**Nationalstrassen**

Strassen-Nr.

# N01

Unterhaltsabschnitt

**28**

| Autobahnklasse | | EU-Strassen-Nr. |
|---|---|---|
| **1** | **Kt.gr. SO/BE – Verzw. Luterbach** | **E25** |

Projektphase

## Bauausführung

Projekt- / Berichtsbezeichnung

# Mobile Baustellenbrücke Typ ASTRA

# Kosten-Nutzen-Analyse ASTRA Bridge für das EP Recherswil-Luterbach

## Schlussbericht

| Projektkurzbezeichnung | | Projekt-Nr. / TDCost-Nr. |
|---|---|---|
| **EP RELU** | | **MP-190015** |
| Inventarobjekt-Nr. | Unterhaltskilometer | RBBS |
| **11.01.28.311.11** | **23.800 – 30.562** | **N1+/N1- 23A.800 bis 30A.600** |

**Projektverfasser:**

EBP

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dokumenten-Nr. (PV): | **223433.1** | | |
| Doku.-Nr. (ASTRA): | **20250129 190015 Bericht KNA** | | |
| Format: | A4 | | |
| Version: | 1.0 | | |
| Erstellt: | ZUM | Datum: | 29.01.2025 |
| Geprüft durch PL PM | 30.01.2025 | Kurzz.: | Mej |
| Eingang ASTRA: | 30.01.2025 | Kurzz.: | Mej |
| Freigabe ASTRA: | 30.01.2025 | Kurzz.: | Mej |

**Projektleitung:**

**Bundesamt für Strassen**
**Filiale Zofingen**
**Brühlstrasse 3, 4800 Zofingen**

# Impressum

## Vertragspartner


| Auftragnehmer | Auftraggeber |
|---|---|
| **EBP Schweiz AG**<br><br>Mühlebachstrasse 11<br>8032 Zürich<br>Tel.: 044 395 16 16<br><br>E-Mail: marco.zumstein@ebp.ch<br>Verfasser: Marco Zumstein | **Bundesamt für Strassen ASTRA**<br>Filiale Zofingen<br>Brühlstrasse 3<br>4800 Zofingen<br>Tel.: 058 482 75 57<br><br>E-Mail: juerg.merian@astra.admin.ch<br>Ansprechperson: Jürg Merian |


### Änderungsverzeichnis

| Version | Anpassung / Änderung | Verfasser | Datum |
|---|---|---|---|
| **0.9** | Prüfexemplar | ZUM | 15.11.2024 |
| **1.0** | Schlussbericht | ZUM | 29.01.2025 |

### Verteiler

| Firma | Name | Anzahl | Version | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **0.9** | **1.0** | | | | | |
| ASTRA F3 | J. Merian | 1 | X | X | | | | | |
| | | | | | | | | | |

### Allg. Informationen

| | |
|---|---|
| **Dateiname ASTRA:** | Schlussbericht KNA ASTRA Bridge Nov 2024 V1.0 29.01.2025.docx |
| **Aktuelle Version:** | 1.0 |
| **Anzahl Seiten:** | 40 |

# INHALTSVERZEICHNIS

**1. Zusammenfassung 5**
**2. Einleitung 6**
2.1. Ausgangslage 6
2.2. Auftrag 6
**3. Grundlagen 7**
3.1. Technische Daten ASTRA Bridge 7
3.2. Projekt EP RELU 9
3.3. Verkehrsdaten 10
3.3.1. Verkehrsmodell und Simulation 10
3.3.2. Empirische Daten 10
**4. Methodik 12**
4.1. Allgemein 12
4.2. Definition der Varianten 13
4.2.1. Übersicht 13
4.2.2. ASTRA Bridge 13
4.2.3. 3/1 Verkehrsführung 14
4.2.4. Nächtlicher Spurabbau 16
4.3. Berechnung der Baukosten 17
4.4. Berechnung der Verkehrskosten 17
4.4.1. Verkehrsmengen 17
4.4.2. Methodik Reisezeitverluste 18
4.4.3. Geschwindigkeitsprofile 18
4.4.4. Reisezeitverluste ASTRA Bridge 20
4.4.5. Reisezeitverluste 3/1 Verkehrsführung und nächtlicher Spurabbau 20
4.4.6. EBeN-Tool 20
4.4.7. Betriebskosten Fahrzeuge 20
4.5. Berechnung der Unfallkosten 21
**5. Mengengerüst variantenspezifisch 23**
5.1. Baukosten 23
5.1.1. ASTRA Bridge 23
5.1.2. 3/1 Verkehrsführung 24
5.1.3. Nächtlicher Spurabbau 24
5.2. Verkehrskosten 24
5.2.1. ASTRA Bridge 24
5.2.2. 3/1 Verkehrsführung 25
5.2.3. Nächtlicher Spurabbau 25
5.3. Unfallkosten 25
5.3.1. ASTRA Bridge 25
5.3.2. 3/1 Verkehrsführung 26
5.3.3. Nächtlicher Spurabbau 26
5.3.4. Staukosten durch Unfälle 26
5.4. Annuität und Unterhaltskosten 27

**6. Resultate 29**
6.1. Baukosten 29
6.2. Verkehr 32
6.3. Unfälle 33
6.4. Gesamtergebnisse 34
6.5. Vergleich zur KNA vom Februar 2024 37
6.6. Qualitative Aspekte 37
**7. Gesamtbeurteilung 39**

**Verzeichnis der Abkürzungen**

| | |
|---|---|
| AB | ASTRA Bridge |
| ASTRA | Bundesamt für Strassen |
| AT | Arbeitstage |
| EBeN | Einheitliche Bewertungsmethode Nationalstrassen |
| EP RELU | Erhaltungsprojekt Recherswil-Luterbach |
| EP SIEP | Erhaltungsprojekt Sissach-Eptingen |
| FBBE | Fahrbahn Richtung Bern |
| FBZH | Fahrbahn Richtung Zürich |
| FHZ | Fahrzeug |
| KNA | Kosten-Nutzen-Analyse |
| LI | Lieferwagen |
| LW | Lastwagen |
| LV | Leistungsverzeichnis |
| MÜLS | Mittelstreifenüberleitungsysteme |
| MZMV | Mikrozensus Mobiltät und Verkehr |
| NPK | Normpositionen-Katalog |
| NPVM | Nationales Personenverkehrsmodell |
| NS | Normalspur |
| NSNW | Nationalstrassen Nordwestschweiz AG |
| PW | Personenwagen |
| RK&P | Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG |
| SASVZ | Schweizerische automatische Verkehrszählung |
| SGV | Schwerer Güterverkehr |
| TESI | Unterführung |
| UNF | Schwerer Güterverkehr |
| ÜS | Überholspur |
| VISSIM | Software für Verkehrsfluss-Simulation |

# 1. Zusammenfassung

Die neu entwickelte ASTRABridge ist eine mobile Baustellenbrücke, die bei Fahrbahninstandsetzungen auf Nationalstrassen eingesetzt werden kann. Vom April bis August 2024 war die ASTRA Bridge zum ersten Mal mit den um je 10m erweiterten Rampen beim Erhaltungsprojekt Recherswil-Luterbach (EP RELU) im Einsatz.

Die vorliegende Kosten-Nutzen-Analyse hat die gemessenen Wirkungen der ASTRA Bridge auf unterschiedliche Kostenfaktoren für die Gesellschaft untersucht und sie den konventionellen Verkehrsführungsmethoden ‘3/1’ und ‘nächtlicher Spurabbau’ für den Belagsersatz am EP RELU gegenübergestellt. Dabei wurden die effektiven Baukosten für den Belagsersatz in Fahrtrichtung Zürich nach Ausmass, sowie Messdaten aus dem Verkehrsmonitoring von Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG vor und während der Ausführung als Grundlage für Reisezeitkosten und Betriebskosten des Verkehrs ausgewertet.

Die Resultate zeigen im Einsatz des EP RELU einen wirtschaftlichen Vorteil der ASTRA Bridge gegenüber der 3/1 Verkehrsführung. Der nächtliche Spurabbau ist unter den monetarisierbaren Kriterien im Vergleich die kostengünstigste Variante, weist jedoch Nachteile bei den qualitativen Aspekten auf.

# 2. Einleitung

## 2.1. Ausgangslage

Bei der ASTRA Bridge handelt es sich um eine mobile Baustellenbrücke, die vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) speziell für den Einsatz bei Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten unter Verkehr auf Nationalstrassen entwickelt wurde. Ihr Hauptzweck besteht darin, Arbeiten an der Nationalstrasse durchzuführen, während der Verkehr weiterhin auf zwei Spuren ohne Umleitungen aufrechterhalten wird, indem er vertikal versetzt über die Baustelle geführt wird. Die Trennung der Arbeitsebene von der Verkehrsebene kann eine Erhöhung der Arbeitssicherheit und Verbesserung des Verkehrsflusses zur Folge haben.

Konventionelle Lösungen für die Verkehrsführung bei Bauarbeiten auf der Nationalstrasse beinhalten die 3/1 oder 4/0 Linienführung mit Spurverengung und Mittelstreifenüberfahrt, sowie einen möglichen Spurabbau, insbesondere in der Nacht. Mit der steigenden Verkehrsbelastung auf den Schweizer Nationalstrassen und den laufend verkürzten Nachteinsätzen bietet die ASTRA Bridge eine interessante neue Alternative zu den gängigen Verkehrsführungen.

Der Prototyp der ASTRA Bridge wurde das erste Mal im Jahr 2022 beim Erhaltungsprojekt Recherswil-Luterbach auf der A1 eingesetzt. Das Projekt eignete sich aufgrund des Verkehrsvolumens und der wenigen Hindernisse (z.B. Überführungen) gut für den Piloteinsatz. Es hat sich beim ersten Einsatz gezeigt, dass der Neigungswechsel bei der Auffahrt auf die Rampen der ASTRA Bridge zu abrupt erfolgte und die Verkehrsteilnehmer zu einer starken Reduktion der Geschwindigkeit veranlasste. Im Jahr 2023 wurden die Rampen daher optimiert und beidseitig um 10m verlängert.

Vom 07. April 2024 bis 31. August 2024 wurde ein erster Einsatz der ASTRA Bridge mit den neuen Rampen bei Belagsersatzarbeiten auf der Fahrbahn Richtung Zürich (FBZH) im Abschnitt Recherswil-Luterbach durchgeführt. Der Einsatz wurde von einem Verkehrsmonitoring der Firma Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG (RK&P) begleitet.

## 2.2. Auftrag

Die EBP Schweiz AG wurde damit beauftragt, den Einsatz der ASTRA Bridge im Projekt EP RELU im Jahr 2024 mit einer KNA zu evaluieren. Dabei sollen die monetarisierbaren Kosten des Einsatzes der ASTRA Bridge für die Gesellschaft den konventionellen Methoden (3/1 Verkehrsführung & nächtlicher Spurabbau) im Projektperimeter gegenübergestellt werden. Die Resultate bilden unter anderem die Grundlage für die Wahl der Baumethode bei zukünftigen Einsätzen.

In einem ersten Schritt wurde die EBP Schweiz AG damit beauftragt, eine KNA des Einsatzes auf beiden Fahrbahnen basierend auf den Daten von Verkehrssimulationen vor der Umsetzung durchzuführen. Die Ergebnisse wurden am 29.02.2024 im Bericht ‘Kosten-Nutzen-Analyse ASTRA Bridge Feb 2024’ dokumentiert.

Basierend auf den ausgewerteten empirischen Messdaten und effektiven Bau- und Betriebsaufwänden während des Einsatzes der ASTRA Bridge auf der FBZH wurde im November 2024 eine neue KNA erstellt. Diese abschliessende KNA wird im vorliegenden Bericht dokumentiert.

# 3. Grundlagen

## 3.1. Technische Daten ASTRA Bridge

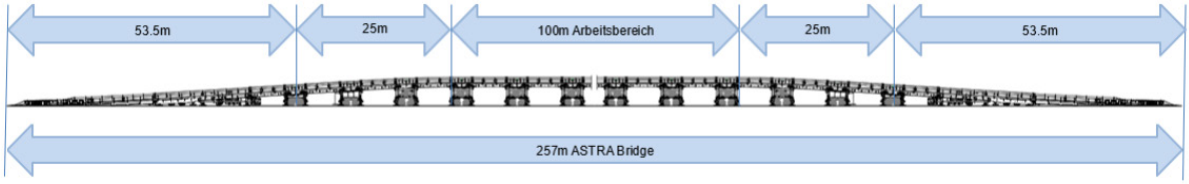


Abbildung 1: Seitenansicht ASTRA Bridge (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2024)

Bei der ASTRA Bridge handelt es sich um eine modulare mobile Brücke aus Stahl, deren Gesamtlänge zwischen 170 m und 257 m variieren kann (siehe Abbildung 1). Sie wird zusammengesetzt aus Rampen von jeweils 53.5 m Länge, Übergangsbereichen und Portalen und Zwischensegmente, die den maximal 100 m langen Arbeitsbereich überbrücken. Bei Bedarf kann dieser durch den Einsatz von weniger Portalen reduziert werden. Jedes Modul ist mit einem Motor ausgestattet und individuell fahrbar.

Die ASTRA Bridge wird vom Lagerplatz mit Tiefladern elementweise antransportiert und mit Hilfe von Pneukränen in zwei Nächten am Wochenende unter Spurabbau montiert, resp. in einer Nacht wieder demontiert.

Die ASTRA Bridge wiegt insgesamt etwa 1'294 Tonnen und hat eine Maximalbreite von 7.57 m. Die Fahrbahnbreite auf der ASTRA Bridge beträgt 6.76 m, aufgeteilt in zwei Fahrspuren von je 3.00 m, welche durch die Brücke um 3.60 m angehoben werden. Die Arbeitsbreite und -höhe unter der Brücke betragen 5.08 m bzw. 3.10 m. Der Arbeitsbereich wird über eine parallele Logistikspur erreicht. Zusammen mit der ASTRA Bridge ist so eine Breite von mindestens 11.70 m erforderlich. Die Dimensionen und Schnitte des Arbeitsbereiches sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 ersichtlich.

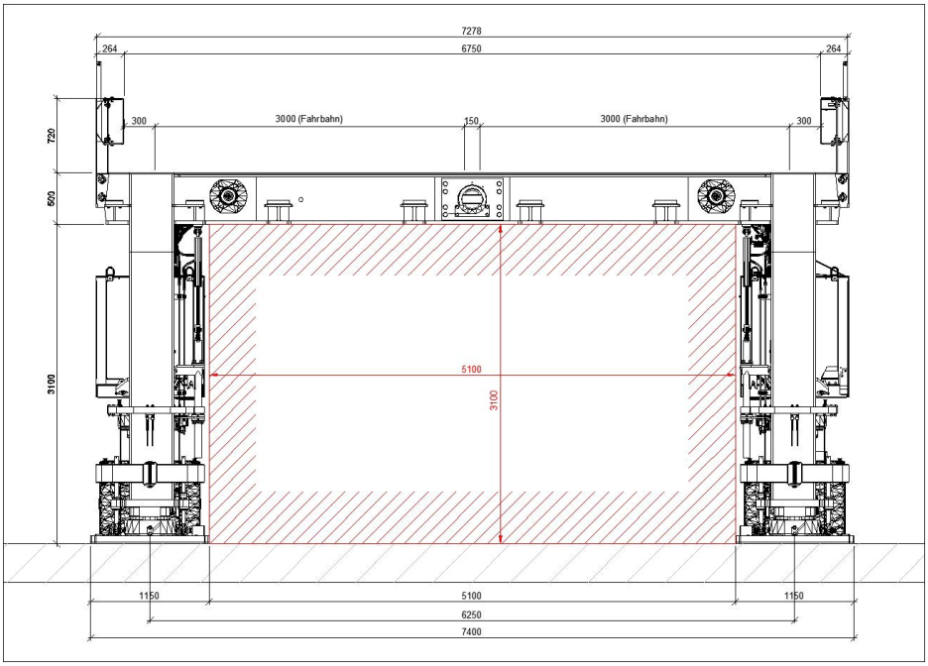


Abbildung 2: Querschnitt Portal mit Arbeitsbereich (3.10 m x 5.10 m) (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2024)

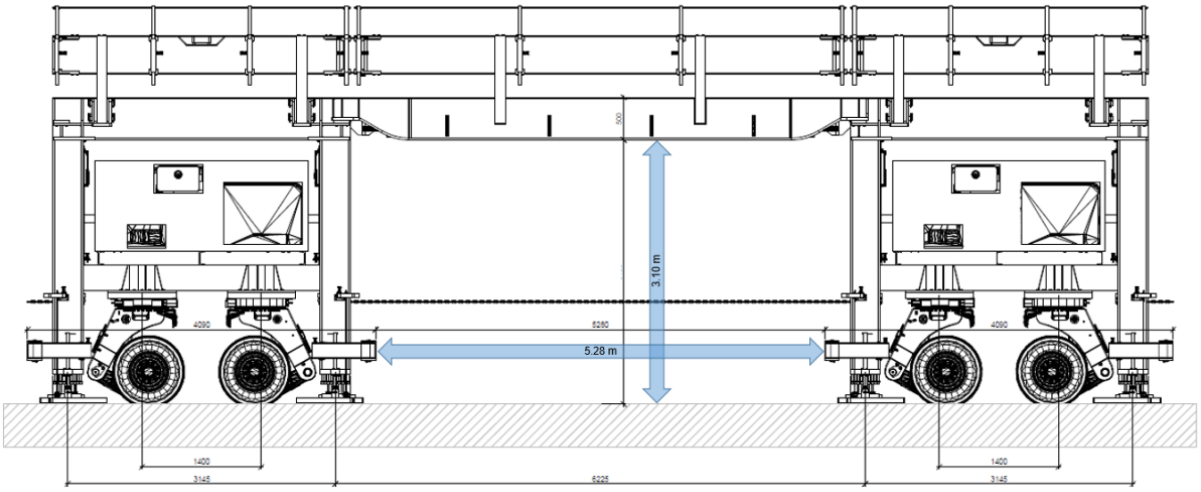


Abbildung 3: Längsschnitt Portale und Zwischensegment mit Angaben LRP Versorgung (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2024)

Aus den technischen Rahmenbedingungen ergeben sich die folgenden geometrischen Anforderungen für den Einsatz der ASTRA Bridge:

Tabelle 1: Zusammenfassung der wesentlichen geometrischen Anforderungen für den Einsatz der ASTRA Bridge

| **Geometrische Anforderung** | **Grössenordnung** |
|---|---|
| Minimal erforderliche Höhe | $H_{min} \geq 3.60 + 4.50 = 8.10$ m |
| Minimaler Radius im Grundriss | $R_H \geq 1'000$ m |
| Maximales Längsgefälle Nationalstrasse | $i_{max} \leq 3.0$ % |
| Minimale Abschnittslänge ohne Hindernisse | $L_{min} \geq 257$ m |
| Minimal erforderliche Breite (Montagebreite) | $B_{min} \geq 11.7$ m = 7.6 m + 3.5 m + 2*0.3 m |

Aufgrund der minimal erforderlichen Höhe ist die ASTRA Bridge unter anderem bei Überführungen nicht einsetzbar. Unterführungen und Brücken müssen aufgrund des Gewichtes fallweise zusätzlich gespriesst werden.

## 3.2. Projekt EP RELU

Im Rahmen des EP RELU, in dem die ASTRA Bridge den Piloteinsatz gehabt hat, wurde der Deckbelag auf einer Länge von rund 6.762 km von UH-km 24.000 bis 30.600 durch einen lärmarmen Belag ersetzt. Zudem wurde der grüne Mittelstreifen befestigt, sowie die Fahrzeugrückhaltesysteme und die Strassenentwässerung erneuert.

Abbildung 4: Projektperimeter EP RELU (aus Info Erhaltungsprojekt A1 Recherswil-Luterbach, ASTRA 2024)

Der Projektteil Belagsersatz wurde in Etappen von ca. 100 m Länge unterteilt. Insgesamt war vorgesehen, 101 Etappen des Belags mit der ASTRA Bridge zu ersetzen, wobei 22 Etappen auf der Normalspur (NS) der Fahrbahn Richtung Bern (FBBE) bereits im Frühling 2022 mit den alten Rampen vor der Optimierung der ASTRA Bridge ausgeführt wurden.

In 79 Etappen wurde auf der Normal- und Überholspur (ÜS) der Fahrbahn Richtung Zürich (FBZH) ab April 2024 bis August 2024 mit der ASTRA Bridge der Deckbelag ersetzt. Zuerst wurde die Überholspur mit Einbaurichtung Recherswil->Luterbach ausgeführt und danach die Normalspur rückwärts in Richtung Luterbach->Recherswil. Für die ausstehende Ausführung der 38 Etappen auf der Überholspur der Fahrbahn Richtung Bern wurde 2024 der nächtliche Spurabbau als Verkehrsführung gewählt.

Aufgrund von Überführungen, Anschlüssen und Unterführungen waren nicht alle Etappen für den Einsatz der ASTRA Bridge geeignet. Auf diesen Etappen wurde der Deckbelag 2022 bereits mit einem nächtlichen Spurabbau eingebaut. 21 Etappen auf der Fahrbahn Richtung Zürich und 30 Etappen auf der Fahrbahn Bern wurden so ausgeführt.

2023 wurde entschieden, im Jahr 2024 pro Fahrspur der FBZH drei weitere ASTRA Bridge-Etappen über einer Unterführung in je einer Nachtetappe auszuführen, um statische Unterstützungsmassnahmen in der Unterführung, die bei einem Einsatz der ASTRA Bridge notwendig wären, zu vermeiden.

Tabelle 2: Übersicht der Etappen EP RELU (Stand August 2024)

| | FBZH NS | FBZH ÜS | FBBE ÜS | FBBE NS |
|---|---|---|---|---|
| 2022 AB | | | | 22 |
| 2022 Nacht | 10 | 11 | 12 | 18 |
| 2024 AB | 39 | 40 | | |
| 2024 Nacht | 3 | 3 | | |
| Ausstehend Nacht | | | 38 | |

## 3.3. Verkehrsdaten

Die zugrundeliegenden Verkehrsdaten wurden teils empirisch und teils basierend auf Verkehrsmodellen ermittelt, für die nicht ausgeführten Varianten mittels Simulationen und für die ASTRA Bridge aufgrund ausgewerteter empirischer Messungen.

### 3.3.1. Verkehrsmodell und Simulation

Die Reisezeitverluste pro Fahrzeug und die daraus resultierenden Fahrtzeitverlängerungen für die 3/1 Verkehrsführung wurden durch Verkehrsfluss-Simulationen mit der Software VISSIM durch Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG (RK&P) abgeschätzt. Als Datengrundlage dienten die Verkehrszahlen der automatischen Verkehrszählung vom März 2022, d.h. vor dem Piloteinsatz der ASTRA Bridge mit den alten Rampen und in einer Jahreszeit mit durchschnittlicher Verkehrsmenge.

### 3.3.2. Empirische Daten

Im Auftrag des ASTRA untersuchte RK&P die verkehrlichen Auswirkungen der ASTRA Bridge und betrieb das projektbegleitende Verkehrsmonitoring. Während des Einsatzes der ASTRA Bridge (07.04.2024.-31.08.2024) und in einem Referenzzeitraum vor Baubeginn (05.03.2024-07.04.2024) wurden die Fahrzeug-Geschwindigkeiten auf der Normalspur Richtung Zürich an neun Messstellen (Sensoren 1-9, Netzkilometer 20-28, siehe Abbildung 5) zwischen der Einfahrt Kilchberg und der Verzweigung Luterbach erfasst und für Zellen mit einem Kilometer Länge für jede Tagesstunde aggregiert. Aus den Geschwindigkeiten wurden die stündlichen durchschnittlichen Fahrtzeiten pro Kilometer berechnet. Drei weitere Sensoren wurden bei den Ein- und Ausfahrten der Anschlüsse Kirchberg und Kriegstetten installiert. Diese Sensoren wurden nicht für die KNA verwendet. Die Messwerte der fünf Wochen vor dem Einsatz der ASTRA Bridge werden als Referenzmessungen verwendet.

Da die Verkehrsdaten als Grundlage für weitere Berechnungen dienten, wurden im Gegensatz zum Bericht von RK&P die Mittelwerte der Messungen sekundengenau verwendet und nicht auf Minuten gerundet. Standardabweichungen wurden nicht berücksichtigt.

Als weitere empirische Datengrundlage wurden die automatischen Verkehrszählungen von Januar bis August 2024 konsultiert. Die Messwerte der Zählstelle 512 Derendingen, die im Bereich des EP RELU liegt, wurden für die Bestimmung der Verkehrsmengen und Anteile der Fahrzeugklassen und zur Plausibilisierung der Geschwindigkeiten verwendet.

Abbildung 5: Übersicht der Erhebungsstandorte des Verkehrsmonitorings von RK&P

# 4. Methodik

## 4.1. Allgemein

Um die Wirtschaftlichkeit der ASTRA Bridge zu ermitteln, wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) nach den gängigen Normen (SN641820 - 828) durchgeführt. Die Analyse fokussiert dabei auf den Belagsersatz im Rahmen des EP RELU auf der Fahrbahn Richtung Zürich, was rund 13'300 Laufmetern Fahrbahn entspricht. Der Belagsersatz wird in den Berechnungen der Kosten als eigenes Projekt betrachtet. Der Belagsersatz der Überholspur FBBE (rund 6'600 Laufmeter Fahrbahn) wird im Gegensatz zur KNA vom Februar 2024 nicht mehr beurteilt. Die Normalspur FBBE wurde nicht berücksichtigt, da die Ausführung mit den alten Rampen der ASTRA Bridge erfolgte und die Zahlen daher nicht vergleichbar sind.

Nebst dem Belagsersatz der Normal- und Überholspuren wurden andere Teile des Projekts wie der Ersatz der Rückhaltesysteme und der Abbau des grünen Mittelstreifens durch die ASTRA Bridge nur geringfügig tangiert und daher nicht in der KNA berücksichtigt.

Tabelle 3: Abgrenzung der Bestandteile der vorliegenden KNA

| | Bestandteil der KNA | Nicht Bestandteil der KNA |
|---|---|---|
| **Belagsersatz FBZH ÜS** | X | |
| **Belagsersatz FBZH NS** | X | |
| **Belagsersatz FBBE ÜS** | | X |
| **Belagsersatz FBBE NS** | | X |
| **Abbau grüner Mittelstreifen** | | X |
| **Weitere Massnahmen: (Ersatz Rückhaltesysteme, Strassenentwässerung, …)** | | X |

Folgende Varianten für die Verkehrsführung bei Bauarbeiten wurden im Rahmen der KNA verglichen:

- **ASTRA Bridge**
- **3/1 Verkehrsführung**
- **Nächtlicher Spurabbau (reine Nachtarbeit)**

Als Vergleichsvarianten zur ASTRA Bridge wurden die konventionellen Verkehrsführungen 3/1 und nächtlicher Spurabbau gewählt, da diese ohne die ASTRA Bridge aufgrund der Rahmenbedingungen des EP RELU mit grosser Wahrscheinlichkeit favorisiert worden wären. Eine 4/0 Verkehrsführung ist im Abschnitt nicht machbar, da unter den Überführungen die dafür notwendige Breite fehlt.

In dieser KNA werden die monetarisierbaren Wirkungen der unterschiedlichen Varianten betrachtet und einander gegenübergestellt. Die Qualität des Belagsersatzes und damit dessen positiver Nutzen bleibt gegenüber anderen Verkehrsführungen auch mit der ASTRA Bridge unverändert. Der Einsatz der ASTRA Bridge hat insbesondere Einfluss auf die Zielbereiche 'Baukosten', 'Verkehr' und 'Unfall'. Unter Anwendung des EBeN[1]-Tools des ASTRA wurden diese negativen Nutzen, resp. Kosten, basierend auf den Ausmassen, den Verkehrsdatenmessungen, den VISSIM-Verkehrssimulationen von RK&P, den Projektunterlagen, vergleichbaren Projekten und diverser Literatur ermittelt.

Für die Varianten 3/1 Verkehrsführung und nächtlicher Spurabbau wurden 20 Arbeitstage pro Monat (inkl. Abzug Wochenende, Ferien und Feiertage) angenommen.

[1] Einheitliche Bewertungsmethode Nationalstrassen

## 4.2. Definition der Varianten

### 4.2.1. Übersicht

| Variante | ASTRA Bridge | 3/1 Verkehrsführung | Nächtlicher Spurabbau |
|---|---|---|---|
| **Fahrbahn** | **FBZH** | **FBZH** | **FBZH** |
| Anzahl Bauetappen Tag | 79 | 22 | |
| Anzahl Bauetappen Nacht | 23 | | 53 |
| Etappenlänge Tag [m] | 100 | 600 | |
| Etappenlänge Nacht [m] | 235 | | 250 |
| Baulänge [m] | 13’300 | 13’300 | 13’300 |
| Bauzeit inkl. Schlechtwettertage [Monate] | 4.8 | 2.4 | 3.5 |

Tabelle 4: Übersicht der Kennwerte nach Variante für Belagsersatz zwei Fahrspuren, Schätzungen für 3/1 Verkehrsführung und nächtlichen Spurabbau (Referenz: öBL Stefan Wernli, Baustelle Limmattal)

### 4.2.2. ASTRA Bridge

Mit der ASTRA Bridge kann der Belagseinbau in 100m-Etappen auf offenen und hindernisfreien Abschnitten erfolgen. Die restlichen Abschnitte innerhalb des Projektperimeters (z.B. bei Überführungen und Anschlüssen) werden in nächtlichem Spurabbau erneuert.

Der Verkehr wird zweispurig über die Baustelle geführt, während die Belagsarbeiten auf einer Spur stattfinden können. Die verbleibende Spur der Fahrbahn dient der Logistik und Zufahrt der Baustelle. In der Nacht wird die ASTRA Bridge in Längsrichtung verschoben, um an der nächsten Etappe weiterzuarbeiten. Dafür werden die Fahrzeuge kurzzeitig für ca. 1.5 Stunden über die Logistikspur geführt. Um auf die andere Spur zu wechseln, kann die ASTRA Bridge schräg seitwärts fahren. Die Abbildung 6 dient der Visualisierung der Situation.

Die signalisierte Geschwindigkeit auf der Brücke ist 60 km/h. Die effektiv gefahrene Geschwindigkeit variiert hingegen und hängt vom Verhalten der Strassenbenützer im praktischen Einsatz und von Stausituationen ab. Im Rahmen der KNA wurden die Fahrzeiten für den gesamten Abschnitt Einfahrt Kilchberg bis Verzweigung Luterbach betrachtet und die Überfahrgeschwindigkeit der ASTRA Bridge nicht im Detail ausgewertet. Um eine Abschätzung dahingehend zu machen, müssten die Tage ausgewertet werden, an denen die ASTRA Bridge direkt an einem der neun Geschwindigkeitssensoren positioniert war.

Der Verkehrsfluss der Gegenfahrbahn (FBBE) blieb während der Einsatzzeit der ASTRA Bridge weitgehend ungestört bei einer signalisierten Geschwindigkeit von 120 km/h. Es wurde gemäss Angaben des ASTRA beobachtet, dass in den ersten zwei Wochen einzelne Fahrzeuge von 120 km/h auf 100 km/h abgebremst haben. Ein Grund dafür könnte die Neugierde über die neue ASTRA Bridge sein. Es wurde ermittelt, dass dieser Effekt auf die gesamten Reisezeitkosten über die Projektdauer vernachlässigbar gering ist. Er wird daher in der KNA nicht berücksichtigt.

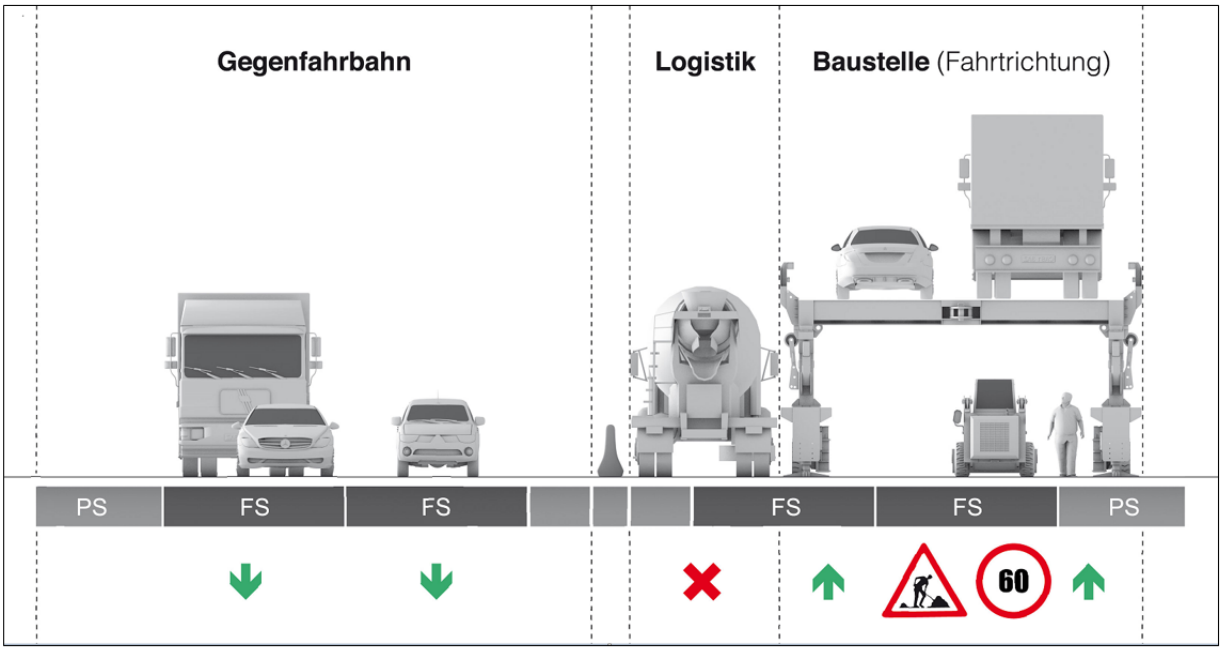


Abbildung 6: Baustelle Bereich ASTRA Bridge (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2024)

Bei der ASTRA Bridge können Arbeiten mittels Verwendung von Absperrdeichen auch bei Schlechtwetter mit weniger Unterbrüchen ablaufen. Aufgrund des verhältnismässig regnerischen Sommers kam es trotzdem zu 11 Tagen, an denen die Baustelle witterungsbedingt pausieren musste. An 6 weiteren Tagen gab es Unterbrüche aufgrund von technischen Störungen der ASTRA Bridge.

Zusätzlich zu den ASTRA-Bridge-Etappen werden die Zwischenetappen mit nächtlichem Spurabbau auf den Strecken, wo die ASTRA Bridge nicht eingesetzt werden konnte, berücksichtigt. Dies sind 23 Etappen mit einer Länge von durchschnittlich 235 m auf der FBZH.

Damit resultiert eine Bauzeit von 4.8 Monaten (AB) + 1.5 (Nacht) Monaten für die FBZH.

### 4.2.3. 3/1 Verkehrsführung

Unter den Rahmenbedingungen des EP RELU ohne Höhenunterschied der Fahrbahnen und ausreichender Breite ist eine 3/1 Verkehrsführung machbar. Dafür wird die Überholspur beidseitig verengt und mittels provisorischer Mittelstreifenüberfahrt auf die Gegenfahrbahn geführt (siehe Abbildung 7). Der Verkehr wird mit mobilen Baustellensicherungen (z.B. Vario Guard) von der Baustelle getrennt. Innerhalb der 3/1 Verkehrsführung ist eine Geschwindigkeit von 80 km/h signalisiert. Es wurde angenommen, dass sich eine 3/1 Verkehrsführung während der vollen Bauzeit über die gesamte Länge des EP RELU von 6.762 Kilometer erstrecken würde. In Abbildung 7 ist der potenzielle Bauablauf mit einer 3/1 Verkehrsführung dargestellt.

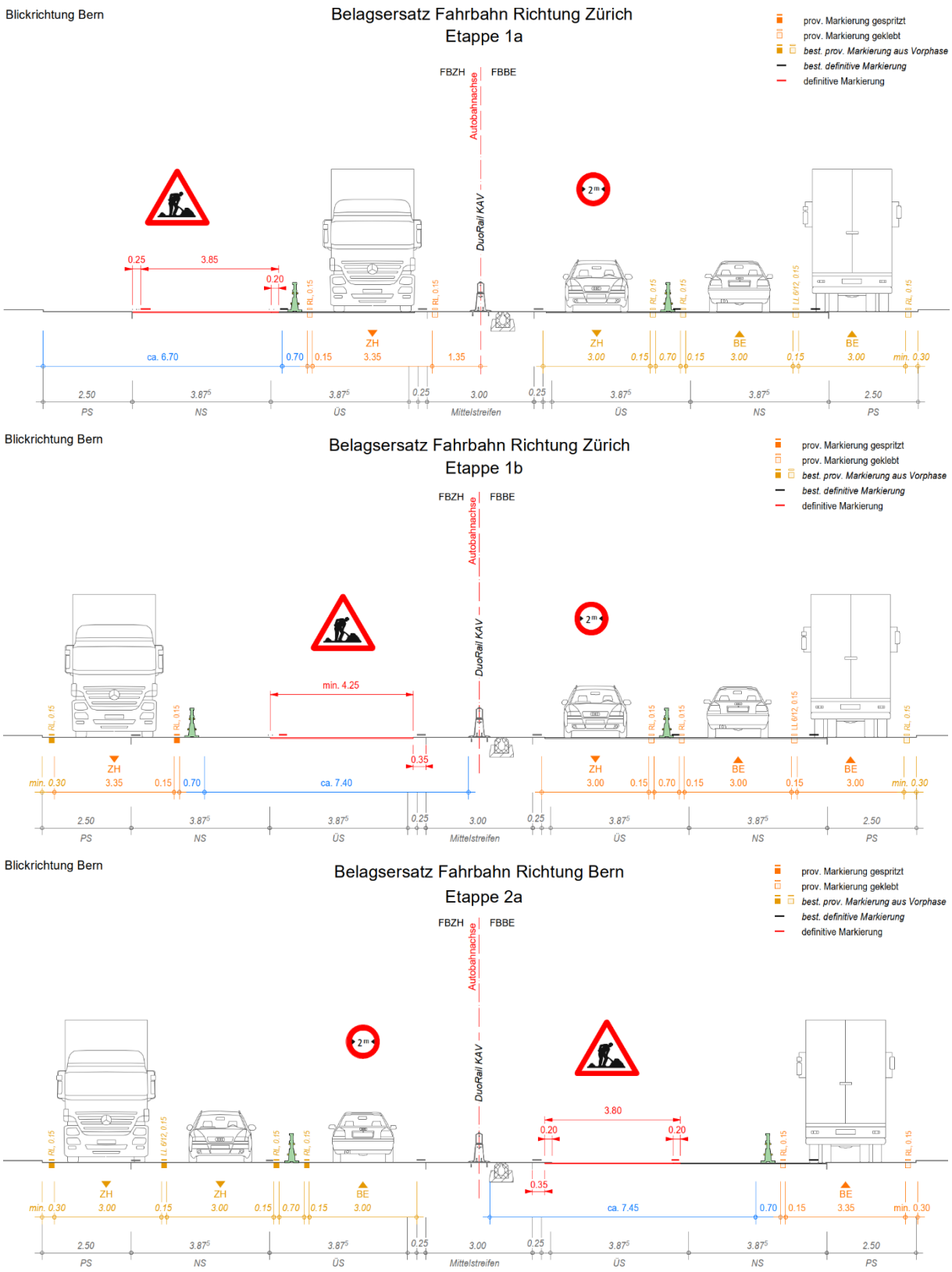


Abbildung 7: Schematische Darstellung der möglichen Verkehrsetappen bei Anwendung einer 3/1 Verkehrsführung beim EP RELU (ohne NS FBBE) (Quelle: ASTRA)

Der Belagsersatz wird in Etappen von ca. 600 m pro Tag ausgeführt. Damit ergeben sich rund 22 Etappen auf der FBZH. Es wird angenommen, dass pro Etappe zusammen mit der Einrichtung der temporären Signalisationen (TESI) und Reserve- und Schlechtwettertagen durchschnittlich 1.8 Tage benötigt werden. Die folgenden Kennzahlen für die FBZH basieren auf Erfahrungswerten* der Baustelle

Limmattal und wurden auf die Berechnungen für die EP RELU übertragen. Die Zahl der Schlechtwettertage wurde aufgrund der Schlechtwetterphase vom 07.04.2024 bis 13.06.2024 6 Tage pro Monat erhöht.

| | | |
|---|---|---|
| Einrichtung TESI 3/1: | 5 | Arbeitstage (AT) |
| Einbau ÜSP 11 Tagesetappen: | 11 | AT |
| Umstellung TESI: | 2 | AT |
| Einbau NSP 11 Tagesetappen: | 11 | AT |
| Neutralisieren: | 5 | AT |
| Berücksichtigung Schlechtwetter: | 12 | AT |
| Reserve allgemein: | 2 | AT |
| **Total für den Belagsersatz 2 FBZH:** | **48** | **AT = ca. 2.4 Monate (20 AT / Monat)** |

*Referenz: öBL Stefan Wernli, Baustelle Limmattal

Damit resultiert eine Bauzeit von 2.4 Monaten für die FBZH.

Eine zentrale Komponente der Verkehrsleitung sind die erforderlichen Mittelstreifenüberfahrten. Für Notfälle und Pannen werden total vier Ausstellbuchten (2 pro Fahrbahn) eingeplant, die eine sichere und schnelle Reaktion im Falle von Zwischenfällen ermöglichen.

### 4.2.4. Nächtlicher Spurabbau

Beim nächtlichen Spurabbau beträgt die Etappenlänge für einen Belagsersatz basierend auf den Erfahrungswerten des ASTRA für Belagsersatz inkl. Rissverklebung und -sanierung rund 250 m pro Nacht. Damit ergeben sich rund 53 Etappen auf der FBZH. Es wurden basierend auf Erfahrungswerten für den Sommer 2024 rund drei Schlechtwettertage im Monat angenommen. Die Spur für den Belagsersatz wird temporär mit leichten Leitelementen (z.B. Leitbaken für Baustelle kurzer Dauer<72h) gesperrt und die Kapazität der Fahrbahn reduziert. Die Arbeiten dürfen im Zeitraum von ca. 22:00 bis 06:00 Uhr stattfinden. Damit resultiert eine Bauzeit von 3.5 Monaten für die FBZH. Es wird damit gerechnet, dass die vorgegebenen Sperrfenster in Zukunft weiter verkürzt werden und den effizienten Belagseinbau im nächtlichen Spurabbau erschweren (nicht in KNA berücksichtigt).

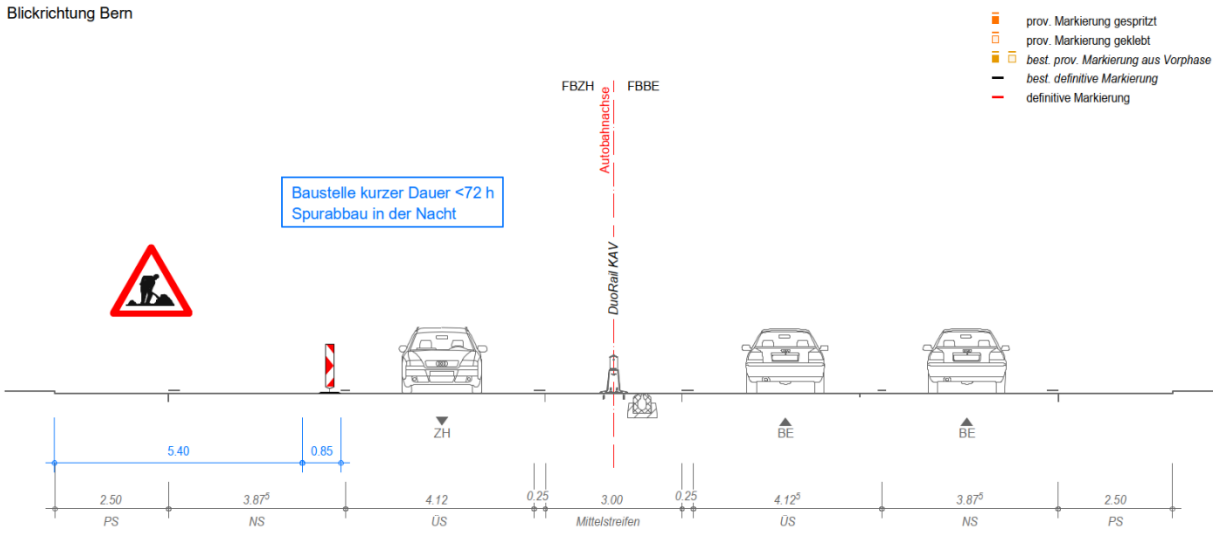


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Verkehrsführung während eines Spurabbaus in der Nacht (Quelle: ASTRA)

## 4.3. Berechnung der Baukosten

Die Grundlage für die Herleitung der Baukosten aller Varianten bildeten die Positionen des Leistungsverzeichnisses (LV) des EP RELU und die Ausmasse der ausgeführten Arbeiten pro Etappe.

Die Bau- und Betriebskosten des Belagseinbaus mit der ASTRA Bridge entstammen dem von der örtlichen Bauleitung (Stefan Wernli) angegebenen Ausmass pro Etappe Belagsersatz, dem Faktenblatt 2024 und den Projektunterlagen (Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, 2020).

Der Laufmeterbetrag des Belagseinbaus in den nächtlichen Etappen im EP RELU wurde für die Nacht und 3/1 Verkehrsführung übernommen.

Die variantenspezifischen Baukosten für die Nacht und 3/1 Verkehrsführung wurden basierend auf der Basis der LVs vergleichbarer Projekte und Erfahrungswerten abgeschätzt. Vergleichbare Projekte waren unter anderem das EP Sissach–Eptingen (EP SIEP), EM Sursee–Rothenburg und Sechsspurausbau Härkingen–Wiggertal. Zur Ermittlung der Ausmasse wurden durchführbare Lösungen mit konventionellen Methoden erarbeitet.

Die Aufwände für Prüfungen, Markierungen ohne Zuschläge und die Installationsglobalen werden für alle Varianten als gleich angenommen.

## 4.4. Berechnung der Verkehrskosten

Grundsätzlich berechnen sich die Verkehrskosten aus den Zeitverlusten und einem Umrechnungsfaktor zur Umwandlung in die monetäre Einheit. Die Betriebskosten der Fahrzeuge werden ebenfalls den Verkehrskosten zugeordnet. Dabei werden der Personenverkehr, der Schwere Güterverkehr und der Lieferverkehr berücksichtigt. Für die Berechnung der Zeitverluste werden die Verkehrsmengen (Anzahl Personen und Fahrzeuge) und die Reisezeitverluste multipliziert. Dabei werden aggregierte Mittelwerte für jede Tagesstunde herangezogen sowie Werktage und Wochenendtage (inkl. Feiertage) separat betrachtet.
Zusammengefasst ergibt sich folgende Berechnung:

$$
\begin{aligned}
&Total\ Personenverluststunden\ FBZH \\
&= \left( \sum_{h=0:00}^{23:00} \left( \left( Reisezeit\ mit\ Baustelle\ FBZH\ Werktag\ (h) - Reisezeit\ ohne\ Baustelle\ FBZH\ Werktag\ (h) \right) \right. \right. \\
&\left. \left. * Verkehrsmenge * Anteil\ PW * var.Belegungsgrad \right) * Anzahl\ Werktage\ in\ Bauzeit \right. \\
&+ \left( \sum_{h=0:00}^{23:00} \left( \left( Reisezeit\ mit\ Baustelle\ FBZH\ Wochenende\ (h) \right. \right. \right. \\
&\left. \left. \left. - Reisezeit\ ohne\ Baustelle\ FBZH\ Wochenende(h) \right) * Verkehrsmenge * Anteil\ PW * var.Belegungsgrad \right) \right. \\
&\left. * Anzahl\ Wochenendtage\ und\ Feiertage\ in\ Bauzeit \right)
\end{aligned}
$$

### 4.4.1. Verkehrsmengen

Aus den Daten der automatischen Verkehrszählung (SASVZ) für die Messstation 512 - Derendingen, welche sich innerhalb des Projektperimeters befindet, wurde für den Zeitraum der Baustelle die Verkehrsmenge pro Stunde und der jeweilige Anteil an Personenwagen, Schwerlastfahrzeugen und Lieferwagen ausgewertet. Aufgrund der kurzen Projektdauer wurde keine Entwicklung der Verkehrsnachfrage während der Projektdauer angenommen. Jahreszeitendifferenzen wurden nicht berücksichtigt.

Da für den Personenverkehr die Anzahl Personen benötigt werden (siehe 4.4.6), wird die Anzahl der Personenwagen über die durchschnittliche Besetzung in die Anzahl der Personen umgerechnet. Der PW-Besetzungsgrad stammt aus den Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr.[2]

[2] BFS: MZMV 2015: 1.56 Personen pro Fahrzeug (Durchschnitt), 1.09 Personen pro Fahrzeug während Verkehrsspitzen und 1.66 Personen pro Fahrzeug ausserhalb der Verkehrsspitzen.

### 4.4.2. Methodik Reisezeitverluste

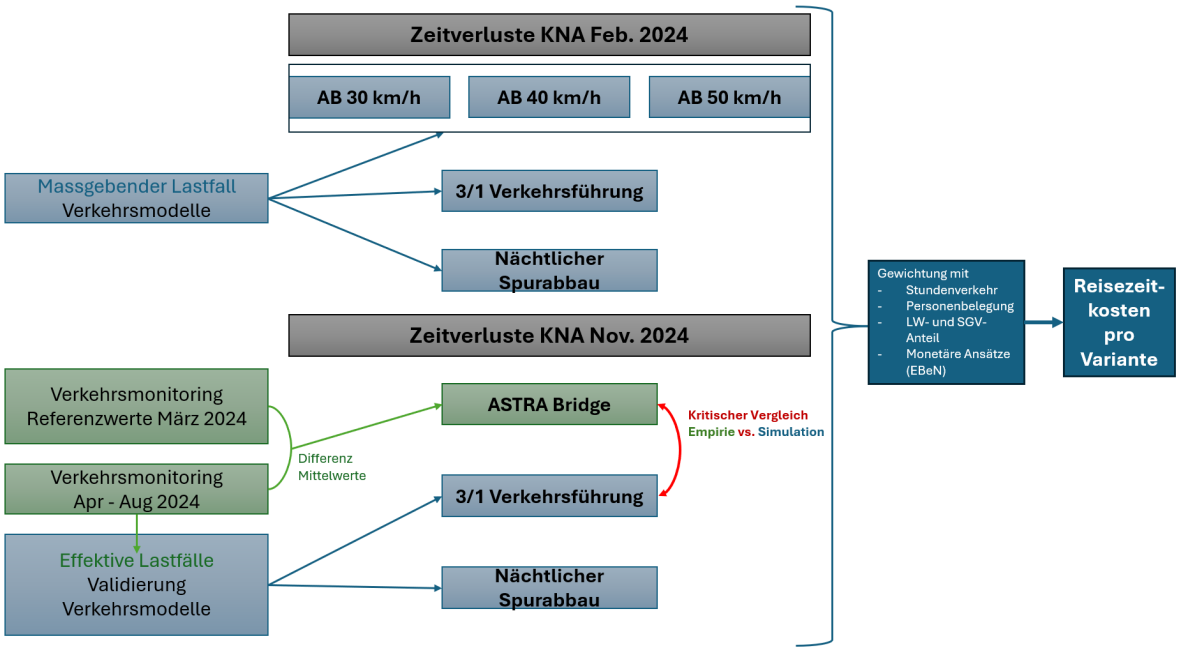


Abbildung 9: Gegenüberstellung Methodik zur Ermittlung der Reisezeitverluste KNA Feb 2024 (vor der Realisierung des Belagsersatzes) und KNA Nov 2024 (nach der Realisierung des Belagsersatzes)

Die Methodik zur Ermittlung der Verkehrskosten unterscheidet sich gegenüber der KNA vom Februar 2024. Aufgrund nicht vorhandener empirischer Daten wurden die Verkehrskosten im Februar ausschliesslich auf Grundlage der Verkehrsmodelle und der Simulation von RK&P ermittelt. Aufgrund der unbekannten Überfahrtsgeschwindigkeit der ASTRA Bridge wurden unterschiedliche Geschwindigkeiten angenommen und einander gegenübergestellt.
Im Gegensatz zur KNA vom Februar 2024, werden in der vorliegenden KNA die empirischen Mittelwerte (grün) aus dem Verkehrsmonitoring den Werten aus der Simulation (blau) gegenübergestellt. Die Verkehrsmodelle mussten für den effektiv beobachteten und gemessenen Lastfall validiert und angepasst werden. Insbesondere die Berücksichtigung der hohen Verkehrsbelastung bzw. Sättigung aufgrund der hohen Schwerverkehrsanteile haben angepasste Resultate aus der Verkehrssimulation ergeben (siehe Kapitel 4.4.5).

### 4.4.3. Geschwindigkeitsprofile

Zur Plausibilisierung der Simulations- und Referenzwerte wurden die Geschwindigkeitsprofile der Messdaten im Einflussbereich der ASTRA Bridge für verschiedene Tagesstunden an unterschiedlichen Bauphasen validiert und aufgezeichnet (siehe Abbildung 10). Die Geschwindigkeitsreduktion aufgrund der ASTRA Bridge spiegelt sich auch in den durchschnittlichen Geschwindigkeitsprofilen der Fahrzeuge über die 1 Kilometer langen Abschnitte wider. Die an den Einsatzort der ASTRA Bridge angrenzenden Netzkilometer sind sichtbar von einer Geschwindigkeitsreduktion betroffen. Beim Vergleich von zwei ausgewählten Kalenderwochen in Abbildung 10 wird deutlich, dass sich die Position des Geschwindigkeitseinbruchs mit der Position der ASTRA Bridge verschiebt. Dazu können Unterschiede abhängig von der Tageszeit beobachtet werden. Zu einer Stunde in der Randzeit (hier gewählt 05:00 Uhr) variiert das Geschwindigkeitsprofil an den verschiedenen Wochentagen wenig und die Fahrzeuge auf dem Netzkilometer, wo die ASTRA Bridge steht, fahren durchschnittlich rund 60-80 km/h. Bei Belastungen nahe der Kapazitätsgrenze (hier 15:00 Uhr) unterscheiden sich die Wochentage dagegen stärker und es können tendenziell niedrigere Geschwindigkeiten über längere Strecken beobachtet werden als zur Randzeit, was auf eine Rückstausituation hindeuten kann. Bei Tagen mit besonders grossen Geschwindigkeitsreduktionen zieht sich die tiefere Geschwindigkeit bis zur Verzweigung Luterbach durch, was darauf hindeutet, dass die ASTRA Bridge nicht die primäre Ursache für den Rückstau war.

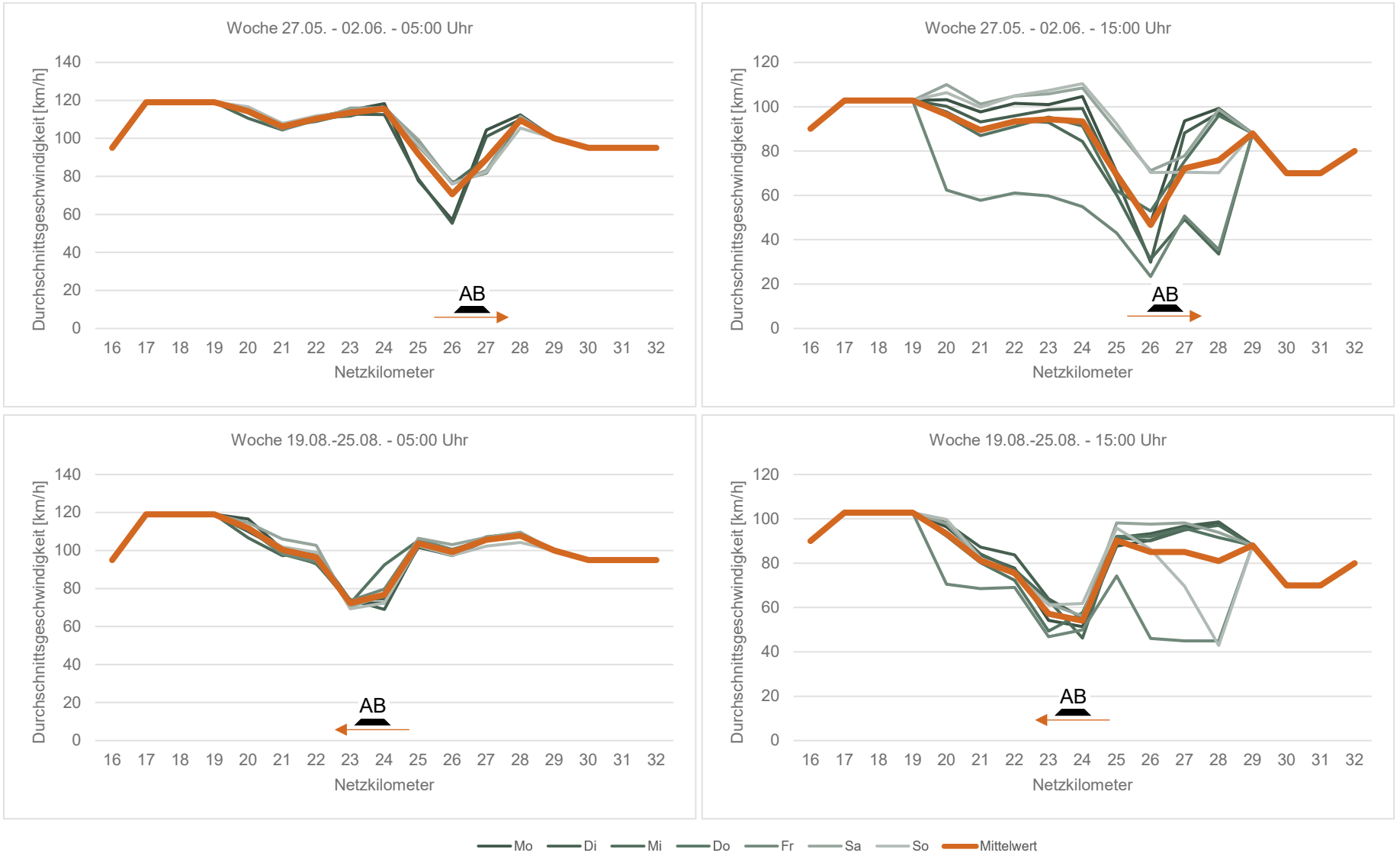


Abbildung 10: Von Netzkilometer 20 bis 28 gemessene Geschwindigkeitsprofile für ausgewählte Wochen und Tageszeiten während dem Einsatz der ASTRA Bridge (AB).

### 4.4.4. Reisezeitverluste ASTRA Bridge

Aus den von RK&P erhobenen Daten vom 07.04.2024-31.08.2024 lassen sich für jeden Tag und jede Tagesstunde die durchschnittlichen Fahrzeiten auf dem betrachteten Abschnitt summieren (Netzkilometer 16 -23) und daraus für Werktage und Wochenendtage (inkl. Feiertage) Mittelwerte berechnen. Nach demselben Prinzip wurden die Fahrtzeiten der Referenzmessungen vom 05.03.2024-07.04.2024 ausgewertet. Aus der Differenz ergibt sich der durchschnittliche Zeitverlust pro Fahrzeug zur jeweiligen Tagesstunde während des Belagsersatzes mit der ASTRA-Bridge.

### 4.4.5. Reisezeitverluste 3/1 Verkehrsführung und nächtlicher Spurabbau

Die Verkehrsfluss-Simulation in VISSIM, durchgeführt von RK&P, basierte auf vier verschiedenen Verkehrsbelastungs-Niveaus:

- 10%: FBZH 280 Fhz/h
- 80%: FBZH 2’250 Fhz/h
- 90%: FBZH 2’535 Fhz/h
- 100%: FBZH 2’815 Fhz/h

Für diese vier unterschiedlichen Verkehrsbelastungen wurde die Verzögerung durch die Baustelle im Vergleich zum Referenzzustand ohne Baustelle in Baurichtung und Gegenrichtung ermittelt. Jede Stunde in der Tagesganglinie wurde darauf einem der vier Niveaus zugewiesen und die Zeitverluste wurden mit der Verkehrsmenge der jeweiligen Stunde in Bau- und Gegenrichtung multipliziert.

Im Rahmen des Verkehrsmonitorings von RK&P wurden tagsüber hohe Schwerverkehrsanteile erfasst, welche für die Beurteilung der Sättigung in Personenwageneinheiten je Zeiteinheit umgerechnet wurden. Dabei wurde erkannt, dass trotz geringerem Verkehrsaufkommen während den Tagesstunden, im Vergleich zur Abendspitze, die Sättigung zwischen 6:00 – 19:00 Uhr vergleichbar hoch bleibt. Entsprechend dazu sind jene Reisezeiten aus den simulierten Belastungszuständen mit höherer Sättigung beizuziehen, da bei einer 3/1 Verkehrsführung in Baurichtung das langsamste Fahrzeug die Leistung bestimmt (siehe Kapitel 5.2.2).

Die Simulation vom Februar 2024 unterschätzte die Reisezeitverluste, resp. die angenommene Sättigung aus diesen Gründen. Aufgrund dessen wurden auch die Reisezeitkosten in der KNA vom Februar in allen Varianten eher unterschätzt.

### 4.4.6. EBeN-Tool

Die jeweiligen Verluststunden werden in EBeN mit den entsprechenden Kostenansätzen für die Reisezeit nach KNA-Norm SN 641822a und 641823, sowie den Betriebskosten der Fahrzeuge multipliziert. Der Preisstand 2010 wird mit einem angenommen Reallohnwachstum von 0.75% auf 2024 hochgerechnet.

### 4.4.7. Betriebskosten Fahrzeuge

Zusammen mit den Reisezeitverlustkosten werden auch die Betriebskosten der Fahrzeuge berechnet. Insbesondere der Geschäfts- und Güterverkehr weisen hohe zeitabhängige Betriebskosten auf. Die Betriebskosten sind abhängig von den Fahrzeugkilometern und der Betriebszeit der Fahrzeuge. Beim vorliegenden Variantenvergleich ist die Länge der Fahrstrecke unverändert und nur die Betriebszeit unterschiedlich.

## 4.5. Berechnung der Unfallkosten

Da zum Zeitpunkt der Erstellung der KNA im November 2024 noch keine Unfalldaten für das laufende Jahr zur Verfügung gestellt werden konnten, mussten die Unfallkosten analog zur KNA im Februar 2024 basierend auf den der Fachliteratur zu Grunde liegenden Annahmen und Wahrscheinlichkeitsberechnungen pro Fahrzeugkilometer während der Bauzeit und gemessener Verkehrsbelastung 2024 mit dem EBeN-Tool berechnet werden.

Eine Baustelle hat Einfluss auf die Unfallwahrscheinlichkeit und Unfallschwere für die Verkehrsteilnehmer und Bauarbeiter. Die Baustellen auf Autobahnen gelten als besonders schwierige Umgebung für die Fahrzeuglenker (Krümmel & Klinke, 2012). Dabei spielen diverse Faktoren mit, insbesondere die ungewöhnliche Spurführung, verengte Verhältnisse und der plötzliche Wechsel von der sicheren und nutzerfreundlichen Autobahnumgebung zu einer Umgebung, welche erhöhte Aufmerksamkeit und Konzentration verlangt. Dies kann die Unfallrate in die Höhe treiben. Der Einfluss von Baustellen auf die Unfallzahlen ist noch nicht sonderlich gut erforscht, es gibt jedoch einige, teils ältere Studien mit unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Die Bandbreite der Resultate reicht von einer allgemeinen Erhöhung der Unfallwahrscheinlichkeit um 300% (Laube, 2001) oder 200% (Krümmel & Klinke, 2012) bis zu Studien, die eine Reduktion der Unfallwahrscheinlichkeit und -schwere von Personenunfällen anzeigen (Bakaba, et al., 2012).

Es wird nicht immer konkret zwischen Sach- und Personenschäden unterschieden. Grundsätzlich wird in allen Studien von einer Erhöhung der Sachschäden ausgegangen, insbesondere bei Überleitungen, Anschlüssen und der letzten Verschwenkung (Bakaba, et al., 2012) sowie bei einer 4/0 Verkehrsführung (Kemper, Sümmermann, Baier, & Klemps-Kohnen, 2018).

Die angenommenen Zahlen wurden mittels Unfalldaten aus einer vergleichbaren aktuellen Baustelle in der Schweiz grob verifiziert. Die Unfalldaten und Unfallursachen während der Erneuerung der A1 Kirchberg-Kriegstetten im Baustellenzeitraum 2019 bis 2021 wurden mit den Daten aus dem analogen Perimeter im normalen Betrieb der Jahre 2016 – 2018 verglichen. Für die Identifikation der relevanten Unfälle wurden Skizzen und Beschreibungen der Vorfälle herangezogen. Die Auswahl fokussierte sich auf Unfälle, die direkt mit der Baustelle in Verbindung standen. Die Anzahl Unfälle mit Sachschäden hat sich um rund 25% erhöht und die Anzahl Personenschäden variierte insignifikant (ca. 149 Personenunfälle 2019-2021, ca. 153 Unfälle ohne Baustelle 2016-2018). Es ist zu bemerken, dass dies nur eine kleine Stichprobe ist und es keine Autobahnanschlüsse in dieser Baustelle gab.

Zusammengefasst ist davon auszugehen, dass die Wahrscheinlichkeit für Sachschäden und Unfälle mit Personenschaden pro Fahrzeugkilometer zunimmt, aber die Unfallschwere bei Personenunfällen mit reduzierter Geschwindigkeit abnimmt, was sich im Fall der Personenunfälle ungefähr ausgleicht.

Gemäss SN641824 werden folgende Eintretenswahrscheinlichkeiten verwendet:

- Sachschaden: $4.2*10^{-7}$ Unfälle pro Fahrzeugkilometer im Baustellenbereich
- Personenschaden: $1.574*10^{-7}$ Unfälle pro Fahrzeugkilometer im Baustellenbereich
- Todesfälle: $3.2*10^{-9}$ Unfälle pro Fahrzeugkilometer im Baustellenbereich

Diese Werte werden mit den Verkehrsmengen während der Bauzeit und der Baustellenlänge multipliziert.

Die Risikoanalyse für Bauarbeiterunfälle auf Autobahnbaustellen zeigt, dass diese Arbeiten eine deutlich erhöhte Gefahr aufweisen, verglichen mit Standardbaustellen (Unia Zentralsekretariat Sektor Bau, 2020). In der Schweiz starben in den vergangenen Jahren ca. 12 Arbeiter pro Jahr bei einem Bauvolumen von 66 Mia. CHF (BFS, 2021) was rund 0,0001818 Todesfällen pro Million CHF Bauvolumen entspricht. Die spezifischen Risiken für kurze Baustellen wurden im Auftrag der Fachstelle Operative Sicherheit Betrieb Nationalstrassen des ASTRA geprüft, mit Ergebnissen von 0,000029 Baustellentodesfällen pro kurze Baustelle (= eine Nachtetappe). Für das EP RELU werden vereinfacht 10 Mio. CHF Baukosten eingesetzt.

Die Anzahl der Baustellenunfälle in der Schweiz beläuft sich auf etwa 55’000, mit einer Rate von 0,833 Unfällen pro Million CHF Bauvolumen (BFS, 2021). Die Unfallrate beinhaltet eine Vielzahl von nicht genauer spezifizierten Bagatellunfällen, wobei die Datenqualität als unzureichend angesehen wird und eine qualitative Betrachtung der Annahmen über Bauarbeiterverletzungen bei dieser KNA nicht weiter berücksichtigt werden kann.

In EBeN werden die Unfallwahrscheinlichkeiten gemäss KNA Normen SN 641.820 ff mit den Kostensätzen multipliziert. Der Preisstand 2010 wird auf 2024 mit einem angenommen Reallohnwachstum von 0.75% hochgerechnet.

# 5. Mengengerüst variantenspezifisch

## 5.1. Baukosten

Die Baukosten setzen sich aus den allgemeinen Baukosten und spezifischen Kosten pro Variante zusammen. Die allgemeinen Baukosten für Prüfungen und Belagsarbeiten wurden aus dem von der Bauleitung aufbereiteten Ausmass der ausgeführten Arbeiten pro Etappe mit der ASTRA Bridge und pro Etappe in der Nacht übernommen. Die Kosten pro Nachtetappe wurden auf die Varianten mit der 3:1 Verkehrsführung und dem reinen nächtlichen Spurabbau auf den Laufmeter hochgerechnet. Die Kosten für die Markierung wurden den relevanten Kostenpositionen des LV entnommen und für die drei Verkehrsführungen als gleich angenommen. Die Baustelleneinrichtung wurde aus einer Globalen von 859'000 CHF für alle Varianten zuzüglich des spezifischen Preises pro Etappe, multipliziert mit der Anzahl Etappen, berechnet (AB, 3/1 1’680 CHF pro Etappe, Nacht 2’050 CHF pro Etappe). Die Werte wurden anteilsmässig auf die Einbaulängen FBZH und FBBE aufgeteilt.

### 5.1.1. ASTRA Bridge

Die abgeschätzten allgemeinen und spezifischen Kosten für das EP RELU zum Einsatz der ASTRA Bridge basieren auf dem Ausmass, den Angaben im LV EP RELU und dem Faktenblatt. Sie sind zusammengesetzt aus den Kosten für die Etappen mit der ASTRA Bridge (79) und den Kosten für die Zwischenetappen (23), welche ohne die ASTRA Bridge in der Nacht ausgeführt wurden (inkl. Montage und Demontage AB). Wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt, wird der Belagsersatz der Normalspur auf der FBBE nicht betrachtet. Da einzelne Positionen im LV (z.B. Installation) nicht eindeutig einer Projektetappe zugewiesen werden können, mussten auch Annahmen getroffen werden.

Bemerkungen zu den spezifischen Aufwänden:

- Die Regie von 3’970 CHF pro ASTRA Bridge-Etappe setzt sich zusammen aus den Spriessungen, Absperrdeichen, Belagskeilen, Thermomatten und Trocknung.
- Die Regie für die Nachtetappen setzt sich zusammen aus dem zusätzlichen Schneiden und den Risssanierungen und betrugen im Ausmass rund 1’500 CHF pro 235 Meter
- Zur Vergleichbarkeit wurden für die Zwischenetappen Nacht dieselben Bau-, Verkehrs- und Unfallkostenansätze wie bei Variante ‘Spurabbau Nacht’ gewählt.
- Die Nachtzuschläge NPK 111, 112 und Personal wurden für 100 CHF / h mit 25% angesetzt bei Annahme 12 Arbeiter x 8h pro Nacht
- Die Zusatzkosten Nacht der NPK 113, 223 und 286 setzen sich für die in der Nacht verbauten 5’400 m Fahrbahnlänge aus folgenden Positionen zusammen:
    - Zuschlag Belagseinbau 11'100 CHF
    - Zuschlag Belagswerk 14’900 CHF
    - Nachtfahrbewilligung LKW 5’500 CHF
    - Transportzuschlag Nacht 13’100 CHF
    - Beleuchtung 900 CHF

  Die angenommenen spezifischen Kostenwerte basieren auf Angaben der Tozzo AG und der Nationalstrassen Nordwestschweiz AG (NSNW).
- Die Position ‘Transporte bei ÜS Nacht’ betrifft die aufwendige Logistik beim Belagsersatz der Überholspur in der Nacht, Annahme 2 Walzen, 1 Fertiger, 1 Belagsfräse, 1 Diverse à je 1'000 CHF pro Etappe.
- Die Einrichtung des nächtlichen Spurabbaus kostet gemäss LV EP RELU rund 3’140 CHF pro Etappe. Es sind für kurze Baustellen <72h praktisch keine aufwändigen Fahrzeugrückhaltesysteme erforderlich.
- Die übrigen Werte entstammen dem LV EP RELU und dem ASTRA Bridge Faktenblatt

### 5.1.2. 3/1 Verkehrsführung

Die möglichen Baukosten mit einer 3/1 Verkehrsführung werden basierend auf den Kosten des LV, dem Ausmass und den Kosten der Referenzprojekte EP Sissach – Eptingen, Sechsspurausbau Härkingen-Wiggertal und EM Sursee – Rothenburg abgeschätzt. Die gegenüber dem LV zusätzlichen Ausmasse für die spezifischen Kosten in den Positionen NPK 281 – Fahrzeugrückhaltesysteme, NPK 286 - Markierung auf Verkehrsflächen und Mittelstreifenüberfahrten (MÜF) Kosten wurden für jede Phase berechnet.

Bemerkungen zu den spezifischen Aufwänden:

- Die Regie setzt sich analog zu den Nachtetappen zusammen aus dem zusätzlichen Schneiden und den Risssanierungen und betrugen im Ausmass rund 3’800 CHF pro 3/1 Etappe.
- Die Kosten für die 4 Ausstellbuchten wurden vom EP SIEP übernommen und beinhalten zusätzlich Nachtschichtzulagen, SubUn Dynaroads, TESI und Rodungsarbeiten.
- Für die Abschätzung der Kosten der Fahrzeugrückhaltesysteme wird in der KNA der "Vario Guard" angenommen. Dieses gängige System aus Stahl ist dafür bekannt, flexibel einsetzbar zu sein und gleichzeitig eine hohe Sicherheit für die Verkehrsteilnehmenden und Bauarbeiter zu bieten.

### 5.1.3. Nächtlicher Spurabbau

Die Baukosten für den nächtlichen Spurabbau wurden analog zu den Zwischenetappen der ASTRA Bridge (siehe Kapitel 5.1.1) abgeschätzt und mit den entsprechenden Ausmassen multipliziert.

## 5.2. Verkehrskosten

### 5.2.1. ASTRA Bridge

Für die ASTRA Bridge werden für jeden Tag von den stündlich ermittelten Fahrzeiten (siehe

Tabelle 6) die mittleren stündlichen Referenzzeiten abgezogen (siehe Tabelle 5), um die Reisezeitverluste zu berechnen. Aus den täglichen Reisezeitverluste für jede Stunde lassen sich die Mittelwerte für Werktage (WT) und Wochenenden (WE, inkl. Feiertage) ableiten.

Vor der Bauphase wurden insbesondere zwischen 16 und 18 Uhr Rückstausituationen im Bereich der Verzweigung Luterbach beobachtet (ausserhalb des Messperimeters). Durch den Dosierungseffekt der ASTRA Bridge hat sich dieser Stau verringert und vor die ASTRA Bridge verlagert. Wie Verkehrsanalysen von RK&P zeigen, liegen in der Verzweigung Luterbach instabile Verkehrszustände (mit hohen Sättigungsgraden) vor, die keine verlässlichen Aussagen zur Reisezeit im Verflechtungsbereich der Verzweigung Luterbach zulassen. Einzig von der Zählstelle (ZS) 512 in der Nähe der Verzweigung Luterbach existieren Messdaten, die eine Geschwindigkeitserhöhung zu gewissen Tagesstunden mit der ASTRA Bridge zeigen. Um dies zu berücksichtigen, werden die Mittelwerte der Referenzzeit basierend auf den Messwerten der ZS 512 für die Stunde 16 um 1 Sekunde und für die Stunde 17 um 6 Sekunden erhöht (in Tabelle 5 rot hervorgehoben). Die positiven Auswirkungen der ASTRA Bridge direkt an der Verzweigung Luterbach konnten in der Analyse aus oben genannten Gründen und den fehlenden Messdaten nur qualitativ berücksichtigt werden.

Tabelle 5 Referenzzeiten: Fahrzeiten basierend auf Messungen vor Baubeginn nach Tagesstunde in Sekunden

| **Mittlere Referenzzeiten km 16-32 [s]** | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Stunde** | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| **WT** | 550 | 554 | 553 | 549 | 544 | 544 | 561 | 569 | 580 | 585 | 596 | 598 |
| **WE** | 549 | 551 | 547 | 544 | 547 | 543 | 553 | 556 | 562 | 572 | 589 | 617 |
| | | | | | | | | | | | | |
| **Stunde** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** |
| **WT** | 600 | 612 | 620 | 648 | 671+1 | 671+6 | 614 | 586 | 565 | 555 | 553 | 550 |
| **WE** | 631 | 630 | 628 | 652 | 651+1 | 656+6 | 595 | 566 | 558 | 555 | 556 | 551 |

Tabelle 6 Fahrzeiten mit ASTRA Bridge nach Tagesstunden in Sekunden

| Mittlere Fahrzeiten km 16-32 [s] | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Stunde** | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| **WT** | 626 | 588 | 588 | 581 | 577 | 577 | 597 | 619 | 629 | 628 | 643 | 657 |
| **WE** | 593 | 576 | 575 | 572 | 571 | 570 | 576 | 586 | 595 | 616 | 629 | 704 |
| | | | | | | | | | | | | |
| **Stunde** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** |
| **WT** | 667 | 703 | 715 | 744 | 741 | 733 | 656 | 625 | 591 | 593 | 598 | 588 |
| **WE** | 691 | 683 | 667 | 667 | 662 | 690 | 628 | 596 | 594 | 666 | 691 | 616 |

Es wird davon ausgegangen, dass durch geplante Verkehrsmassnahmen wie Ausfahrtdosierung an Anschlüssen und Verkehrsinformationen keine signifikante Verkehrsverlagerung auf Ausweichrouten stattfindet.

### 5.2.2. 3/1 Verkehrsführung

Die Geschwindigkeitslimite im Bereich der 3/1 Verkehrsführung auf 6.7 km FBZH sowie den jeweiligen Vorsignalisationen nach Norm beträgt 80 km/h. Sie wird während der Stosszeiten, also wenn der Verkehr 80% oder mehr der Kapazität erreicht, basierend auf Erfahrungen der RK&P bei hohem Schwerverkehrsanteil auf maximal 70 km/h angenommen. Es wird angenommen, dass ein Einspuren auf die Überholspur beim Autobahnanschluss sicherheitstechnisch nicht möglich ist.

Aufgrund der unter Kapitel 4.4.5 aufgeführten Erkenntnis mit den hohen Schwerverkehrsanteilen werden gemäss RK&P folgende Auslastungsgrade den Tagesstunden zugeordnet und die Simulationswerte entsprechend gewählt:

- 06:00 – 19:00 Uhr: 80%-90% Sättigung, 110 Sekunden Reisezeitverlust
- 19:00 – 06:00 Uhr: 10%-80% Sättigung, 100 Sekunden Reisezeitverlust

### 5.2.3. Nächtlicher Spurabbau

Für den nächtlichen Spurabbau wird angenommen, dass es zu keiner Verkehrsüberlastung kommt. Die Reisezeitverluste resultieren aus der reduzierten Geschwindigkeit.

## 5.3. Unfallkosten

### 5.3.1. ASTRA Bridge

Beim kurzen Einsatz der ASTRA Bridge 2022 wurden kleinere Unfälle vor und nach der ASTRA Bridge registriert, für welche die ASTRA Bridge nicht als primäre Unfallursache identifiziert wurde. Allerdings war deren Einsatzzeit für eine belastbare Aussage zur Auswirkung auf das Unfallgeschehen zu kurz. Auch beim Einsatz 2024 wurden die Unfälle dokumentiert, waren jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch nicht verfügbar. Es wurde nach ersten Rückmeldungen des ASTRA kein auffälliger Anstieg der Unfälle beobachtet.

Aus den in Kapitel 0 erläuterten Erkenntnisse lässt sich schlussfolgern, dass die Schwere der Personenschäden zwar mit abnehmender Geschwindigkeit abnimmt, es jedoch zu Auffahrunfällen kommen kann. Das Risiko für Personenunfälle wird daher für alle Geschwindigkeiten auf der ASTRA Bridge als unverändert angenommen. Das Risiko für Sachschäden pro Fahrzeugkilometer auf der Baustelle ist jedoch ca. doppelt so hoch. Die Streckenlänge mit erhöhtem Risiko wird auf 750 m angesetzt.

Die Gefahr eines für die Bauarbeiter tödlichen Unfalls steigt im Rahmen einer gewöhnlichen Baustelle (0.00182 Todesfälle pro Mio. CHF Bausumme). Einzig während ca. 1.5 Stunden in der Nacht sind die

Arbeiter fürs Umstellen der AB und das Umparkieren dem höheren Risiko für kurze Baustellen auf der Autobahn ausgesetzt (ca. 0.15*0.000029 Todesfälle pro Nacht).

Es wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeugrückhaltesysteme auf der ASTRA Bridge starken Belastungen standhalten.

### 5.3.2. 3/1 Verkehrsführung

Aufgrund der reduzierten Geschwindigkeit ist auch bei einer 3/1 Verkehrsführung das Personenrisiko der Verkehrsteilnehmer reduziert, wird jedoch durch die Anschlussbauwerke im Baustellenbereich wieder erhöht, so dass das Risiko für Personenschäden als unverändert gegenüber dem Referenzzustand angenommen wird. Mit den Anschlussbauwerken wird auch hier eine Verdoppelung der Sachschäden pro Fahrzeugkilometer angenommen.

Basierend auf den Angaben der Work Zone Barriers (2021) wurde angenommen, dass das Risiko für tödliche Baustellenunfälle in einem 3/1 Verkehrsführungsszenario auf einer Autobahn um den Faktor 3,7 gegenüber dem Durchschnitt der restlichen Baustellen erhöht ist (0.0067 Todesfälle pro Mio. CHF).

### 5.3.3. Nächtlicher Spurabbau

Nachts wird mit der doppelt so hohen Wahrscheinlichkeit an Unfällen mit Sachschäden und dreimal so vielen Unfällen mit Personenschäden pro Fahrzeugkilometer gerechnet (Laube, 2001). Da es sich um kurze Baustellen handelt, bei denen die Bauarbeiter nicht durch aufwändige Fahrzeugrückhaltesysteme vom Verkehr getrennt sind, ist auch die Gefahr eines tödlichen Unfalls für Bauarbeiter grösser (rund 0.000029 pro Etappe).

### 5.3.4. Staukosten durch Unfälle

Geschieht in einer Baustelle ein Unfall, ist der Schaden auch für die Gesellschaft grösser, weil die Verkehrsbehinderung aufgrund des Unfalls durch die eingeschränkte Zugänglichkeit der Rettungsfahrzeuge und dem fehlenden Pannenstreifen grösser ist. Diese zusätzlichen Kosten sind nur schwer abzuschätzen und es muss mit Annahmen gearbeitet werden. Es ist keine Literatur bekannt, die dies bereits untersucht hat.

In der Schweiz kommt es zu rund 7’801 Unfällen auf Autobahnen im Jahr, welche 3’598 Stunden Stau auslösen (Verkehrsflussbericht 2022). Jeder Unfall auf der Autobahn führt somit durchschnittlich während 0.36 h zu Stau. Es wird angenommen, dass die zuerst ankommenden Fahrzeuge effektiv 0.36 h im Stau stehen, während die Fahrzeuge nach 0.3 6h bereits keinen Zeitverlust mehr haben, was im Schnitt 0.18 h Zeitverlust entspricht. Im Referenzzustand wird angenommen, dass Sachschäden oder Pannenfahrzeuge zu einer Verzögerung von 0.33 h (20 Minuten) führen, Unfälle mit Personenschäden 40 Minuten und im Falle von tödlichen Unfällen wird eine Verzögerung von 1,5 Stunden angenommen.

Bei der 3/1 Verkehrsführung ist die Zugänglichkeit für die Einsatzkräfte eingeschränkt und der Pannenstreifen fehlt. Es wird daher für alle möglichen Unfälle eine Verlängerung des Staus um 50% angenommen. Mit der ASTRA Bridge und in der Nacht ist die Zugänglichkeit besser, aber auch hier können Pannenfahrzeuge aufgrund des fehlenden Pannenstreifens die Spuren blockieren. Es wird eine Zunahme der Staus durch Sachschäden angenommen. Dies führt zu den Werten in Tabelle 7. Diese Werte werden vereinfacht mit den durchschnittlichen Personenstundenkosten von 28.71 CHF im Jahr 2024 gemäss KNA-Norm multipliziert und mit dem Besetzungsgrad multipliziert.

Tabelle 7: Übersicht der zusätzlichen unfallbezogenen Fahrzeugzeitverluste pro Baumethode und Unfallkategorie

| **Fahrzeugzeitverluste [h]** | **Sachschäden** | **Personenschaden** | **Fataler Unfall** |
|---|---|---|---|
| **Baumethode** | **FBZH** | **FBZH** | **FBZH** |
| **ASTRA Bridge** | 300 | 0 | 27 |
| **3/1 Verkehrsführung** | 2060 | 393 | 11 |
| **Nächtlicher Spurabbau** | 34 | 101 | 16 |

## 5.4. Annuität und Unterhaltskosten

Um den Nutzen der ASTRA Bridge ganzheitlich zu betrachten, werden nicht nur die direkt mit dem Projekt verbundenen Kosten in die KNA einbezogen, sondern auch die übergeordneten Kosten für das ASTRA. Darunter fallen die Entwicklungs- und Investitionskosten für die ASTRA Bridge, die Unterhaltskosten sowie auch die Investitionskosten für andere Elemente wie z.B. Vario Guards. Damit die Kapital- und Investitionskosten in die Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen werden konnten, wurden sie mittels der Annuitätenmethode über die Lebensdauer der ASTRA Bridge (20 Jahre) mit einem angenommenen Zinssatz von 3% auf jährliche Zahlungen aufgeteilt. Die Annuitätenmethode ist ein dynamisches Investitionsrechenverfahren, um die Kapitalkosten auf Einzahlungen über die Nutzungszeit herunterzurechnen. Damit können die Kosten der ASTRA Bridge über die ganze Lebensdauer ermittelt werden.

Formel der Annuitätenmethode:

$$A = C_0 * \frac{q^n * (q - 1)}{q^n - 1}$$

Wobei:

A=Annuität

$C_0$=Kapitalwert

q=Zinssatz 1.03

n=20 Nutzungsjahre

Die mögliche Einsatzzeit der ASTRA Bridge beträgt 7 Monate im Jahr. Pro Jahr sind auch mehrere Projekte möglich, wobei ein halber Monat für Pausen, Transport und Unterhalt zwischen zwei Einsätzen eingerechnet werden muss. Darum wird die Annuität für das Projekt anteilsmässig mit A*(Bauzeit+0.5 Monate) /7 Monate multipliziert.

Tabelle 8: Zusammensetzung der Kapitalkosten ASTRA Bridge (ASTRA, Stand Feb 2024)

| Spezifische Aufwände | Betrag in CHF |
|---|---|
| Kosten ARGE inkl. Planung | 26'389'000 |
| Instruktionen & Probemontagen | 376'000 |
| Zusätzliche Anpassungen | 487'000 |
| Verschraubsystem | 85'000 |
| Schutzblachen | 21'000 |
| Absperrdeiche | 25'000 |
| **Total** | **27'384'000** |

Die Unterhaltskosten der ASTRA Bridge wurden gemäss Faktenblatt aufgeführt und beziehen Einlagerung, Winterdienst und Reparaturen ein. Der Unterhalt für die zusätzlichen Querfugen verursacht keine zusätzlichen Kosten, da deren Nutzungsdauer gleich lang ist wie jene des Deckbelags.

Die Investitionskosten für die Vario Guards wurden basierend auf Angaben der Gebietseinheit auf 350 CHF pro Laufmeter geschätzt (bei 3/1 Verkehrsführung total 7’300 m) mit einer Einsatzzeit von ebenfalls ca. 7 Monaten im Jahr. Bei der 3/1 Verkehrsführung fallen die Investitionskosten der Vario Guards jedoch kaum ins Gewicht.

Damit ergeben sich folgende Annuitätswerte:

$$A_{AB-FBZH} = 27'384'000 CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * \frac{4.8\ Monate + 0.5\ Monate}{7\ Monate} = 1'390'175\ CHF$$

$$A_{3/1-FBZH} = 7300m * 350 CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * \frac{2.1\ Monate}{7\ Monate} = 51'540\ CHF$$

# 6. Resultate

## 6.1. Baukosten

Die abgeschätzten Baukosten sind für alle Varianten in Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgelistet. Die spezifischen Kosten für die ASTRA Bridge werden hauptsächlich aus der Montage- und Demontage, dem Umstellen sowie den Mehrpreisen für Kleinetappen verursacht. Bei der 3/1 Verkehrsführung ist die Erstellung der MÜLS und der Ausstellbuchten sowie der TESI mit Fahrzeugrückhaltesystemen besonders teuer. In der Nacht schlagen die Nachtzuschläge zu Buche.

Tabelle 9: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU mit der ASTRA Bridge für die FBZH

| Baukosten Astra Bridge [CHF] | ASTRA Bridge | Zwischenetappen AB in der Nacht |
|---|---|---|
| **Bauarbeiten EP RELU** | | |
| NPK 112 Prüfungen | 77’700 | 23’000 |
| NPK 113 Baustelleneinrichtung | 991’300 | 38’600 |
| NPK 223 Belagsarbeiten | 1’433’800 | 897’000 |
| NPK 286 Markierung | 278’400 | 81’100 |
| **Total Bauarbeiten** | **2’781’100** | **1’039’700** |
| **Spezifische Aufwände Einsatz ASTRA Bridge** | | |
| Einsatzplanung | 15’000 | 0 |
| Krane | 23’000 | 0 |
| Transporte | 94’000 | 0 |
| Positionierung ASTRA Bridge | In NPK 223 enthalten | 0 |
| Spriessung UNF | In NPK 111 enthalten | 0 |
| Montage und Demontage | 175’000 | 0 |
| Zusatz Belagsfugenband quer | In NPK 223 enthalten | 0 |
| Zusatz Kleinetappen | In NPK 223 enthalten | 0 |
| Einlagerung | In Unterhaltskosten enthalten | 0 |
| Reparatur | In Unterhaltskosten enthalten | 0 |
| De- und Remontage WTA | 37’000 | 0 |
| ASTRA Bridge umstellen TESI | 632’000 | 0 |
| Betriebskosten ASTRA Bridge | 62’200 | 0 |
| NPK 111 Regiearbeiten | 313’700 | 0 |
| **Total spez. Aufwände Einsatz ASTRA Bridge** | **1’351’900** | **0** |

| **Spezifische Aufwände Spurabbau Nacht** | | |
|---|---|---|
| NPK 112 Nachtzuschläge | - | 5800 |
| NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Ausrüstung und Arbeiten | - | 45’500 |
| NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Personal | - | 55’200 |
| Transporte bei ÜS Nacht | - | 57’500 |
| Spurabbau Normalspur bis 1500m | | 72’220 |
| Regie Risssanierung und Schneiden | | 34’500 |
| **Total spez. Aufwände Nacht** | **-** | **270’700** |
| **Total Baukosten** | **4’133’000** | **1’310’400** |
| **Total Baukosten EP RELU beim Einsatz der AB** | **5’443’400** | |

Tabelle 10: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU mit der 3/1 Verkehrsführung für die FBZH

| **Baukosten 3/1 Verkehrsführung [CHF]** | |
|---|---|
| **Bauarbeiten EP RELU** | |
| NPK 112 Prüfungen | 100’700 |
| NPK 113 Baustelleneinrichtung | 895’800 |
| NPK 223 Belagsarbeiten | 2’208’000 |
| NPK 286 Markierung | 359’400 |
| **Total Bauarbeiten** | **3’564’000** |
| **Spezifische Aufwände 3/1 Verkehrsführung** | |
| 4 Ausstellbuchten | 306’000 |
| Zusätzliche Fahrzeugrückhaltesysteme | 387’000 |
| Zusätzliche Markierungen | 192’000 |
| TESI MÜLS | 204’000 |
| Regie Risssanierung und Schneiden | 85’000 |
| **Total spez. Aufwände 3/1 Verkehrsführung** | **1’174’000** |
| **Total Baukosten EP RELU FBZH mittels 3/1 Verkehrsführung** | **4’738’000** |

Tabelle 11: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU in reiner Nachtarbeit für die FBZH

| **Baukosten nächtlicher Spurabbau [CHF]** | |
|---|---|
| **Bauarbeiten EP RELU** | |
| NPK 112 Prüfungen | 101’000 |
| NPK 113 Baustelleneinrichtung | 968’000 |
| NPK 223 Belagsarbeiten | 2’208’000 |
| NPK 286 Markierung | 359’000 |
| **Total Bauarbeiten** | **3'636’000** |
| **Spezifische Aufwände nächtlicher Spurabbau** | |
| NPK 112 Nachtzuschläge | 25’100 |
| NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Ausrüstung und Arbeiten | 112’000 |
| NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Personal | 128’000 |
| Transporte bei ÜSP Nacht | 133’000 |
| Spurabbau Normalspur bis 1500m | 167’000 |
| Regie Risssanierung und Schneiden | 85’000 |
| **Total spez. Aufwände nächtlicher Spurabbau** | **650’000** |
| **Total Baukosten EP RELU FBZH mittels nächtlichem Spurabbau** | **4'286’000** |

## 6.2. Verkehr

Die gemessene Beeinträchtigung des Verkehrs durch die ASTRA Bridge ist geringer als die simulierte Beeinträchtigung bei einer 3/1 Verkehrsführung (siehe Tabelle 12). Die Länge der Verkehrsführung mit reduzierter Geschwindigkeit ist deutlich kürzer und die Gegenfahrbahn kaum betroffen.

Bei der 3/1 Verkehrsführung ist die Gegenfahrbahn in ähnlichem Masse beeinträchtigt wie die Fahrbahn in Baurichtung. In Baurichtung bestimmt das langsamste Fahrzeug die Geschwindigkeit, da keine Spurwechsel möglich sind, auf der Gegenfahrbahn hingegen schon. In Abbildung 11 sind beispielhaft die Reisezeitverluste eines Fahrzeugs in Baurichtung inkl. Gegenrichtung an einem Werktag dargestellt.

Der Vorteil der 3/1 Verkehrsführung ist, dass die Bauzeit nur halb so lang ist, was in der KNA die Nachteile jedoch nicht zu überwiegen vermag.

Die Verkehrsmenge in der Nacht ist viel geringer als am Tag, so dass die Nachtarbeit mit Abstand am wenigsten Verkehrskosten verursacht. Der Spurabbau in der Nacht führt zu einer starken Kapazitätsverminderung, welche jedoch in der Nacht kaum eine Auswirkung hat.

Die Betriebskosten Fahrzeuge erbringen in Abhängigkeit von den jeweiligen Reisezeitverlustwerten einen weiteren grossen Ergebnisbeitrag, da der Anteil des Güter- und Geschäftsverkehrs relativ hoch ist. Es wurde ein vergleichbar häufiges Auftreten von Ausreissern in der Referenzzeit und in der Einsatzzeit der ASTRA Bridge beobachtet.

Es zeigt sich zudem, dass die ASTRA Bridge zu jeder Tagesstunde weniger Reisezeitverluste bewirkt als eine 3/1 Verkehrsführung, und zwar auch, wenn man nur die Baurichtung bei der 3/1 Verkehrsführung betrachtet. Die Reisezeitverluste der ASTRA Bridge sind fast so hoch wie bei einer 3/1 Verkehrsführung bei Verkehrsmengen knapp unter der Kapazitätsgrenze, wie sie von 13:00 - 15:00 Uhr vorkommen, wenn der Verkehr mit ca. 2’200 Fhz/h pro Richtung fliesst (siehe Abbildung 11). Auch aus den Geschwindigkeitsprofilen zeigt sich, dass die Fahrgeschwindigkeiten mit der ASTRA Bridge insbesondere an den Nachmittagsstunden stärker und über grössere Strecken relativ zum Referenzzustand reduziert werden (siehe Abbildung 10 in Kap. 4.4.3). Bei Stunden mit einer Verkehrsüberlastung (16:00 - 17:00 Uhr) und ohnehin tiefen Fahrgeschwindigkeiten von um die 80 km/h sind die Differenzen zwischen den Varianten geringer, da die Geschwindigkeitslimite von 80 km/h im Bereich der Baustelle die Fahrzeit nicht mehr beeinflusst. Eine Verkehrszunahme verursacht daher auf der FBZH keine exponentielle Zunahme der Reisezeitverlustkosten.

Tabelle 12: Übersicht der täglich erzeugten zusätzlichen Verluststunden nach Fahrzeugkategorie und Fahrbahn mit Bauarbeiten (Baurichtung + Gegenrichtung).

| | | | ASTRA Bridge | 3/1 Verkehrsführung | Nächtlicher Spurabbau |
|---|---|---|---|---|---|
| PW Personen-verluststunden | Werktag | Tag | 584 | 1889 | 0 |
| | | Nacht | 45 | 207 | 109 |
| | | Total | 629 | 2097 | 109 |
| | Wochenende | Tag | 448 | 2204 | 0 |
| | | Nacht | 140 | 323 | 0 |
| | | Total | 587 | 2527 | 0 |
| SGV Fahrzeug-verluststunden | Werktag | Tag | 56 | 176 | 0 |
| | | Nacht | 3 | 15 | 8 |
| | | Total | 59 | 191 | 8 |
| | Wochenende | Tag | 4 | 18 | 0 |
| | | Nacht | 1 | 5 | 0 |
| | | Total | 5 | 23 | 0 |
| LW Fahrzeug-verluststunden | Werktag | Tag | 76 | 237 | 0 |
| | | Nacht | 4 | 21 | 10 |
| | | Total | 81 | 257 | 10 |
| | Wochenende | Tag | 29 | 135 | 0 |
| | | Nacht | 7 | 17 | 0 |
| | | Total | 36 | 152 | 0 |

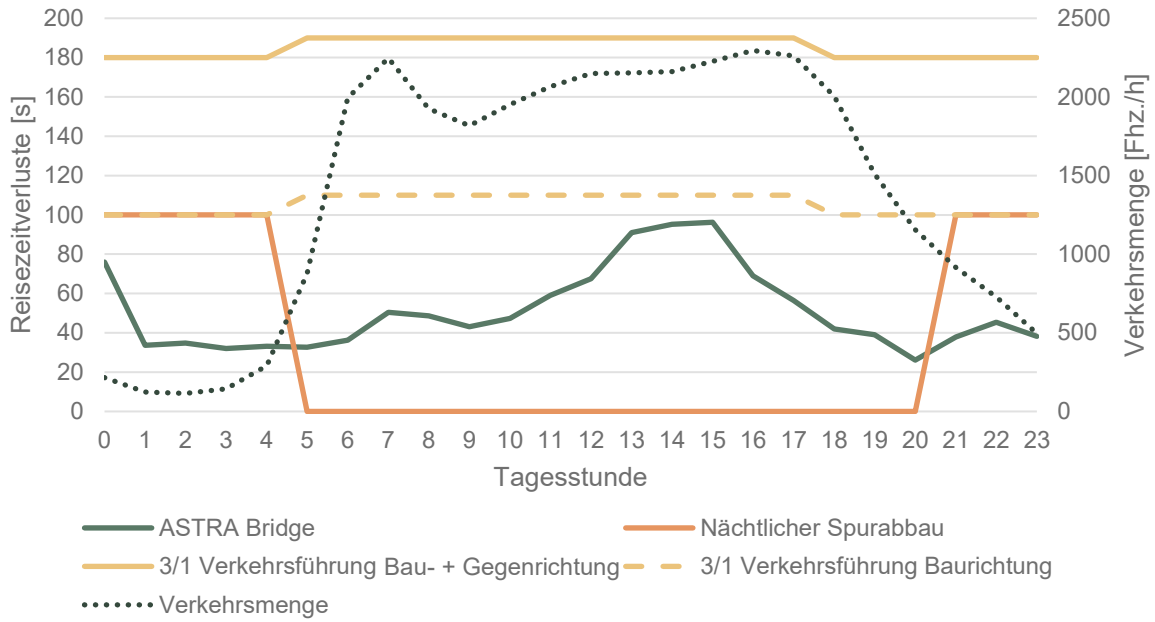


Abbildung 11: Für die KNA verwendeten Reisezeitverluste pro Fahrzeug aufgrund der Bauarbeiten auf der FBZH, Werktag grafisch

## 6.3. Unfälle

Unter den getroffenen Abschätzungen zu den Unfallzahlen gilt die ASTRA Bridge pro Strassenbenützer als sicherste Variante und führt demnach zu weniger Unfallkosten (siehe Tabelle 13). Gründe dafür sind wiederum die geringe Baustellenlänge und die relativ gut geschützten Bauarbeiter unter der Brücke (oder kurzzeitig auch nebenan). Bei der 3/1 Verkehrsführung ist die Unfallgefahr zudem auch auf der Gegenfahrbahn erhöht. In der Nacht sind die Arbeiten für die Arbeiter und pro Strassenbenützer mit Abstand am gefährlichsten. Die Baustelle ist kaum gesichert und die Sichtverhältnisse oft reduziert. Da es jedoch wenig Verkehr hat, relativieren sich die Eintretenswahrscheinlichkeiten und entsprechend die Kosten wieder. Aufgrund der Zwischenetappen in der Nacht ist auch das Risiko für Personenschäden mit der Variante ASTRA Bridge leicht über Null.

Die Kosten infolge Staus durch Unfälle beeinflussen das Resultat kaum, da die Wahrscheinlichkeit dafür im Projektperimeter während der kurzen Bauzeit relativ gering ist.

Tabelle 13: Eintretenswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Unfallkategorien nach Variante über die Bauzeit [Anzahl Ereignisse]

| Zusätzliche Anzahl Unfälle nach Variante | Unfälle Sachschaden | Personenschäden | Fatale Unfälle |
|---|---|---|---|
| **ASTRA Bridge** | 1.888 | 0.228 | 0.012 |
| **3/1 Verkehrsführung** | 14.82 | 0.000 | 0.004 |
| **Nächtlicher Spurabbau** | 0.720 | 0.539 | 0.017 |

## 6.4. Gesamtergebnisse

Tabelle 14 und Tabelle 15 zeigen die Zusammenstellung der summierten Baukosten, der EBeN-Ergebnisse für die Verkehrs- und Unfallkosten, sowie die Annuität und Unterhaltskosten. In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Ergebnisse grafisch dargestellt. Die Kosten der jeweiligen Kategorien sind immer in CHF pro Variante aufgeführt.

Auch unter Berücksichtigung der Annuität und Unterhaltskosten der ASTRA Bridge resultiert insgesamt ein wirtschaftlicher Vorteil der ASTRA Bridge gegenüber der 3/1 Verkehrsführung. Damit ist auch der Kosten-Nutzen der ASTRA Bridge über die Lebensdauer gegeben. Die Variante ‘nächtlicher Spurabbau’ erweist sich unter den monetarisierbaren Kriterien insgesamt als günstigste Option, es sind jedoch die qualitativen Faktoren zu berücksichtigen (siehe Tabelle 15).

Tabelle 14: Übersicht der Kosten für den Belagsersatz am EP Recherswil – Luterbach für die Fahrbahn Zürich mit der ASTRA Bridge und mit 3/1 Verkehrsführung im Vergleich zum Referenzzustand ohne bauliche Massnahmen.

| Kosten pro Variante [CHF] | ASTRA Bridge | 3/1 Verkehrsführung |
|---|---|---|
| **Baukosten** | 5'444’000 | 4’738’000 |
| **Annuität ASTRA Bridge bzw. Vario Guards (Amortisation)** | 1’390’000 | 59’000 |
| **Unterhaltskosten ASTRA Bridge** | 76’000 | - |
| **Reisezeitverlustkosten** | 3'381’000 | 5’830’000 |
| **Zusätzliche Betriebskosten Fahrzeuge** | 874’000 | 1'552’000 |
| **Zusätzliche Unfallkosten** | 272’000 | 788’000 |
| **Reisezeitverlustkosten infolge Unfall** | 15’000 | 124’0008 |
| **Total Projekt EP RELU FBZH** | **11'452’000** | **13’090’000** |
| **Differenz 12.52%** | **87.48%** | **100%** |

Tabelle 15: Übersicht der geschätzten zusätzlichen Kosten für das EP Recherswil – Luterbach für die betrachteten Varianten der Bauausführung im Vergleich zum Referenzzustand ohne bauliche Massnahmen inkl. Belagsersatz in reiner Nachtarbeit mittels nächtlichem Spurabbau. Bei dieser Variante sind insbesondere auch die qualitativen Nachteile zu berücksichtigen, welche nur unzureichend monetarisiert werden können und daher nicht in den berechneten Resultaten der Tabelle aufgeführt sind. Sie werden textlich unterhalb für Bauarbeiten in der Nacht zusammengefasst.

| Kosten pro Variante [CHF] | ASTRA Bridge | 3/1 Verkehrs-führung | Nächtlicher Spurabbau |
|---|---|---|---|
| **Baukosten** | 5’443’000 | 4’738’000 | 4'286’000 |
| **Annuität ASTRA Bridge bzw. Vario Guards (Amortisation)** | 1’390’000 | 59’000 | - |
| **Unterhaltskosten ASTRA Bridge** | 76’000 | - | - |
| **Reisezeitverlustkosten** | 3'381’000 | 5'830’000 | 208’000 |
| **Zusätzliche Betriebskosten Fahrzeuge** | 874’000 | 1'552’000 | 52’000 |
| **Zusätzliche Unfallkosten** | 272’000 | 788’000 | 178’000 |
| **Reisezeitverlustkosten infolge Unfall** | 15’000 | 124’000 | 7’000 |
| **Total Projekt EP RELU FBZH** | **11'452’000** | **13’090’000** | **4’731’000** |
| **Total in Prozent** | **87.48%** | **100%** | **36.1%** |

| **Zusätzliche, nicht monetarisierte Faktoren für Bauarbeiten in der Nacht** | |
|---|---|
| **Zeitfenster** | Die Ausführung muss strikt auf die kurzen Zeitfenster von maximal 22:00 Uhr bis 05:00 Uhr ausgerichtet werden. Es wird erwartet, dass die vorgegebenen Zeitfenster künftig weiter verkürzt werden und die Ausführung erschweren. |
| **Gesundheitliche und soziale Nachteile** | Gemäss den Informationen des Bundes (SECO, 2018) kann sich Nachtarbeit in verschiedenen Aspekten negativ auf die Gesundheit der Arbeiter auswirken. Zudem ist eine innere Unruhe und Nervosität weit verbreitet, u. a. da grosse Schwierigkeiten bestehen, am sozialen Leben der Gesellschaft teilzuhaben. |
| **Fehlende Kader** | Erfahrungen der Unternehmen zeigen, dass Kaderpositionen für Nachtarbeiten auf dem Bau nur mit Mühe besetzt werden können. |
| **Fehlende Angebote Unternehmer** | Basierend auf Erfahrungen des ASTRA werden ausgeschriebene Arbeiten am Tag durch Unternehmer bevorzugt. Häufig fehlen wirtschaftliche Angebote für nächtliche Arbeiten auf der Autobahn. |
| **Lärmbelastung** | Aufgrund der höheren Lärmempfindlichkeit sind die Belastungsgrenzwerte in der Nacht rund 10 dB geringer als am Tag (LSV, Anhang 7). Bauarbeiten in der Nacht führen zu einer deutlich höheren Lärmbelastung der Umgebung. |
| **Sicherheit** | Gegenüber Nachtarbeit und 3/1 Verkehrsführung sind die Bauarbeiter deutlich besser geschützt, da die Arbeitsplätze vom Verkehr klar getrennt sind und nur Baustellenverkehr vorhanden ist. Die ASTRA Bridge dient zudem auch als Sonnen- und Regen- und Windschutz. |

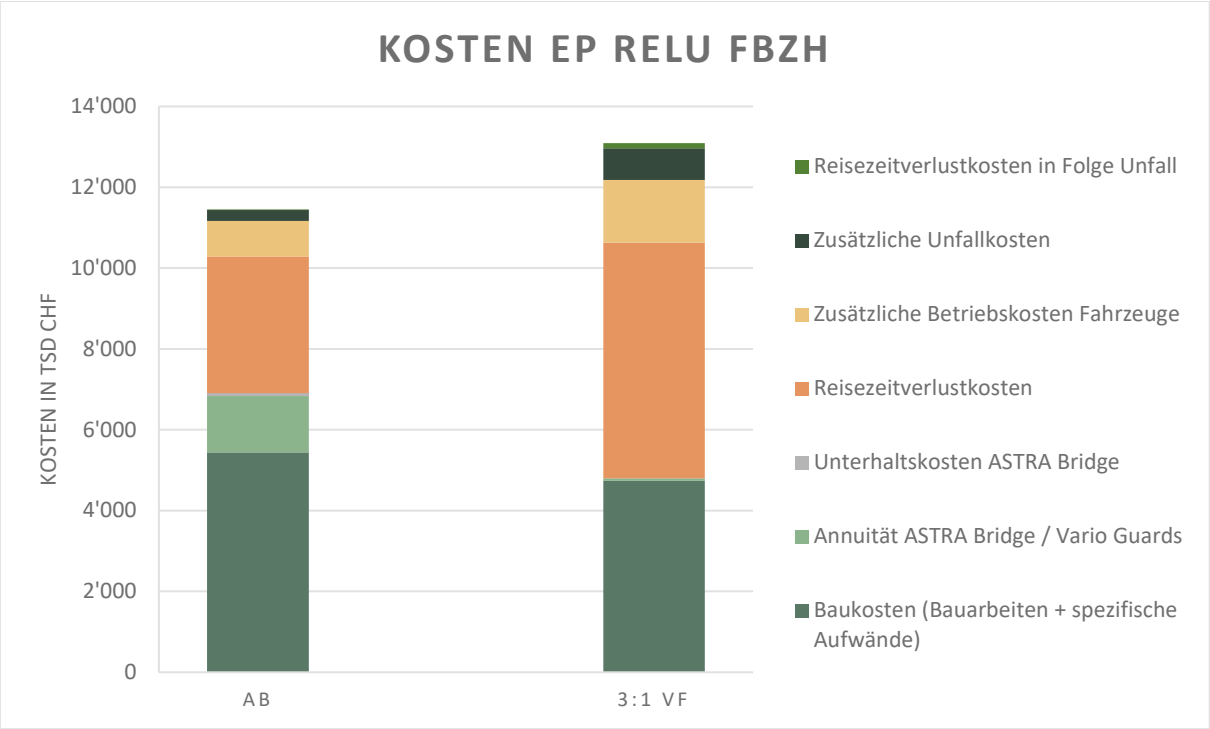


Abbildung 12: Visualisierung der zusätzlichen Kosten der Varianten ASTRA Bridge und 3/1 Verkehrsführung im Vergleich zum Referenzzustand für den Belagsersatz auf der Fahrbahn Fahrrichtung Zürich (FBZH)

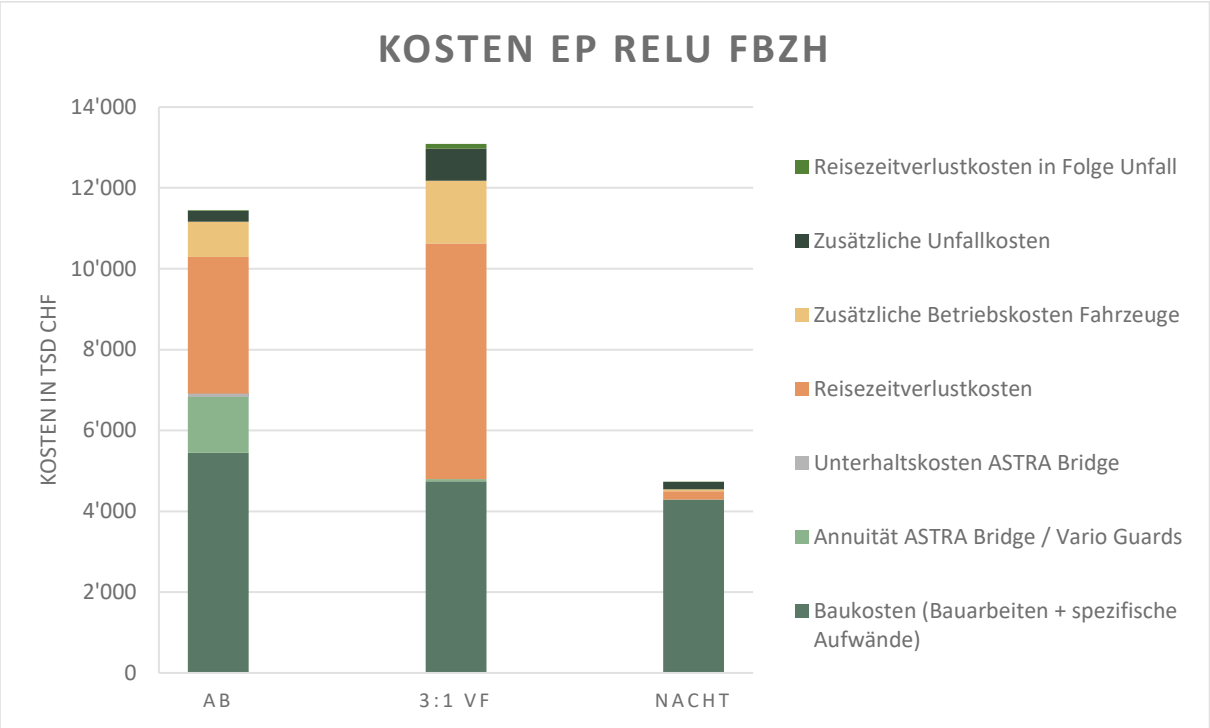


Abbildung 13: Visualisierung der zusätzlichen Kosten der Varianten im Vergleich zum Referenzzustand für den Belagsersatz auf der Fahrbahn Fahrrichtung Zürich (FBZH)

## 6.5. Vergleich zur KNA vom Februar 2024

Aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen und Berechnungsmethodik sind die Ergebnisse der KNA vor (modelliert) und nach (empirisch, modelliert) dem Einsatz der ASTRA Bridge nur schwer miteinander zu vergleichen. Die absoluten Zahlen unterscheiden sich teils aufgrund der Anpassung an die effektiven Ausmasse und Messungen / Sättigungsgrade des Verkehrs im Messzeitraum. Die relative Differenz der Varianten liegt im selben Rahmen und die Resultate des vorliegenden Berichts lassen die in der KNA vom Februar 2024 erwarteten Schlussfolgerungen zu.

## 6.6. Qualitative Aspekte

Die untersuchten Varianten haben Auswirkungen auf diverse Aspekte, die nicht oder nur mit groben Annahmen monetarisiert werden können. Darunter gehören:

- **Soziale Effekte / Wohlbefinden der Arbeiter:**

  Insbesondere die Nachtarbeit führt langfristig zu sozialen Herausforderungen für die eingesetzten Arbeiter (SECO, 2018). Die gesellschaftlich nutzbare Freizeit wird reduziert und es ist schwer mit dem ‘normalen’ Leben Schritt halten zu können, daher sind innere Unruhe und Nervosität weit verbreitet. Besonders bei Kaderpositionen ist ein grosser Personalmangel für solche Einsätze zu verzeichnen. Das ASTRA weist auf zunehmende Schwierigkeiten in der Akquirierung von Nachtarbeiten hin.

  Die Rückmeldungen zu den Arbeitsbedingungen unter der ASTRA Bridge durch die Bauarbeiter waren positiv. Der Schutz vor Wetter, Strassenlärm, und der besseren Arbeitssicherheit wirken sich positiv auf das Wohlbefinden am Arbeitsplatz aus.

- **Gesundheitliche Effekte:**

  Arbeiten in der Nacht entgegen der inneren Uhr ist belastend und kann sich negativ auf die Gesundheit auswirken. Über längere Zeit sind die Risiken für diverse Krankheiten erhöht. Es zeigt sich auch, dass die Fehlerhäufigkeit in der Nacht deutlich höher ist (SECO, 2018).

- **Lärm:**

  Der Baustellenlärm unter der ASTRA Bridge wird durch die umhüllende Konstruktion und die Lärmschutzmatten gedämpft. Der Verkehr wird jedoch auf dem kurzen Baustellenabschnitt über die Höhe bestehender Lärmschutzwände angehoben, wo solche vorhanden sind, was zu einer stärkeren Lärmbelastung führen kann. Während des Einsatzes wurden nur einzelne Beschwerden hierzu eingereicht.

  Da die Lärmempfindlichkeit besonders in der Nacht hoch ist, ist der nächtliche Belagsersatz besonders belastend für Anwohner.

- **Umwelt:**

  Die Umweltauswirkungen durch ausgestossenes CO2 können sich je nach Variante unterscheiden (Fahrgeschwindigkeiten, Materialproduktion, etc.). Es wird für diese KNA jedoch davon ausgegangen, dass dies auf das Endergebnis keine relevante Wirkung hat.

- **Organisation:**

  Je nach Baumethode kann es zu organisatorischen Herausforderungen kommen. Dies erfordert, das unmittelbar vor und nach der ASTRA Bridge keine Baustellen auf der Nationalstrasse eingerichtet werde. Eine Abstimmung mit Drittprojekten von Kantonen und Gemeinden mit Berücksichtigung allfälligem Ausweichverkehr bei Autobahnanschlüssen ist Rechnung zu tragen. Mit den zunehmend gekürzten Nachtfenstern und Auflagen vom SECO werden Unterhaltsprojekte in Nachtarbeiten immer schwieriger auszuführen.

- **Weiträumige Auswirkungen auf den Verkehr:**

  Auch ausserhalb des Messperimeters der Verkehrssensoren wurden verkehrliche Auswirkungen der ASTRA Bridge während der Einsatzzeit beobachtet, welche nicht im erforderlichen Detailierungsgrad gemessen werden konnten. Der Verkehr an der Verzweigung Luterbach hat sich durch eine Dosierungswirkung der ASTRA Bridge verstetigt. Damit war der Stau an der Verzweigung geringer und hat sich vor die ASTRA Bridge verlagert. Es ist davon auszugehen, dass dieser Dosierungseffekt auf vielen anderen Unterhaltsabschnitten nicht auftritt. Der positive Effekt der Verkehrsdosierung durch die ASTRA Bridge konnte daher in den quantitativen Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analyse nicht berücksichtigt werden. Weiter ist zu erwarten, dass die Reisezeitverluste als Folge der ASTRA Bridge eher überschätzt wurden, da die mittleren Verkehrsmengen in der Referenzzeit (Frühling) geringer waren als während des Einsatzes der ASTRA Bridge (Sommer). Aus den Messungen der Verkehrsmengen ist kein Ausweichverkehr zu erkennen.

# 7. Gesamtbeurteilung

Basierend auf den empirischen Messwerten des Verkehrsmonitorings von RK&P und den Daten zu den Verkehrsmengen, Bauzeiten und Baukosten liegt eine umfassende Beurteilung des Einsatzes der ASTRA Bridge von April bis August 2024 vor.

Die ASTRA Bridge bietet eine wirtschaftlich attraktive Alternative zu den konventionellen Baumethoden wie der 3/1 Verkehrsführung. Die Resultate zeigen, dass die Variante ASTRA Bridge am Beispiel der Belagssanierung am Erhaltungsprojekt Recherswil-Luterbach in Fahrtrichtung Zürich einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber der 3/1 Lösung aufweist. Dabei wurden auch die Investitionen in die ASTRA Bridge berücksichtigt. Gründe für den Vorteil sind unter anderem die geringe Länge der Strecke, auf der eine Geschwindigkeitsreduktion in Kauf zu nehmen ist (insbesondere auch auf der Gegenfahrbahn), und die damit geringeren Reisezeitverluste. Die Ergebnisse können auch auf andere Projekte mit ähnlichen Verhältnissen übertragen werden.

Die Ausführung in der Nacht würde unter den monetarisierbaren Kriterien im Vergleich zur ASTRA Bridge und der 3/1 Verkehrsführung in jeder Hinsicht am günstigsten ausfallen, da in der Nacht deutlich weniger Fahrzeuge von einer Beeinträchtigung betroffen sind. Jedoch wurden hier wesentliche Faktoren wie der Personalmangel und die gesundheitlichen und sozialen Nachteile der Nachtarbeit nur qualitativ und nicht in den Kosten berücksichtigt. Nachtarbeiten fallen zudem in Zeiten mit höherer Lärmsensitivität. Sie sind aufgrund der laufend verkürzten Nachtarbeitszeiten zunehmend schwer zu planen.

Die nicht monetarisierten Auswirkungen der ASTRA Bridge wie die Dosierungswirkung auf den Verkehr und das Wohlbefinden der Bauarbeiter fallen eher zu Gunsten der ASTRA Bridge aus und sind bei der Betrachtung der Resultate zu berücksichtigen.

Ein kombinierter Ansatz mit Tagesetappen unter Einsatz der ASTRA Bridge und Nachtetappen auf jenen Teilen der zu sanierenden Abschnitte, die für einen Einsatz der ASTRA Bridge nicht geeignet sind (z.B. Überführungen), wird unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch bei Berücksichtigung der qualitativen Nachteile der Nachtarbeit als erstrebenswerte Variante beurteilt. Je nach Projekt können die Kosten und Nutzen eines ASTRA-Bridge-Einsatzes jedoch aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsmengen und Rahmenbedingungen variieren.

**Literaturverzeichnis**

Bundesamt für Strassen (ASTRA). (2024). *Info Erhaltungsprojekt A1 Recherswil-Luterbach*. Zofingen: Bundesamt für Strassen ASTRA.

Bakaba, J., Enke, M., Heine, A., Lippold, C., Maier, R., Ortlepp, J., & Schulz, R. (2012). *Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen.* Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Unfallforschung der Versicherer.

Bänziger Partner AG. (2023). *Einsatz der ASTRA Bridge bei Instandsetzungen von Kunstbauten und Trasseearbeiten auf der Nationalstrasse.* Thun: Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Kemper, D., Sümmermann, A., Baier, M., & Klemps-Kohnen, A. (2018). *Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung.* Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Krümmel, A., & Klinke, C. (2012). Achtung Baustelle – wenn's eng wird, wird's gefährlich! *Medien- und Gästetag* (S. 28). Crashplatz Wildhaus (Schweiz): DEKRA e. V. & AXA Winterthur.

Laube, M. (2001). Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen. *STRC 2001 Session Engineering*, 19.

Ferenc Biedermann et. Al.. (2017). *Mobilitätsverhalten der Bevölkerung 2015.* Neuchâtel: Bundesamt für Statistik (BFS).

Rothpletz, Lienhard + Cie. AG. (2020). *Technischer Bericht Erhaltungsprojekt Recherswil - Luterbach .* Aarau: Bundesamt für Strassen ASTRA.

SECO, Direktion für Arbeit. (2018). *Arbeiten in der Nacht und in Schicht, Informationen und Tipps*. Bern: WBF.

Unia Zentralsekretariat Sektor Bau. (2020). Steigende Umsätze, weniger Bauarbeiter und viel zu viele Todesfälle auf Schweizer Baustellen. *Medienkonferenz vom 25. Februar 2020* (S. 5). Bern: Unia.

Work Zone Barriers (2021). Work Zone Fatalities, Injuries, & Crashes (Work Zone Fatalities, Injuries, and Crashes - Facts & Data | Work Zone Barriers Guide)