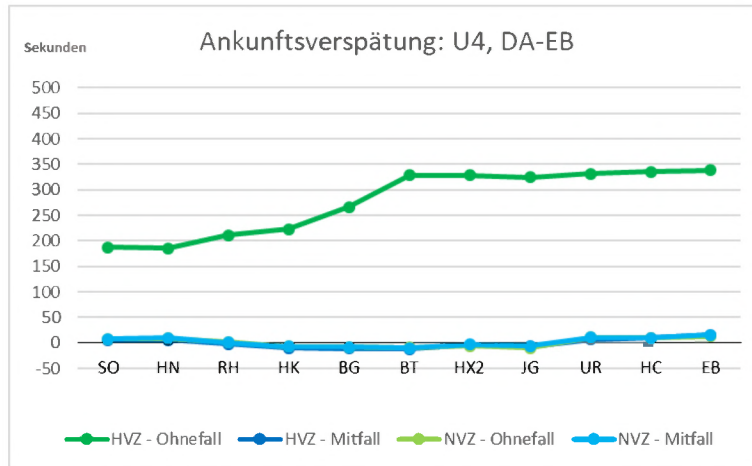


Abbildung 30: Ankunftsverspätung U4, DA-EB

Im Ohnefall zur HVZ ergeben sich extrem hohe Ankunftsverspätungen auf beiden Linien in beide Richtungen. Die Ankunftsverspätung liegt durchschnittlich im Bereich zwischen fünf und sieben Minuten. Diese hohen Werte ergeben sich neben dem Verspätungszuwachs insbesondere auch durch Folgeverspätungen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der 150s-Takt zur NVZ sowohl im Ohne- wie im Mitfall problemlos fahrbar ist. Der 100s-Takt zur HVZ ist im Ohnefall mit herkömmlicher Signaltechnik nicht fahrbar, die dichte Zugfolge auf dem gemeinsamen Abschnitt beider Linien führt zu massiven Verspätungen und das System ist nicht mehr leistungsfähig. Hingegen ist im Mitfall mit teilautomatisiertem Betrieb mit CBTC-Zugsicherung der 100s-Takt problemlos fahrbar.

6.5 Übernahme der Ergebnisse die Bewertung der Teilautomatisierungsabschnitte der U2 und U4

Nach Version 2016+ der Standardisierten Bewertung gehen die Ankunftsverspätungen bei der Modal-Split-Berechnung als zusätzliche additive Komponente in den ÖPNV-Routenwiderstand ein. Das Verfahren sieht vor, dass die Ankunftsverspätung je Linienhalt berücksichtigt wird. Da die Ankunftsverspätungen auf den betroffenen Abschnitten teilweise höher sind als die Taktfolgezeiten, ist der Ansatz von Ankunftsverspätungen bei der geringen Taktfolgezeit im Maßnahmenggebiet nicht angemessen. In Abstimmungsprozess wurde deshalb festgelegt, dass das Minimum aus Ankunftsverspätung und halber mittlerer Taktfolgezeit in der Widerstandberechnung berücksichtigt wird.

Um eine vergleichbare Datenbasis zu Grunde zu legen, werden die Simulationsergebnisse im Ohne- und Mitfall berücksichtigt. Im Mitfall ergeben sich aus der Simulation minimale Ankunftsverspätungen (im einstelligen Sekundenbereich). Im Ohnefall wird das Minimum aus Ankunftsverspätung und halber mittlerer Taktfolgezeit berücksichtigt.

Die folgenden Abbildungen zeigen die halben mittleren Taktfolgezeiten und simulierten Ankunftsverspätungen im Linienverlauf der U2 und U4. Auf dem gemeinsamen Abschnitt der U2

und U4 zwischen Jungfernstieg und Horner Rennbahn wird die zu berücksichtigende Widerstandskomponente aufgrund des dichten Taktes durch die halbe mittlere Taktfolgezeit festgelegt.

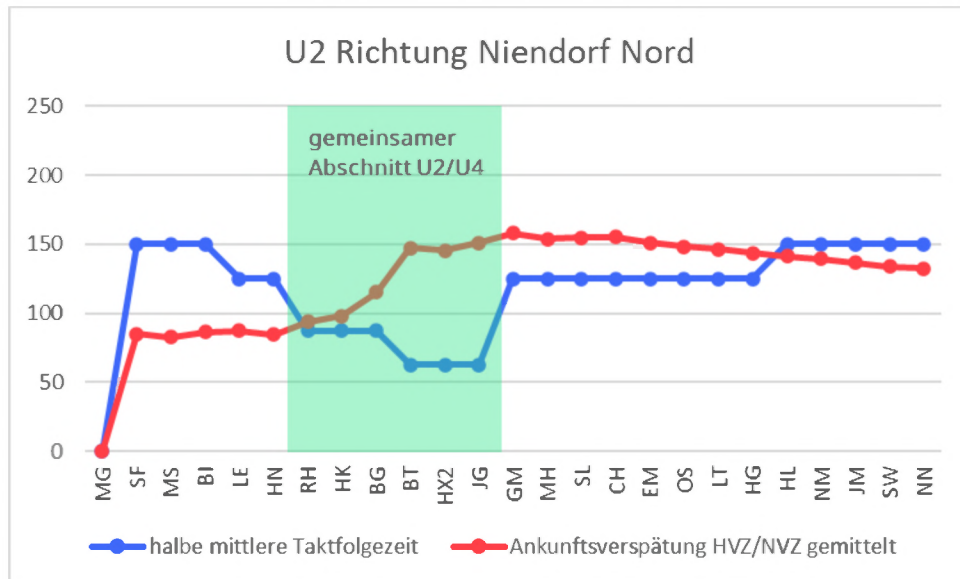


Abbildung 31: Linie U2 - Taktfolgezeit und Ankunftsverspätung im Ohnefall

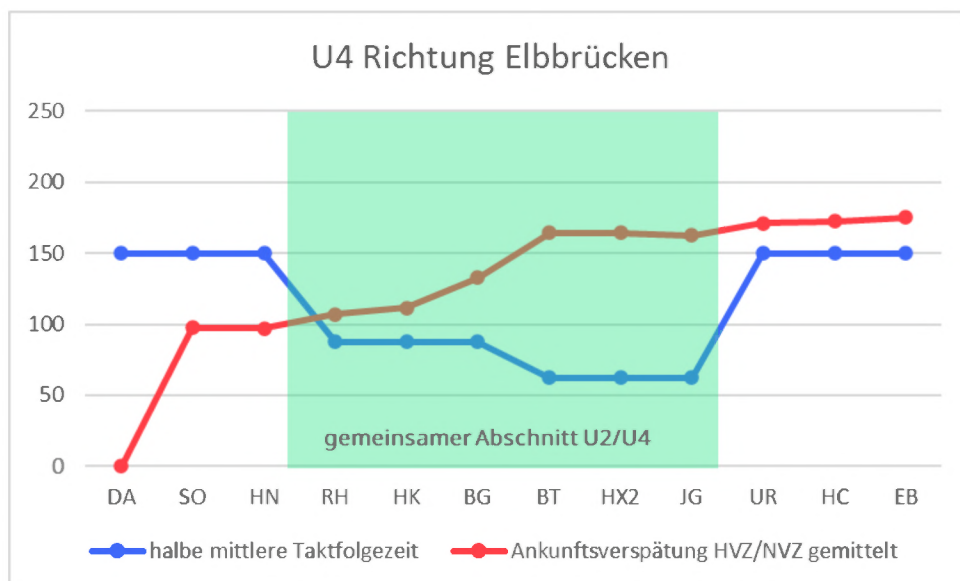


Abbildung 32: Linie U4 - Taktfolgezeit und Ankunftsverspätung im Ohnefall

7 Verkehrsnachfrage

7.1 Verkehrsnachfrage im Analyse- und Ohnefall

7.1.1 Verkehrsnachfrage im Analysezustand

Formblatt 2-1

Die Nachfragedaten des Analysezustandes basieren auf dem BVM-Verkehrsmodell der Stadt Hamburg. Der Analysefall wurde mit dem Matrixkorrekturverfahren V-Strom-Fuzzy anhand von AFZS-Daten aus dem Jahr 2018 nachkalibriert.

Die Eckwerte der Verkehrsnachfrage sind in Formblatt 2-1 zusammengefasst.

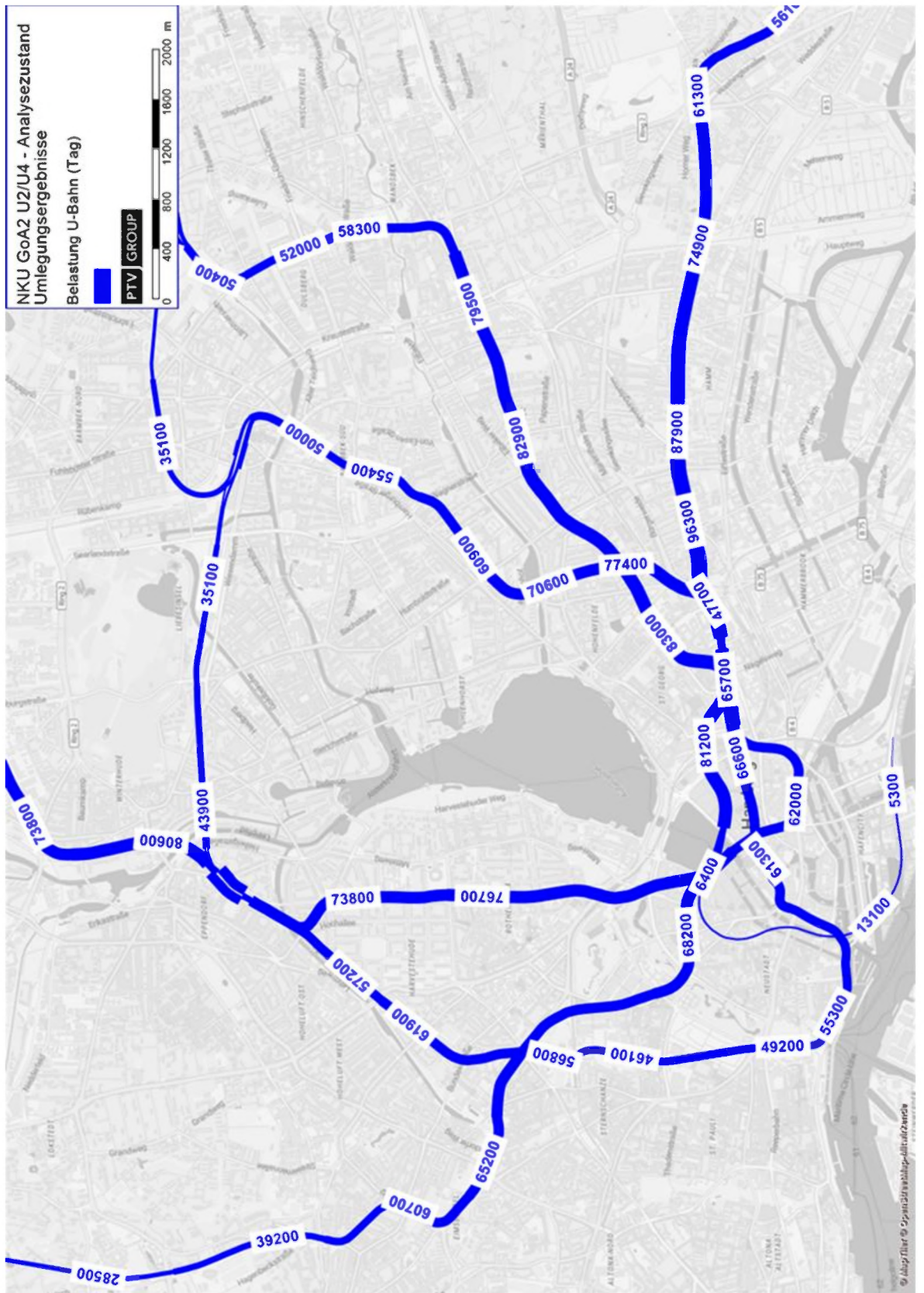


Abbildung 33: Umlegung Analysezustand

7.1.2 Methode der Prognose vom Analyse- zum Ohnefall

Methodischen Vorgehen

Durch das Vorliegen getrennter BVM-Verkehrsmodelle für den Analyse- und den Ohnefall, liegen bereits Nachfrageprognose für den Prognosezustand vor. Zur Berücksichtigung aktueller Daten wurden die Prognosedaten des BVM-Modells für den Ohnefall der Standardisierten Bewertung fortgeschrieben.

Folgende Schritte wurden bei der Aktualisierung des Ohnefalls im Nachfragesegment „Erwachsene“ durchgeführt:

- Änderung Strukturdaten (vgl. Kapitel 4.3)
- Übernahme der Korrekturmatrix aus dem Matrixkorrekturverfahren im Analysefall gemäß FGSV-Empfehlung⁶
- Berücksichtigung der geplanten U5
- Berücksichtigung tariflicher Wirkungen durch das Deutschlandticket (D-Ticket)

Beim Schülerverkehr werden die Analyse- und Prognosematrizen der BVM-Modelle übernommen.

Deutschlandticket

Das 2023 eingeführte Deutschlandticket (D-Ticket) wird bei der Nachfrage der Erwachsenen im Ohnefall berücksichtigt.

Für Verkehre innerhalb des Hamburger Verkehrsverbundes (HVV) wurde eine Zunahme der Fahrgäste auf Basis der Verkaufsstatistiken und einer vereinfachten Modellierung des Tarifsystems abgeleitet. Dazu wurde ein mittlerer Preis über alle Ticketarten je Preisstufe gebildet und nach Anzahl der Wege gewichtet. Daraufhin wurde ein Preisrückgang und ein Nachfragezuwachs mit D-Ticket berechnet, wenn die Zeitkarten im HVV durch das D-Ticket ersetzt werden.

Gemittelt über alle Fahrscheinarten sinkt der Fahrpreis zwischen 17 % und 49 %. Gemäß den Vorgaben des Bewertungsverfahrens steigt die ÖV-Nachfrage somit zwischen 4 % und 13 % und die Fahrgäste werden vom IV auf den ÖV verlagert. Fahrgastzuwächse auf Relationen, die über den HVV hinausgehen, wurden nicht berücksichtigt, da keine geeignete Datenbasis zur Anpassung vorlag. Damit ist das Fahrgastaufkommen und der volkswirtschaftliche Nutzen der Maßnahme voraussichtlich etwas unterschätzt.

⁶ Methode 2: Kombination mittels arithmetischen Mittelwerts, aus Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe "Verkehrsplanung", - Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr, Ausgabe 2022, S82

Preisstufe	gewichtete Preise ohne D-Ticket	gewichtete Preise mit D-Ticket	Preisänderung	Nachfrageänderung
AB	1,66 €	1,20 €	-28%	7%
3 Ringe	1,94 €	1,42 €	-27%	7%
4 Ringe	3,82 €	3,15 €	-17%	4%
5 Ringe	2,86 €	1,46 €	-49%	13%

Tabelle 4: Nachfrageänderungen im Ohnefall durch das Deutschlandticket

7.1.3 Verkehrsnachfrage im Ohnefall

Formblatt 3-2

Gegenüber dem Analysezustand ändert sich das Fahrgastaufkommen im Ohnefall aufgrund der strukturellen Entwicklung, der Angebotsänderungen und den tariflichen Wirkungen des Deutschlandtickets.

Detailliertere Daten zur Verkehrsnachfrage im Ohnefall sind im Formblatt 3-2 dokumentiert.

Dem Formblatt 3-3 können weitere Eckdaten der Matrizen im Analysezustand und Ohnefall entnommen werden. Diese beziehen sich auf den Binnenverkehr von Hamburg.

- Da die Einwohnerzahl steigt, steigt im Ohnefall auch die Anzahl der motorisierten Fahrten, obwohl die Mobilitätsrate etwas sinkt.
- Bezogen auf den motorisierten Verkehr steigt der ÖPNV-Anteil in Hamburg zwischen dem Analysezustand und dem Ohnefall von 36 % auf 49 %. Dies resultiert aus dem Ausbau der U- und S-Bahn Infrastruktur und dem erweiterten Busangebot. Zusätzlich steigen die mittleren Reisezeiten im MIV aufgrund der geplanten Einschränkungen.
- Die mittlere Reisezeit im ÖV nimmt gegenüber dem Analysezustand um 3,8 % ab. Hierfür ist der Ausbau des U-Bahn Angebotes maßgeblich.

ÖV-Umlegung und Angebotsdimensionierung im Ohnefall

Die folgende Abbildung zeigt die Umlegung der Ohnefallnachfrage und die Querschnittsbelastung im U-Bahn-Netz.

Die Dimensionierung des Verkehrsangebotes erfolgt nach Anzahl der Gesamtplätzen.

Bei der Dimensionierungsprüfung wurden Spitzenstundenanteile berücksichtigt, die auf Auswertungen der AFZS-Daten der betroffenen Linien basieren.

Das Formblatt 3-4 zeigt, dass das Angebot angemessen dimensioniert ist. In der folgenden Tabelle ist die Dimensionierungsprüfung für den Ohnefall zusammengefasst:

Verkehrsnachfrage und Dimensionierungsprüfung im Ohnefall					
Nr.	Querschnitt	Werktägliche Querschnittsbelastung ÖPNV	Spitzenstundenanteil	Fahrtangebote in der Spitzenstunde	Platzausnutzungsgrad
		[Personenfahrten/ Werktag]	[%]	[Fahrten/ Stunde]	[%]
1	Gänsemarkt - Jungfernstieg (U2)	84.700	10,3	18	35
2	Jungfernstieg - Überseequartier (U4)	74.200	16,8	18	50
3	Jungfernstieg - Hbf Nord (U2, U4, U5)	201.500	12,5	72	21
4	Berliner Tor - Burgstraße (U2, U4)	142.600	12,1	36	34
5	Horner Rennbahn - Stoltenstraße (U4)	26.800	12,9	12	21
6	Legienstraße - Horner Rennbahn (U2, U4)	77.800	14,2	24	33
7	Christuskirche - Schlump (U2)	81.900	14,8	18	48

Tabelle 5: Dimensionierungsprüfung im Ohnefall

7.2 Verkehrsnachfrage im Mitfall

7.2.1 Methode der Prognose vom Ohnefall zum Mitfall

Mit der Teilautomatisierung ist im Mitfall ein stabiler und pünktlicher Betrieb der U2 und U4 möglich. Mit dem fakultativer Modellbaustein Betriebsqualität wurde nachgewiesen, dass dies im Ohnefall nicht möglich ist. Detaillierte Informationen sind in Kapitel 6 enthalten.

Als Änderung gehen die Ankunftsverspätungen als zusätzliche additive Komponente in den ÖPNV-Routenwiderstand im Ohne- und Mitfall ein. Im Abstimmungsprozess wurde festgelegt, dass das Minimum aus der Ankunftsverspätung und der halben mittlerer Taktfolgezeit in der Widerstandberechnung berücksichtigt wird.

Davon abgesehen wird im Ohne- und Mitfall das gleiche Verkehrsangebot im ÖV und MIV berücksichtigt.

7.2.2 Ergebnisse der Nachfrageprognose

Formblatt 4-3

Die Umsetzung der Maßnahme bringt für die Fahrgäste gegenüber dem Ohnefall auf vielen nachfragestarken Relationen große Vorteile. Die wesentliche Verbesserung ist ein stabiler und pünktlicher Betrieb der U2 und U4 bei einem 100s-Takt in der HVZ.

Die ÖV-Anteile im motorisierten Verkehr steigen auf den aggregierten Grobrelationen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet um durchschnittlich 0,3 %-Punkte. Auf der Relation Borgfelde/ St.Georg/ Hammerbrook ↔ HafenCity steigt der ÖV-Anteil mit +6,0 %-Punkten am deutlichsten an.

Formblatt 4-4

Die Gegenüberstellung von Kenndaten der Verkehrsnachfrage im Mit- und im Ohnefall auf betroffenen Verkehrsbeziehungen zeigt:

- Durch die geplante Maßnahme werden im Saldo 25.120 neue Fahrgäste/Tag für den ÖV prognostiziert.
- Die neuen ÖV-Fahrgäste werden überwiegend vom Pkw verlagert (17.240 Fahrgäste/Tag). Aufgrund des pünktlichen Betriebs werden aber auch in größerem Umfang neue Fahrten induziert (7.880 Fahrgäste/Tag).
- Der ÖV-Anteil steigt auf den betroffenen Relationen durch die Maßnahme um 3,9 %-Punkte von 58,9 % auf 62,2 %.
- Die Beförderungsleistung beim ÖV steigt bei den Erwachsenen um 164.211 Personen-Kilometer/Werktag.
- Bei den Schülern bleibt die Beförderungsleistung gleich, da die Schüler in der Nachfrageprognose nicht berücksichtigt werden.

7.2.3 ÖV-Umlegung und Angebotsdimensionierung im Mitfall

Gegenüber dem Ohnefall ändert sich das Fahrgastaufkommen im Mitfall aufgrund des durch die Teilautomatisierung ermöglichten, pünktlichen Betriebs.

Die folgende Abbildung zeigt die Umlegung der Mitfallnachfrage und die Querschnittsbelastung im U-Bahn-Netz.

Die Auslastung und Dimensionierungsprüfung in den Formblättern 4-1 und 4-2 zeigt, dass das Angebot im Mitfall angemessen dimensioniert ist. Insgesamt zeigt die Dimensionierungsprüfung, dass es in der Regel keine Kapazitätsprobleme gibt. Der Platzausnutzungsgrad steigt an den Dimensionierungsquerschnitten um maximal 4 %-Punkte.

In der folgenden Tabelle ist die Dimensionierungsprüfung für den Ohnefall zusammengefasst:

Verkehrsnachfrage und Dimensionierungsprüfung im Mitfall					
Nr.	Querschnitt	Werktägliche Querschnittsbelastung ÖPNV	Spitzenstundenanteil	Fahrtangebote in der Spitzenstunde	Platzausnutzungsgrad
		[Personenfahrten/ Werktag]	[%]	[Fahrten/ Stunde]	[%]
1	Gänsemarkt - Jungfernstieg (U2)	89.700	10,3	18	37
2	Jungfernstieg - Überseequartier (U4)	79.000	16,8	18	53
3	Jungfernstieg - Hbf Nord (U2, U4, U5)	208.900	12,5	72	38
4	Berliner Tor - Burgstraße (U2, U4)	149.200	12,1	36	36
5	Horner Rennbahn - Stoltenstraße (U4)	27.900	12,9	12	22
6	Legienstraße - Horner Rennbahn (U2, U4)	81.100	14,2	24	34
7	Christuskirche - Schlump (U2)	87.500	14,8	18	52

Tabelle 6: Dimensionierungsprüfung im Mitfall

8 Nutzen und Kosten der Maßnahme

8.1 Fahrgastnutzen

Formblätter 5-1 und 5-2

Vorgehensweise

Die Änderung des Fahrgastnutzens im ÖPNV wird mit Hilfe des Widerstands und der Verkehrsnachfrage im Mit- und Ohnefall ermittelt. Dabei werden die maßgebenden ÖV-Fahrten (Mittelwert zwischen Ohne- und Mitfallnachfrage) betrachtet. Die Widerstandsdifferenz der ÖV-Fahrten wird auf der Relationsebene berechnet und zusammengefasst.

Durch die Maßnahme sinken die Verspätungszeiten der Linien U2 und U4. Nach den Verfahrensvorgaben gehen Verspätungszeiten mit dem Faktor 2,7 in den ÖV-Widerstand ein. Die Verspätungszeiten im Ohne- und Mitfall wurden mit dem fakultativen Modellbaustein Betriebsqualität ermittelt. Im Abstimmungsprozess wurde festgelegt, dass das Minimum aus der Ankunftsverspätung und der halben mittlerer Taktfolgezeit in der Widerstandsberechnung berücksichtigt wird.

Ergebnis

- Von der Maßnahme sind in Hamburg 306.952 Erwachsene und 12.149 Schüler betroffen. Die verbesserte Betriebsqualität durch die Teilautomatisierung führt zu ÖV-Widerstandsverbesserung zwischen 0 und 10 Minuten.
- Die gesamte Widerstandsdifferenz maßgebender ÖPNV-Fahrten sinkt bei Erwachsenen um 16.805 Stunden pro Werktag. Im Schülerverkehr sinkt sie um 700 Stunden pro Werktag.
- Daraus resultiert eine Einsparung von 5,217 Mio. Stunden/Jahr. Dies führt zu einem Nutzen aus Reisezeitdifferenzen von 34.432 T€/a.

8.2 Nutzen aus ÖPNV-Fahrgeld

Formblatt 5-1

Vorgehensweise

Die berechnete Beförderungsleistungsänderung durch zusätzliche Fahrten im ÖPNV wird mit einem kilometerabhängigen ÖV-Fahrgeld bewertet (0,13 €/Pkm).

Ergebnisse

Im Mitfall werden pro Werktag 25.124 Fahrten zusätzliche Personenfahrten unternommen. Es wird eine zusätzliche Beförderungsleistung von 49,3 Mio. Personenkilometer/Jahr erreicht. Der Nutzen aus dem ÖPNV-Fahrgeld beträgt 6.404 T€ im Jahr.

8.3 Umweltfolgen MIV

Formblatt 6

Vorgehensweise:

Die Änderung der Umweltfolgen des MIV wird über den Saldo der MIV-Verkehrsleistungen in Personenkilometern zwischen Mit- und Ohnefall abgeleitet. Diese werden unter Ansatz eines Pkw-Besetzungsgrads von 1,3 und eines Hochrechnungsfaktors vom Werktag auf das Jahr in Höhe von 300 in eingesparte Pkw-Betriebsleistungen umgerechnet.

Die Kosten- und Emissionsraten je Pkw-km sind vom Verfahren vorgegeben.

Die THG-Emissionen für die Pkw-Herstellung wurden dabei auf die durchschnittliche Laufleistung eines Pkw während des gesamten Lebenszyklus umgelegt.

Ergebnisse:

- Im Mitfall werden 28 Mio. Pkw-km/Jahr vermieden.
- Als dem vermiedenen Pkw-Verkehr werden die folgenden Einsparungen berechnet:
 - CO₂-Emissionen aus dem Pkw-Betrieb: -3.561 t/Jahr
 - Treibhausgasemissionen aus der Herstellung von Pkw: -1.149 t/Jahr
 - Emissionen von Luftschadstoffen: -112 T€/Jahr
 - Primärenergieverbrauch des MIV: -50.461 GJ/Jahr

8.4 Änderung der ÖPNV-Betriebskosten

Vorgehensweise:

Da sich das Verkehrsangebot im Ohne- und Mitfall nicht unterscheidet, gibt es keine Änderungen bei den Unterhaltungs-, Personal- und Energiekosten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird daher auf die Formblätter 9-1 bis 9-5 verzichtet.

Änderungen bei den Betriebskosten ergeben sich nur aus dem Kapitaldienst für die Fahrzeugausstattung, welche für die Teilautomatisierung benötigt wird.

Die Kosten für die Umrüstung eines Fahrzeuges beträgt [REDACTED] (Preisstand 2022). Es wurde keine Rückrechnung auf den Preisstand 2016 durchgeführt. Die Lebensdauer der Technik beträgt 20 Jahre. Die Wartungskosten sind reine Sichtprüfungen und können kostentechnisch vernachlässigt werden. Insgesamt werden 163 Fahrzeuge umgerüstet.

Ergebnisse:

- Investition zusätzliche Fahrzeugausstattung: [REDACTED]
(163 Fahrzeuge x [REDACTED]/Fahrzeug)
- Annuität bei Nutzungsdauer von 20 Jahren: 0,0594
- Daraus resultierender Kapitaldienst [REDACTED] Jahr

8.5 Kapitaldienst und Unterhaltungskosten ÖV-Fahrweg

Formblätter 10-1 bis 10-3

Mitfall

Die in der volkswirtschaftlichen Bewertung relevanten Fahrweginvestitionen mit Sicherheitszuschlägen belaufen sich mit Preisstand 2022 auf insgesamt 117,6 Mio. € (siehe Kapitel 3.3). Davon entfallen

- 106,9 Mio. € auf die Infrastrukturmaßnahme und
- 10,7 Mio. € auf die Planungskosten

Zur Bewertung werden die Investitionen über vom Verfahren vorgegebene Preisindizes auf den Preisstand 2016 zurückgerechnet. Es wird eine technisch erforderliche Bauzeit von 4 Jahren berücksichtigt.

Auf Basis der verfahrensseitigen Berechnungsvorgaben resultieren daraus folgende jährliche Fahrwegkosten mit Preisstand 2016:

- Kapitaldienst Fahrweg 5.948 T€/a
- Unterhaltung Fahrweg 917 T€/a

Bei der Ermittlung des Kapitaldienstes ist eine Bauzeit von 4 Jahren angesetzt.

Ohnefall

Es wurden keine Infrastrukturmaßnahmen im Ohnefall angesetzt.

8.6 Änderung der Unfallfolgen

Formblatt 11

Vorgehensweise:

- Die Unfallraten der Fahrzeuge (Stadtbahn, Bus und Pkw) sind verfahrensseitig vorgegeben.
- Über die Änderungen der ÖV-Betriebsleistung und der vermiedenen Pkw-Betriebsleistung wird die Anzahl der mittleren Schadensfälle pro Jahr ermittelt.

Ergebnisse:

- Wegen der verringerten Pkw-Fahrleistung (-28 Mio. Pkw-km/Jahr) sinken die Unfallzahlen im MIV deutlich.
- Da sich die ÖV-Betriebsleistung nicht ändert, gehen keine ÖV-Unfallkosten in die Bewertung ein.
- Im Saldo beläuft sich der positive Nutzen aus vermiedenen Unfallschäden auf 2.383 T€/a.

8.7 Treibhausgasemissionen für die Streckeninfrastruktur

Formblatt 12-2

Für die neu zu errichtenden baulichen Anlagen sind Treibhausgasemissionen zu berücksichtigen.

Vorgehensweise:

- Für die Anlagen wurden von der Hochbahn die benötigten Mengeneinheiten ermittelt. Kunstbauwerke sind nicht betroffen.
- Die Emissionsraten sind verfahrensseitig vorgegeben.

Ergebnisse:

- Aus den baulichen Anlagen ergeben sich jährliche THG-Emissionen von 74,3 t CO₂/a.
- Bei einer Bewertung mit 670 €/t führt es zu einem negativen Nutzen von -50 T€/a. Gegenüber den Einsparungen beim Pkw-Betrieb ist dies ein geringer Nutzenverlust.

8.8 Saldo der Umweltfolgen

Formblätter 12-3

Vorgehensweise:

- Die Emissionsraten für CO₂ sowie die Bewertungsansätze weiterer Schadstoffe sind verfahrensseitig vorgegeben.
- Über die Änderungen der Fahrleistung im ÖV und IV wird die Änderung der Emissionsschäden ermittelt.

Ergebnisse CO₂-Emissionen:

- MIV: Durch die reduzierte MIV-Fahrleistung werden jährlich 3.561 t CO₂ vermieden, die ersparte CO₂-Emission in der Fahrzeugherstellung beträgt 1.149 t CO₂ pro Jahr.
- ÖPNV: Aus dem Ausbau der ÖV-Infrastruktur resultieren zusätzlich 74,3 t CO₂ pro Jahr.
- Im Saldo sinkt der CO₂-Ausstoß beim ÖPNV und MIV um 4.636 t CO₂ pro Jahr. Daraus ergibt sich ein Nutzenbeitrag von 3,1 Mio. €/Jahr.

Ergebnisse Schadstoffe

- Aus der eingesparten MIV-Fahrleistung resultiert ein Nutzen aus vermiedenen Emissionsschäden von 112 T€ pro Jahr.

8.9 Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch

Formblatt 16

Indem der motorisierte Individualverkehr zugunsten des öffentlichen Personennahverkehrs verlagert wird, entstehen freie Kapazitäten im Straßenverkehr, die entweder zur Reduzierung von Staus genutzt oder für andere Zwecke umgewidmet werden können. Auf diese Weise kann ein Projekt zur Verbesserung der Funktionsfähigkeit des Verkehrsnetzes beitragen und den Flächenverbrauch, der durch motorisierten Verkehr verursacht wird, reduzieren.

Vorgehensweise

Der gesamtwirtschaftliche Nutzwert dieser Effekte hängt von den Raumtypen ab, in dem sich die Straßeninfrastruktur befindet. Dazu wird auf die zusammengefassten regionalstatistischen Raumtypen nach RegioStaR 17, des BMDVs zurückgegriffen.

Ergebnisse

Im Mitfall beträgt die Einsparung an Pkw-Fahrleistung im Binnenverkehr Hamburg 24,5 Mio. km/Jahr. In der Bewertung wird der Quell- und Zielverkehr von Hamburg vereinfacht nicht berücksichtigt. Damit ist der volkswirtschaftliche Nutzen der Maßnahme etwas unterschätzt. Die vermiedene Pkw-Fahrleistung führt zu einer monetären Bewertung von 2.697 T€/Jahr.

8.10 Primärenergieverbrauch

Formblatt 17

Vorgehensweise

Der Primärenergieverbrauch wird über Änderungen der Fahrleistung ermittelt. Der Saldo des Primärenergieverbrauchs wird mit Punkten bewertet und als eigener nutzwertanalytischer Teilindikator ausgewiesen.

Ergebnisse

Durch die verbesserte ÖPNV-Betriebsqualität sinkt die Pkw-Fahrleistung, was den Primärenergiebedarf deutlich senkt. Durch die Maßnahme entsteht eine Einsparung an Primärenergieverbrauch von 50.461 GJ/Jahr beim MIV. Damit wird ein Nutzen von 704 T€/Jahr generiert.

Da die ÖPNV-Betriebsleistung unverändert bleibt, ändern sich der Primärenergieverbrauch des ÖPNV in der Bewertung nicht.

9 Bewertungsergebnis

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Teilindikatoren und die Bewertungsergebnisse (Nutzen-Kosten-Indikatoren).

Teilindikator		Dimension der originären Messgröße	Wert der originären Messgröße	Bewertungsansatz	monetäre Bewertung [T€/Jahr]
monetarisierbar	Saldo Fahrgastnutzen ÖPNV	[1.000 Stunden/Jahr]	-5.217	-6,6 €/Stunde	34.432,2
	Saldo ÖPNV-Fahrgeld	[1.000 Pkm/Jahr]	49.263	0,13 €/Pkm	6.404,2
	Saldo der ÖPNV-Betriebskosten	[T€/Jahr]	6.210,3	-1	-6.210,3
	Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Mitfall	[T€/Jahr]	901,1	-1	-917,6
	Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Ohnefall	[T€/Jahr]	0,0	1	0,0
	Saldo der Unfallfolgekosten	[T€/Jahr]	-2.382,9	-1	2.382,9
	Saldo der CO ₂ -Emissionen	[t CO ₂ /Jahr]	-4.636	- 670 €/t CO ₂	3.106,1
	Saldo der Schadstoffemissionskosten	[T€/Jahr]	-112,1	-1	112,1
	Saldo der Geräuschbelastung	[T€/Jahr]	0,0	1	0,0
	Nutzen gesellschaftlich auferlegter Investitionen	[T€/Jahr]	0,0	1	0,0
	Nutzen anderer Netznutzer	[T€/Jahr]	0,0	1	0,0
nutzwertanalytisch	Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch	[1.000 Punkte]	174,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	2.697,0
	Primärenergieverbrauch	[1.000 Punkte]	45,4	15,5 €/(Punkt x Jahr)	703,7
	Daseinsvorsorge / raumordnerische Aspekte	[1.000 Punkte]	0,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	0,0
	Resilienz von Schienennetzen	[1.000 Punkte]	0,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	0,0
Summe monetär bewerteter Einzelnutzen		[T€/Jahr]			42.710,3
Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur ÖPNV im Mitfall		[T€/Jahr]	5.803,4	1	5.948,2
Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur im Ohnefall		[T€/Jahr]	0,0	-1	0,0
Saldo Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur		[T€/Jahr]			5.948,2
Nutzen-Kosten-Indikatoren					
Nutzen-Kosten-Differenz		[T€/Jahr]			36.762,1
Nutzen-Kosten-Verhältnis		[-]			7,18

Tabelle 7: Bewertungsergebnisse – Nutzen-Kosten-Indikatoren

Die Bewertung zeigt, dass die geplante Maßnahme mit einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von 7,18 volkswirtschaftlich sinnvoll ist und somit die Voraussetzung für eine Förderung nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) erfüllt ist. Der Nutzen ist pro Jahr über 36,8 Mio. € höher als die Kosten.

Auf den betroffenen Relationen herrscht ein sehr hohes Fahrgastaufkommen, das bis zum Prognosehorizont weiter steigen wird. Ohne Teilautomatisierung würde bei einer absehbar notwendigen Taktverdichtung der fahrplanmäßige Verkehr der U2/U4 in der Hamburger Innenstadt zusammenbrechen. Durch die Teilautomatisierung ist der geplante 100-Sekunden-Takt auf der U2/U4 jedoch stabil fahrbar. Mit der Schaffung eines stabilen Betriebs verbessert sich der ÖV-Widerstand auf den nachfragestärksten U-Bahn-Abschnitten in der Hamburger Innenstadt erheblich. Diese Widerstandsverbesserungen führen bei der hohen Nachfrage zu einem signifikant höheren Fahrgastnutzen. Darüber hinaus werden zusätzliche ÖV-Fahrgäste gewonnen und Pkw-Verkehr vermieden, was zu einem hohen Gesamtnutzen führt. In Kombination mit den geringen zusätzlichen Betriebs- und Fahrwegkosten wird dadurch ein sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis von 7,18 erreicht.

10 Zusammenfassung

Hamburg plant den umfassenden Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs gemäß der Strategie „Hamburg-Takt“. Das Ziel ist, den ÖPNV so auszubauen, dass alle Hamburgerinnen und Hamburger binnen fünf Minuten ein öffentliches Verkehrsmittel erreichen können. Dieses Konzept beinhaltet den Bau neuer U-Bahn- und S-Bahn-Strecken, eine Verdichtung des Taktverkehrs sowie die Einführung moderner Technologien zur Verbesserung der Effizienz und Zuverlässigkeit des Verkehrssystems.

Die Teilautomatisierung (GoA2) der U-Bahn-Linien U2 und U4 in Hamburg zielt darauf ab, die Kapazität und Effizienz des U-Bahn-Systems zu erhöhen. Die Teilautomatisierung ist auf dem U2-Abschnitt zwischen den Haltestellen Mümmelmannsberg und Christuskirche und auf der gesamten U4 (Horner Geest und Elbrücken) geplant. Auf dem Abschnitt Jungfernstieg bis Horner Rennbahn teilen sich die beiden Linien die Infrastruktur.

Die Investitionen zur Teilautomatisierung betragen 107 Mio. € für die Infrastruktur und 105 Mio. € für die Fahrzeugausstattung (Preisstand 2022).

Auf den betroffenen Relationen herrscht ein sehr hohes Fahrgastaufkommen, das bis zum Prognosehorizont steigen wird. Ohne Teilautomatisierung bricht bei einer absehbar notwendigen Taktverdichtung der fahrplanmäßige Verkehr der U2/U4 in der Hamburger Innenstadt zusammen. Mit der Teilautomatisierung ist der geplante 100s-Takt auf der U2/U4 stabil fahrbar.

Mit Schaffung einem stabilen Betrieb verbessert sich der ÖV-Widerstand auf den nachfragestärksten U-Bahn-Abschnitten in der Hamburger Innenstadt. Durch die Widerstandsverbesserungen wird bei der hohen Nachfrage ein hoher Fahrgastnutzen erzielt. Darüber hinaus werden zusätzliche ÖV-Fahrgäste gewonnen und Pkw-Verkehr vermieden. Dies führt zu einem hohen Nutzen.

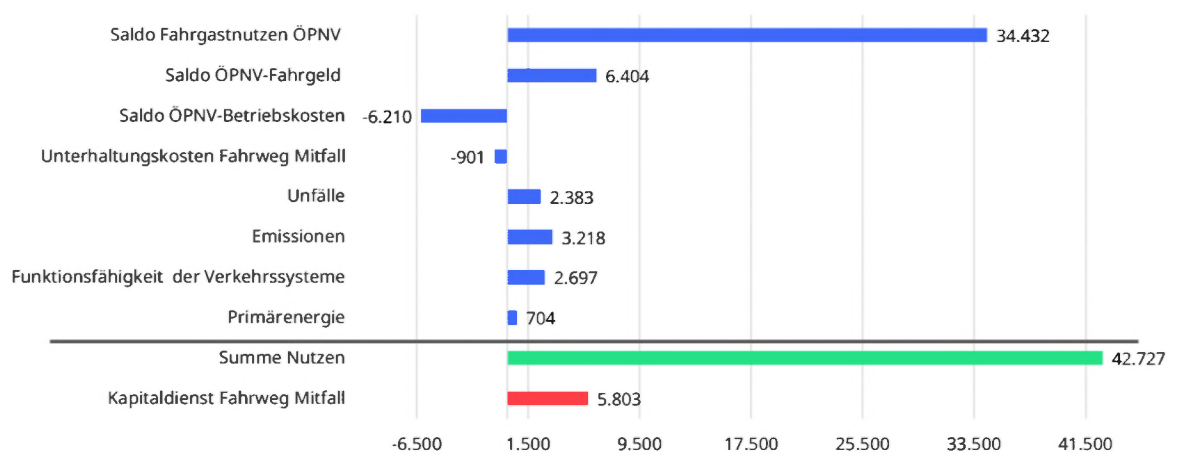


Abbildung 36: Bewertungsergebnisse – Teildindikatoren

In Kombination mit den relativ geringen zusätzlichen Betriebs- und Fahrwegkosten wird mit 7,18 ein sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis erreicht.

11 Anlagen

11.1 Haltestellenkürzel

Kürzel	Haltestelle
MG	Mümmelmannsberg
SF	Steinfurther Allee
MS	Merkenstraße
BI	Billstedt
LE	Legienstraße
HN	Horner Rennbahn
RH	Raues Haus
HK	Hammer Kirche
BG	Burgstraße
BT	Berliner Tor
HX	Hauptbahnhof Nord
JG	Jungfernstieg
GM	Gänsemarkt (Oper)
MH	Messehallen
SL	Schlump
CH	Christuskirche
EM	Emilienstraße
OS	Osterstraße

Kürzel	Haltestelle
LT	Lutterothstraße
HG	Hagenbecks Tierpark
HL	Hagendeel
NM	Niendorf Markt
JM	Joachim-Mähl-Straße
SW	Schippelsweg
NN	Niendorf Nord
EB	Elbbrücken
HC	HafenCity Universität
UR	Überseequartier
HY	Horner Geest
SO	Stoltenstraße

11.2 Formblätter der Standardisierten Bewertung

Standardisierten Bewertung nach dem Regelverfahren

für das Vorhaben

Teilautomatisierung auf Abschnitten

der U-Bahn-Linien U2 und U4 in Hamburg

Antragsteller Hamburger Hochbahn AG

Vorgesehener Baubeginn 2022

Vorgesehene Inbetriebnahme 2029

Planungsstand in Umsetzung

Preisstand der Investitionsermittlung 2022 -2024

Aufsteller PTV Transport Consult GmbH

Datum der Aufstellung 01.10.2024

Inhaltsverzeichnis

Blatt		beiliegend
1-1	Allgemeine Informationen über das Investitionsvorhaben	<input checked="" type="checkbox"/>
1-2	Voraussichtliche Investitionen für die ortsfeste Infrastruktur	<input checked="" type="checkbox"/>
1-3	Vorläufige Finanzierungsübersicht	<input checked="" type="checkbox"/>
2-1	Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet in der Analyse	<input checked="" type="checkbox"/>
3-1	Strukturdatenvergleich Analyse / Prognose	<input checked="" type="checkbox"/>
3-2	Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Ohnefall	<input checked="" type="checkbox"/>
3-3	Eckdaten aus den Matrizen der Verkehrsbeziehungen und den Widerstandsmatrizen im Ohnefall und in der Analyse	<input checked="" type="checkbox"/>
3-4	Verkehrsnachfrage in der Spitzenstunde in Lastrichtung an maßgebenden Querschnitten im Ohnefall	<input checked="" type="checkbox"/>
3-5	Dimensionierungsprüfung der angebotenen Platzkapazitäten im Ohnefall	<input checked="" type="checkbox"/>
4-1	Verkehrsnachfrage in der Spitzenstunde in Lastrichtung an maßgebenden Querschnitten im Mitfall	<input checked="" type="checkbox"/>
4-2	Dimensionierungsprüfung der angebotenen Platzkapazitäten im Mitfall	<input checked="" type="checkbox"/>
4-3	Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Mitfall	<input checked="" type="checkbox"/>
4-4	Gegenüberstellung von Kenndaten der Verkehrsnachfrage im Mit- und im Ohnefall auf betroffenen Verkehrsbeziehungen	<input checked="" type="checkbox"/>
5-1	Widerstandsdifferenzen maßgebender Fahrten im ÖPNV	<input checked="" type="checkbox"/>
5-2	Gegenüberstellung ausgewählter Einflussgrößen auf die ÖPNV-Widerstände	<input checked="" type="checkbox"/>
6	CO ₂ -Emissionen für den Betrieb und Herstellung Pkw, und Schadstoffemissionskosten und Primärenergieverbrauch MIV	<input checked="" type="checkbox"/>
7-1	Fahrzeugtypen Schiene	<input type="checkbox"/>
7-2	Fahrzeugtypen Bus	<input type="checkbox"/>
7-3	Fahrzeugtypen / Fahrzeugkonfigurationen Seilbahn	<input type="checkbox"/>
7-4	Fahrzeugkonfigurationen Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
8-1	Bedienungsangebote auf betroffener Linie Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
8-2	Umlaufzeiten und Anzahl Kurse Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
8-3	Linienbezogene Leistungskennzahlen Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
8-4	Linienbezogener Energieverbrauch und laufeleistungsabhängige Unterhaltungskosten Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
		—

8-5	Linienbezogene Auflösung Fahrzeugkonfiguration Schiene/Bus	<input type="checkbox"/>
8-6	Linienbezogene Kennwerte und Leistungsdaten für Seilbahnen	<input type="checkbox"/>
8-7	Vergleich Angebotskennwerte auf Ebene Verkehrssystem	<input type="checkbox"/>
8-8	Vergleich von Angebotskennwerten im Mitfall bzw. Ohnefall auf Ebene Fahrzeugkonfiguration	<input type="checkbox"/>
8-9	Vergleich Angebotskennwerte zwischen Mit- und Ohnefall auf Ebene Fahrzeugtyp	<input type="checkbox"/>
9-1	Kapitaldienst, zeitabhängige Unterhaltungskosten für Fahrzeuge und Treibhausgasemissionen der Fahrzeugherstellung im Mit- und Ohnefall	<input type="checkbox"/>
9-2	Laufleistungsabhängige Unterhaltungskosten für Fahrzeuge im Mit- und im Ohnefall	<input type="checkbox"/>
9-3	Energieverbrauch, Energiekosten, CO ₂ -Emissionen, Schadstoffemissionskosten und Primärenergieverbrauch ÖPNV im Mit- bzw. im Ohnefall	<input type="checkbox"/>
9-4	Personalkosten ÖPNV im Mitfall und im Ohnefall	<input type="checkbox"/>
9-5	Zusammenstellung Betriebskosten ÖPNV	<input type="checkbox"/>
10-1	Rahmendaten und Preisindizes für die Infrastrukturinvestitionen	<input checked="" type="checkbox"/>
10-2	Investitionen, Kapitaldienst und Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Mitfall	<input checked="" type="checkbox"/>
10-3	(Re-)Investitionen, Kapitaldienst und Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Ohnefall	<input type="checkbox"/>
11	Unfallfolgekosten	<input checked="" type="checkbox"/>
12-1	Treibhausgasemissionen für die Streckeninfrastruktur im Mitfall für Kunstbauwerke nach Massenermittlung	<input type="checkbox"/>
12-2	Treibhausgasemissionen für die Streckeninfrastruktur im Mitfall für Strecken ohne maßgebliche Kunstbauten und Anlagen	<input checked="" type="checkbox"/>
12-3	Umweltfolgen	<input checked="" type="checkbox"/>
13-1	Saldo Geräuschbelastung zwischen Mit- und Ohnefall	<input type="checkbox"/>
13-2	Eckwertabgleich Einwohner Geräuschbelastung	<input type="checkbox"/>
13-3	Nutzenwerte investiver Lärmschutzmaßnahmen	<input type="checkbox"/>
13-4	Saldo Geräuschbelastung	<input type="checkbox"/>
14	Investitionen, Kapitaldienst und Unterhaltungskosten für gesellschaftlich auferlegte Investitionen im Mitfall	<input type="checkbox"/>
15	Nutzen anderer Netznutzer	<input type="checkbox"/>
16	Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Primärenergieverbrauch	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Daseinsvorsorge / raumordnerische Aspekte	<input type="checkbox"/>
19	Resilienz von Schienennetzen	<input type="checkbox"/>
20	Nutzen-Kosten-Indikator	<input checked="" type="checkbox"/>

Blatt 1-1 Allgemeine Informationen über das Investitionsvorhaben

Streckenlänge auf unabhängig geführten Streckenabschnitten	[m]	(1)	25.000
davon unterirdisch	[m]	(2)	21.600
davon in Hochlage	[m]	(3)	3.400
Streckenlänge auf sonstigen Streckenabschnitten	[m]	(4)	
Streckenlänge gesamt	[m]	(5)	25.000
Anzahl Haltestellen	[-]	(6)	22
davon zusätzliche Haltestellen	[-]	(7)	-
Anzahl entfallende Haltestellen	[-]	(8)	-
erschlossene Einwohner	[-]	(9)	152.000
erschlossene Arbeitsplätze	[-]	(10)	234.000
erschlossene Schul- und Hochschulplätze	[-]	(11)	17.000
erschlossene Anlagen für Großveranstaltungen (z. B. Messen, Sportstadien)	[-]	(12)	Elbphilharmonie

Blatt 1-2 Voraussichtliche Investitionen für die ortsfeste Infrastruktur

Streckenabschnitt	Länge	Investitionen gesamt	Investitionen zuwendungsfähig	spezifische Investitionen je km
	[m]	[T€]	[T€]	[T€/km]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Summe / Durchschnitt	25.000	106.888	106.888	4.275,5
Gesamtmaßnahme	25.000	106.888	106.888	4.275,5

$*(5) = (3) / (2) \times 10^3$

Blatt 1-3		Vorläufige Finanzierungsübersicht	
Gesamtsumme Nettoinvestitionen	[T€]	(1)	106.888
davon nicht vorsteuerabzugsfähig	[T€]	(2)	-
Mehrwertsteuerbetrag darauf	[T€]	(3)	-
zuwendungsfähige Nettoinvestitionen	[T€]	(4)	106.888
davon nicht vorsteuerabzugsfähig	[T€]	(5)	-
zuwendungsfähige Umsatzsteuer	[T€]	(6)	-
zuwendungsfähige Investitionen	[-]	(7)	106.888
unterstellter Fördersatz Bund	[%]	(8)	75
Finanzhilfen Bund	[T€]	(9)	80.166
unterstellter Fördersatz Land	[%]	(10)	-
Landeszuwendungen	[T€]	(11)	-
Finanzierungsbeteiligung Dritter	[T€]	(12)	-
Eigenmittel des Antragstellers	[T€]	(13)	26.722

Anmerkung: Preisstand 2022 aus Formblatt 10-2

***(1)** = Summe der Nettoinvestitionen aus Blatt 1-2, Spalte 3

***(4)** = Summe der zuwendungsfähigen Nettoinvestitionen aus Blatt 1-2, Spalte 4

***(7)** = **(4)** + **(6)**

***(9)** = **(7)** x **(8)** / 100

***(11)** = **(7)** x **(10)** / 100

***(13)** = **(1)** + **(3)** – **(9)** – **(11)** – **(12)**

Blatt 2-1 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet in der Analyse						
Grobrelation	Analyse ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Billstedt	12.590	211	12.801	1.281	14.082	90,9
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	16.785	210	16.995	15.314	32.309	52,6
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Eimsbüttel	42.419	451	42.870	26.720	69.590	61,6
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Grasbrook/Veddel	2.003	14	2.017	383	2.400	84,0
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH nördlich Elbe	139.879	1.594	141.473	68.233	209.706	67,5
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH südlich Elbe	22.301	361	22.662	4.369	27.031	83,8
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HafenCity	8.087	36	8.123	6.405	14.528	55,9
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Hamm/Horn	13.037	185	13.222	5.065	18.287	72,3
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Umland	50.326	95	50.421	71.737	122.158	41,3
Billstedt - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	12.590	211	12.801	1.455	14.256	89,8
Billstedt - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	7.556	437	7.993	3.327	11.320	70,6
Billstedt - Eimsbüttel	5.527	560	6.087	1.655	7.742	78,6
Billstedt - Grasbrook/Veddel	164	12	176	270	446	39,5
Billstedt - HH nördlich Elbe	22.037	3.129	25.166	46.679	71.845	35,0
Billstedt - HH südlich Elbe	2.934	557	3.491	1.613	5.104	68,4
Billstedt - HafenCity	1.712	38	1.750	377	2.127	82,3
Billstedt - Hamm/Horn	6.660	975	7.635	9.828	17.463	43,7
Billstedt - Umland	4.071	186	4.257	17.827	22.084	19,3
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	16.785	210	16.995	14.067	31.062	54,7
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Billstedt	7.556	437	7.993	3.358	11.351	70,4
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Eimsbüttel	17.141	641	17.782	10.696	28.478	62,4
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Grasbrook/Veddel	1.198	41	1.239	904	2.143	57,8
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH nördlich Elbe	78.476	3.063	81.539	69.496	151.035	54,0
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH südlich Elbe	14.570	713	15.283	5.837	21.120	72,4
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HafenCity	2.839	34	2.873	3.647	6.520	44,1
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Hamm/Horn	9.473	442	9.915	14.830	24.745	40,1
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Umland	31.168	145	31.313	62.960	94.273	33,2
Eimsbüttel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	42.419	451	42.870	26.885	69.755	61,5
Eimsbüttel - Billstedt	5.527	560	6.087	1.627	7.714	78,9
Eimsbüttel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	17.141	641	17.782	10.691	28.473	62,5
Eimsbüttel - Grasbrook/Veddel	804	62	866	961	1.827	47,4
Eimsbüttel - HH nördlich Elbe	118.386	9.671	128.057	265.755	393.812	32,5
Eimsbüttel - HH südlich Elbe	14.735	1.983	16.718	10.359	27.077	61,7
Eimsbüttel - HafenCity	5.466	22	5.488	3.243	8.731	62,9
Eimsbüttel - Hamm/Horn	6.458	465	6.923	4.184	11.107	62,3
Eimsbüttel - Umland	32.444	579	33.023	183.673	216.696	15,2

Blatt 2-1 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet in der Analyse						
Grobrelation	Analyse ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Grasbrook/Veddel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	2.003	14	2.017	402	2.419	83,4
Grasbrook/Veddel - Billstedt	164	12	176	234	410	42,9
Grasbrook/Veddel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	1.198	41	1.239	863	2.102	58,9
Grasbrook/Veddel - Eimsbüttel	804	62	866	929	1.795	48,2
Grasbrook/Veddel - HH nördlich Elbe	2.688	252	2.940	5.650	8.590	34,2
Grasbrook/Veddel - HH südlich Elbe	3.447	309	3.756	12.268	16.024	23,4
Grasbrook/Veddel - HafenCity	404	1	405	166	571	70,9
Grasbrook/Veddel - Hamm/Horn	227	14	241	410	651	37,0
Grasbrook/Veddel - Umland	1.246	26	1.272	13.559	14.831	8,6
HH nördlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	139.879	1.594	141.473	69.268	210.741	67,1
HH nördlich Elbe - Billstedt	22.037	3.129	25.166	45.466	70.632	35,6
HH nördlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	78.476	3.063	81.539	68.079	149.618	54,5
HH nördlich Elbe - Eimsbüttel	118.386	9.671	128.057	265.031	393.088	32,6
HH nördlich Elbe - Grasbrook/Veddel	2.688	252	2.940	5.877	8.817	33,3
HH nördlich Elbe - HH südlich Elbe	50.768	8.502	59.270	50.667	109.937	53,9
HH nördlich Elbe - HafenCity	20.847	94	20.941	11.330	32.271	64,9
HH nördlich Elbe - Hamm/Horn	26.274	2.246	28.520	64.820	93.340	30,6
HH nördlich Elbe - Umland	107.452	2.718	110.170	775.159	885.329	12,4
HH südlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	22.301	361	22.662	4.516	27.178	83,4
HH südlich Elbe - Billstedt	2.934	557	3.491	1.632	5.123	68,1
HH südlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	14.570	713	15.283	5.963	21.246	71,9
HH südlich Elbe - Eimsbüttel	14.735	1.983	16.718	10.257	26.975	62,0
HH südlich Elbe - Grasbrook/Veddel	3.447	309	3.756	11.616	15.372	24,4
HH südlich Elbe - HH nördlich Elbe	50.768	8.502	59.270	50.644	109.914	53,9
HH südlich Elbe - HafenCity	3.524	35	3.559	1.353	4.912	72,5
HH südlich Elbe - Hamm/Horn	3.885	466	4.351	2.458	6.809	63,9
HH südlich Elbe - Umland	31.447	951	32.398	223.434	255.832	12,7
HafenCity - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	8.087	36	8.123	5.576	13.699	59,3
HafenCity - Billstedt	1.712	38	1.750	405	2.155	81,2
HafenCity - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	2.839	34	2.873	4.337	7.210	39,8
HafenCity - Eimsbüttel	5.466	22	5.488	3.290	8.778	62,5
HafenCity - Grasbrook/Veddel	404	1	405	147	552	73,4
HafenCity - HH nördlich Elbe	20.847	94	20.941	11.552	32.493	64,4
HafenCity - HH südlich Elbe	3.524	35	3.559	1.320	4.879	72,9
HafenCity - Hamm/Horn	1.917	38	1.955	1.445	3.400	57,5
HafenCity - Umland	8.573	10	8.583	16.504	25.087	34,2

Blatt 2-1 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet in der Analyse						
Grobrelation	Analyse ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Analyse ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Hamm/Horn - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	13.037	185	13.222	5.286	18.508	71,4
Hamm/Horn - Billstedt	6.660	975	7.635	11.369	19.004	40,2
Hamm/Horn - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	9.473	442	9.915	13.177	23.092	42,9
Hamm/Horn - Eimsbüttel	6.458	465	6.923	4.048	10.971	63,1
Hamm/Horn - Grasbrook/Veddel	227	14	241	459	700	34,4
Hamm/Horn - HH nördlich Elbe	26.274	2.246	28.520	65.221	93.741	30,4
Hamm/Horn - HH südlich Elbe	3.885	466	4.351	2.504	6.855	63,5
Hamm/Horn - Hafencity	1.917	38	1.955	1.240	3.195	61,2
Hamm/Horn - Umland	4.754	139	4.893	19.805	24.698	19,8
Umland - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	50.326	95	50.421	72.381	122.802	41,1
Umland - Billstedt	4.071	186	4.257	17.753	22.010	19,3
Umland - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	31.168	145	31.313	63.825	95.138	32,9
Umland - Eimsbüttel	32.444	579	33.023	185.243	218.266	15,1
Umland - Grasbrook/Veddel	1.246	26	1.272	13.996	15.268	8,3
Umland - HH nördlich Elbe	107.452	2.718	110.170	772.011	882.181	12,5
Umland - HH südlich Elbe	31.447	951	32.398	222.581	254.979	12,7
Umland - Hafencity	8.573	10	8.583	16.735	25.318	33,9
Umland - Hamm/Horn	4.754	139	4.893	20.224	25.117	19,5

***(4) = (2) + (3)**

***(6) = (4) + (5)**

***(7) = (4) / (6) x 100**

Blatt 3-1 Strukturdatenvergleich Analyse / Prognose												
Verkehrszellennummer	Einwohner			Beschäftigte			Schüler			Schulplätze		
	Analyse [-]	Prognose [-]	Änderung [%]	Analyse [-]	Prognose [-]	Änderung [%]	Analyse [-]	Prognose [-]	Änderung [%]	Analyse [-]	Prognose [-]	Änderung [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Summe	1.923.470	2.034.570	6	1.274.017	1.413.405	11	215.622	264.900	23	235.929	280.655	19
Billbrook	1.950	1.871	- 4	21.604	23.577	9	219	244	11	120	96	- 20
Billstedt	70.869	80.159	13	11.054	12.033	9	7.944	10.437	31	6.167	7.626	24
Borgfelde	7.896	7.750	- 2	7.497	7.759	3	885	1.009	14	5.773	7.418	28
Finkenwerder	11.983	12.597	5	22.551	22.336	- 1	1.343	1.640	22	1.480	1.696	15
HafenCity	4.707	15.033	219	36.874	59.067	60	528	1.957	271	324	1.994	515
Hamburg-Altstadt	2.365	2.621	11	86.707	89.313	3	265	341	29	-	-	
Hamm	39.608	40.486	2	13.589	14.501	7	4.440	5.271	19	3.679	5.433	48
Hammerbrook	4.445	4.850	9	63.894	66.783	5	498	631	27	2.467	2.648	7
Horn	39.279	49.302	26	6.246	6.804	9	4.403	6.419	46	4.384	4.947	13
Kleiner Grasbrook	1.230	7.140	480	2.593	18.158	600	138	930	574	-	-	
Neustadt	13.453	13.399	-	72.927	73.820	1	1.508	1.745	16	1.905	3.041	60
Rothenburgsort	9.274	10.705	15	15.494	24.537	58	1.040	1.394	34	396	503	27
St. Georg	11.790	12.168	3	49.412	50.728	3	1.322	1.584	20	5.337	6.556	23
St. Pauli	23.091	23.595	2	23.296	23.943	3	2.589	3.072	19	3.297	3.668	11
Steinwerder	45	238	429	7.264	7.575	4	5	31	520	-	-	
Veddel	4.687	4.808	3	7.203	7.815	8	525	626	19	508	409	- 19
Waltershof	-	-		5.139	6.524	27	-	-		-	-	
Wilhelmsburg	54.528	63.573	17	26.953	29.421	9	6.113	8.277	35	10.799	14.027	30
Altona	280.614	289.173	3	145.592	161.204	11	31.457	37.650	20	33.369	40.097	20
Bergedorf	131.075	142.794	9	43.862	52.049	19	14.694	18.592	27	18.840	25.629	36
Eimsbüttel	271.488	276.682	2	143.116	151.128	6	30.434	36.024	18	29.858	32.211	8
Hamburg-Nord	322.757	333.266	3	228.592	243.294	6	36.181	43.391	20	35.873	40.429	13
Harburg	170.039	181.720	7	77.285	94.451	22	19.061	23.660	24	20.419	24.136	18
Wandsbek	446.297	460.640	3	155.273	166.585	7	50.030	59.975	20	50.934	58.091	14

***(4)** = (**(3)** / **(2)** - 1) x 100

***(7)** = (**(6)** / **(5)** - 1) x 100

***(10)** = (**(9)** / **(8)** - 1) x 100

***(13)** = (**(12)** / **(11)** - 1) x 100

Blatt 3-2 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Ohnefall						
Grobrelation	Ohnefall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Billstedt	14.970	259	15.229	907	16.136	94,4
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	19.390	228	19.618	11.884	31.502	62,3
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Eimsbüttel	52.955	499	53.454	17.969	71.423	74,8
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Grasbrook/Veddel	2.606	11	2.617	808	3.425	76,4
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH nördlich Elbe	167.781	1.884	169.665	45.209	214.874	79,0
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH südlich Elbe	25.502	389	25.891	2.438	28.329	91,4
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HafenCity	16.662	83	16.745	8.204	24.949	67,1
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Hamm/Horn	15.085	234	15.319	3.671	18.990	80,7
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Umland	54.425	115	54.540	55.142	109.682	49,7
Billstedt - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	14.980	259	15.239	986	16.225	93,9
Billstedt - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	8.809	458	9.267	3.178	12.445	74,5
Billstedt - Eimsbüttel	6.862	565	7.427	1.059	8.486	87,5
Billstedt - Grasbrook/Veddel	767	11	778	545	1.323	58,8
Billstedt - HH nördlich Elbe	32.070	3.613	35.683	39.637	75.320	47,4
Billstedt - HH südlich Elbe	3.603	600	4.203	1.618	5.821	72,2
Billstedt - HafenCity	5.629	93	5.722	1.137	6.859	83,4
Billstedt - Hamm/Horn	9.771	1.230	11.001	8.623	19.624	56,1
Billstedt - Umland	4.487	216	4.703	18.867	23.570	20,0
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	19.312	229	19.541	10.954	30.495	64,1
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Billstedt	8.811	458	9.269	3.242	12.511	74,1
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Eimsbüttel	21.464	660	22.124	5.636	27.760	79,7
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Grasbrook/Veddel	1.867	33	1.900	1.277	3.177	59,8
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH nördlich Elbe	97.313	3.296	100.609	51.397	152.006	66,2
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH südlich Elbe	16.789	722	17.511	4.193	21.704	80,7
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HafenCity	7.647	67	7.714	6.732	14.446	53,4
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Hamm/Horn	11.473	514	11.987	12.021	24.008	49,9
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Umland	34.911	160	35.071	49.979	85.050	41,2
Eimsbüttel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	52.807	499	53.306	18.129	71.435	74,6
Eimsbüttel - Billstedt	6.852	565	7.417	1.010	8.427	88,0
Eimsbüttel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	21.521	660	22.181	5.890	28.071	79,0
Eimsbüttel - Grasbrook/Veddel	2.976	55	3.031	1.303	4.334	69,9
Eimsbüttel - HH nördlich Elbe	178.301	11.403	189.704	198.795	388.499	48,8
Eimsbüttel - HH südlich Elbe	20.958	2.318	23.276	8.252	31.528	73,8
Eimsbüttel - HafenCity	14.295	82	14.377	3.255	17.632	81,5
Eimsbüttel - Hamm/Horn	8.478	519	8.997	2.564	11.561	77,8
Eimsbüttel - Umland	39.527	763	40.290	182.015	222.305	18,1

Blatt 3-2 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Ohnefall						
Grobrelation	Ohnefall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Grasbrook/Veddel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	2.641	11	2.652	801	3.453	76,8
Grasbrook/Veddel - Billstedt	757	11	768	550	1.318	58,3
Grasbrook/Veddel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	1.860	33	1.893	1.275	3.168	59,8
Grasbrook/Veddel - Eimsbüttel	2.979	55	3.034	1.279	4.313	70,3
Grasbrook/Veddel - HH nördlich Elbe	10.764	241	11.005	7.513	18.518	59,4
Grasbrook/Veddel - HH südlich Elbe	15.378	322	15.700	15.216	30.916	50,8
Grasbrook/Veddel - HafenCity	2.460	6	2.466	1.453	3.919	62,9
Grasbrook/Veddel - Hamm/Horn	984	15	999	832	1.831	54,6
Grasbrook/Veddel - Umland	4.477	26	4.503	21.162	25.665	17,5
HH nördlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	167.958	1.885	169.843	45.422	215.265	78,9
HH nördlich Elbe - Billstedt	32.075	3.614	35.689	37.969	73.658	48,5
HH nördlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	97.343	3.298	100.641	50.099	150.740	66,8
HH nördlich Elbe - Eimsbüttel	178.251	11.401	189.652	198.377	388.029	48,9
HH nördlich Elbe - Grasbrook/Veddel	10.772	242	11.014	7.735	18.749	58,7
HH nördlich Elbe - HH südlich Elbe	71.382	9.842	81.224	41.812	123.036	66,0
HH nördlich Elbe - HafenCity	50.491	347	50.838	17.522	68.360	74,4
HH nördlich Elbe - Hamm/Horn	39.661	2.812	42.473	52.684	95.157	44,6
HH nördlich Elbe - Umland	137.212	3.348	140.560	788.611	929.171	15,1
HH südlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	25.505	389	25.894	2.485	28.379	91,2
HH südlich Elbe - Billstedt	3.604	600	4.204	1.608	5.812	72,3
HH südlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	16.792	723	17.515	4.326	21.841	80,2
HH südlich Elbe - Eimsbüttel	20.961	2.319	23.280	8.305	31.585	73,7
HH südlich Elbe - Grasbrook/Veddel	15.390	322	15.712	14.594	30.306	51,8
HH südlich Elbe - HH nördlich Elbe	71.377	9.844	81.221	41.684	122.905	66,1
HH südlich Elbe - HafenCity	11.885	123	12.008	2.636	14.644	82,0
HH südlich Elbe - Hamm/Horn	5.123	548	5.671	2.205	7.876	72,0
HH südlich Elbe - Umland	37.251	1.104	38.355	226.999	265.354	14,5
HafenCity - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	16.533	83	16.616	7.981	24.597	67,6
HafenCity - Billstedt	5.631	93	5.724	1.063	6.787	84,3
HafenCity - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	7.690	67	7.757	7.368	15.125	51,3
HafenCity - Eimsbüttel	14.373	82	14.455	3.206	17.661	81,8
HafenCity - Grasbrook/Veddel	2.451	6	2.457	1.533	3.990	61,6
HafenCity - HH nördlich Elbe	50.527	347	50.874	17.577	68.451	74,3
HafenCity - HH südlich Elbe	11.880	122	12.002	2.576	14.578	82,3
HafenCity - Hamm/Horn	10.019	97	10.116	2.452	12.568	80,5
HafenCity - Umland	18.918	23	18.941	29.301	48.242	39,3

Blatt 3-2 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Ohnefall						
Grobrelation	Ohnefall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Ohnefall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Hamm/Horn - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	15.082	234	15.316	3.847	19.163	79,9
Hamm/Horn - Billstedt	9.770	1.230	11.000	10.507	21.507	51,1
Hamm/Horn - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	11.478	514	11.992	10.288	22.280	53,8
Hamm/Horn - Eimsbüttel	8.483	521	9.004	2.453	11.457	78,6
Hamm/Horn - Grasbrook/Veddel	982	15	997	837	1.834	54,4
Hamm/Horn - HH nördlich Elbe	39.669	2.814	42.483	52.743	95.226	44,6
Hamm/Horn - HH südlich Elbe	5.119	548	5.667	2.191	7.858	72,1
Hamm/Horn - HafenCity	10.017	97	10.114	2.497	12.611	80,2
Hamm/Horn - Umland	5.786	167	5.953	18.761	24.714	24,1
Umland - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	53.496	115	53.611	56.936	110.547	48,5
Umland - Billstedt	4.422	216	4.638	18.999	23.637	19,6
Umland - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	34.183	161	34.344	51.447	85.791	40,0
Umland - Eimsbüttel	39.097	758	39.855	183.695	223.550	17,8
Umland - Grasbrook/Veddel	4.389	25	4.414	21.745	26.159	16,9
Umland - HH nördlich Elbe	135.725	3.351	139.076	786.896	925.972	15,0
Umland - HH südlich Elbe	36.417	1.104	37.521	227.095	264.616	14,2
Umland - HafenCity	18.641	23	18.664	29.917	48.581	38,4
Umland - Hamm/Horn	5.696	167	5.863	19.432	25.295	23,2

***(4) = (2) + (3)**

***(6) = (4) + (5)**

***(7) = (4) / (6) x 100**

Blatt 3-3 Eckdaten aus den Matrizen der Verkehrsbeziehungen und den Widerstandsmatrizen im Ohnefall und in der Analyse

betrachteter Fall		(1)	Analyse	Ohnefall	Änderung [%]
motorisierte Fahrten	[Personenfahrten/Werktag] (0)	(2)	4.145.416	4.264.481	2,9
Anteil Schülerfahrten	[%] (0)	(3)	2	3	50,0
Mobilitätsrate	[-] (1)	(4)	2,2	2,1	- 4,5
ÖPNV-Anteil	[%] (1)	(5)	35,8	49,0	36,9
mittlere Reiseweite MIV	[km] (1)	(6)	6,6	6,6	-
mittlere Reiseweite ÖPNV	[km] (1)	(7)	8,3	8,4	1,2
mittlere Beförderungswerte ÖPNV	[km] (1)	(8)	7,6	7,7	1,3
mittlere Reisezeit MIV	[Minuten] (1)	(9)	15,5	21,9	41,3
mittlere Reisezeit ÖPNV	[Minuten] (1)	(10)	28,7	27,6	- 3,8
mittlere Beförderungszeit ÖPNV	[Minuten] (1)	(11)	18,6	17,4	- 6,5
mittlere Reisegeschwindigkeit MIV	[km/h] (1)	(12)	25,5	18,1	- 29,0
mittlere Reisegeschwindigkeit ÖPNV	[km/h] (1)	(13)	17,4	18,3	5,2
mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ÖPNV	[km/h] (1)	(14)	24,5	26,6	8,6
mittlerer Zeitaufwand für motorisierte Fahrten	[Minuten] (1)	(15)	44,5	51,9	16,6

$^{(12)} = (6) / (9) \times 60$

$^{(13)} = (7) / (10) \times 60$

$^{(14)} = (8) / (11) \times 60$

$^{(15)} = (4) \times ((5) / 100 \times (10) + (1 - (5) / 100) \times (9))$

Blatt 3-4 Verkehrsnafrage in der Spitzenstunde in Lastrichtung an maßgebenden Querschnitten im Ohnefall

Querschnitt	wertägliche Querschnittsbelastung ÖPNV [Personenfahrten/ Werktag] (0)	Spitzenstundenanteil [%] (1)	Spitzenstundenbelastung in Lastrichtung [Personenfahrten/ Stunde und Richtung] (0)
(1)	(2)	(3)	(4)
Gänsemarkt - Jungfernstieg (U2)	84.700	10,3	4.362
Jungfernstieg - Überseequartier (U4)	74.200	16,8	6.233
Jungfernstieg - Hbf Nord (U2, U4, U5)	201.500	12,5	12.594
Berliner Tor - Burgstraße (U2, U4)	142.600	12,1	8.627
Horner Rennbahn - Stoltenstraße (U4)	26.800	12,9	1.729
Legienstraße - Horner Rennbahn (U2)	77.800	14,2	5.524
Christuskirche - Schlump (U2)	81.900	14,8	6.061

(4) = (2) x (3) / 200

Blatt 3-5 Dimensionierungsprüfung der angebotenen Platzkapazitäten im Ohnefall									
Querschnitt	Bemessungsgröße	Linie Fahrplan	Fahrzeugkonfiguration	Platzkapazität je Fahrzeugkonfiguration	Fahrtangebote in der Spitzenstunde	Platzangebot in der Spitzenstunde	Spitzenstundenbelastung in Lastrichtung	Platzausnutzungsgrad	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Gänsemarkt - Jungfernstieg	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528	4.362	35	
Jungfernstieg - Überseequartier	Gesamtplätze	U4	3xDT5	696	18	12.528	6.233	50	
Jungfernstieg - Hbf Nord	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	18	12.528			
		U5	1xDT6-A	271	36	9.756			
Gesamt					72	34.812	12.594	36	
Berliner Tor - Burgstraße	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	18	12.528			
		Gesamt			36	25.056	8.627	34	
Horner Rennbahn - Stoltenstraße	Gesamtplätze	U4	3xDT5	696	12	8.352	1.729	21	
Legienstraße - Horner Rennbahn	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	6	4.176			
		Gesamt			24	16.704	5.524	33	
Christuskirche - Schlump	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528	6.061	48	

* (7) = (5) x (6)
 *(8) aus Blatt 3-4, Spalte 4
 *(9) = (8) / (7) x 100

Blatt 4-1 Verkehrsfrage in der Spitzenstunde in Lastrichtung an maßgebenden Querschnitten im Mitfall

Querschnitt	werktägliche Querschnittsbelastung ÖPNV [Personenfahrten/ Werktag] (0)	Spitzenstundenanteil [%] (1)	Spitzenstundenbelastung in Lastrichtung [Personenfahrten/ Stunde und Richtung] (0)
(1)	(2)	(3)	(4)
Gänsemarkt - Jungfernstieg (U2)	89.700	10,3	4.620
Jungfernstieg - Überseequartier (U4)	79.000	16,8	6.636
Jungfernstieg - Hbf Nord (U2, U4, U5)	208.900	12,5	13.056
Berliner Tor - Burgstraße (U2, U4)	149.200	12,1	9.027
Horner Rennbahn - Stoltenstraße (U4)	27.900	12,9	1.800
Legienstraße - Horner Rennbahn (U2)	81.100	14,2	5.758
Christuskirche - Schlump (U2)	87.500	14,8	6.475

(4) = (2) x (3) / 200

Blatt 4-2 Dimensionierungsprüfung der angebotenen Platzkapazitäten im Mitfall									
Querschnitt	Bemessungsgröße	Linie Fahrplan	Fahrzeugkonfiguration	Platzkapazität je Fahrzeugkonfiguration	Fahrtangebote in der Spitzenstunde	Platzangebot in der Spitzenstunde	Spitzenstundenbelastung in Lastrichtung	Platzausnutzungsgrad	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Gänsemarkt - Jungfernstieg	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528	4.620	37	
Jungfernstieg - Überseequartier	Gesamtplätze	U4	3xDT5	696	18	12.528	6.636	53	
Jungfernstieg - Hbf Nord	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	18	12.528			
		U5	1xDT6-A	271	36	9.756			
Gesamt					72	34.812	13.056	38	
Berliner Tor - Burgstraße	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	18	12.528			
		Gesamt			36	25.056	9.027	36	
Homer Rennbahn - Stoltenstraße	Gesamtplätze	U4	3xDT5	696	12	8.352	1.800	22	
Legienstraße - Horner Rennbahn	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528			
		U4	3xDT5	696	6	4.176			
		Gesamt			24	16.704	5.758	34	
Christuskirche - Schlump	Gesamtplätze	U2	3xDT5	696	18	12.528	6.475	52	

* (7) = (5) x (6)
 * (8) aus Blatt 4-1, Spal
 * (9) = (8) / (7) x 100

Blatt 4-3 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Mitfall

Grobrelation	Mitfall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Billstedt	15.621	259	15.880	641	16.521	96,1
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	19.864	228	20.092	11.532	31.624	63,5
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Eimsbüttel	55.927	499	56.426	15.988	72.414	77,9
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Grasbrook/Veddel	2.606	11	2.617	808	3.425	76,4
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH nördlich Elbe	168.008	1.884	169.892	45.045	214.937	79,0
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HH südlich Elbe	25.502	389	25.891	2.438	28.329	91,4
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - HafenCity	18.112	83	18.195	7.217	25.412	71,6
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Hamm/Horn	16.401	234	16.635	2.811	19.446	85,5
Altstadt/Neustadt/St.Pauli - Umland	54.425	115	54.540	55.142	109.682	49,7
Billstedt - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	15.437	259	15.696	795	16.491	95,2
Billstedt - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	9.292	458	9.750	2.843	12.593	77,4
Billstedt - Eimsbüttel	7.074	565	7.639	934	8.573	89,1
Billstedt - Grasbrook/Veddel	767	11	778	545	1.323	58,8
Billstedt - HH nördlich Elbe	32.082	3.613	35.695	39.629	75.324	47,4
Billstedt - HH südlich Elbe	3.603	600	4.203	1.618	5.821	72,2
Billstedt - HafenCity	5.948	93	6.041	948	6.989	86,4
Billstedt - Hamm/Horn	10.682	1.230	11.912	8.006	19.918	59,8
Billstedt - Umland	4.487	216	4.703	18.867	23.570	20,0
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	20.007	229	20.236	10.504	30.740	65,8
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Billstedt	9.469	458	9.927	2.830	12.757	77,8
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Eimsbüttel	22.355	660	23.015	5.046	28.061	82,0
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Grasbrook/Veddel	1.867	33	1.900	1.277	3.177	59,8
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH nördlich Elbe	97.383	3.296	100.679	51.348	152.027	66,2
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HH südlich Elbe	16.789	722	17.511	4.193	21.704	80,7
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - HafenCity	8.707	67	8.774	5.993	14.767	59,4
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Hamm/Horn	12.825	514	13.339	11.058	24.397	54,7
Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook - Umland	34.911	160	35.071	49.979	85.050	41,2
Eimsbüttel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	54.422	499	54.921	17.027	71.948	76,3
Eimsbüttel - Billstedt	7.166	565	7.731	830	8.561	90,3
Eimsbüttel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	21.989	660	22.649	5.568	28.217	80,3
Eimsbüttel - Grasbrook/Veddel	2.976	55	3.031	1.303	4.334	69,9
Eimsbüttel - HH nördlich Elbe	178.441	11.403	189.844	198.693	388.537	48,9
Eimsbüttel - HH südlich Elbe	20.958	2.318	23.276	8.252	31.528	73,8
Eimsbüttel - HafenCity	15.315	82	15.397	2.565	17.962	85,7
Eimsbüttel - Hamm/Horn	9.044	519	9.563	2.178	11.741	81,4
Eimsbüttel - Umland	39.527	763	40.290	182.015	222.305	18,1

Blatt 4-3 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Mitfall

Grobrelation	Mitfall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Grasbrook/Veddel - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	2.671	11	2.682	781	3.463	77,4
Grasbrook/Veddel - Billstedt	783	11	794	533	1.327	59,8
Grasbrook/Veddel - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	1.879	33	1.912	1.261	3.173	60,3
Grasbrook/Veddel - Eimsbüttel	3.041	55	3.096	1.235	4.331	71,5
Grasbrook/Veddel - HH nördlich Elbe	10.767	241	11.008	7.510	18.518	59,4
Grasbrook/Veddel - HH südlich Elbe	15.378	322	15.700	15.216	30.916	50,8
Grasbrook/Veddel - HafenCity	2.530	6	2.536	1.409	3.945	64,3
Grasbrook/Veddel - Hamm/Horn	1.042	15	1.057	791	1.848	57,2
Grasbrook/Veddel - Umland	4.477	26	4.503	21.162	25.665	17,5
HH nördlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	168.923	1.885	170.808	44.796	215.604	79,2
HH nördlich Elbe - Billstedt	33.109	3.614	36.723	37.256	73.979	49,6
HH nördlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	97.771	3.298	101.069	49.794	150.863	67,0
HH nördlich Elbe - Eimsbüttel	181.218	11.401	192.619	196.119	388.738	49,5
HH nördlich Elbe - Grasbrook/Veddel	10.772	242	11.014	7.735	18.749	58,7
HH nördlich Elbe - HH südlich Elbe	71.382	9.842	81.224	41.812	123.036	66,0
HH nördlich Elbe - HafenCity	52.861	347	53.208	15.927	69.135	77,0
HH nördlich Elbe - Hamm/Horn	41.327	2.812	44.139	51.468	95.607	46,2
HH nördlich Elbe - Umland	137.212	3.348	140.560	788.611	929.171	15,1
HH südlich Elbe - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	25.569	389	25.958	2.455	28.413	91,4
HH südlich Elbe - Billstedt	3.681	600	4.281	1.571	5.852	73,2
HH südlich Elbe - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	16.794	723	17.517	4.325	21.842	80,2
HH südlich Elbe - Eimsbüttel	21.163	2.319	23.482	8.179	31.661	74,2
HH südlich Elbe - Grasbrook/Veddel	15.390	322	15.712	14.594	30.306	51,8
HH südlich Elbe - HH nördlich Elbe	71.383	9.844	81.227	41.680	122.907	66,1
HH südlich Elbe - HafenCity	12.227	123	12.350	2.420	14.770	83,6
HH südlich Elbe - Hamm/Horn	5.261	548	5.809	2.124	7.933	73,2
HH südlich Elbe - Umland	37.251	1.104	38.355	226.999	265.354	14,5
HafenCity - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	17.040	83	17.123	7.628	24.751	69,2
HafenCity - Billstedt	5.894	93	5.987	900	6.887	86,9
HafenCity - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	8.202	67	8.269	6.975	15.244	54,2
HafenCity - Eimsbüttel	14.982	82	15.064	2.772	17.836	84,5
HafenCity - Grasbrook/Veddel	2.451	6	2.457	1.533	3.990	61,6
HafenCity - HH nördlich Elbe	50.580	347	50.927	17.537	68.464	74,4
HafenCity - HH südlich Elbe	11.880	122	12.002	2.576	14.578	82,3
HafenCity - Hamm/Horn	10.852	97	10.949	1.947	12.896	84,9
HafenCity - Umland	18.918	23	18.941	29.301	48.242	39,3

Blatt 4-3 Aggregierte Verkehrsbeziehungen mit Bezug zum engeren Untersuchungsgebiet im Mitfall

Grobrelation	Mitfall ÖPNV Erwachsene [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV Schüler [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV gesamt [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall Summe ÖPNV + MIV [Personenfahrten/ Werktag]	Mitfall ÖPNV-Anteil [%]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Hamm/Horn - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	15.871	234	16.105	3.396	19.501	82,6
Hamm/Horn - Billstedt	10.813	1.230	12.043	9.801	21.844	55,1
Hamm/Horn - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	12.293	514	12.807	9.694	22.501	56,9
Hamm/Horn - Eimsbüttel	8.828	521	9.349	2.221	11.570	80,8
Hamm/Horn - Grasbrook/Veddel	982	15	997	837	1.834	54,4
Hamm/Horn - HH nördlich Elbe	39.689	2.814	42.503	52.729	95.232	44,6
Hamm/Horn - HH südlich Elbe	5.119	548	5.667	2.191	7.858	72,1
Hamm/Horn - HafenCity	10.888	97	10.985	1.942	12.927	85,0
Hamm/Horn - Umland	5.786	167	5.953	18.761	24.714	24,1
Umland - Altstadt/Neustadt/St.Pauli	53.583	115	53.698	56.893	110.591	48,6
Umland - Billstedt	4.480	216	4.696	18.967	23.663	19,8
Umland - Borgfelde/St.Georg/Hammerbrook	34.198	161	34.359	51.441	85.800	40,0
Umland - Eimsbüttel	39.275	758	40.033	183.578	223.611	17,9
Umland - Grasbrook/Veddel	4.389	25	4.414	21.745	26.159	16,9
Umland - HH nördlich Elbe	135.730	3.351	139.081	786.893	925.974	15,0
Umland - HH südlich Elbe	36.417	1.104	37.521	227.095	264.616	14,2
Umland - HafenCity	18.857	23	18.880	29.825	48.705	38,8
Umland - Hamm/Horn	5.780	167	5.947	19.386	25.333	23,5

*(4) = (2) + (3)

*(6) = (4) + (5)

*(7) = (4) / (6) x 100

Blatt 4-4 Gegenüberstellung von Kenndaten der Verkehrsnachfrage im Mit- und im Ohnefall auf betroffenen Verkehrsbeziehungen					
Betrachteter Fall	(1)	Mitfall	Ohnefall	Saldo Mitfall - Ohnefall	
motorisierte Fahrten gesamt	[Personenfahrten/Werktag] (0)	528.082	520.198	7.884	
Fahrten MIV	[Personenfahrten/Werktag] (0)	196.417	213.658	- 17.241	
Fahrten ÖPNV (ohne induziertem Verkehr)	[Personenfahrten/Werktag] (0)	323.780	306.540	17.240	
ÖPNV-Anteil (ohne induziertem Verkehr)	[%] (1)	62,2	58,9	3,3	*(5) = (4) / ((3) + (4)) x 100
Fahrten ÖPNV (mit induziertem Verkehr)	[Personenfahrten/Werktag] (0)	331.664	306.540	25.124	
ÖPNV-Anteil (mit induziertem Verkehr)	[%] (1)	62,8	58,9	3,9	*(7) = (6) / (2) x 100
induzierter Verkehr ÖPNV im Mitfall	[Personenfahrten/Werktag] (0)	7.884			*(8) = (6) - (4)
induzierte Beförderungsleistung ÖPNV im Mitfall	[Personen-km/Werktag] (0)	54.038			
Verkehrsleistung MIV	[Personen-km/Werktag] (0)	3.428.601	3.550.084	- 121.483	
mittlere Reisezeit MIV	[Minuten] (1)	31,9	31,1	0,8	
mittlere Reiseweite MIV	[km] (1)	17,5	16,6	0,9	*(12) = (10) / (3)
werkältigliche Beförderungsleistung ÖPNV Erwachsene	[Personen-km/Werktag] (0)	3.105.126	2.940.915	164.211	
werkältigliche Beförderungsleistung ÖPNV Schüler	[Personen-km/Werktag] (0)	154.576	154.576	-	
werkältigliche Beförderungsleistung ÖPNV gesamt	[Personen-km/Werktag] (0)	3.259.702	3.095.491	164.211	
mittlere Beförderungsweite ÖPNV	[km] (1)	9,8	10,1	-0,3	*(15) = (13) + (14)
mittlere Beförderungszeit ÖPNV	[Minuten] (1)	14,9	15,2	-0,3	*(16) = (15) / (6)
jährliche Beförderungsleistung ÖPNV	[Mio. Personen-km/Jahr] (1)	970,2	920,9	49,3	*(18) = ((13) x 300 + (14) x 250) x 10⁻⁶
angebotene Platz-km	[Mio. Platz-km/Jahr] (1)	4.376,3	4.376,3	0,0	*(19) = (Blatt 8-8, Spalte 11, 12 bzw. 13) x 10⁻³
Auslastungsgrad der zusätzlichen ÖPNV-Angebote	[%] (1)				*(20) = (18) / (19) x 100

Blatt 5-1 Widerstandsdifferenzen maßgebender Fahrten im ÖPNV												
Klasse der Einzelwiderstandsdifferenz ÖPNV [Minuten]	Anzahl ÖPNV-Fahrten Erwachsene		Ohnefall		Saldo	maßgebende Fahrten		Anzahl ÖPNV-Fahrten Schüler		Widerstandsdifferenz maßgebender ÖPNV-Fahrten		Beförderungserwachsene [Pkm/ Werktag]
	Mitfall [Personenlahten/ Werktag] (0)	(2)	(3)	(4)		(5)	maßgebende Fahrten [Personenlahten/ Werktag] (0)	maßgebende Fahrten [Stunden/ Werktag] (1)	Schüler [Stunden/ Werktag] (1)	Schüler [1.000 Stunden/ Jahr] (1)	Erwachsene [Minuten/ Personenlahten] (1)	
Summe	319.513	294.390	25.123	306.952	12.149	16.805,3	699,8	5.216,5	3,3	3,5	164.211	49.263
≥ 20	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
10 bis < 20	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
5 bis < 10	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
2 bis < 5	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
0 bis < 2	43	43	-	43	0	-	-	-	-	-	-	-
0 bis > -2	105.466	103.210	2.256	104.338	3.792	1.172,6	46,0	0,7	0,7	10.120	-	-
-2 bis > -5	104.913	95.371	9.542	100.142	4.114	5.688,0	234,0	3,4	3,4	50.955	-	-
-5 bis > -10	109.091	95.766	13.325	102.429	4.243	9.944,7	419,8	5,8	5,9	103.136	-	-
-10 bis > -20	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
≤ -20	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-

* (4) = (2) - (3)
 * (5) = ((2) + (3)) / 2
 * (9) = ((7) x 300 + (8) x 250) x 10⁻³
 * (10) = (7) / (5) x 60
 * (11) = (8) / (6) x 60
 * (12) = (12) x 300 x 10⁻³

Blatt 5-2 Gegenüberstellung ausgewählter Einflussgrößen auf die ÖPNV-Widerstände

Nachfragesegment betrachteter Fall		(1) (2)	Erwachsene		Schüler	
			Mitfall	Ohnefall	Mitfall	Ohnefall
mittlere Umsteigehäufigkeit	[1/Personenfahrt] (1)	(3)	0,6	0,6	0,7	0,7
mittlere Zu- und Abgangszeit	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(4)	12,2	12,3	13,4	13,4
mittlere Beförderungszeit	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(5)	14,7	15,1	18,4	18,4
mittlerer Zeitbedarf beim Umsteigen	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(6)	3,2	3,3	3,9	3,9
mittlere Verspätungszeit	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(7)	0,2	3,4	-	-
mittlere Gesamtreisezeit	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(8)	28,9	29,4	34,6	34,6
mittlerer Gesamtwiderstand	[Minuten/Personenfahrt] (1)	(9)	46,9	50,9	57,8	61,2

CO₂-Emissionen für Betrieb und Herstellung Pkw, und Schadstoffemissionskosten und Primärenergieverbrauch MIV					
Blatt 6					
Fall	(1)	Mitfall	Ohnefall	Ohnefall	Saldo Mitfall-Ohnefall
MIV-Verkehrsleistung	[Personen-km/Werktag] (1)	3.428.601,0		3.550.084,0	- 121.483,0
Pkw-Fahrleistung	[1.000 Pkw-km /Jahr] (0)	791.216		819.250	-28.034
spezifische CO ₂ -Emissionen MIV-Pkw-Betrieb	[g/Pkw-km] (0)	127		127	
CO ₂ -Emissionen MIV-Pkw-Betrieb	[t/Jahr] (0)	100.484		104.045	-3.561
spezifische THG-Emissionen MIV-Pkw-Herstellung	[g/Pkw-km] (0)	41		41	
THG-Emissionen MIV-Pkw-Herstellung	[t/Jahr] (0)	32.440		33.589	-1.149
spezifische Schadstoffemissionskosten MIV	[ct/Pkw-km] (1)	0,4		0,4	
Schadstoffemissionskosten MIV	[t€/Jahr] (1)	3.164,9		3.277,0	112,1
spezifischer Primärenergieverbrauchsfaktor MIV	[MJ/Pkw-km] (1)	1,8		1,8	
Primärenergieverbrauch MIV	[GJ/Jahr] (0)	1.424.189		1.474.650	-50.461

*(2) gemäß Blatt 4-4, Zeile 10
 *(3) = (2) / 1,3 x 300 x 10³
 *(4) gemäß Anhang 1, Tabelle B-10, Zeile 1
 *(5) = (3) x (4) x 10³
 *(6) gemäß Anhang 1, Tabelle B-10, Zeile 2
 *(7) = (3) x (6) x 10³
 *(8) gemäß Anhang 1, Tabelle B-10, Zeile 3
 *(9) = (3) x (8) x 10²
 *(10) gemäß Anhang 1, Tabelle B-10, Zeile 5
 *(11) = (3) x (10)

**Blatt 10-1 Rahmendaten und Preisindizes für die
Infrastrukturinvestitionen**

Preisstand der Investitionsermittlung	[Jahr]	(1)	2022
voraussichtliches Jahr der Inbetriebnahme	[Jahr]	(2)	2029
Bauzeit*	[Jahre]	(3)	4
Aufzinsungsfaktor Bauzeit	[-]	(4)	1,0258

* technisch erforderlich

Index	Wert 2016	Wert im Jahr der Investitionsermittlung	Index bezogen auf 2016
	[-] (1)	[-] (1)	[-] (1)
(5)	(6)	(7)	(8)
Straßenbau	100,9	145,1	143,8
Brücken im Straßenbau	101,1	150,9	149,3
Elektrische Ausrüstungen	93,5	109,5	117,1

***(4)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-20, Spalte 2

***(8)** = **(7) / (6) x 100**

Blatt 10-2 Investitionen, Kapitaleinsatz und Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Miffall

Kostenposition	Anlagenteil Nr.	Anlagenteil Bezeichnung	Ersatz von Bestandsanlagen [Jah]	Investitionen jeweiliger Preisstand [T€]	Preisindex	Indexwert [-]	Investition Preisstand 2016 [T€]	Aufzinsungsfaktor Bauzeit [-]	Annuitätsfaktor [1/Jahr]	Kapitaleinsatz [T€/Jahr]	Unterhaltungskostensatz [%]	Unterhaltungskosten [T€/Jahr]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Summe gesamt				117.576,5			100.406,9			5.948,2		917,6
Planungskosten	400			10.688,8			9.127,9		0,0170	159,2		0,0
Zwischensumme				106.887,7			91.279,0			5.789,0		917,6
	110	Zugsicherungs- und Signalanlagen inkl. BU-Sicherungsanlagen	n	92.387,7	Elektrische Ausrüstungen	117,1	78.896,4	1,0258	0,0594	4.807,4	9,0	710,1
	120	Fernmeldeanlagen, Leitsysteme, Telekommunikationsanlagen, DFI	n	10.000,0	Elektrische Ausrüstungen	117,1	8.539,7	1,0258	0,0928	812,9	18,0	153,7
	132	Umformernetze, Unterwerke (elektrischer und machineller Teil)	n	4.500,0	Elektrische Ausrüstungen	117,1	3.842,9	1,0258	0,0428	168,7	14,0	53,8

***(2)** Zuordnung einer Anlagenteil Nr. aus Anhang 1, Tabelle B-19, Spalte 1 ***(8)** = (5) / (7) x 100 ***(12)** Wenn Spalte 4 = J, dann 0 ansonsten gemäß Anhang 1, Tabelle B-19, Spalte 5

***(3)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-19, Spalte 2 ***(9)** aus Blatt 10-1, Zeile 4

***(6)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-19, Spalte 6 ***(10)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-19, Spalte 4

***(7)** gemäß Blatt 10-1, Spalte 8 ***(11)** = (8) x (9) x (10)

***(13)** = (4) x (8) x (12) x 10⁻³

Blatt 11 Unfallfolgekosten

Verkehrsmittel/ Verkehrssystem	Saldo Betriebsleistung [1.000 Fahrzeug-km/Jahr] bzw. [1.000 Fahrplan-km/Jahr] (1)	Unfallkostenrate [ct/Pkw-km] bzw. [ct/Fahrplan-km] (1)	Saldo Unfallkosten [T€/Jahr] (1)
(1)	(2)	(3)	(4)
Summe Verkehrsmittel/ Verkehrssysteme			- 2.382,9
MIV	- 28.034,0	8,5	- 2.382,9
SPNV	-	36,4	-
ÖSPV-Schiene auf unabhängige geführten Abschnitten	-	19,8	-
ÖSPV-Schiene auf sonstigen Abschnitten	-	101,2	-
ÖSPV-Bus	-	21,3	-
Seilbahn	-	1,6	-

- ***(2)** im MIV aus Blatt 6, Zeile 3
im ÖPNV aus Blatt 8-7,
 - Zeile 1 für das Verkehrssystem SPNV
 - Zeile 6 für das Verkehrssystem ÖSPV-Schiene auf Streckenabschnitten mit unabhängigem Bahnkörper
 - Zeile 7 für das Verkehrssystem ÖSPV-Schiene auf sonstigen Streckenabschnitten
 - Zeile 3 für das Verkehrssystem ÖSPV-Bus
 - Zeile 4 für das Verkehrssystem Seilbahn
- ***(3)** für den MIV gemäß Anhang 1, Tabelle B-10, Zeile 4
für den ÖPNV gemäß Anhang 1, Tabelle B-22, Zeilen 1-5
- ***(4)** = (2) x (3) x 10⁻²

Blatt 12-2 Treibhausgasemissionen für die Streckeninfrastruktur im Mitfall für Strecken ohne maßgebliche Kunstbauten und Anlagen

THG-Emissionssatz Nr.	Anlagenteil Bezeichnung	nähere Spezifizierung	Mengeneinheit [-] (0)	Menge [Mengeneinheiten] (0)	spezifische THG-Emissionen [kg CO ₂ /Mengeneinheit x Jahr] (0)	jährliche THG-Emissionen [t CO ₂ /Jahr] (3)
(1)*	(2)*	(3)*	(4)*	(5)	(6)*	(7)*
Summe gesamt						74.340
Übertrag von Blatt 12-1	Kunstbauwerke nach Massenermittlung					0.000
Zwischensumme						74.340
T-120	Leit- und Sicherungstechnik		[m]	44.700	1	53.640
T-131	Unterwerk		[Stk.]	3	6.900	20.700

- ***(1)** Zuordnung einer THG-Emissionssatz Nr. aus Anhang 1, Tabelle B-23, Teil B, Spalte 1
- ***(2)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-23, Teil B, Spalte 2
- ***(3)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-23, Teil B, Spalte 3
- ***(4)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-23, Teil B, Spalte 4
- ***(6)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-23, Teil B, Spalte 5
- ***(7)** = (5) x (6) x 10⁻³

Blatt 12-3 Umweltfolgen

Verkehrsmittel		MIV	ÖPNV	Summe
Saldo CO ₂ -Emissionen Betrieb	[t CO ₂ /Jahr]	-3.561	0	-3.561
Saldo CO ₂ -Emissionen Fahrzeugherstellung	[t CO ₂ /Jahr]	-1.149	0	-1.149
Saldo CO ₂ -Emissionen Infrastrukturherstellung	[t CO ₂ /Jahr]		74	74
Saldo CO₂-Emissionen gesamt	[t CO ₂ /Jahr]	-4.710	74	-4.636
Saldo Emissionskosten Schadstoffe	[T€/Jahr]	-112,1	0	-112,1

***(2)** für den MIV gemäß Blatt 6, Zeile 5
für den ÖPNV gemäß Blatt 9-3, Spalte 11

***(3)** für den MIV gemäß Blatt 6, Zeile 7
für den ÖPNV gemäß Blatt 9-1, Spalte 13

***(4)** gemäß Blatt 12-2, Spalte 7

***(5)** = (2) + (3) + (4)

***(6)** für den MIV gemäß Blatt 6, Zeile 9
für den ÖPNV gemäß Blatt 9-3, Spalte 15

Blatt 16 Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch

RegioStaR 7	Bezeichnung	Punktwert [Punkte/(1.000 Pkw-km/Jahr)] (1)	Pkw-Fahrleistung			Nutzwertpunkte [1.000 Punkte] (1)	Saldo Pkw-Fahrleistung Eckwert [1.000 Pkw-km/Jahr] (1)
			Mitfall	Ohnefall	Saldo		
(1)	(2)	(3)*	(4)	(5)	(6)*	(7)*	(8)*
Summe			0,0	24501,0	-24501,0	174,0	-28034
71	Stadtregion – Metropole	-7,1	0,0	24501,0	-24501,0	174,0	
72	Stadtregion – Regiopole und Großstadt	-5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
73	Stadtregion – Mittelstadt, städtischer Raum	-1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
74	Stadtregion – Kleinstädtischer, dörflicher Raum	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
75	Ländliche Region – Zentrale Stadt	-1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
76	Ländliche Region – Städtischer Raum	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
77	Ländliche Region – Kleinstädtischer, dörflicher Raum	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	

***(3)** gemäß Anhang 1, Tabelle B-26, Spalte 3

***(6)** = (4) – (5)

***(7)** = (3) x (6) x 10⁻³

***(8)** aus Blatt 6, Zeile 3

Blatt 17 Primärenergieverbrauch

Verkehrsmittel	Saldo Primärenergieverbrauch [GJ/Jahr] (0)	Punktwert [Punkte/(GJ/Jahr)] (1)	Nutzwertpunkte [1.000 Punkte] (1)
(1)	(2)*	(3)*	(4)*
Summe	-50.461	-0,9	45,4
ÖPNV	0		
MIV	-50.461		

*(2) für den MIV aus Formblatt 6, Zeile 11
für den ÖPNV aus Formblatt 9-3, Spalte 19

*(3) aus Anhang 1, Tabelle B-27, Zeile 1

*(4) = (2) x (3) x 10⁻³

Blatt 20 Nutzen-Kosten-Indikator

Teilindikator			Dimension der originären Messgröße		Wert der originären Messgröße	Bewertungsansatz	monetäre Bewertung
			(a)	(b)*	(c)	[T€/Jahr] (1)	
monetarisierbar	Saldo Fahrgastnutzen ÖPNV	(1)*	[1.000 Stunden/Jahr]	(0)	-5217	-6,6 €/Stunde	34.432,2
	Saldo ÖPNV-Fahrgeld	(2)*	[1.000 Pkm/Jahr]	(0)	49.263	0,13 €/Pkm	6.404,2
	Saldo der ÖPNV-Betriebskosten	(3)*	[T€/Jahr]	(1)	6210,3	-1	-6.210,3
	Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Mitfall	(4)*	[T€/Jahr]	(1)	917,6	-1	-917,6
	Unterhaltungskosten für die ortsfeste Infrastruktur im Ohnefall	(5)*	[T€/Jahr]	(1)	0,0	1	0,0
	Saldo der Unfallfolgekosten	(6)*	[T€/Jahr]	(1)	-2382,9	-1	2.382,9
	Saldo der CO ₂ -Emissionen	(7)*	[t CO ₂ /Jahr]	(0)	-4636	-670 €/t CO ₂	3.106,1
	Saldo der Schadstoffemissionskosten	(8)*	[T€/Jahr]	(1)	-112,1	-1	112,1
	Saldo der Geräuschbelastung	(9)*	[T€/Jahr]	(0)	0	1	0,0
	Nutzen gesellschaftlich auferlegter Investitionen	(10)*	[T€/Jahr]	(1)	0,0	1	0,0
	Nutzen anderer Netznutzer	(11)*	[T€/Jahr]	(1)	0,0	1	0,0
nutzwertanalytisch	Funktionsfähigkeit der Verkehrssysteme / Flächenverbrauch	(12)*	[1.000 Punkte]	(1)	174,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	2.697,0
	Primärenergieverbrauch	(13)*	[1.000 Punkte]	(1)	45,4	15,5 €/(Punkt x Jahr)	703,7
	Daseinsvorsorge / raumordnerische Aspekte	(14)*	[1.000 Punkte]	(1)	0,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	0,0
	Resilienz von Schienennetzen	(15)*	[1.000 Punkte]	(1)	0,0	15,5 €/(Punkt x Jahr)	0,0
Summe monetär bewerteter Einzelnutzen		(16)*	[T€/Jahr]				42.710,3
Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur ÖPNV im Mitfall		(17)*	[T€/Jahr]	(1)	5948,2	1	5.948,2
Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur im Ohnefall		(18)*	[T€/Jahr]	(1)	0,0	-1	0,0
Saldo Kapitaldienst für die ortsfeste Infrastruktur		(19)*	[T€/Jahr]				5.948,2
Nutzen-Kosten-Indikatoren							
Nutzen-Kosten-Differenz		(20)*	[T€/Jahr]				36.762,1
Nutzen-Kosten-Verhältnis		(21)*	[-]				7,18

- | | | |
|-------|---|------------------------------------|
| *{1} | (b) aus Blatt 5-1, Spalte 9 | (d) = (b) x (c) |
| *{2} | (b) aus Blatt 5-1, Spalte 13 | (d) = (b) x (c) |
| *{3} | (b) aus Blatt 9-5, Zeile 8 | (d) = (b) x (c) |
| *{4} | (b) aus Blatt 10-2, Spalte 13 | (d) = (b) x (c) |
| *{5} | (b) aus Blatt 10-3, Spalte 13 | (d) = (b) x (c) |
| *{6} | (b) aus Blatt 11, Spalte 4 | (d) = (b) x (c) |
| *{7} | (b) aus Blatt 12-3, Zeile 5 | (d) = (b) x (c) x 10 ⁻³ |
| *{8} | (b) aus Blatt 12-3, Zeile 6 | (d) = (b) x (c) |
| *{9} | (b) aus Blatt 13-4, Zeile 3 | (d) = (b) x (c) |
| *{10} | (b) aus Blatt 14, Spalte 11 | (d) = (b) x (c) |
| *{11} | (b) aus Blatt 15, Spalte 4 | (d) = (b) x (c) |
| *{12} | (b) aus Blatt 16, Spalte 7 | (d) = (b) x (c) |
| *{13} | (b) aus Blatt 17, Spalte 4 | (d) = (b) x (c) |
| *{14} | (b) aus Blatt 18, Spalte 9 | (d) = (b) x (c) |
| *{15} | (b) aus Blatt 19, Spalte 7 | (d) = (b) x (c) |
| *{16} | = (1) + (2) + + (15) | |
| *{17} | (b) aus Blatt 10-2, Spalte 11 | (d) = (b) x (c) |
| *{18} | (b) aus Blatt 10-3, Spalte 11 | (d) = (b) x (c) |
| *{19} | = (17) + (18) | |
| *{20} | = (16) - (19) | |
| *{21} | = (16) / (19) Angabe mit 2 Nachkommastellen | |