

Nationalstrassen

Strassen-Nr.

N01

Unterhaltsabschnitt

28

Autobahnklasse

1

Kt.gr. SO/BE – Verz. Luterbach

EU-Strassen-Nr.

E25

Projektphase

Bauausführung

Projekt- / Berichtsbezeichnung

Mobile Baustellenbrücke Typ ASTRA

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

Februar 2024

Projektkurzbezeichnung

EP RELU

Projekt-Nr. / TDCost-Nr.

190015

Inventarobjekt-Nr.

11.01.28.311.11

Unterhaltskilometer

23.800 – 30.562

RBBS

N1+/N1- 23A.800 bis 30A.600

Projektverfasser:



EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich

Dokumenten-Nr. (PV):

223433.1

Doku.-Nr. (ASTRA):

20240304 190015 Bericht KNA

Format:

A4

Version:

1.0

Erstellt:

ZUM

Datum:

29.02.2024

Projektleitung:

Bundesamt für Strassen
Filiale Zofingen
Brühlstrasse 3, 4800 Zofingen

Geprüft durch:

Kurzz.:

Eingang ASTRA:

04.03.2024

Kurzz.:

Mej

Freigabe ASTRA:

12.04.2024

Kurzz.:

Kor

Impressum

Vertragspartner

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

Änderungsverzeichnis

Version	Anpassung / Änderung	Verfasser	Datum
0.9	Prüfexemplar	ZUM	29.02.2024
1.0	Finalisierung	KOR	12.04.2024

Verteiler

Firma	Name	Anzahl	Version							
			0.9	1.0						
ASTRA		1	X	X						

Allg. Informationen

Dateiname ASTRA:	Bericht KNA ASTRA Bridge Feb 2024 V1.0.docx
Aktuelle Version:	1.0
Anzahl Seiten:	39

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
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
4. Methodik	11
4.1. Allgemein	11
4.2. Definition der Varianten	12
4.2.1. Übersicht	12
4.2.2. ASTRA Bridge	12
4.2.3. 3/1 Verkehrsführung	13
4.2.4. Nächtlicher Spurabbau	15
4.3. Berechnung der Baukosten	15
4.4. Berechnung der Verkehrskosten	16
4.5. Berechnung der Unfallkosten	18
5. Mengengerüst variantenspezifisch	20
5.1. Baukosten	20
5.1.1. ASTRA Bridge	20
5.1.2. 3/1 Verkehrsführung	20
5.1.3. Nächtlicher Spurabbau	21
5.2. Verkehrskosten	21
5.2.1. ASTRA Bridge	21
5.2.2. 3/1 Verkehrsführung	21
5.2.3. Nächtlicher Spurabbau	21
5.3. Unfallkosten	21
5.3.1. ASTRA Bridge	21
5.3.2. 3/1 Verkehrsführung	22
5.3.3. Nächtlicher Spurabbau	22
5.3.4. Staukosten durch Unfälle	22
5.4. Annuität und Unterhaltskosten	24
6. Resultate	26
6.1. Baukosten	26
6.2. Verkehr	28
6.2.1. Verkehr in 10 Jahren	31
6.3. Unfälle	33
6.4. Gesamtergebnisse	34
6.5. Qualitative Aspekte	37
7. Gesamtbeurteilung	38

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
LV	Leistungsverzeichnis
MÜF	Mittelstreifenüberfahrten
MZMV	Mikrozensus Mobilität 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

Vorwort

Einleitend ist anzumerken, dass die ASTRA Bridge für den Einsatz auf hoch belasteten Streckenabschnitten entwickelt wurde. Auf diesen Streckenabschnitten wird es in absehbarer Zeit aufgrund der immer kleiner werdenden Zeitfenster nicht mehr möglich sein, Unterhaltsarbeiten in Nachtarbeit durchzuführen. Deshalb müssten auf diesen Abschnitten feste Baustellen mit Spurverschwenkungen, Überleitungen und Spurabbauten eingerichtet werden. Diese hätten erhebliche Auswirkungen auf den Verkehr in beiden Fahrrichtungen und würden zu massiven Stausituationen führen. Aus diesem Grund ist es nicht zweckmässig, die Kosten für den Einsatz der ASTRA Bridge mit den Kosten für reine Nachtarbeiten zu vergleichen. Eine Auswertung der Kosten der Baustelle zwischen Rechterswil und Luterbach mit dem Einsatz der ASTRA Bridge kann erst nach dem Abschluss der Arbeiten vorgenommen werden.

Grundsätzlich liegen die Mehrkosten beim Einsatz der ASTRA Bridge beim Transport, beim Auf- und Abbau der Brücke sowie bei den Amortisationskosten der Brücke. Demgegenüber stehen Einsparungen bei den Lohnkosten, da die Arbeiten tagsüber ausgeführt werden können. Nicht zu vergessen sind weitere Vorteile wie die Sozialverträglichkeit der Arbeiten am Tag im Vergleich zur Nacht und der Wegfall der nächtlichen Lärmbelästigung durch die Baustelle.

Die Kosten-Nutzen-Betrachtung von Baustellen mit dem Einsatz der ASTRA Bridge im Vergleich zu herkömmlichen Baustellen (Verschwenkungen, Überleitungen, Spurabbauten) zeigt ein klares Plus für die ASTRA Bridge. Während sich die eigentlichen Bauarbeiten kostenmässig in einem ähnlichen Rahmen bewegen, sind die volkswirtschaftlichen Kosten aufgrund massiv kürzerer Reisezeitverzögerungen mit der mobilen Baustellenbrücke wesentlich geringer.

Fazit: Auf hoch belasteten Autobahnabschnitten, auf denen die Instandhaltungsarbeiten wegen zu kurzer Zeitfenster nicht mehr in reiner Nachtarbeit durchgeführt werden können, ist der Einsatz der ASTRA-Brücke die wirtschaftlichste Bauweise zur Durchführung der Instandhaltung.

1. Zusammenfassung

Die neu entwickelte ASTRA Bridge ist eine mobile Baustellenbrücke, die bei Fahrbahninstandsetzungen auf Nationalstrassen eingesetzt werden kann. Bei einem ersten Einsatz 2022 erwiesen sich die Gefällewechsel der Rampen als zu abrupt. Ab April 2024 wird die ASTRA Bridge zum ersten Mal mit den darauf umgebauten Rampen beim Erhaltungsprojekt Rechterswil-Luterbach (EP RELU) im Einsatz sein.

Die vorliegende provisorische Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) hat die unterstellten 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. Die Resultate zeigen nach aktuellen Kenntnissen einen wirtschaftlichen Vorteil der ASTRA Bridge gegenüber der 3/1 Verkehrsführung für den Belagsersatz in Fahrtrichtung Zürich sowie auch auf der Überholspur in Fahrtrichtung Bern. Der nächtliche Spurabbau ist unter den monetarisierbaren Kriterien im Vergleich die kostengünstigste Variante, weist jedoch Nachteile bei den qualitativen Aspekten auf.

Da im aktuellen Stadium noch keine Erfahrungswerte aus dem Betrieb der ASTRA Bridge vorliegen, wird die KNA nach dem Ersteinsatz der ASTRA Bridge und dem Vorliegen des detaillierten Monitorings aktualisiert werden.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Bei der ASTRA Bridge (AB) 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 über die Baustelle geführt wird. Die Trennung der Arbeitsebene von der Verkehrsebene sollte grundsätzlich 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 Rechterswil-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 beim Aufgang 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 verlängert. Die ersten Testfahrten mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen vom 20.10.2023 konnten erfolgreich mit den geforderten Geschwindigkeiten von mind. 40 km/h bei LKWs und 60 km/h bei PWs absolviert werden.

Ab April 2024 bis August 2024 ist ein erster Einsatz der ASTRA Bridge bei Belagersatzarbeiten im Abschnitt Rechterswil-Luterbach mit den neuen Rampen geplant. Die gesammelten Erfahrungen und Evaluationen zum Einsatz der ASTRA Bridge und zu den Auswirkungen in diesem Projekt eignen sich als Fallbeispiel bei zukünftigen Einsätzen.

2.2. Auftrag

Die EBP Schweiz AG wurde damit beauftragt, den für 2024 vorgesehenen Einsatz der ASTRA Bridge im Projekt EP RELU 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 unter anderem basierend auf den Daten von Verkehrssimulationen vor dem eigentlichen Einsatz der ASTRA Bridge durchzuführen. Diese provisorische KNA wird im vorliegenden Bericht dokumentiert. Basierend auf den gesammelten Daten und Erfahrungen beim Einsatz ab April 2024 soll die KNA anschliessend überarbeitet, aktualisiert und ergänzt werden.

3. Grundlagen

3.1. Technische Daten ASTRA Bridge

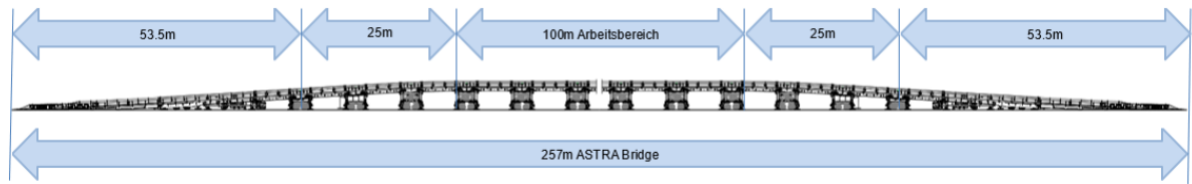


Abbildung 1: Seitenansicht ASTRA Bridge (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2023)

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 1'252 Tonnen und hat eine Maximalbreite von 7.60 m. Die Fahrbahnbreite auf der Brücke beträgt 6,75 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 5.10 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.

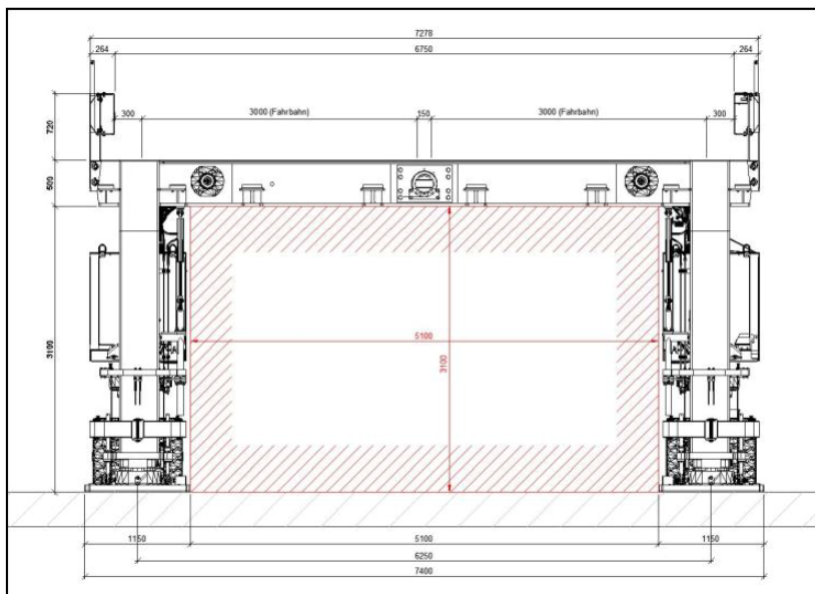


Abbildung 2: Querschnitt Portal mit Arbeitsbereich (3.10 m x 5.10 m) (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2023)

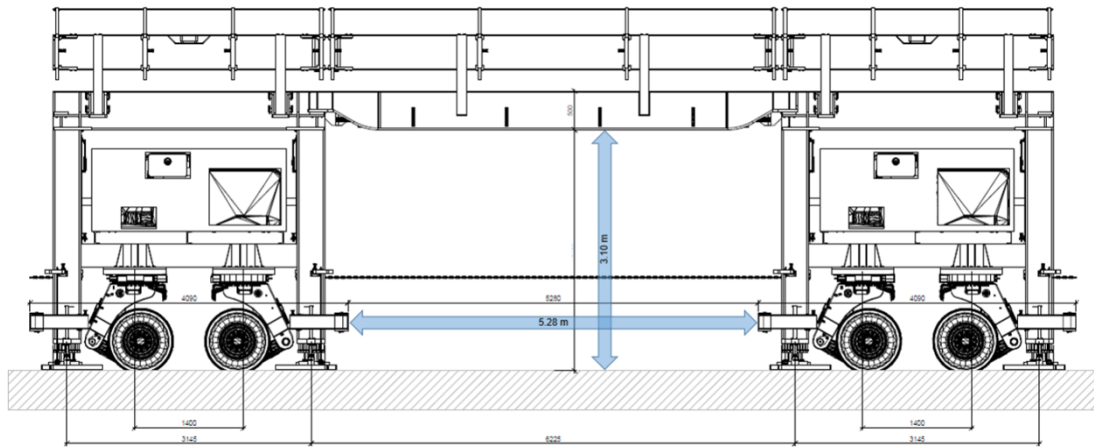


Abbildung 3: Längsschnitt Portale und Zwischensegment mit Angaben LRP Versorgung (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2023)

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

Daher ist die ASTRA Bridge unter anderem bei Überführungen nicht einsetzbar. Unterführungen und Brücken müssen aufgrund des Gewichtes zusätzlich gespiesst werden.

3.2. Projekt EP RELU

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

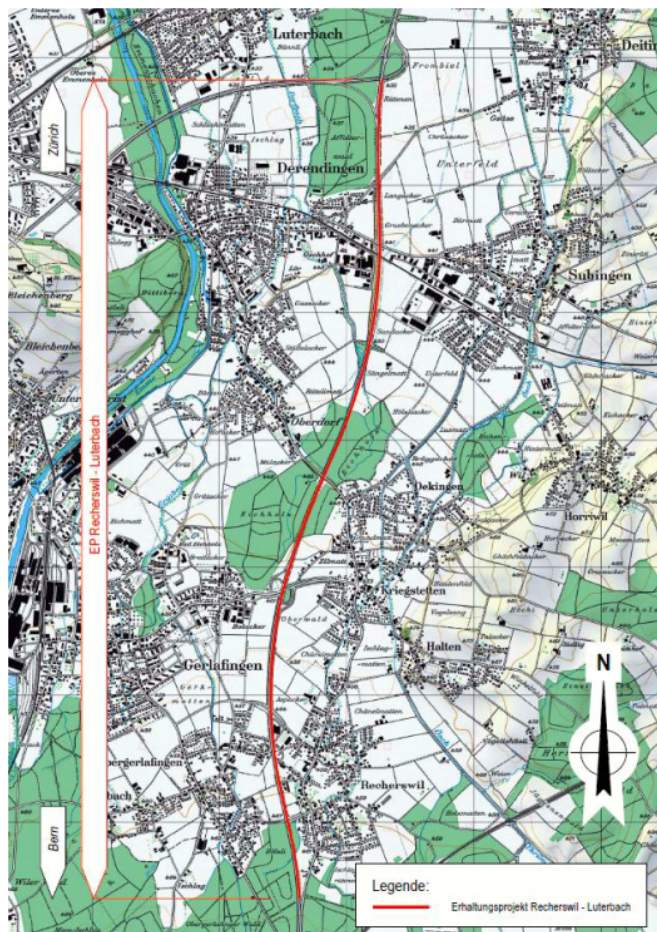


Abbildung 4: Projektperimeter EP RELU (aus Technischem Bericht MP, Rothpletz, Lienhard + Cie. AG)

Der Projektteil Belagsersatz wurde in Etappen von ca. 100 m Länge pro Fahrbahn unterteilt. Insgesamt ist 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 ausgeführt wurden.

In 79 Etappen wird auf der Normal- und Überholspur (ÜS) der Fahrbahn Richtung Zürich (FBZH) ab April 2024 bis August 2024 mit der ASTRA Bridge und den neuen Rampen der Deckbelag ersetzt. Zuerst wird die Überholspur mit Einbaurichtung Recherswil->Luterbach ausgeführt und danach die Normalspur rückwärts in Richtung Luterbach->Rechterswil. Der Zeitpunkt der Ausführung der 38 Etappen auf der Überholspur der Fahrbahn Richtung Bern bleibt gemäss dem Entscheid des ASTRA vom November 2023 noch offen.

Aufgrund von Überführungen, Anschlüssen und Unterführungen sind 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 Etappen über einer Unterführung 2024 in der Nacht 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 Februar 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		
20xx			38	

3.3. Verkehrsdaten

Die Verlustzeiten pro Fahrzeug und die daraus resultierenden Fahrtzeitverlängerungen für alle Varianten wurden durch Verkehrsfluss-Simulationen mit der Software VISSIM durch Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG (RK&P) abgeschätzt. Im Auftrag des ASTRA untersucht RK&P die verkehrlichen Auswirkungen der ASTRA Bridge und betreibt das projektbegleitende Verkehrsmonitoring. Die Datengrundlage bildeten die Verkehrszahlen der automatischen Verkehrszählung vom März 2022 (vor dem Piloteinsatz der ASTRA Bridge mit den alten Rampen und Jahreszeit mit durchschnittlicher Verkehrsmenge).

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 sich dabei auf den Belagsersatz im Rahmen des EP RELU auf der Fahrbahn Richtung Zürich, was rund 13'300 Laufmetern Fahrbahn entspricht. Dieser wird in den Berechnungen der Kosten als eigenes Projekt betrachtet.

Der Belagsersatz der Überholspur FBBE (rund 6'600 Laufmeter Fahrbahn) wird als mögliche Projekterweiterung betrachtet (d.h. Grundinstallationen werden teilweise aus FBZH übernommen). Die Normalspur FBBE wird in der KNA 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 werden 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 KNA

	Bestandteil der KNA	Nicht Bestandteil der KNA
Belagsersatz FBZH ÜS	X	
Belagsersatz FBZH NS	X	
Belagsersatz FBBE ÜS	X (als Projekterweiterung)	
Belagsersatz FBBE NS		X
Belagsersatz Pannestreifen		X
Abbau grüner Mittelstreifen		X
Weitere Massnahmen: (Ersatz Rückhaltesysteme, Strassenentwässerung, ...)		X

Folgende Varianten wurden im Rahmen der KNA verglichen:

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

Für sämtliche Varianten wurden 20 Arbeitstage pro Monat (inkl. Abzug Wochenende, Ferien und Feiertage) angenommen.

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 Brücken der Platz fehlt.

In dieser Kosten-Nutzen-Analyse werden die monetarisierbaren Wirkungen der unterschiedlichen Varianten betrachtet und einander gegenübergestellt. Die Qualität des Belagsersatzes und damit dessen positiven Nutzen bleibt auch mit der ASTRA Bridge gegenüber anderen Verkehrsführungen unverändert. Der Einsatz der ASTRA Bridge hat insbesondere Einfluss auf die Bereiche 'Baukosten', 'Verkehr' und 'Unfall'. Unter Anwendung des EBeN¹-Tools vom ASTRA wurden diese negativen Nutzen, resp. Kosten basierend auf den Daten aus den VISSIM-Verkehrssimulationen von RK&P, den Projektunterlagen, vergleichbaren Projekten und diverser Literatur ermittelt.

¹ Einheitliche Bewertungsmethode Nationalstrassen

4.2. Definition der Varianten

4.2.1. Übersicht

Variante	ASTRA Bridge		3/1 Verkehrsführung		Nächtlicher Spurabbau	
	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
Anzahl Bauetappen Tag	38	79	11	22		
Anzahl Bauetappen Nacht	12	27			26	53
Etappenlänge Tag [m]	100	100	600*	600		
Etappenlänge Nacht [m]	230	200			250	250
Baulänge [m]	6'560	13'300	6'560	13'300	6'560	13'300
Geschätzte Bauzeit [Monate]	2.8	5.8	1.1*	2	1.6	3.3

Tabelle 4: Übersicht der abgeschätzten Kennwerte nach Variante.

FBBE: Belagsersatz eine Fahrspur FBZH: Belagsersatz zwei Fahrspuren

*Referenz: öBL Stefan Wernli, Baustelle Limmattal

4.2.2. ASTRA Bridge

Mit der ASTRA Bridge kann der Belageeinbau 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 mit der nächsten Etappe weiterzumachen. 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 5 dient zur Visualisierung der Situation.

Die signalisierte Geschwindigkeit auf der Brücke ist 60 km/h. Die effektiv gefahrene Geschwindigkeit basiert hingegen noch auf Annahmen und hängt vom Verhalten der Strassenbenützer im praktischen Einsatz ab. Da die Annahme der Geschwindigkeiten eine grosse Wirkung auf die Resultate der KNA hat, wurde im Rahmen der vorliegenden KNA die Sensitivität der Ergebnisse für verschiedene Überfahrtsgeschwindigkeiten analysiert. Die effektiven Überfahrtsgeschwindigkeiten 30 km/h, 40 km/h und 50 km/h wurden direkt als Varianten berücksichtigt.

Der Verkehrsfluss der Gegenfahrbahn bleibt ungestört. Beim vorliegenden ersten Einsatz wird auf der Gegenfahrbahn noch eine Geschwindigkeit von 80 km/h direkt bei der ASTRA Bridge signalisiert, da diese neue Konstruktion ein Ablenkungsfaktor für schaulustige Fahrer bedeuten könnte.

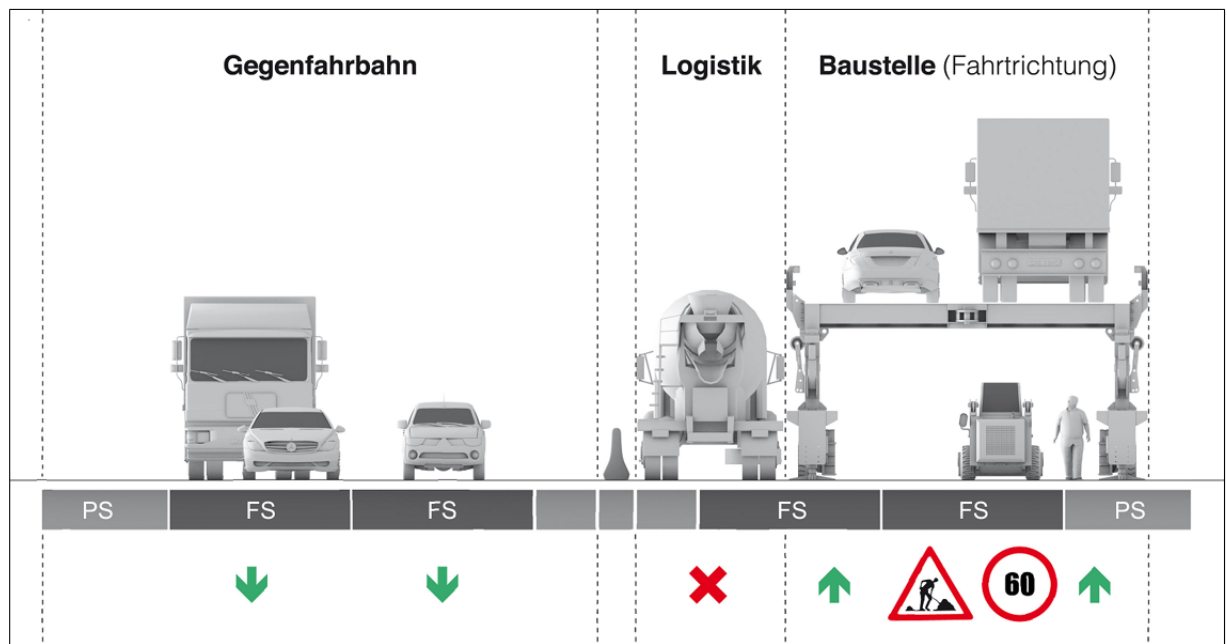


Abbildung 5: Baustelle Bereich ASTRA Bridge (ASTRA Bridge Faktenblatt, 2023)

Bei der ASTRA Bridge können Arbeiten mittels Verwendung von Absperreichen auch bei Schlechtwetter ohne Unterbruch ablaufen. Es wird jedoch pro Fahrtrichtung mit einem Tag Ausfallrisiko gerechnet.

Zusätzlich zu den ASTRA-Bridge-Etappen werden die Zwischentappen mit nächtlichem Spurabbau auf den Strecken, wo die ASTRA Bridge nicht eingesetzt werden könnte, berücksichtigt. Dies sind 11 Etappen mit einer Länge von durchschnittlich 230 m auf der FBBE und 27 Etappen mit einer Länge von durchschnittlich 200 m auf der FBZH.

Damit resultiert eine Bauzeit von 2.0 (AB)+0.8 (Nacht) Monaten für die FBBE und 4.0 (AB) + 1.8 (Nacht) Monaten für die FBZH.

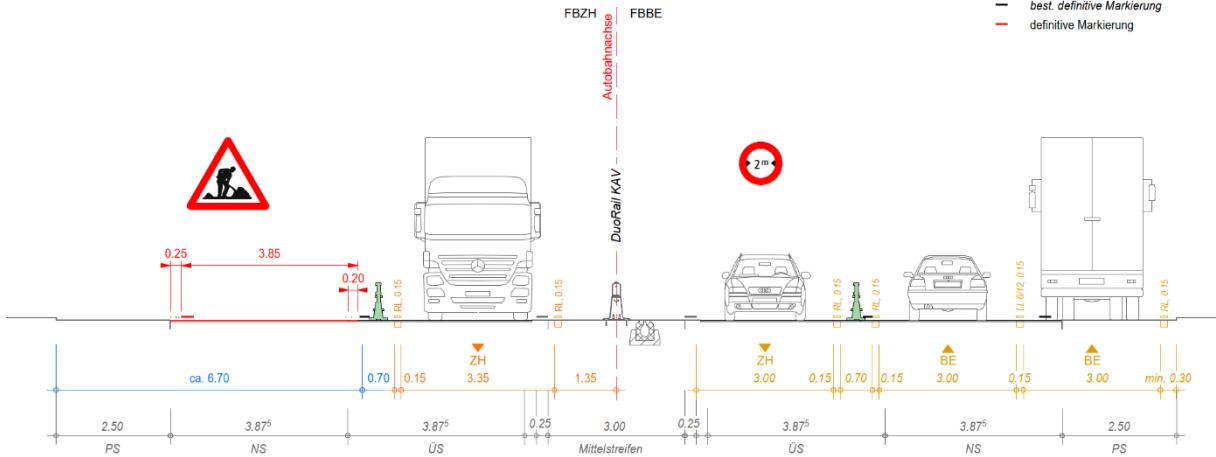
4.2.3. 3/1 Verkehrsführung

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 6). 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 6 wurde der potenzielle Bauablauf mit einer 3/1 Verkehrsführung dargestellt.

Blickrichtung Bern

Belagersatz Fahrbahn Richtung Zürich Etappe 1a

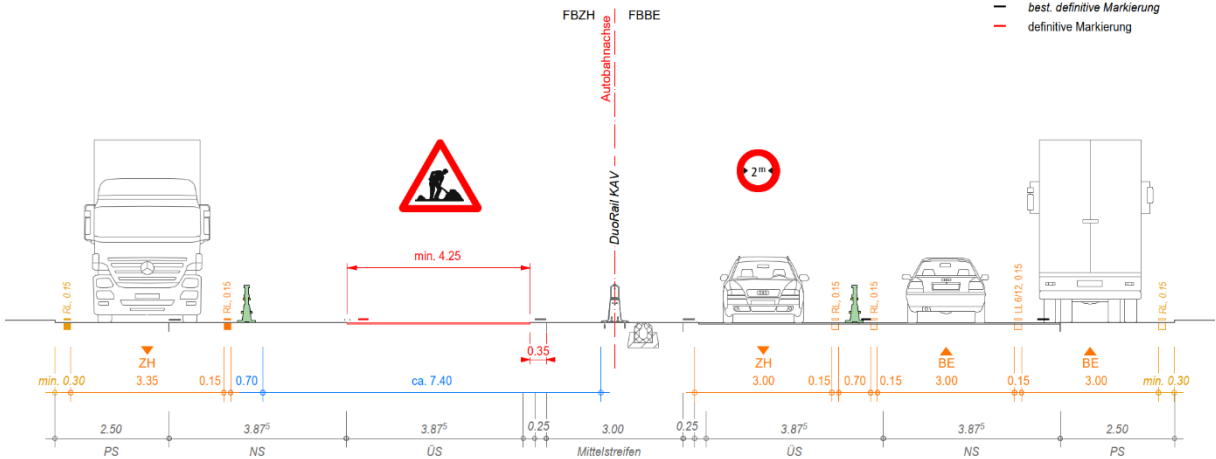
- ▬ prov. Markierung gespritzt
- ▬ prov. Markierung geklebt
- ▬ best. prov. Markierung aus Vorphase
- ▬ best. definitive Markierung
- ▬ definitive Markierung



Blickrichtung Bern

Belagersatz Fahrbahn Richtung Zürich Etappe 1b

- ▬ prov. Markierung gespritzt
- ▬ prov. Markierung geklebt
- ▬ best. prov. Markierung aus Vorphase
- ▬ best. definitive Markierung
- ▬ definitive Markierung



Blickrichtung Bern

Belagersatz Fahrbahn Richtung Bern Etappe 2a

- ▬ prov. Markierung gespritzt
- ▬ prov. Markierung geklebt
- ▬ best. prov. Markierung aus Vorphase
- ▬ best. definitive Markierung
- ▬ definitive Markierung

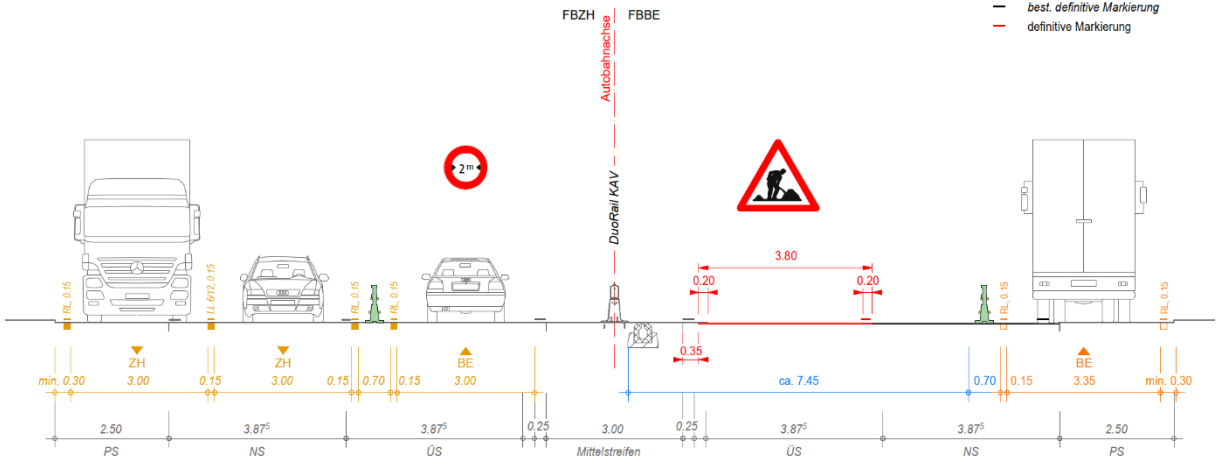


Abbildung 6: Schematische Darstellung der möglichen Verkehrsetappen bei Anwendung einer 3/1 Verkehrsführung beim EP RELU (ohne NS FBBE) (Quelle: ASTRA)

Der Belagersatz wird in Etappen von ca. 600 m pro Tag ausgeführt. Damit ergeben sich rund 22 Etappen auf der FBZH und 11 Etappen auf der FBBE. Es wird angenommen, dass pro Etappe zusammen mit der Einrichtung der temporären Signalisationen (TESI) und Reserve- und Schlechtwettertagen durchschnittlich 1.8 Tage benötigt werden. Drei Tage werden zusätzlich zur TESI pro Fahrtrichtungswechsel (FBBE) addiert. Die folgenden Kennzahlen für die FBZH basieren auf Erfahrungswerten* der Baustelle Limmattal und wurden auf EP RELU übertragen:

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:	2	AT
Reserve allgemein:	2	AT
Total für den Belagsersatz 2 FBZH:	38	AT = ca. 2 Monate

*Referenz: öBL Stefan Wernli, Baustelle Limmattal

Damit resultiert eine Bauzeit von 1.1 Monaten für die FBBE und 2.0 Monaten für die FBZH.

Eine zentrale Komponente der Verkehrsleitung sind die erforderlichen Mittelstreifenüberfahrten. Beim Belagsersatz in Fahrtrichtung Bern wird diese 600 m vor der Baustelle in Richtung Luterbach ausgeführt.

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 rund 250 m pro Nacht. Damit ergeben sich rund 53 Etappen auf der FBZH und 26 Etappen auf der FBBE. Es wurden basierend auf Erfahrungswerten rund drei Schlechtwettertage im Monat angenommen. Die Spur für den Belagsersatz wird temporär mit leichten Leitelementen (z.B. Leitbakken 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 2.1 Monaten für die FBBE und 3.7 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).

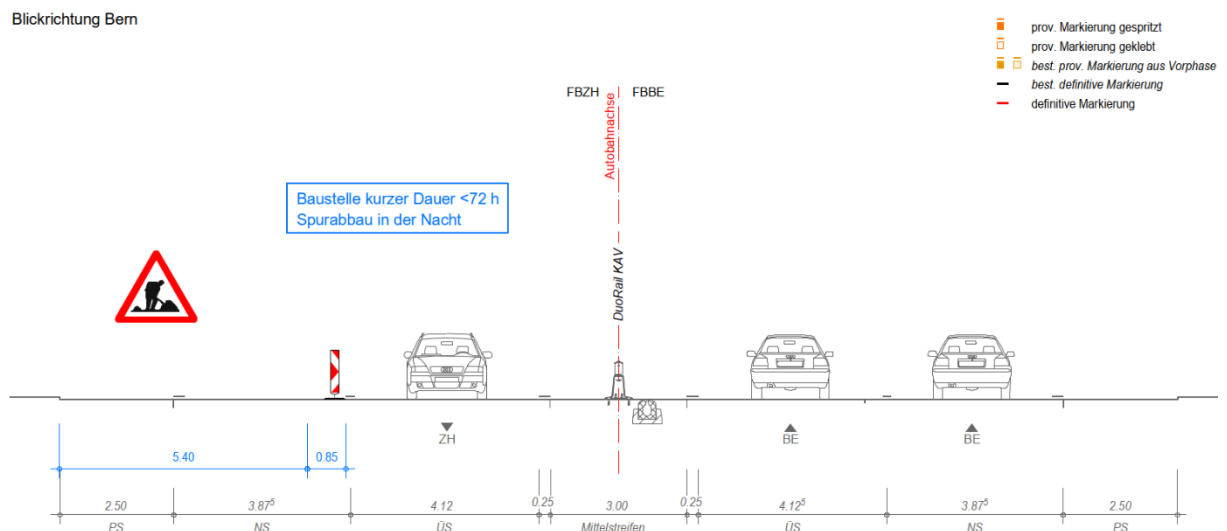


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Verkehrsführung während eines Spurabbaus in der Nacht (Quelle: ASTRA)

4.3. Berechnung der Baukosten

Die Grundlage für die Herleitung der Baukosten aller Varianten bildeten die Positionen des Leistungsverzeichnisses (LV) vom EP RELU angepasst auf die entsprechenden Ausmasse. Variantenspezifische Kosten 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 Baukosten und Daten der Ausführung mit der ASTRA Bridge entstammen aus dem LV, dem Faktenblatt und den Projektunterlagen (Rothpletz, Lienhard + Cie. AG, 2020).

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

4.4. Berechnung der Verkehrskosten

Die Verkehrsfluss-Simulation in VISSIM basierte auf vier verschiedenen Verkehrsbelastungs-Niveaus:

- 10%: FBZH 280 Fhz/h, FBBE 315 Fhz/h
- 80%: FBZH 2'250 Fhz/h, FBBE 2'515 Fhz/h
- 90%: FBZH 2'535 Fhz/h, FBBE 2'830 Fhz/h
- 100%: FBZH 2'815 Fhz/h, FBBE 3'145 Fhz/h

Für diese vier unterschiedlichen Verkehrsbelastungen wurde so die Verzögerung pro Fahrzeug durch die Baustelle im Vergleich zum Referenzzustand ohne Baustelle in Baurichtung und Gegenrichtung ermittelt. Jede Stunde in der Tagesganglinie wurde darauf einer der vier Niveaus zugewiesen und die Verlustzeit mit der Verkehrsmenge der jeweiligen Stunde in Bau- und Gegenrichtung multipliziert. Aufgrund der kurzen Projektdauer wurden die Entwicklung der Verkehrsnachfrage während der Projektdauer als statisch betrachtet. Jahreszeitendifferenzen wurden nicht berücksichtigt. Wochenendtage und Werktage wurden unterschieden.

Für eine vertiefte Analyse und Monetarisierung der Reisezeitkosten wurden die von RK&P vorbereiteten Verkehrsdaten (Fahrzeugdurchfahrten pro Fahrbahn) mit Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) und der automatischen Verkehrszählung (SASVZ) für die Messstation 032 - Deitingen, welche sich innerhalb des Projektperimeters befindet, für die Jahre 2017, 2019 und 2021 ergänzt. Die SASVZ ermöglichte eine präzisere Trennung der Verkehrsarten in prozentualen Anteilen für Personenkraftwagen (PW-74%), Lieferwagen (LI-13%) und den Schweren Güterverkehr (SGV-13%).

Bei PW wird im EBeN-Tool in Personenstunden, bei LI und SGV in Fahrzeugstunden gerechnet. Die PW-Fahrzeugauslastung für die Personenverluststunden stammt aus den Daten des MZMV mit der Durchschnittsbelegung von 1.6 Personen pro Fahrzeug. Eine Ausnahme wurde während der Morgenstosszeiten (05:00 – 09:00 Uhr) getroffen, da der Pendlerverkehr zu dieser Zeit massgebend ist und dieser eine Durchschnittsbelegung von 1.09 Personen pro Fahrzeug aufweist. An Wochenenden wird durchschnittlich ein Belegungsgrad von 1.53 Personen pro Fahrzeug angenommen (Muralti, et al., 2023).

Schliesslich wurden für jede Variante pro Fahrbahn die Verluststunden auf die jeweilige Bauzeit hochgerechnet. Zusammengefasst ergibt sich folgende Berechnung:

$$\begin{aligned}
 & \text{Total Personenverluststunden FBZH} \\
 & = \text{Bauzeit FBZH} * \left(\sum_0^{23} ((\text{Reisezeit mit Baustelle FBZH Werktag} - \text{Reisezeit ohne Baustelle FBBE Werktag}) \right. \\
 & \quad * \text{Verkehrsmenge} * \text{Anteil PW} * \text{var. Belegungsgrad}) * 5 \text{ Werktag} + \sum_0^{23} ((\\
 & \quad \text{Reisezeit mit Baustelle FBZH Wochenende} - \text{Reisezeit ohne Baustelle FBBE Wochenende}) * \text{Verkehrsmenge} \\
 & \quad * \text{Anteil PW} * \text{var. Belegungsgrad}) * 2 \text{ Wochenendtage}
 \end{aligned}$$

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 auf 2024 mit einem angenommen Reallohnwachstum von 0.75% hochgerechnet.

Die räumliche Ausdehnung der Studie erstreckt sich über die ganze Länge der verkehrlichen Beeinträchtigung auf einer Länge von etwa 23 km für FBBE und 13 km für FBZH. Es wird davon ausgegan-

gen, dass durch geplante Verkehrsmassnahmen wie Ausfahrtdosierung an Anschlüssen und Verkehrsinformationen keine signifikante Verkehrsverlagerung auf Ausweichrouten stattfindet.

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 Fahrzeugkilometer und der Betriebszeit der Fahrzeuge. Bei vorliegenden Variantenvergleich ist die Fahrstrecke unverändert und nur die Betriebszeit ist unterschiedlich.

4.5. Berechnung der Unfallkosten

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 Personunfällen 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 Personunfälle 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 Personunfällen mit reduzierter Geschwindigkeit abnimmt, was sich im Fall der Personunfälle ungefähr ausgleicht.

Gemäss SN641824 werden folgende Eintretenswahrscheinlichkeiten verwendet:

- Sachschaden: $4.2 \cdot 10^{-7}$ Unfälle pro Fahrzeugkilometer im Baustellenbereich
- Personenschaden: $1.574 \cdot 10^{-7}$ Unfälle pro Fahrzeugkilometer im Baustellenbereich
- Todesfälle: $3.2 \cdot 10^{-9}$ 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 Arbeiter 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 angenommenen 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 Regie, Prüfungen, Belagsarbeiten und Markierung wurden aus den für den Belagseinbau 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 + Preis pro Etappe berechnet (AB, 3:1 1680 CHF pro Etappe, Nacht 2'050 CHF pro Etappe). Die Werte wurden anteilmässig 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 den Angaben im LV EP RELU und dem Faktenblatt. Sie sind zusammengesetzt aus den Kosten für die Etappen mit der ASTRA Bridge (117) und den Zwischenetappen (39), 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 viele Positionen im LV nicht eindeutig einer Projektetappe zugewiesen werden können, mussten auch Annahmen getroffen werden.

Bemerkungen zu den spezifischen Aufwänden:

- Der Zuschlag für Kleinettappen wurde mit 33 CHF pro Tonne Belag angesetzt (Differenz Kosten im Vergleich zu EP SIEP)
- Zur fairen Vergleichbarkeit wurden für die Zwischenetappen dieselben Bau-, Verkehrs- und Unfallkostenansätze wie bei Variante 'Spurabbau Nacht' gewählt.
- Die Nachtzuschläge NPK 111, 112 und Personal wurden mit 25% angesetzt bei Annahme 12 Arbeiter x 8h pro Nacht
- Die Zusatzkosten Nacht der NPK 113, 223 und 286 setzen sich aus folgenden Positionen zusammen:
 - Zuschlag Belagseinbau 41'200 CHF
 - Zuschlag Belagswerk 55'100 CHF
 - Nachtfahrbewilligung LKW 20'300 CHF
 - Transportzuschlag Nacht 48'600 CHF
 - Beleuchtung 3'200 CHF

Die angenommenen 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.
- Der nächtliche Spurabbau 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 aus 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 LVs und den Kosten der Referenzprojekte EP Sissach – Eptingen, Sechsspurausbau Härkingen-Wiggertal und EM Sursee – Rothenburg abgeschätzt. Die zum LV zusätzlichen Ausmasse für die Positionen NPK 281 – Fahrzeugrückhaltesysteme, NPK 286 - Markierung auf Verkehrsflächen und Mittelstreifenüberfahrten (MÜF) Kosten wurden für jede Phase berechnet.

Bemerkungen zu den spezifischen Aufwänden:

- 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.
- Das Projekt EM Sursee-Rothenburg wies im Plausibilitätscheck insgesamt vergleichbare Kosten auf.

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

Die Verkehrskosten werden gemäss Kapitel 4.4 berechnet. Das Vorgehen ist für die drei Varianten identisch.

5.2.1. ASTRA Bridge

Für die ASTRA Bridge werden die Geschwindigkeiten in Baurichtung auf einer Strecke von 750 m reduziert. Die Reisezeiten wurden für eine Überfahrtsgeschwindigkeit von 30 km/h, 40 km/h und 50 km/h modelliert. Auf der Gegenfahrbahn wird im Bereich der ASTRA Bridge eine Geschwindigkeit von 80 km/h signalisiert. Für die Gegenfahrbahn wurde von RK&P pauschal eine Zeitverzögerung von 15 Sekunden angenommen.

5.2.2. 3/1 Verkehrsführung

Die Geschwindigkeitslimite im Bereich der 3/1 Verkehrsführung auf 6.7 km FBZH und 7.3 km FBBE plus 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 RKP bei hohem Schwerverkehrsanteil auf maximal 70 km/h angenommen. Es wird angenommen, dass ein Einspuren auf die Überholspur beim Autobahnanschluss sicherheitstechnisch nicht möglich ist.

5.2.3. Nächtlicher Spurabbau

Für den nächtlichen Spurabbau wird angenommen, dass es zu keiner Verkehrsüberlastung kommt. Die Verlustzeiten 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 wird. Allerdings war deren Einsatzzeit für eine belastbare Aussage zur Auswirkung auf das Unfallgeschehen zu kurz.

Aus den in Kapitel 4.5 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 unverändert angenommen. Das Risiko für Sachschäden pro Fahrzeugkilometer auf der Baustelle ist jedoch ca. doppelt so hoch. Der Bereich mit erhöhtem Risiko wird auf einer Länge von 750 m angesetzt.

Die Gefahr eines tödlichen Unfalls für die Bauarbeiter steigt im Rahmen einer gewöhnlichen Baustelle (0.00182 Todesfälle pro Mio. CHF Bausumme). Einzig während ca. 1.5h in der Nacht fürs Umstellen der AB und das Umparkieren sind die Arbeiter einem höheren Risiko für kurze Baustellen auf der Autobahn ausgesetzt (ca. $0.15 \cdot 0.000029$ 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 Spurbau

Nachts wird mit der doppelten 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). Auf der FBBE (ca. 3'800 Fhz/Nacht) fahren deutlich mehr Fahrzeuge in der Nacht als auf der FBZH (ca. 2'300 Fhz/Nacht).

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 Pannestreifen grösser ist. Diese zusätzlichen Kosten sind nur schwer abzuschätzen und es muss mit Annahmen gearbeitet werden. Es gibt keine Literatur, 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 0.36h zu Stau. Es wird angenommen, dass die zuerst ankommenden Fahrzeuge effektiv 0.36h im Stau stehen, während die Fahrzeuge nach 0.36h bereits keinen Zeitverlust mehr haben, was im Schnitt 0.18h Zeitverlust entspricht. Im Referenzzustand wird angenommen, dass Sachschäden oder Pannefahrzeuge zu einer Verzögerung von 0.33h (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 Pannestreifen 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 Pannefahrzeuge aufgrund des fehlenden Pannestreifens die Spuren blockieren. Es wird eine Zunahme der Staus durch Sachschäden angenommen. Dies führt zu den Werten in Tabelle 5. Diese Werte werden vereinfacht mit den durchschnittlichen Personenstundenkosten von 28.71 CHF im Jahr 2024 gemäss KNA-Norm multipliziert und der Belegungsgrad multipliziert.

Tabelle 5: Übersicht der zusätzlichen unfallbezogenen Fahrzeugverluststunden pro Fahrbahn, Baumethode und Unfallkategorie

Zusätzliche Fahrzeugverluststunden [h]	Sachschäden		Personenschaden		Fataler Unfall	
	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE
ASTRA Bridge 30 km/h	266	129	0	0	30	3

ASTRA Bridge 40 km/h	266	129	0	0	30	3
ASTRA Bridge 50 km/h	266	129	0	0	30	3
3/1 Verkehrsführung	1'956	1'112	373	212	11	5
Nächtlicher Spurbau	32	43	95	128	16	18

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 können, wurden sie mittels der Annuitätenmethode über die gesamte 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

C₀=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 anteilmässig mit A*(Bauzeit+0.5 Monate) / 7 Monate multipliziert.

Tabelle 6: Zusammensetzung der Kapitalkosten ASTRA Bridge

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 auch 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:

$$A_{AB-FBZH} = 27'384'000CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * (4Monate + 0.5Monate) / 7Monate = 1'183'265CHF$$

$$A_{AB-FBBE} = 27'384'000CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * (2Monate + 0.5Monate)/7Monate = 512'748CHF$$

$$A_{3:1-FBZH} = 7300m * 350CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * (2Monate)/7Monate = 48'945CHF$$

$$A_{3:1-FBBE} = 7300m * 350CHF * \frac{1.03^{20} * (1.03 - 1)}{1.03^{20} - 1} * (2Monate)/7Monate = 27'821CHF$$

6. Resultate

6.1. Baukosten

Die abgeschätzten Baukosten sind für alle Varianten in der Summe ähnlich hoch (siehe Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9). 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 MÜF und der Ausstellbuchten sowie der TESI mit Fahrzeugrückhaltesystemen besonders teuer. In der Nacht schlagen die Nachtzuschläge zu Buche.

Tabelle 7: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU mit der ASTRA Bridge für die FBZH und FBBE ÜS

Baukosten AB [CHF]	ASTRA Bridge		Zwischenetappen AB in der Nacht	
	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
Fahrbahn				
Bauarbeiten EP RELU				
NPK 111 Regie	196'951	409'451	62'195	139'939
NPK 112 Prüfungen	32'439	67'439	10'244	23'049
NPK 113 Baustelleneinrichtung	63'840	124'600	20'160	45'360
NPK 223 Belagsarbeiten	1'606'504	3'339'837	507'317	1'141'463
NPK 286 Markierung	133'927	278'427	42'293	95'159
Total Bauarbeiten	2'033'661	4'219'754	642'209	1'444'970
Spezifische Aufwände Einsatz ASTRA Bridge				
ASTRA Bridge, Kräne	-	23'000	-	-
ASTRA Bridge, Transporte	-	94'000	-	-
AB, Mon- und Demontage	-	175'000	-	-
Positionierung ASTRA Bridge, Kühlung Auflager	3'000	8'000	-	-
Spriessung UNF	10'000	-	-	-
Demontage WTA	-	20'000	-	-
Zusatz Belagsfugenband quer	-	3'062	-	-
Zusatz Kleinetappen	108'527	225'622	-	-
ASTRA Bridge umstellen TESI	228'000	474'000	-	-
Total Aufwände	121'527	548'684	-	-
Spezifische Aufwände Spurabbau Nacht				
NPK 111 Nachtzuschläge	-	-	15'549	34'985
NPK 112 Nachtzuschläge	-	-	2'561	5'762
NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Ausrüstung und Arbeiten	-	-	16'426	36'957
NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Personal	-	-	28'800	64'800
Transporte bei ÜS Nacht	-	-	60'000	67'500
Zusatz Belagsfugenband quer	-	-	-	435
Spurabbau Normalspur bis 1'500m	-	-	37'680	84'780
Total spez. Aufwände Nacht	-	-	161'015	295'219
Total Baukosten pro Fahrbahn	2'155'188	5'627'014	803'224	1'740'189
Total Baukosten EP RELU beim Einsatz der ASTRA Bridge	10'325'615			

Tabelle 8: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU mit der 3/1 Verkehrsführung für die FBZH und FBBE ÜS

Baukosten 3/1 [CHF]	3/1 Verkehrsführung	
	FBBE	FBZH
Fahrbahn		

Bauarbeiten EP RELU		
NPK 111 Regie	259'146	549'390
NPK 112 Prüfungen	42'683	90'488
NPK 113 Baustelleneinrichtung	18'368	895'815
NPK 223 Belagsarbeiten	2'113'821	4'481'301
NPK 286 Markierung	176'220	373'585
Total Bauarbeiten	2'610'238	5'532'004
Spezifische Aufwände 3/1 Verkehrsführung		
4 Ausstellbuchten	-	306'101
Zusätzliche Fahrzeugrückhaltesysteme	186'164	387'026
Zusätzliche Markierungen	92'269	191'821
TESI MÜF	98'262	204'282
Total spez. Aufwände 3/1 Verkehrsführung	376'695	1'089'230
Total Baukosten pro Fahrbahn	2'986'933	7'479'809
Total Baukosten EP RELU mittels 3/1 Verkehrsführung	10'466'742	

Tabelle 9: Übersicht der abgeschätzten Baukosten für den Belagsersatz beim EP RELU in reiner Nacharbeit für die FBZH und FBBE ÜS

Baukosten Nacht [CHF]	3:1 Verkehrsführung	
	FBBE	FBZH
Fahrbahn		
Bauarbeiten EP RELU		
NPK 111 Regie	259'146	549'390
NPK 112 Prüfungen	42'683	90'488
NPK 113 Baustelleneinrichtung	53'792	967'635
NPK 223 Belagsarbeiten	2'113'821	4'481'301
NPK 286 Markierung	176'220	373'585
Total Bauarbeiten	2'645'662	6'462'399
Spezifische Aufwände Spurabbau Nacht		
NPK 111 Nachtzuschläge	64'787	137'348
NPK 112 Nachtzuschläge	10'671	22'622
NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Ausrüstung und Arbeiten	52'014	108'135
NPK 113, 223 und 286 Nachtzuschläge Personal	62'976	127'680
Transporte bei ÜS Nacht	131'200	133'000
Zusatz Belagsfugenband quer	-	435
Spurabbau Normalspur bis 1500m	82'394	167'048
Total spez. Aufwände 3:1 Verkehrsführung	404'041	696'267
Total Baukosten pro Fahrbahn	3'049'703	7'158'666
Total Baukosten EP RELU mittels 3:1 Verkehrsführung	10'208'369	

6.2. Verkehr

Die berechnete verkehrliche Beeinträchtigung der ASTRA Bridge ist für alle betrachteten Überfahrtsgeschwindigkeiten deutlich geringer als bei einer 3/1 Verkehrsführung (siehe Tabelle 10), da die Länge der Verkehrsführung mit reduzierter Geschwindigkeit deutlich kürzer und die Gegenfahrbahn kaum betroffen ist. Geringere Überfahrtsgeschwindigkeiten führen zu grösseren Zeitverzögerungen. Mit dem weiteren Einsatz der ASTRA Bridge kann evtl. auch auf eine Geschwindigkeitsreduktion der Gegenfahrbahn verzichtet werden. Bei der 3/1 Verkehrsführung ist die Gegenfahrbahn gleichermassen beeinträchtigt wie die Fahrbahn in Baurichtung. In Tabelle 11, Tabelle 12 sind beispielhaft die Reisezeitverzögerungen eines Fahrzeugs in Baurichtung (ohne Gegenrichtung) an einem Werktag dargestellt.

Der Vorteil der 3/1 Verkehrsführung ist hingegen die fast nur halb so lange Bauzeit gegenüber der ASTRA Bridge, was die Nachteile jedoch nicht überwiegen kann.

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 weisen in Abhängigkeit der jeweiligen Reisezeitverlustwerte einen weiteren grossen Betrag auf, da der Anteil des Güter- und Geschäftsverkehrs relativ hoch ist.

An den Autobahnanschlüssen kann es mit einer 3/1 Verkehrsführung zu einem häufigeren Verkehrskollaps kommen, da es keine Spurwechsellmöglichkeit für die einfahrenden Fahrzeuge gibt. Dies zeigt sich insbesondere auf der FBBE, wo die 3/1 Baustelle dann zu sehr grossen Staus führt.

Es zeigt sich jedoch, dass die ASTRA Bridge am vorteilhaftesten gegenüber der 3/1 Verkehrsführung ist, wenn der Verkehr mit ca. 2'200 Fhz/h pro Richtung knapp unter der Kapazitätsgrenze fliesst (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). Bei Stunden mit einer Verkehrsüberlastung und ohnehin tiefen Fahrgeschwindigkeiten von um die 80 km/h sind die Differenzen zwischen den Varianten geringer, da die Geschwindigkeitslimite von 80 km/h auch auf einer langen Strecke mit 3/1 Verkehrsführung die Fahrzeit nicht mehr beeinflusst. Eine Verkehrszunahme verursacht daher auf der FBZH keine exponentielle Zunahme der Reisezeitverlustkosten.

Tabelle 10: Übersicht der täglich erzeugten zusätzlichen Verluststunden nach Fahrzeugkategorie und Fahrbahn mit Bauarbeiten (Baurichtung + Gegenrichtung).

2024	Variante	ASTRA Bridge 30 km/h		ASTRA Bridge 40 km/h		ASTRA Bridge 50		3/1 Verkehrsführung		Nächtlicher Spurabbau	
	Fahrbahn	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
PW – Personen- verluststunden	Werktage	849	606	613	492	507	428	4'359	2'098	0	0
	Werktagesnächte	53	43	47	36	41	32	181	168	181	168
	Wochenenden	790	653	639	530	526	455	5'105	2'134	0	0
	WE-Nächte	79	64	70	54	61	48	270	250	0	0
SGF - Fahrzeug- verluststunden	Werktage	102	71	72	58	59	50	524	245	0	0
	Werktagesnächte	6	5	5	4	5	4	21	19	21	19
	Wochenenden	75	62	61	50	50	43	484	203	0	0
	WE-Nächte	7	6	7	5	6	5	26	24	0	0
LI - Fahrzeugver- luststunden	Werktage	102	71	72	58	59	50	524	245	0	0
	Werktagesnächte	6	5	5	4	5	4	21	19	21	19
	Wochenenden	89	74	72	60	59	51	572	240	0	0
	WE-Nächte	9	7	8	6	7	5	30	28	0	0

Tabelle 11: Zusätzliche Fahrzeit [s] pro Fahrzeug in Baurichtung aufgrund der Bauarbeiten auf der FBZH an einem Werktag (100%= Verkehrsbelastung Spitzenstunde)

Verkehrsaufkommen	Normalzustand	ASTRA Bridge 30 km/h	ASTRA Bridge 40 km/h	ASTRA Bridge 50 km/h	3/1	Nächtlicher Spurrabbau
100% (2'815 Fhz/h)	745	32	22	15	68	-
90% (2'535 Fhz/h)	540	39	27	22	87	-
80% (2'250 Fhz/h)	505	34	27	22	94	-
10% (280 Fhz/h)	440	24	19	17	89	88

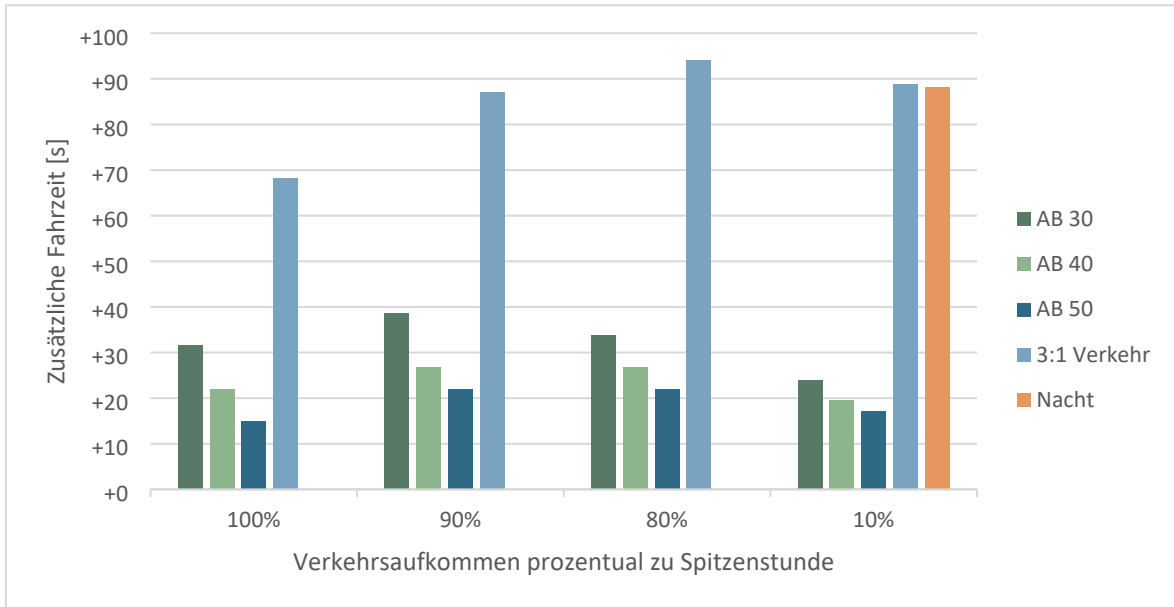


Abbildung 8: Zusätzliche Fahrzeit pro Fahrzeug in Baurichtung aufgrund der Bauarbeiten auf der FBZH, Werktag grafisch

Tabelle 12: Zusätzliche Fahrzeit [s] pro Fahrzeug in Baurichtung aufgrund der Bauarbeiten auf der FBBE an einem Werktag (100%= Verkehrsbelastung Spitzenstunde)

Verkehrsaufkommen	Normalzustand	ASTRA Bridge 30 km/h	ASTRA Bridge 40 km/h	ASTRA Bridge 50 km/h	3/1	Nächtlicher Spurrabbau
100% (3'145 Fhz/h)	990	80	35	26	374	-
90% (2'830 Fhz/h)	945	38	29	24	293	-
80% (2'515 Fhz/h)	920	29	23	18	208	-
10% (315 Fhz/h)	815	26	23	21	93	94

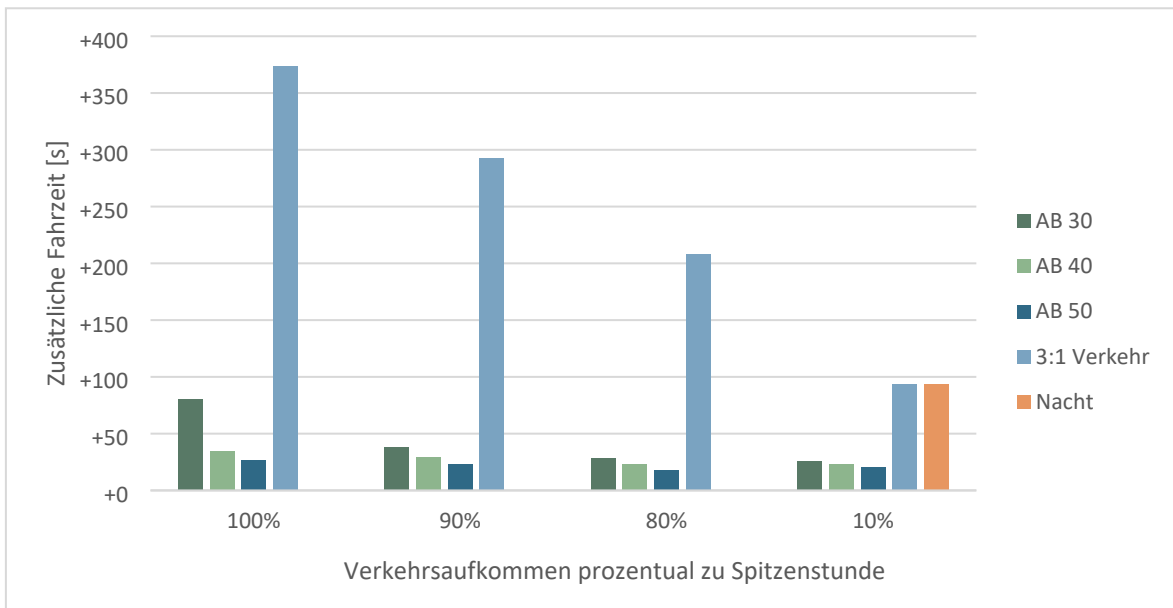


Abbildung 9: Zusätzliche Fahrzeit pro Fahrzeug in Baurichtung aufgrund der Bauarbeiten auf der FBBE, Werktag grafisch

6.2.1. Verkehr in 10 Jahren

Basierend auf den Prognosen des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) wird von einer jährlichen Verkehrszunahme von 0.5% auf dem Streckenabschnitt EP RELU ausgegangen (Annahme RK&P), was die Wichtigkeit einer Baustelle mit geringer Verkehrsflussstörung untermauert. Bis zum Jahr 2034 entspricht dies einer Verkehrszunahme von 5.11%. In Tabelle 13 sind die täglichen Verluststunden für das Jahr 2034 unter der angenommenen Verkehrszunahme dargestellt. Die Reisezeitverzögerungen wurden basierend auf den Verkehrsergebnissen 2024 aus Tabelle 11 und Tabelle 12 hergeleitet und die Zuteilung zu den entsprechenden Niveaus des Verkehrsaufkommens pro Stunde angepasst.

Es zeigt sich, dass die Reisezeitverluststunden zwar mit der Verkehrsbelastung zunehmen, jedoch nicht linear. Einerseits kann dies je nach Variante, mit dem im vorigen Kapitel beschriebenen Effekt erklärt werden, dass die Fahrzeuge bei hoher Belastung ohnehin schon langsamer fahren und damit die Verlustzeit kleiner wird. Andererseits bewirkt eine vermehrte Überlastung teilweise exponentiell vergrößerte Verzögerungen, z.B. auf der FBBE. Die Zunahme ist bei den PW tendenziell noch grösser, weil diese mit dem variablen Belegungsgrad multipliziert werden.

Tabelle 13: Übersicht der täglich erzeugten zusätzlichen Verluststunden nach Fahrzeugkategorie und Fahrbahn mit Bauarbeiten (Baurichtung + Gegenrichtung) für das Jahr 2034 inkl. Darstellung der prozentualen Veränderung gegenüber 2024 (Resultate Lieferwagen fast identisch zu SGF, daher nicht dargestellt).

2034	Variante	ASTRA Bridge 30 km/h		ASTRA Bridge 40 km/h		ASTRA Bridge 50 km/h		3/1 Verkehrsführung		Nächtlicher Spurabbau	
	Fahrbahn	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
PW – Perso- nenverlust- stunden Prozentuale Veränderung zu 2024	Werktage	1'145	697	712	552	567	480	5'854	2'318	0	0
	Werktagesnächte	57	47	51	39	44	35	197	183	197	183
	Wochenenden	1'070	684	705	546	571	468	5'908	2'173	0	0
	WE-Nächte	82	66	73	55	63	49	280	256	0	0
	Werktage	35%	15%	16%	12%	12%	12%	34%	10%	0%	0%
	Werktagesnächte	8%	9%	9%	8%	7%	9%	9%	9%	9%	9%
	Wochenenden	35%	5%	10%	3%	9%	3%	16%	2%	0%	0%
	WE-Nächte	4%	3%	4%	2%	3%	2%	4%	2%	0%	0%
SGF- Fahr- zeugverlust- stunden Prozentuale Veränderung zu 2024	Werktage	126	77	78	61	62	53	643	255	0	0
	Werktagesnächte	6	5	6	4	5	4	22	20	22	20
	Wochenenden	101	65	67	52	54	45	560	207	0	0
	WE-Nächte	8	6	7	5	6	5	27	24	0	0
	Werktage	24%	8%	8%	5%	5%	6%	23%	4%	0%	0%
	Werktagesnächte	0%	0%	20%	0%	0%	0%	5%	5%	5%	5%
	Wochenenden	35%	5%	10%	4%	8%	5%	16%	2%	0%	0%
	WE-Nächte	14%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%

6.3. Unfälle

Unter den basierend auf den konsultierten Studien getroffenen Abschätzungen zu den Unfallzahlen, gilt die ASTRA Bridge als sicherste Variante und führt demnach zu weniger Unfallkosten (siehe Tabelle 14). 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 Kosten wieder. Aufgrund der Zwischenetappen in der Nacht ist auch das Risiko für Personenschäden mit der Variante ASTRA Bridge leicht über 0.

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

Tabelle 14: Eintretenswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Unfallkategorien nach Variante über die Bauzeit

Zusätzliche Anzahl Unfälle	Unfälle		Personenschaden		Fataler Unfall	
	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE
ASTRA Bridge 30 km/h	1.678	0.810	0.266	0.204	0.012	0.007
ASTRA Bridge 40 km/h	1.678	0.810	0.266	0.204	0.012	0.007
ASTRA Bridge 50 km/h	1.678	0.810	0.266	0.204	0.013	0.008
3/1 Verkehrsführung	12.317	7.001	0	0	0.004	0.002
Nächtlicher Spurbau	0.675	0.550	0.506	0.412	0.016	0.011

6.4. Gesamtergebnisse

Tabelle 15 und Tabelle 16 stellen die Zusammenstellung aus den summierten Baukosten, den EbEN-Ergebnissen für die Verkehrs- und Unfallkosten, sowie die Annuität und Unterhaltskosten dar. Die grafische Darstellung ist in Abbildung 10 & Abbildung 11 visualisiert. Die Kosten der jeweiligen Kategorien sind immer in CHF pro Fahrbahn und Variante aufgeführt.

Auch mit Berücksichtigung der Annuität und Unterhaltskosten 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 angezeigt. Die Variante 'nächtlicher Spurabbau' erweist sich unter den monetarisierbaren Kriterien insgesamt als günstigste Option, es sind jedoch die qualitativen Faktoren zu berücksichtigen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 15: Übersicht der geschätzten zusätzlichen Kosten für den Belagsersatz am EP Rechterswil – Luterbach mit der ASTRA Bridge und mit 3:1 Verkehrsführung im Vergleich zum Referenzzustand ohne bauliche Massnahmen.

Zusätzliche Kosten pro Variante [CHF]	ASTRA Bridge 30 km/h		ASTRA Bridge 40 km/h		ASTRA Bridge 50 km/h		3/1 Verkehrsführung	
	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
Baukosten	2'959'000	7'367'000	2'988'000	7'367'000	2'959'000	7'367'000	2'987'000	7'480'000
Annuität ASTRA Bridge bzw. Vario Guards (Amortisation)	513'000	1'183'000	513'000	1'183'000	513'000	1'183'000	28'000	49'000
Unterhaltskosten ASTRA Bridge	21'000	53'000	21'000	53'000	21'000	53'000	0	0
Reisezeitverlustkosten	2'060'000	3'220'000	1'590'000	2'700'000	1'360'000	2'400'000	5'810'000	4'700'000
Betriebskosten Fahrzeuge	670'000	1'020'000	510'000	850'000	430'000	760'000	1'870'000	1'490'000
Unfallkosten	100'000	180'000	100'000	180'000	100'000	190'000	420'000	750'000
Reisezeitverlustkosten infolge Unfall	7'000	14'000	7'000	14'000	7'000	14'000	58'000	103'000
Total pro Fahrbahn	6'330'000	13'037'000	5'700'000	12'347'000	5'390'000	11'967'000	11'173'000	14'572'000
Total Projekt EP RELU	19'367'000		18'047'000		17'357'000		25'745'000	

Tabelle 16: 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.

Zusätzliche Kosten pro Variante [CHF]	ASTRA Bridge 30 km/h		ASTRA Bridge 40 km/h		ASTRA Bridge 50 km/h		3/1 Verkehrsführung		Nächtlicher Spurabbau	
	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH	FBBE	FBZH
Baukosten	2'959'000	7'367'000	2'988'000	7'367'000	2'959'000	7'367'000	2'987'000	7'480'000	3'050'000	7'158'000
Annuität ASTRA Bridge bzw. Vario Guards (Amortisation)	513'000	1'183'000	513'000	1'183'000	513'000	1'183'000	28'000	49'000	0	0
Unterhaltskosten ASTRA Bridge	21'000	53'000	21'000	53'000	21'000	53'000	0	0	0	0
Reisezeitverlustkosten	2'060'000	3'220'000	1'590'000	2'700'000	1'360'000	2'400'000	5'810'000	4'700'000	120'000	240'000
Betriebskosten Fahrzeuge	670'000	1'020'000	510'000	850'000	430'000	760'000	1'870'000	1'490'000	40'000	70'000
Unfallkosten	100'000	180'000	100'000	180'000	100'000	190'000	420'000	750'000	120'000	170'000
Reisezeitverlustkosten infolge Unfall	7'000	14'000	7'000	14'000	7'000	14'000	58'000	103'000	8'000	6'000
Total pro Fahrbahn	6'330'000	13'037'000	5'700'000	12'347'000	5'390'000	11'967'000	11'173'000	14'572'000	3'338'000	7'644'000
Total Projekt EP RELU	19'367'000		18'047'000		17'357'000		25'745'000		10'982'000	

Zusätzliche, nicht monetarisierte Faktoren für Bauarbeiten in der Nacht	
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.
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.
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.

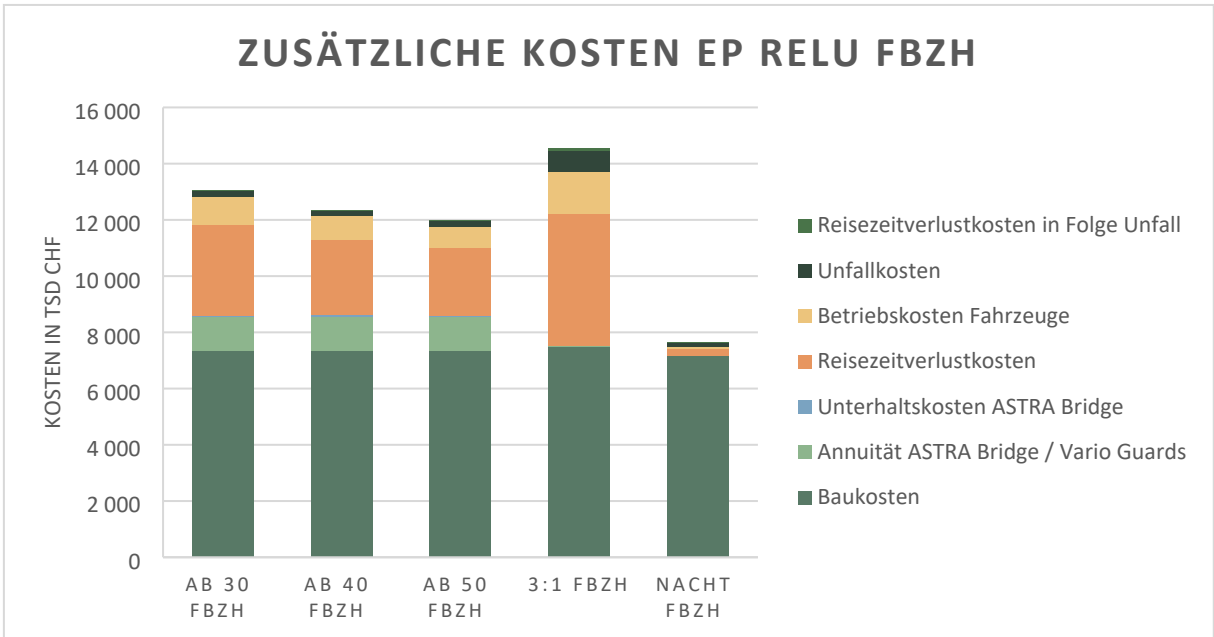


Abbildung 10: Visualisierung der zusätzlichen Kosten der einzelnen Varianten im Vergleich zum Referenzzustand für den Belagsersatz auf der Fahrbahn Fahrtrichtung Zürich (FBZH)

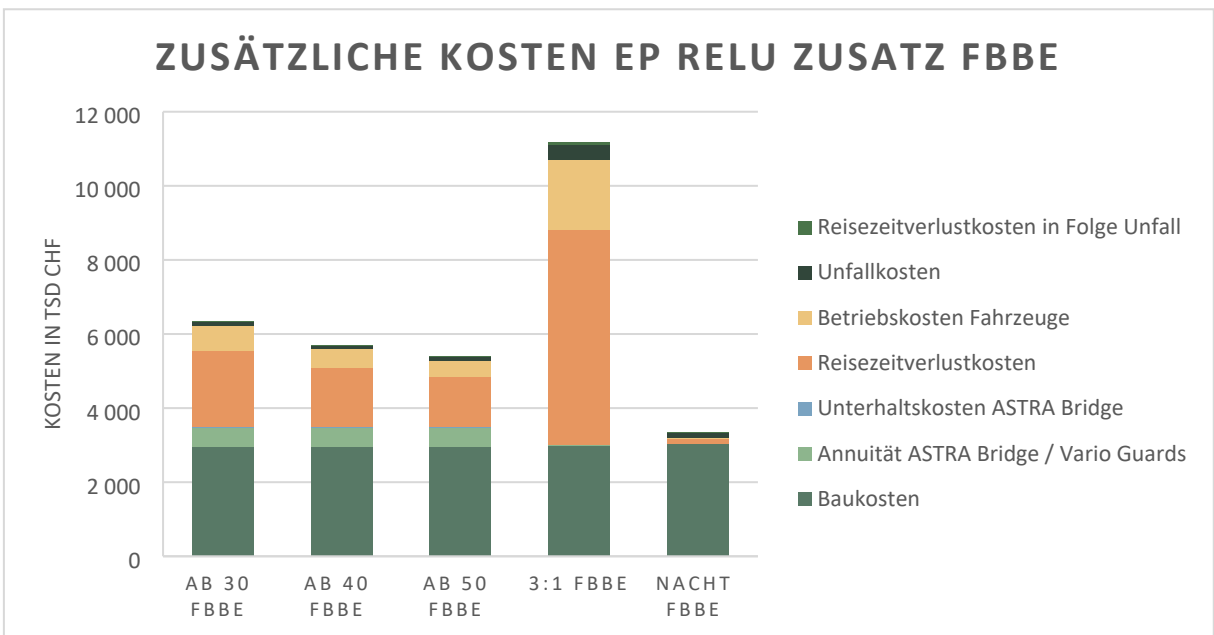


Abbildung 11: Visualisierung der zusätzlichen Kosten der einzelnen Varianten im Vergleich zum Referenzzustand für den Belagsersatz auf der Fahrbahn Fahrtrichtung Bern (FBBE)

6.5. Qualitative Aspekte

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

- **Soziale Effekte:**

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.

- **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 der Lärmschutzmatten gedämpft. Der Verkehr wird jedoch auf dem kurzen Baustellenabschnitt über die Höhe bestehender Lärmschutzwände gehoben, was zu einer stärkeren Lärmbelastung führen kann. Das Ausmass ist während des Einsatzes zu beobachten.

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 aufs Endergebnis keine relevante Wirkung hat.

- **Organisation:**

Je nach Baumethode kann es zu organisatorischen Herausforderungen kommen. Dies erfordert eine Abstimmung mit Drittprojekten unter Berücksichtigung der Hindernisse oder Niveauunterschiede der Fahrbahnen. Mit den zunehmend gekürzten Nachtfenstern wird es organisatorisch immer schwerer, Nachtarbeiten sinnvoll auszuführen.

7. Gesamtbeurteilung

Die ASTRA Bridge hat das Potenzial, eine wirtschaftlich attraktive Alternative zu den konventionellen Baumethoden wie der 3/1 Verkehrsführung zu werden. Die Resultate zeigen, dass die Variante ASTRA Bridge im Fall der Belagssanierung am Erhaltungsprojekt Rechterswil-Luterbach in beide Richtungen für alle untersuchten Überfahrtsgeschwindigkeiten über die ASTRA Bridge (30 km/h, 40 km/h und 50 km/h) 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.

Bei Überfahrtsgeschwindigkeiten unter 30 km/h kann davon ausgegangen werden, dass der wirtschaftliche Vorteil für die Fahrtrichtung Zürich entfällt. Aufgrund der erfolgreichen Testfahrten im Herbst 2023 wird jedoch damit gerechnet, dass beim Einsatz der ASTRA Bridge 2024 höhere durchschnittliche Überfahrtsgeschwindigkeiten erreicht werden. Da es sich bei der ASTRA Bridge um einen Prototyp im Ersteininsatz handelt, können weitere Optimierungen in Zukunft notwendig sein.

Insbesondere beim Einsatz in Fahrtrichtung Bern wurde ein grosser Mehrwert der ASTRA Bridge berechnet. Ein Grund dafür ist die Verkehrsüberlastung der Anschlüsse bei einer 3/1 Verkehrsführung, die keine Spurwechsel erlaubt.

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.

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 stark variieren. Eine Variantenprüfung in Form einer einfachen KNA jeweils vorgängig zum Einsatz ist zu empfehlen.

Mit Beginn des Einsatzes der ASTRA Bridge beim Erhaltungsprojekt Rechterswil-Luterbach im Frühling 2024 wird ein laufendes Verkehrsmonitoring durch RK&P durchgeführt. Die aktuell noch teilweise hypothetische Basis der vorliegenden KNA kann dann mit Messdaten besser abgestützt werden. Die Daten zu den Verkehrsmengen, Bauzeiten, Herausforderungen und Unfällen werden gesammelt und in die KNA eingefügt. Eine vollständige Beurteilung kann daher erst nach dem Einsatz der ASTRA Bridge im Sommer 2024 gegeben werden. Dann können die Ergebnisse auch auf andere Projekte mit ähnlichen Verhältnissen übertragen werden.

Literaturverzeichnis

- 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.
- Muralti, J.-L., Maksim, H., Siegesthaler, C., Popović, J., Balmer, M., Danalet, A., & Biedermann, F. (2023). *Mobilitätsverhalten der Bevölkerung*. 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)*