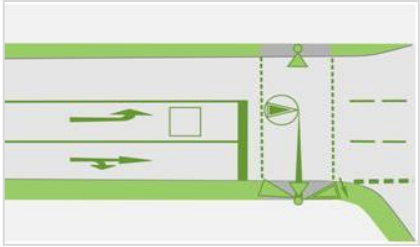
SCHLOTHAUER & WAUER

Ammertalbahn
Rückstausituationen
Bahnübergänge

Verkehrsuntersuchung und Simulation



Ammertalbahn:
Verkehrstechnische Untersuchungen zu Rückstausituationen im Zusammenhang mit den Schrankenschließungen an 3 Bahnübergängen im Zuge der Ammertalbahn

Auftraggeber:	Zweckverband ÖPNV im Ammertal Wilhelm-Keil-Str. 50 72072 Tübingen
Auftragnehmer:	SCHLOTHAUER & WAUER Ingenieurgesellschaft für Straßenverkehr mbH Im Schelmen 7/1 72072 Tübingen
Projektnummer:	2024-0212
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Philipp Sirch
E-Mail:	philipp.sirch@schlothauer.de
Telefon:	07071/54 99 235
Datum:	November 2024

INHALT

1 AUFGABENSTELLUNG 4

1.1 Übersicht 4

1.2 Vorgehen und Aufbau Untersuchungsbericht 5

2 GRUNDLAGEN 7

2.1 Verkehrszahlen 7

2.2 Fahrplan und Schrankenschließzeiten 7

2.3 Lichtsignalanlagen und Bahnübergänge 8

2.4 Grundlagen der Simulation 9

2.5 Erläuterung Bewertungsmethodik auf Basis der Simulationen 10

3 AUSWERTUNGSERGEBNISSE DER RÜCKSTAULÄNGENBETRACHTUNGEN .. 12

3.1 Szenario 1 12

3.1.1 Auswertungsergebnisse 12

3.1.2 Interpretation Auswertungsergebnisse 12

3.1.3 Morgenspitzenstunde 12

3.1.4 Abendspitzenstunde 13

3.2 Szenario 2 14

3.2.1 Auswertungsergebnisse 14

3.2.2 Interpretation Auswertungsergebnisse Morgen- und Abendstunde 14

3.2.3 Vergleich zu Szenario 1 14

4 THEORETISCHE BETRACHTUNGEN UND ÖRTLICHE BESONDERHEITEN 16

4.1 Theoretische Betrachtung Leistungsfähigkeit Bahnübergang 16

4.2 Örtliche Besonderheiten 17

4.2.1 BÜSTRA Pfäffingen 17

4.2.2 Zuflussoptimierung Unterjesingen 17

4.2.3 LSA B296 / Rottenburger Straße (K654) in Unterjesingen 18

5 ZUSAMMENFASSUNG 19

6 LITERATURVERZEICHNIS 20

ABBILDUNGEN

Bild 1: Untersuchungsbereich Bahnübergänge Pfäffingen und Unterjesingen mit Hervorhebung der umgebenden Lichtsignalanlagen 4
Bild 2: Aufbau Untersuchungsbericht 5
Bild 3: Erläuterung Bewertungsmethodik Rückstaulängen 10

TABELLEN

Tabelle 1: Durchgeführte Verkehrszählungen 04/2024 7
Tabelle 2: Lichtsignalanlagen im Untersuchungsgebiet 8
Tabelle 3: Theoretischer Abfluss an Bahnübergang über eine freie Strecke 16

ANLAGEN

Anlage 1 Verkehrszahlen Szenario 1 (Zählung 2024). Quelle: Schlothauer & Wauer
- Anlage 1.1 Morgenspitzenstunde (maximal)
- Anlage 1.2 Abendspitzenstunde (maximal)

Anlage 2 Verkehrszahlen Szenario 2 (Zählung 2024). Quelle: Schlothauer & Wauer
- Anlage 2.1 Morgenstunde 08:00 - 09:00 Uhr
- Anlage 2.2 Abendstunde 17:00 – 18:00 Uhr

Anlage 3 Schrankenschließungen im zeitlichen Verlauf auf Basis des Fahrplans
- Anlage 3.1 Nullfall, morgendliche und abendlicher Verlauf
- Anlage 3.2 Planfall, morgendlicher und abendlicher Verlauf

Anlage 4 Rückstaulängendiagramme
- Anlage 4.1 Szenario 1 – Morgen- und Abendspitzenstunde
- Anlage 4.2 Szenario 2 – Morgen- und Abendstunde

Anlage 5 Örtliche Besonderheiten in der Verkehrssteuerung und im Verkehrsablauf
- Anlage 5.1 Zuflussoptimierung westliche Ortseinfahrt Unterjesingen
- Anlage 5.2 Bahnübergang Unterjesingen / K654

1 Aufgabenstellung

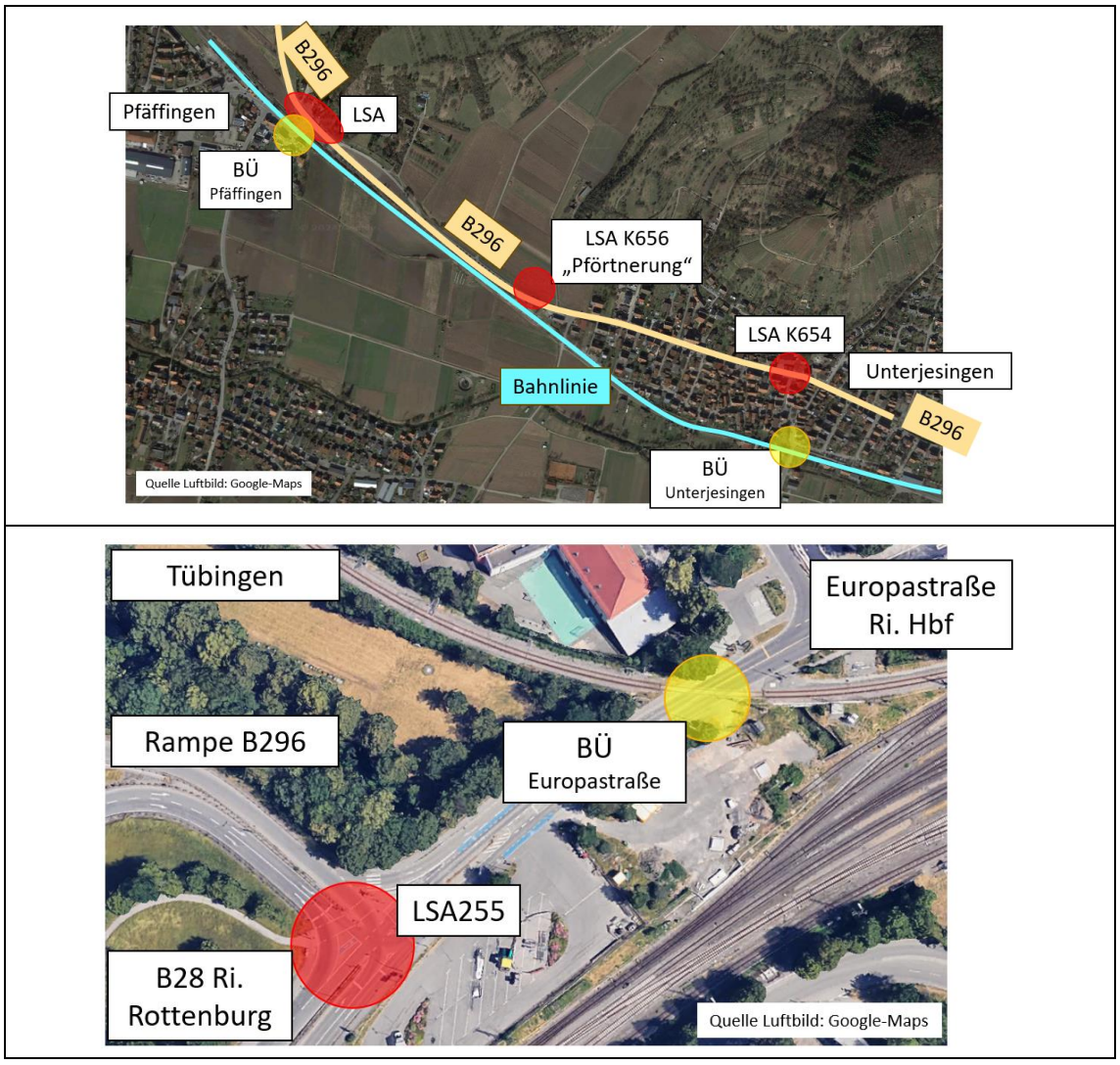
1.1 Übersicht

Auf der Ammertalbahn zwischen Tübingen und Herrenberg haben die Fahrgastzahlen seit der Reaktivierung 1999 zugenommen. Um die Nachfrage besser bedienen zu können, ist vorgesehen, einen neuen Fahrplan mit verdichteter Taktfolge einzuführen. Die verdichtete Taktfolge führt auf der Strecke zu häufigeren Schrankenschließungen und somit zu veränderten Auswirkungen auf das umgebenden Straßenverkehrsnetz.

Die vorliegende Untersuchung soll die Auswirkungen der veränderten Schrankenschließzeiten infolge der Taktverdichtung auf das Straßenverkehrsnetz an drei Bahnübergängen (Pfäffingen, Unterjesingen und Europastraße (Tübingen)) überprüfen. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die Rückstauungen im Kfz-Verkehr zu legen, da diese bereits im Bestand ohne verdichtete Taktfolge zu Behinderungen im nachfolgenden Verkehrsnetz führen.

In Bild 1 ist zur Übersicht der relevante Untersuchungsbereich dargestellt.

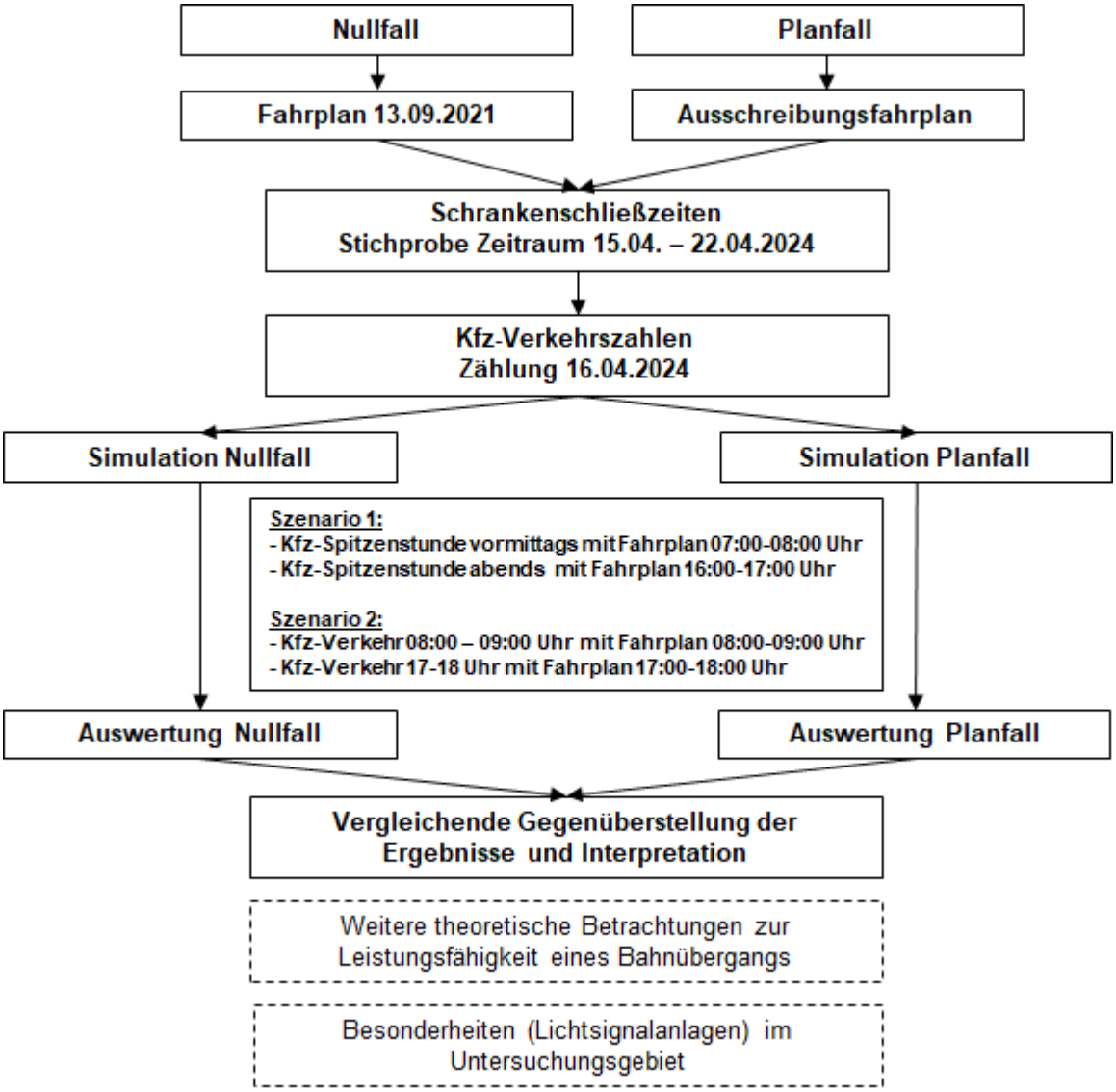
Bild 1: Untersuchungsbereich Bahnübergänge Pfäffingen und Unterjesingen mit Hervorhebung der umgebenden Lichtsignalanlagen



1.2 Vorgehen und Aufbau Untersuchungsbericht

In Bild 2 ist der Aufbau des vorliegenden Untersuchungsberichts skizziert.

Bild 2: Aufbau Untersuchungsbericht



Zu Beginn werden die Grundlagen zusammengetragen, u.a. die Verkehrszählungen und Fahrplangrundlagen mit den zugehörigen Schrankenschließzeiten. Folgende Fahrpläne werden dabei betrachtet:

- ***Fahrplan 13.09.2021***: Fahrplan gemäß dem Stand 13.09.2021: Dies stellt den Nullfall dar.
- ***Ausschreibungsfahrplan***: Fahrplan gemäß der aktuellen Ausschreibung mit Taktverdichtung. Dies stellt den Planfall dar.

Im vorliegenden Untersuchungsbereich liegen dynamischen Wechselwirkungen zwischen den Schrankenschließungen und dem umgebenden Verkehrsnetz mit den

Lichtsignalanlagen vor. Um die auftretenden Rückstauungen infolge der Schrankenschließungen bewerten zu können, wird ein Simulationstool eingesetzt.

Es werden sowohl der Nullfall als auch der Planfall simulativ untersucht und ausgewertet. Dabei werden im Nullfall und Planfall in Bezug auf die angesetzten Kfz-Verkehrsstärken und in Bezug auf die Zeitbereiche des Fahrplans zwei Szenarien betrachtet:

- Szenario 1:
    - Kfz-Spitzenstunde vormittags mit Fahrplan 07:00 – 08:00 Uhr
    - Kfz-Spitzenstunde nachmittags mit Fahrplan 16:00 - 17:00 Uhr
    - Bei den Kfz-Spitzenstunden werden an den jeweiligen Bahnübergängen und Knotenpunkten die stärksten Belastungen zwischen 06:00 und 10:00 Uhr bzw. zwischen 15:00 und 19 Uhr angesetzt. Bei den Fahrplänen werden die Fahrtverläufe der Zeitbereiche 07:00 – 08:00 Uhr und 16:00 – 17:00 angesetzt, da hier das höchste Zugverkehrsaufkommen vorliegt (Verstärkerfahrten bzw. Schülerverkehr).
    - In diesem Szenario wird somit das maximale Verkehrsaufkommen sowohl im Straßenverkehr als auch im Schienenverkehr miteinander kombiniert. Dabei ist zu beachten, dass das Zugverkehrsaufkommen im Nullfall und Planfall bspw. in der Abendspitzenstunde aufgrund von Verstärkerfahrten im Nullfall gleich hoch ist.
- Szenario 2:
    - Kfz-Verkehr 08:00 - 09:00 Uhr mit Fahrplan 08:00 – 09:00 Uhr
    - Kfz-Verkehr 17:00 - 18:00 Uhr mit Fahrplan 17:00 -18:00 Uhr
    - In diesem Szenario wird der Fall betrachtet, dass es vom Nullfall zum Planfall hin eine wesentliche Zunahme an Schrankenschließungen vorliegt bei gleichzeitig hohem Verkehrsaufkommen.
    - Das Szenario 2 wird nur an den Bahnübergängen Pfäffingen und Unterjesingen betrachtet.

Die Auswertungsergebnisse der Simulationen des Null- und Planfalls mit den jeweiligen Szenarien werden vergleichend gegenübergestellt und interpretiert.

Abschließend werden theoretische Betrachtungen zur Leistungsfähigkeit eines Bahnübergangs durchgeführt.

2 Grundlagen

2.1 Verkehrszahlen

Am 16.04.2024 sind umfangreiche Verkehrszählungen vorgenommen worden. Dabei sind die für die vorliegende Untersuchungsaufgabe wesentlichen Knotenpunkte bzw. Lichtsignalanlagen (LSA) und Bahnübergänge (BÜ) erfasst worden, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Durchgeführte Verkehrszählungen 04/2024

Bahnübergang Pfäffingen mit Einmündung B296 / Nagolder Straße
Unterjesingen: LSA K654 (B296 / Rottenburger Straße)
Bahnübergang Unterjesingen
Tübingen: LSA K255 (Europastraße / Rampen B28, B296)
Tübingen: Einmündung Europastraße / Derendinger Allee mit BÜ Europastraße

Im vorangegangenen Abschnitt wurde erläutert, welche Verkehrsbelastungen für das Szenario 1 und für das Szenario 2 angesetzt werden.

- In Anlage 1 sind die Verkehrszahlen des Szenarios 1 aufbereitet.
- In Anlage 2 sind die Verkehrszahlen des Szenarios 2 aufbereitet.

Für weitergehende Details sei auf die jeweiligen Berichte der Verkehrszählungen verwiesen ([1]).

2.2 Fahrplan und Schrankenschließzeiten

Für die Bewertung der Auswirkungen der Schrankenschließzeiten auf das nachgeordnete Straßenverkehrsnetz sind sowohl die Dauer der einzelnen Schließungen als auch die zeitliche Lage und Abfolge innerhalb der betrachteten Stunden wesentlich.

<u>Dauer Schrankenschließzeit:</u>

- Durch den Zweckverband Ammertalbahn wurden 2024 die Schließzeiten der Bahnübergänge ausgelesen und ausgewertet.
- Dabei wurde die Dauer der Schrankenschließzeit nach Regeltakt und Zwischentakt unterschieden, da beide Schrankenschließzeiten systembedingt unterschiedliche Dauern aufweisen.
- Der tageszeitliche Verlauf der Schrankenschließzeiten wurde ebenfalls berücksichtigt, da sich hier ebenfalls systembedingte Unterschiede ergeben können (Fahrgastwechselaufkommen an den Haltestellen/Bahnhöfen).
- Daraus wurden die mittleren Schrankenschließzeiten je nach Takt für den morgendlichen und abendlichen Zeitbereich abgeleitet.

- Die Dauer der Schrankenschließzeit umfasst alle betriebsbedingten Vor- und Nachläufe der Ammertalbahn. Demzufolge ist die Dauer der Schrankenschließzeit die Zeit, zu der der Kfz-Verkehr nicht abfließen kann („erstes wartende Fahrzeug vor der Schranke/Ampel“).

Lage und Abfolge Schrankenschließzeit:

- Auf Basis der Fahrpläne des Null- und Planfalls wurden mit Hilfe der Bildfahrpläne durch den Zweckverband Ammertalbahn die Zeitpunkte der Querung der Bahnübergänge übermittelt.
- Auf die Zeitpunkte der Querung der Bahnübergänge wurden die mittleren Schrankenschließzeiten gelegt (je nach Tageszeit und Takt unterschiedliche Längen).

Die Ergebnisse der Ermittlung der Schrankenschließzeiten und deren Lage und Abfolge in den betrachteten vormittäglichen und nachmittäglichen Stunden sind grafisch aufbereitet worden. Siehe hierzu:

- Nullfall, vormittäglicher und nachmittäglicher Ablauf: Anlage 3.1
- Planfall, vormittäglicher und nachmittäglicher Ablauf: Anlage 3.2

2.3 Lichtsignalanlagen und Bahnübergänge

In Tabelle 2 sind die Lichtsignalanlagen und Bahnübergänge des Untersuchungsgebiets aufgelistet.

Tabelle 2: Lichtsignalanlagen im Untersuchungsgebiet

BÜ Pfäffingen	Bahnübergang mit BÜSTRA-Anlage. Zur weiteren Erläuterung siehe Abschnitt 4.2.1.
LSA 656 Unterjesingen	Zuflussoptimierung vor der westlichen Ortseinfahrt Unterjesingens. Zur weiteren Erläuterung siehe Abschnitt 4.2.2
LSA 654 Unterjesingen	Signalisierte Einmündung B296 / Rottenburger Straße. Zur weiteren Erläuterung siehe Abschnitt4.2.3.
BÜ Unterjesingen	Bahnübergang auf „freier Strecke“.
LSA 255	Steuerung der Einmündung Rampen B28 / Europastraße.
BÜ Europastraße	Bahnübergang auf „freier Strecke“.

Alle Lichtsignalanlagen und Bahnübergänge werden in der Simulation verkehrsabhängig geschaltet. In der Simulation sind die Originalsteuerungen der Lichtsignalanlagen versorgt. Die Bahnübergänge werden gemäß den Schrankenschließzeiten nach Abschnitt 2.2 geschaltet.

2.4 Grundlagen der Simulation

Zur Beurteilung der Rückstausituationen infolge der Schrankenschließungen wird ein detailliertes Simulationsmodell im Programmsystem VISSIM von PTV aufgebaut.

Dabei können die dynamisch auftretenden Rückstaulängen infolge der Schrankenschließungen und aufgrund der Lichtsignalanlagen aufgezeichnet werden auf Basis der vorhandenen Verkehrsmengen.

Die Simulationen mit VISSIM bilden dabei dynamische Verkehrseffekte wie beispielsweise Schrankenschließungen oder verkehrsabhängige Steuerungen realitätsgetreu ab. Das Verkehrsflussmodell von VISSIM ist ein stochastisches, zeitschrittbasiertes, mikroskopisches Modell, bei dem Fahrer-Fahrzeug-Kombinationen als elementare Einheiten betrachtet werden. Es wird dabei zwischen Längs- und Querbewegungen der Fahrzeuge unterschieden. Für die Längsbewegung existiert ein psycho-physisches Fahrzeugfolgemodell nach WIEDEMANN. Das Fahrzeugfolgemodell nach WIEDEMANN wird mittels verschiedener Parameter auf die jeweilige Simulation angepasst. Aufgrund des stochastischen Charakters der Simulation können zufällige Schwankungen, welche durch die sogenannte Startzufallszahl erzeugt werden, in den Ergebnissen der einzelnen Simulationsläufe auftreten. Um eine zuverlässige Aussage über die verkehrliche Situation der simulierten Varianten zu erhalten, werden je Szenario zehn Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt. Die Bewertungsergebnisse werden anschließend über alle Simulationsläufe. Interpretiert, so dass einzelne auftretende Schwankungen nivelliert werden. Bevor die Messergebnisse in VISSIM aufgezeichnet wurden, wurde zuerst das Verkehrsnetz entsprechend mit Verkehrsmengen gefüllt.

- In den Simulationen werden die Lichtsignalanlagen verkehrsabhängig geschaltet. Die Zuflussoptimierung vor der Ortsdurchfahrt Unterjesingen wird in den Simulationen in der Morgenspitzenstunde zwischen 07:00-08:00 als aktiv angesetzt.
- Die Schrankenschließungen sind fahrplangetreu je nach Null- und Planfall versorgt.

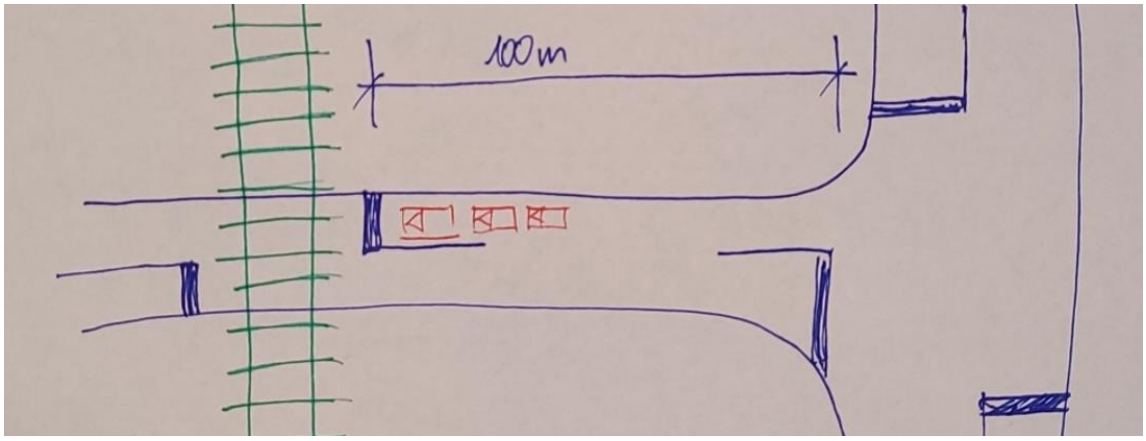
Die Bewertungen der Simulationen mit VISSIM ergeben ein aussagekräftiges Gesamtbild, um die Rückstaulängen infolge der Schrankenschließungen im untersuchten Plangebiet zu bewerten und zu beurteilen.

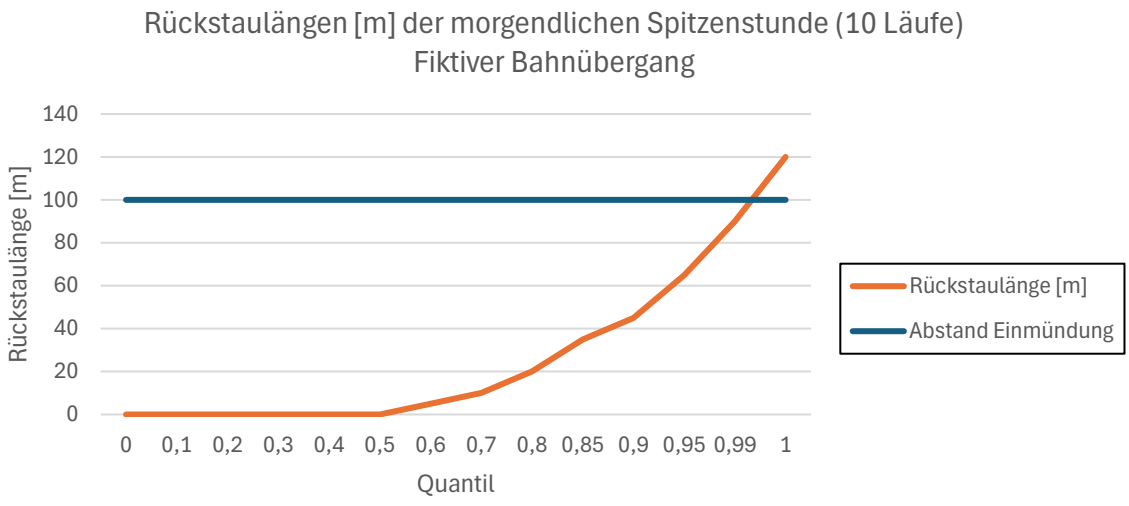
2.5 Erläuterung Bewertungsmethodik auf Basis der Simulationen

Die Rückstaulängen werden in den Simulationen sekündlich aufgezeichnet. In VISSIM werden alle Fahrzeuge in die Rückstaulänge einbezogen, die ausgehend vom betrachteten Querschnitt langsamer als 5 km/h fahren. Die Staudefinition der Fahrzeuge, sobald sie einmal langsamer als 5 km/h gefahren sind, wird erst wieder aufgehoben, wenn die Geschwindigkeit mehr als 10 km/h beträgt. Somit wird der Fall realistische abgebildet, dass am Beginn der „Fahrzeugschlange“ bereits wieder angefahren wird, das „Rückstauende“ trotzdem anwächst durch neu ankommende Fahrzeuge.

In Bild 3 ist ein fiktiver Bahnübergang in einem Abstand von 100 m zu einer Einmündung dargestellt. Bei einer Schrankenschließung interessiert besonders, mit welcher Wahrscheinlichkeit die auftretenden Rückstaulängen zu einer Beeinträchtigung der Einmündung bzw. des nachgelagerten Verkehrsnetzes ohne direkten Bezug zum Bahnübergang führen.

Bild 3: Erläuterung Bewertungsmethodik Rückstaulängen





In Bild 3 ist das Auswertungsdiagramm der Rückstaulängen des fiktiven Beispiels dargestellt:

- Dem Diagramm liegt eine Datenbasis von 10 Simulationen zugrunde. Demzufolge ist die Datenbasis 10 * 3.600 s = 36.000 aufgezeichnete Rückstaulängen (1 h = 3.600 s).
- Die x-Achse gibt an, welcher Anteil der Werte kleiner ist als die zugehörige Länge auf der y-Achse – daraus ergibt sich gleichzeitig der Anteil der Werte größer der zugehörigen Länge auf der y-Achse (100 – x).
- Der Quantilswert von 1 gibt die maximal erfasste Rückstaulänge der 10 Simulationsläufe an.

Im Folgenden sind Ablesebeispiele des Diagramms aus Bild 3 zum Verständnis aufgelistet:

- 50 % der aufgezeichneten Rückstaulängen liegen bei 0 m, demzufolge lag zur Hälfte der aufgezeichneten Zeit kein Rückstau vor.
- 85 % der aufgezeichneten Rückstaulängen liegen unter 40 m. Im Umkehrschluss sind 15 % der aufgezeichneten Rückstaulängen größer als 40 m.
- Die maximal aufgetretene Rückstaulänge (einmalig) lag bei 120 m.
- Die aufgetretenen Rückstaulängen des Bahnübergangs beeinflussen die benachbarte Einmündung nahezu nicht.

Im nächsten Abschnitt werden die aufgezeichneten Rückstaulängen der Simulationen gemäß der vorgestellten Bewertungsmethodik ausgewertet und interpretiert.

3 Auswertungsergebnisse der Rückstaulängenbetrachtungen

3.1 Szenario 1

3.1.1 Auswertungsergebnisse

Die Auswertungsergebnisse des Szenarios 1 sind in Anlage 4.1 gemäß der beschriebenen Auswertungssystematik nach Abschnitt 2.5 abgelegt.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Diagramme interpretiert und die wesentlichen Aussagen zusammengefasst.

3.1.2 Interpretation Auswertungsergebnisse

3.1.3 Morgenspitzenstunde

In der Morgenspitzenstunde gibt es im Verlauf der Rückstaulängen insbesondere am BÜ Pfäffingen zwischen dem Nullfall und Planfall Unterschiede, da u.a. im Planfall (ca.) 2 Fahrten mehr in der morgendlichen Spitzenstunde zu erwarten sind.

<u>BÜ Pfäffingen</u>

- Die Rückstaulängen der Linksabbieger von der B296 in Richtung Poltringen erreichen im Planfall keine kritischen Rückstaulängen (Rückstaulängen kleiner als die jeweiligen Fahrstreifenlängen).
- Die Rückstaulängen der Rechtsabbieger von der B296 in Richtung Poltringen verlaufen im Null- und Planfall ähnlich und können auf die B296 zurückstauen. Kommt es zu einer Überstauung, steigen der Rückstaulängen steil an, da sich nunmehr auch die Fahrzeuge der stark nachgefragten West-Ost-Hauptrichtung der B296 im Rückstau befinden.
- Die Rückstaulängen von Poltringen in Richtung B296 nehmen deutlich zu. Wesentliche Ursache ist hier jedoch der Abfluss der B296 (Zuflussoptimierung Unterjesingen bzw. Leistungsengpass Ortsdurchfahrt Unterjesingen) und nicht die Schrankenschließung. Zur ausführlichen Erläuterung siehe Abschnitt 4.2.2.

<u>BÜ Unterjesingen</u>

- Die Rückstaulängen von Unterjesingen in Richtung Rottenburg erreichen die LSA B296/Rottenburger Straße (K654) auch im Planfall nur mit geringer Wahrscheinlichkeit.
- Die Rückstaulängen von Rottenburg kommend in Richtung Ortsmitte sind im Planfall in den Spitzenstunden über einen größeren Zeitraum vorhanden, die absoluten Spitzen verlaufen ähnlich.

<u>BÜ Europastraße</u>

- Hier liegen geringe Verkehrsmengen im Kfz-Verkehr vor.
- Die Unterschiede zwischen Nullfall und Planfall in Bezug auf die auftretenden Rückstaulängen sind gering.

Bei einem Wechsel vom Nullfall zum Planfall gemäß den Randbedingungen „Szenario 1, Morgenspitzenstunde“ sind keine wesentlichen Verschlechterungen im Verkehrsablauf im Zuge der B296 und an der Europastraße zu erwarten. Der wesentliche Anstieg der Rückstaulängen am Bahnübergang Pfäffingen in Richtung Poltringen betrifft das nachgeordnete Verkehrsnetz.

3.1.4 Abendspitzenstunde

Der Verlauf der Rückstaulängen im Nullfall und Planfall ist ähnlich, da bereits im Nullfall Verstärkerfahrten vorhanden sind, so dass es eine zum Planfall vergleichbare Häufigkeit der Schrankenschließungen gibt. Zu beachten ist, dass die zeitliche Lage der Schrankenschließzeiten im Nullfall tlw. ungünstiger ist als im Planfall (siehe Anlage 3).

Neuralgische Rückstaulängen sowohl im Nullfall als auch im Planfall sind:

- BÜ Pfäffingen: Rechtsabbieger von der B296 in Richtung Poltringen (i.d.R. nur kurzzeitig).
- BÜ Pfäffingen: Linksabbieger von der B296 in Richtung Poltringen.
    - Hier ist bereits ein verkehrsabhängiges Räumen der Linksabbieger mit einer Stauschleife implementiert.
    - Siehe zur ausführlichen Erläuterung auch Abschnitt 4.2.1.
- BÜ Unterjesingen: Linksabbieger von der B296 in Richtung Rottenburg.
    - Hier treten auch Überstauungen unabhängig vom Bahnübergang auf.
    - Der Abbiegefahrstreifen ist kurz. Eine Stauüberwachung mit Stauschleife und Doppelanwurf ist implementiert.
- Für die neuralgischen Rückstaulängen gilt
    - Überstauungen der Abbiegefahrstreifen führen sehr schnell zu großen Rückstaulängen aufgrund der Verkehrsmenge auf der B296.
    - Die Rückstauungen werden in der Regel wieder abgebaut.

Bei einem Wechsel vom Nullfall zum Planfall gemäß den Randbedingungen „Szenario 1, Abendspitzenstunde“ sind keine wesentlichen Verschlechterungen im Verkehrsablauf im Zuge der B296 und an der Europastraße zu erwarten.

3.2 Szenario 2

3.2.1 Auswertungsergebnisse

Die Auswertungsergebnisse des Szenarios 2 sind in Anlage 4.2 gemäß der beschriebenen Auswertungssystematik nach Abschnitt 2.5 abgelegt.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Diagramme interpretiert und die wesentlichen Aussagen zusammengefasst.

3.2.2 Interpretation Auswertungsergebnisse Morgen- und Abendstunde

Der Verlauf der Rückstaulängen im Nullfall und Planfall weichen in Szenario 2 sowohl in der Morgen- als auch Abendstunde voneinander ab, da jeweils im Planfall mehr Fahrten und somit Schrankenschließungen vorhanden sind. Folgende Aussagen lassen sich aus den Diagrammen nach Anlage 4.2 ableiten:

- Die Mehrfahrten im Planfall äußern sich dadurch, dass die Zeitbereiche, zu denen keine Rückstaulängen vorliegen, im Planfall durchgehend geringer sind („die Kurve der Rückstaulängen im Planfall steigt früher an“).
- Das Auftreten der maximalen Rückstaulängen kann sowohl im Nullfall als auch im Planfall auftreten. Dies ist zufallsbasiert und hängt davon ab, welche Verkehrsmenge „zufällig“ bei einer einzelnen Schrankenschließung zufließt.
- Die maximal aufgetretenen Rückstaulängen sind im Nullfall und Planfall jeweils in einem ähnlichen Bereich. Dies weist darauf hin, dass die Rückstaus nach den einzelnen Schrankenschließungen in der Regel wieder vollständig abgebaut werden.

Bei einem Wechsel vom Nullfall zum Planfall gemäß den Randbedingungen „Szenario 2“ sind mit hoher Wahrscheinlichkeit keine wesentlichen Verschlechterungen im Verkehrsablauf im Zuge der B296 zu erwarten.

3.2.3 Vergleich zu Szenario 1

Werden die Auswertungen der Rückstaulängen aus Szenario 2 mit den Rückstaulängen aus Szenario 1 verglichen, kann folgendes festgehalten werden:

- Die auftretenden Rückstaulängen in Szenario 2 sind durchgehend weniger gravierend als in Szenario 1.
- Somit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Worst-Case im Verkehrsgeschehen in Szenario 1 abgebildet.
    - Dies bedeutet, dass außerhalb der Spitzenstunden auch mit einer Taktverdichtung (Planfall) maximal Verkehrszustände wie in Szenario 1 erreicht werden. Diese Verkehrszustände werden tlw. heute bereits erreicht (abendliche Spitzenstunde).

- Dies wiederum bedeutet, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit nur in der morgendlichen Spitzenstunde nach Szenario 1 beim Bahnübergang Pfäffingen auf der Nagolder Straße mit wesentlichen Verschlechterungen bei den auftretenden Rückstaulängen bei einem Wechsel zur Taktverdichtung zu rechnen ist (morgendliche Spitzenstunde).

4 Theoretische Betrachtungen und örtliche Besonderheiten

4.1 Theoretische Betrachtung Leistungsfähigkeit Bahnübergang

Wird angenommen, dass der Bahnübergang eine Straße auf freier Strecke quert, ohne dass es Beeinflussungen auf das nachfolgende Verkehrsnetz gibt, können folgende theoretische Überlegungen und Berechnungen gemäß der Tabelle 3 vorgenommen werden.

Tabelle 3: Theoretischer Abfluss an Bahnübergang über eine freie Strecke

	Zeitbedarfswert 2,0 s/Kfz	Zeitbedarfswert 2,3 s/Kfz	Max. Verkehrsmenge Bahnübergang im Untersuchungsbereich
Unbeeinflusste Richtungsfahrbahn	1.800 Kfz/h	1.565 Kfz/h	448 Kfz/h (Bahnübergang Pfäffingen in Richtung Poltringen, Abendspitzenstunde)
Richtungsfahrbahn 20 min je Stunde gesperrt	1.200 Kfz/h	1.043 Kfz/h	
Richtungsfahrbahn 25 min je Stunde gesperrt	1.050 Kfz/h	912 Kfz/h	
Richtungsfahrbahn 30 min je Stunde gesperrt	900 Kfz/h	782 Kfz/h	

In der Verkehrstechnik wird in der Regel ein Zeitbedarfswert von 1,8...2,0 s je Kfz angenommen bei Leistungsfähigkeitsberechnungen. Dies ergibt bei einem Zeitbedarfswert von 2,0 s eine maximale Kapazität von 1.800 Kfz/h (3.600 s / 2 s/Kfz) auf einer unbeeinflussten Richtungsfahrbahn.

Liegt auf der Richtungsfahrbahn ein Bahnübergang vor, ist diese für eine gewisse Zeit gesperrt. Nach dem Fahrplan des Planfall kann mit einer Schließzeit von 20-25 min je Spitzenstunde gerechnet werden. Zusätzlich ist in Tabelle 3 eine fiktive Schließzeit von 30 min angesetzt. Beim Zeitbedarfswert ist zusätzlich eine Spalte mit 2,3 s/Kfz angegeben, um dem verzögerten Anfahrverhalten nach der Öffnung der Schranke Rechnung zu tragen.

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass bei isolierter Betrachtung der Bahnübergänge im vorliegenden Fall keine direkten Leistungsfähigkeitsprobleme bestehen. Erst das Zusammenspiel der Rückstaulängen infolge der Schrankenschließungen mit dem umgebenden Verkehrsnetz mit den vorliegenden Abständen der Einmündungen zu den Bahnübergängen kann zu Wechselwirkungen führen, welche unter Umständen negative Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen haben.

4.2 Örtliche Besonderheiten

4.2.1 BÜSTRA Pfäffingen

Der Bahnübergang Pfäffingen mit der unmittelbaren Einmündung B296 / Nagolder Straße ist eine sogenannte BÜSTRA-Anlage (Bahnübergangs- und Straßensicherungsanlage).

Die wesentliche Charakteristik der BÜSTRA-Anlage aus Sicht der B296 ist, dass bei Annäherung eines Zuges auch die Hauptrichtungen der B296 kurzzeitig angehalten werden, damit die Nebenrichtungen aus der Nagolder Straße abfließen können (Freiräumen des Gleisbereichs). Anschließend wird die B296 wieder freigegeben, während alle zufließenden Verkehrsströme auf den Bahnübergang weiterhin gesperrt sind.

Eine Besonderheit ist das verkehrsabhängige Freiräumen des Linksabbiegers von der B296 in Richtung Poltringen. Wird nach der Schrankenöffnung auf dem genannten Linksabbiegefahrstreifen ein Rückstau detektiert, wird die B296 von Herrenberg nach Tübingen nochmals angehalten, um einen Abbau des Rückstaus zu gewährleisten.

4.2.2 Zuflussoptimierung Unterjesingen

Im westlichen Zulauf auf die Ortseinfahrt Unterjesingen befindet sich ein Signalisierungsquerschnitt auf freier Strecke, welcher die Verkehrsmenge in der Ortsdurchfahrt reguliert (ursprünglicher Hintergrund: Luftreinhaltung). Siehe zur Einordnung auch Bild 1.

Die Anlage lässt nur die Verkehrsmenge durch, welche leistungstechnisch in der Ortsdurchfahrt möglich ist. Gleichzeitig wird die Rückstauentwicklung durch Detektoren in Richtung Bahnübergang Pfäffingen laufend überwacht. Mittels der Überwachung soll verhindert werden, dass der Rückstau der Zuflussoptimierung bis auf Höhe des Bahnübergangs Pfäffingen reicht. Um dies zu verhindern, wird die Anlage der Zuflussoptimierung abgeschaltet, wenn der Rückstau kritische Längen erreicht. Dann verschiebt sich der Beginn des Rückstaus auf die LSA K654 (B296 / Rottenburger Straße) und auf die LSA K651 (B296 /Mönchhüttenweg), da sich hier die Leistungsengpässe befinden. Das Rückstauende liegt oftmals weiterhin auf Höhe des Bahnübergangs Pfäffingen oder darüber hinaus.

Die Zuflussoptimierung hat im Regelfall nur in der morgendlichen Spitzenstunde Auswirkungen auf den Bahnübergang Pfäffingen. Aufgrund der beschriebenen Rückstauentwicklung bis auf Höhe der Einmündung B296 / Nagolder Straße kommt es oftmals zu folgendem Effekt:

- Der Rechtseinbieger aus der Nagolder Straße auf die B296 in Richtung Tübingen kann nicht einfahren aufgrund des Rückstaus aus Richtung Unterjesingen.
- Dadurch baut sich ein Grundstau unabhängig vom Bahnübergang in Richtung Pfäffingen auf.

- Dieser Rückstau wird verstetigt und vergrößert durch die Schrankenschließungen.
- Nach einer Schrankenschließung kann der aufgestaute Verkehr in der Nagolder Straße wiederum wegen des Rückstaus aus Richtung Unterjesingen nicht abfließen.
- Dadurch nimmt der Rückstau auf der Nagolder Straße unter Umständen Rückstaulängen größer 500 m an. Die Ursache liegt nicht primär an der Schrankenschließung, sondern auch an der nicht ausreichenden Leistungsfähigkeit der Unterjesinger Ortsdurchfahrt.

In Anlage 5.1 ist der beschriebene Rückstaueffekt bei aktiver Zuflussoptimierung grafisch aufbereitet. Ein Vorliegen des Rückstaus bis auf Höhe des Bahnübergangs Pfäffingen tritt gehäuft zwischen 7:00 Uhr und 8:15 Uhr auf. Für die Simulationen ist bei der Zuflussoptimierung für die morgendlichen Stunden folgendes angenommen worden:

- Szenario 1: Zwischen 07:00 und 08:00 Uhr aktiv.
- Szenario 2: Zwischen 08:00 und 08:20 Uhr aktiv.

4.2.3 LSA B296 / Rottenburger Straße (K654) in Unterjesingen

An der LSA 654 kann es zu zwei unterschiedlichen Rückstaueffekten kommen. In der morgendlichen Spitzenstunde konkurrieren die starken Verkehrsbeziehungen B296 von Herrenberg in Richtung Tübingen und die Nebenrichtung Rottenburger Straße. In der Folge kommt es nicht nur zu dem in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Rückstau auf der B296, sondern auch zu einem Rückstau auf der Rottenburger Straße in Richtung Bahnübergang Unterjesingen. Der Rückstau in der Rottenburger Straße wird zusätzlich durch die Schulprogrammschaltung an der LSA K654 zwischen 07:30 und 08:00 Uhr verstärkt – und betrifft somit die morgendliche Spitzenstunde des Szenarios 1. Hier wird ein Signalprogramm mit einer verringerten Umlaufzeit zugunsten der Wartezeiten der Fußgänger geschaltet, was dazu führt, dass sich die Kapazität der Rottenburger Straße weiter verringert und der Rückstau auf der Rottenburger Straße verstetigt wird. Dieser reicht dann oftmals über den Bahnübergang Unterjesingen hinaus. Dieser Rückstau wiederum wird durch die Schrankenschließungen verschärft. Somit treten hier auch Rückstauungen am Bahnübergang auf, die nicht primär auf die Schrankenschließungen zurückzuführen sind.

In Anlage 5.2 ist der beschriebene Rückstaueffekt auf der Rottenburger Straße aufgrund der LSA 654 grafisch aufbereitet.

In der abendlichen Spitzenstunde ist das Verkehrsaufkommen auf dem Linksabbieger von Tübingen kommend in Richtung Rottenburg hoch, gleichzeitig der Linksabbiegefahrstreifen auf der B296 kurz. Hier kommt es öfters zu in der Regel kurzzeitigen Verkehrsbehinderungen auf der B296 aufgrund des überstauten Linksabbiegefahrstreifens - unabhängig vom Bahnübergang Unterjesingen.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung soll die Auswirkungen der veränderten Schrankenschließzeiten infolge der Taktverdichtung der Ammertalbahn zwischen Tübingen und Herrenberg auf das Straßenverkehrsnetz an drei Bahnübergängen (Pfäffingen, Unterjesingen und Europastraße (Tübingen)) überprüfen. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die Rückstauungen im Kfz-Verkehr zu legen, da diese bereits im Bestand ohne verdichtete Taktfolge zu Behinderungen im nachfolgenden Verkehrsnetz führen

Um eine umfassende Bewertung bezüglich der auftretenden Rückstaulängen vornehmen zu können, wurden zwei Szenarien simulativ untersucht und ausgewertet (sowohl für den Nullfall (Fahrplan 13.09.2021) als auch für den Planfall (Ausschreibungsfahrplan):

<u>Szenario 1:</u>

- Kfz-Spitzenstunde vormittags mit Fahrplan 07:00 – 08:00 Uhr
- Kfz-Spitzenstunde nachmittags mit Fahrplan 16:00 - 17:00 Uhr

<u>Szenario 2:</u>

- Kfz-Verkehr 08:00 - 09:00 Uhr mit Fahrplan 08:00 – 09:00 Uhr
- Kfz-Verkehr 17:00 - 18:00 Uhr mit Fahrplan 17:00 -18:00 Uhr

Bei einem Wechsel vom Nullfall zum Planfall gemäß den Randbedingungen „Szenario 1“ sind keine wesentlichen Verschlechterungen im Verkehrsablauf im Zuge der B296 und an der Europastraße zu erwarten. Am Bahnübergang Pfäffingen ist in Richtung Poltringen mit einem wesentlichen Anstieg der auftretenden Rückstaulängen in der morgendlichen Spitzenstunde zu rechnen. Dies betrifft das nachgeordnete Verkehrsnetz (Nagolder Straße). Es wurde ausführlich dargelegt, dass diese wesentliche Zunahme der Rückstaulängen nicht ausschließlich auf den Bahnübergang Pfäffingen zurückzuführen ist.

Bei einem Wechsel vom Nullfall zum Planfall gemäß den Randbedingungen „Szenario 2“ sind mit hoher Wahrscheinlichkeit keine wesentlichen Verschlechterungen im Verkehrsablauf im Zuge der B296 zu erwarten.

Werden die Auswertungen der Rückstaulängen aus Szenario 2 mit den Rückstaulängen aus Szenario 1 verglichen, kann festgehalten werden, dass die auftretenden Rückstaulängen in Szenario 2 durchgehend weniger gravierend sind als in Szenario 1. Somit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Worst-Case im Verkehrsgeschehen in Szenario 1 abgebildet, deren Verkehrszustände teilweise bereits heute eintreten.

6 Literaturverzeichnis

[1] Berichte zu den Verkehrszählungen im Zusammenhang mit den Bahnübergängen der Ammertalbahn am 16.04.2024. Schlothauer & Wauer