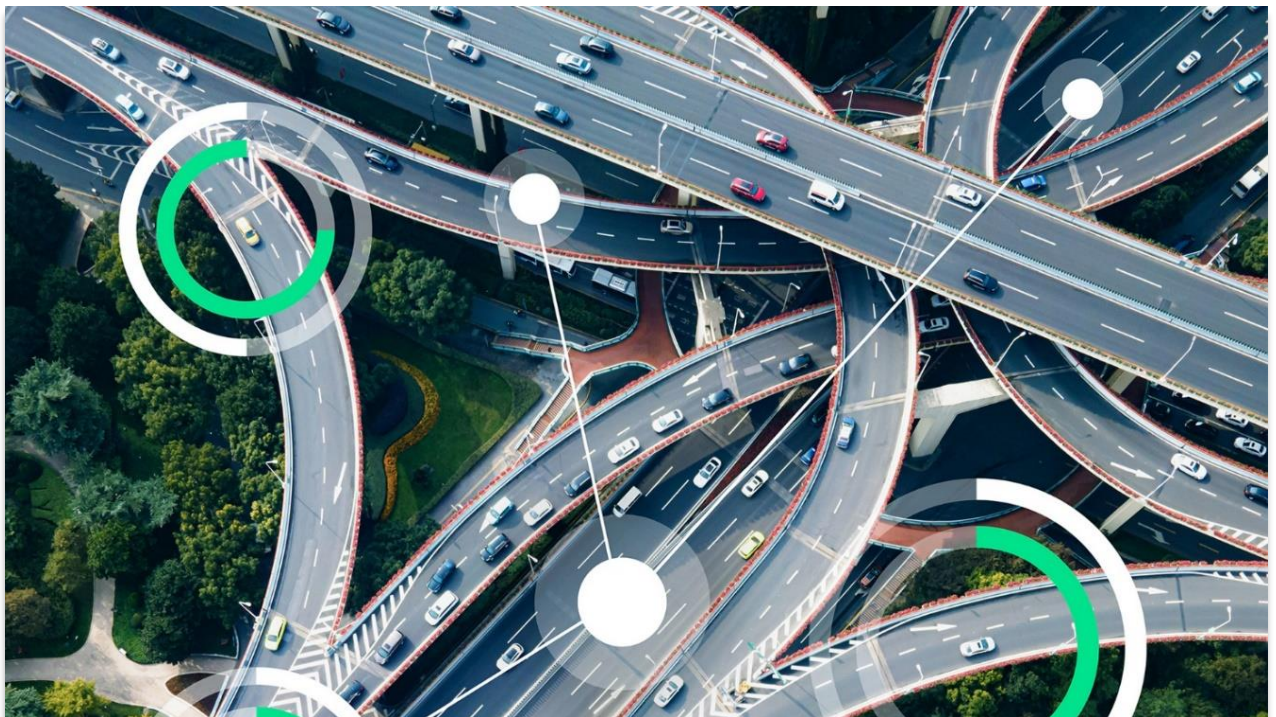


Grobkonzept zur Rückstauvermeidung aus dem Höllental

Stadt Freiburg im Breisgau



07.02.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Problemstellung	4
2.1	Situation	6
2.1.1	Lokale Eingrenzung.....	6
2.1.2	Temporale Eingrenzung und Verkehrsdaten	7
2.2	Einfluss der Lichtsignalanlagen.....	8
2.3	Rückstaubildung	9
2.4	Handlungspotenzial	10
3	Maßnahmenkatalog.....	11
3.1	Softwareseitige Maßnahmen (M1).....	11
3.1.1	Koordinierungsanpassung B31 Fahrtrichtung West (M1.1).....	12
3.1.2	Umlaufzeiterhöhung (M1.2).....	13
3.1.3	Umverteilung der Grünzeiten (M1.3)	13
3.1.4	Umlaufzeiterhöhung und Anpassung der Grünzeiten (M1.4)	15
3.1.5	Dauergrün der B31 aus Richtung Höllental- „Verkehrsabhängiger Volleingriff“ (M1.5)	16
3.1.6	Reduzierung der ÖV-Eingriffsmöglichkeiten (M1.6).....	18
3.1.7	Eingriffe an Fußgängeranlagen Marien- und Luisensteg reduzieren (M1.7)	19
3.2	Bauliche Maßnahmen (M2)	20
3.2.1	Fahrspuraufweitung (M2.1).....	20
3.2.2	Planfreie Fußgängerführung (Tunnel/Brücke) (M2.2)	22
3.2.3	Bündelung der Stadtbahnlinien (M2.3)	22
3.3	Regulative Maßnahmen (M3)	24
3.3.1	Zuflussdosierung Schwarzwaldstraße (M3.1).....	24
3.3.2	Anpassung der Geschwindigkeitsbegrenzung (M3.2).....	26
3.3.3	Schwerlastverkehr reduzieren (M3.3).....	26
3.3.4	Park and Ride (M3.4).....	28
3.4	Übersicht.....	29
4	Fazit.....	31
5	Literaturverzeichnis	32
6	Anhang.....	34
6.1	Jahresganglinie zur Verkehrsentwicklung (DTV)	34
6.2	Berechnung Zeitbedarfswert und Sättigungsverkehrsstärke	35
6.3	Berechnung der durchschnittlichen Fahrzeuglänge.....	35

6.4	Berechnung der Kapazität einer Signalgruppe bei unbehindertem Abfluss.	36
6.5	Lineare Modellierung der Rückstaulänge zu einem Zeitpunkt t_X	36
6.6	Berechnung Freigabezeitanteilerhöhung.....	37
6.7	Berechnung der Eingriffsdauer bei Volleingriff.....	37

1 Einleitung

Für das Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg wird eine Untersuchung bezüglich der Rückstauproblematik in den Schützenalleeetunnel durchgeführt. Der im städtischen Gebiet entstehende Rückstau der östlichen B31 aus Richtung Höllental reicht regelmäßig in den morgendlichen und abendlichen Spitzenstunden bis in den Schützenalleeetunnel zurück. Durch diese Rückstauerscheinungen entstehen im Havariefall erhebliche Sicherheitsrisiken für die Verkehrsteilnehmer.

In Tunneln „[...] hat die Selbstrettung der Verkehrsteilnehmer/-innen oberste Priorität. Personen, die sich im Tunnel befinden, sollen sich bei einem Notfall zügig selbst in Sicherheit bringen können, ohne auf das Eintreffen der Einsatzdienste warten zu müssen.“ [1]

Bundesanstalt für Straßenwesen

Eine Möglichkeit Rückstau in diesen sensitiven Bereich zu vermeiden, wurde bereits 2019 durch Untersuchung des Einsatzes einer Zuflussdosierungsanlage im vorgelagerten Bereich nachgewiesen [2]. Der Anlass der damaligen Untersuchung war die mehrfache Überschreitung der NOx-Grenzwerte im Bereich zwischen Ausfahrt Schützenalleeetunnel und der Kreuzung Schwabentorbrücke.

Dieses Gutachten soll Klarheit schaffen, ob die heutigen Strategien an den Knotenpunkten entlang der B31 ausreichend leistungsstark sind oder ob durch Maßnahmen im innerstädtischen Abschnitt Fahrrichtung Westen ein Rückstau in den Tunnelbereich ausgeschlossen beziehungsweise im Hinblick auf die Tunnelsicherheit auf ein vertretbares Maß reduziert werden kann. Hierzu werden in dieser Grobanalyse verschiedenartige Maßnahmen zur Staureduzierung erarbeitet und deren Auswirkungen gegenübergestellt. In diesem Kontext wird keine Detailanalyse der einzelnen Maßnahmen angestellt. Solche Detailanalysen wären maßnahmenspezifisch auf Basis der Ergebnisse dieser Untersuchung anzustellen, sofern sich eine Maßnahme als empfehlenswert herausstellt.

2 Problemstellung

Regelmäßig, in den Spitzenstunden, kommt es auf der östlichen Zufahrt der B31 aus dem Höllental zu sehr starken Rückstauerscheinungen. Der Rückstau bildet sich ersichtlich ab der Kreuzung Kaiserbrücke über die Kreuzung Schwabentorbrücke und dann in östlicher Richtung entlang der B31.

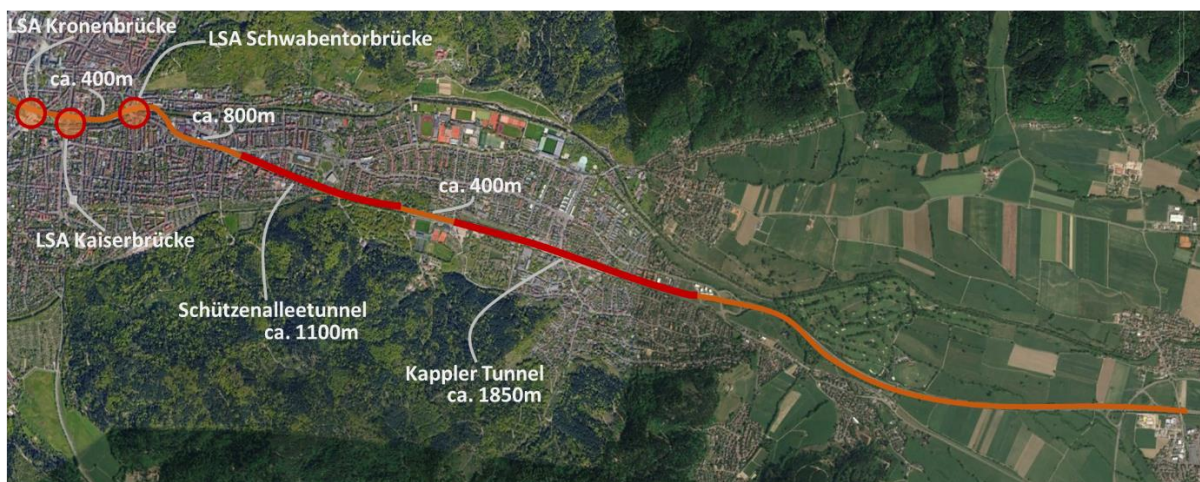


Abbildung 1 Übersichtsplan östliche B31

Sicherheitskritisch wird ein Rückstau insbesondere dort, wo Abschnitte, in denen die Sicht auf ein mögliches Stauende nicht problemlos möglich ist und in Bereichen, in denen durch die Infrastruktur, die Passierbarkeit von Einsatzfahrzeugen oder die Evakuierung im Havariefall nicht ausreichend gewährleistet ist, betroffen sind. Ein Rückstau in Tunnelbereiche ist daher grundsätzlich zu vermeiden.

Aufgrund des hohen Verkehrsdruckes auf der östlichen B31 aus dem Höllental, insbesondere in den Spitzenstunden, kommt es jedoch regelmäßig zu solch kritischen Rückstaulängen. Diese überstauen teilweise große Teile des Schützenallee-Tunnels und sind dadurch als sicherheitskritisch anzusehen [3].

Um geeignete Maßnahmen zur Rückstauvermeidung in diesen kritischen Bereichen zunächst zu identifizieren und anschließend bewerten zu können, wird dieses Gutachten erstellt. Dabei wird die Staubildung betrachtet, um darauf aufbauend einen Maßnahmenkatalog zu erstellen. Die erarbeiteten Maßnahmen werden dann anhand des Wirkungspotenzials, der Auswirkungen auf den bestehenden Verkehrsfluss, sowie dem damit verbundenen Aufwand qualitativ verglichen. Ziel ist die Identifikation von möglichen Maßnahmen für eine nachgelagerte detaillierte Machbarkeitsstudie.

Ursache des Rückstaus sind Kapazitätsdefizite. Die zufließende Verkehrsmenge auf einen gewissen Abschnitt kann aus diesem nicht in gleichem Maße abfließen. Diese Menge an Kraftfahrzeugen, die es nicht schafft abzufließen, wird im Folgenden als Kapazitätsdefizit bezeichnet. Da die **Zuflusskapazität** des östlich gelegenen Abschnittes der B31 auf (weitestgehend) freier Strecke sehr hoch ist, können viele Fahrzeuge den betroffenen Streckenabschnitt erreichen. Die **Abflusskapazität** des betrachteten Streckenabschnitts ist jedoch maßgeblich durch den Durchsatz der Knotenpunkte gekennzeichnet, der deutlich geringer ist als auf freier Strecke.

Kapazitätsdefizit

Das Kapazitätsdefizit (und damit auch der Rückstau) lässt sich reduzieren in dem entweder die Zuflusskapazität (künstlich) reduziert wird oder aber die Abflusskapazität erhöht wird.

$$\text{Kapazitätsdefizit} = \text{Zufluss} - \text{Abflusskapazität} \quad \left[\frac{\text{Kfz}}{\text{h}} \right]$$

In einer vorhergehenden Untersuchung konnte bereits nachgewiesen werden, dass eine Zuflussdosierungsanlage eine effektive Möglichkeit sein kann, um Rückstau in den sensiblen Bereichen zu vermeiden [2]. Durch adaptive Steuerverfahren passt sich die Eingriffsschwere der jeweiligen Situation an und verhindert dadurch weitestgehend Kapazitätsverluste im Gesamtsystem. Diese Variante basiert demnach auf dem Ansatz den Verkehr im Zufluss zu regulieren und zeitlich zu entzerren. Im Gegensatz dazu wird in dieser Untersuchung primär (nicht ausschließlich) erörtert werden, inwiefern Ansätze möglich sind, den Abfluss des Verkehrs zu erhöhen.

2.1 Situation

2.1.1 Lokale Eingrenzung

Begriffsdefinition im Straßenverkehrskontext

stromabwärts	– bezeichnet alles was im richtungsbezogenen Verkehrsfluss hinter einem bestimmten Objekt liegt
stromaufwärts	– bezeichnet alles was im richtungsbezogenen Verkehrsfluss vor einem bestimmten Objekt liegt

Die östliche Zufahrt der B31 aus dem Höllental kann weitestgehend bis zum Knotenpunkt Schwabentorbrücke Nord (K1083) frei fließen (sofern kein Rückstau herrscht). Wenige lichtsignalgeregelte Knotenpunkte¹ die stromaufwärts des Knotenpunktes Schwabentorbrücke Nord liegen, haben keinen wesentlichen und dauerhaften Einfluss auf den Verkehrsfluss.



Abbildung 2 lichtsignalgeregelte Knotenpunkte im Untersuchungsgebiet

Der Rückstau beginnt sich ab den Knotenpunkten Kaiserbrücke Nord (K1063) und Schwabentorbrücke Nord zu bilden. Stromabwärts des Knotenpunktes Kaiserbrücke Nord sind keine prägnanten Rückstauerscheinungen erkennbar, die sich auf den stromaufwärtigen Zufluss auswirken. Dies konnte bereits in der vorhergehenden Simulation aufgezeigt werden [2] und deckt sich mit Beobachtungen.

Der Knotenpunkt Kronenbrücke (K1061) scheint demnach in der aktuellen Situation stromabwärts des Flaschenhalses zu liegen, sollte jedoch bei der späteren Maßnahmenbetrachtung weiterhin berücksichtigt werden, da dieser definitiv im Wirkungskreis möglicher Maßnahmen liegt.

Im teilweise überstauten Bereich zwischen den Knotenpunkten Kaiserbrücke Nord und Schwabentorbrücke Nord liegen die beiden Fußgängerschutzanlagen Mariensteg (K1085) und Luisensteg (K1086). Nach den Ergebnissen der Simulation haben diese keinen wesentlichen Einfluss auf die Abflusskapazität. Daher werden diese in den Abschnitten 2.2 bis 2.4 zunächst nicht detailliert betrachtet. In Abschnitt 3.1.7 wird eine mögliche Maßnahme an diesen Anlagen untersucht.

¹ K1101, K1102, K1104, K1105 in Abbildung 2

Teilweise sind Rückstaulängen von bis zu 2000m stromaufwärts der LSA Schwabentorbrücke Nord zu beobachten [2]. Ab einer Rückstaulänge von etwa 800m reichen diese bis in den Schützenalleetunnel hinein. Ab der Rückstaulänge von $\geq 800\text{m}$ ist dieser also als kritisch anzusehen. Bei einer Rückstaulänge $\geq 2300\text{m}$ würde der Rückstau den stromaufwärts liegenden Kappler Tunnel (siehe Abbildung 1) erreichen.

2.1.2 Temporale Eingrenzung und Verkehrsdaten

Kritische Rückstauerscheinungen treten sowohl in der Morgen- als auch der Abendspitze auf. Nach den Spitzenstunden baut sich der Rückstau auf ein verträgliches Maß ($< 800\text{m}$) ab.

Berücksichtigung der Corona-Pandemie

Als Orientierungswerte für Verkehrsmengen werden Werte aus dem Jahr 2019 herangezogen. Sich stark verändernde Verkehrsmengen nach Beginn der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 werden demnach nicht berücksichtigt, da nicht abzuschätzen ist wie langfristig sich diese einstellen werden. (siehe dazu: Anhang 6.1)

In Abbildung 3 ist die Tagesganglinie der geradeausfahrenden Fahrzeuge auf der B31 an der LSA Schwabentorbrücke Nord aus östlicher Richtung zu sehen². Die Daten stammen vom 24.09.2019, einem repräsentativen Werktag (Dienstag), der aus einer Sichtung mehrerer Vergleichstage als Tag mit starken Spitzenstunden ausgewählt wurde, ohne unrepräsentativ stark vom Durchschnitt abzuweichen.

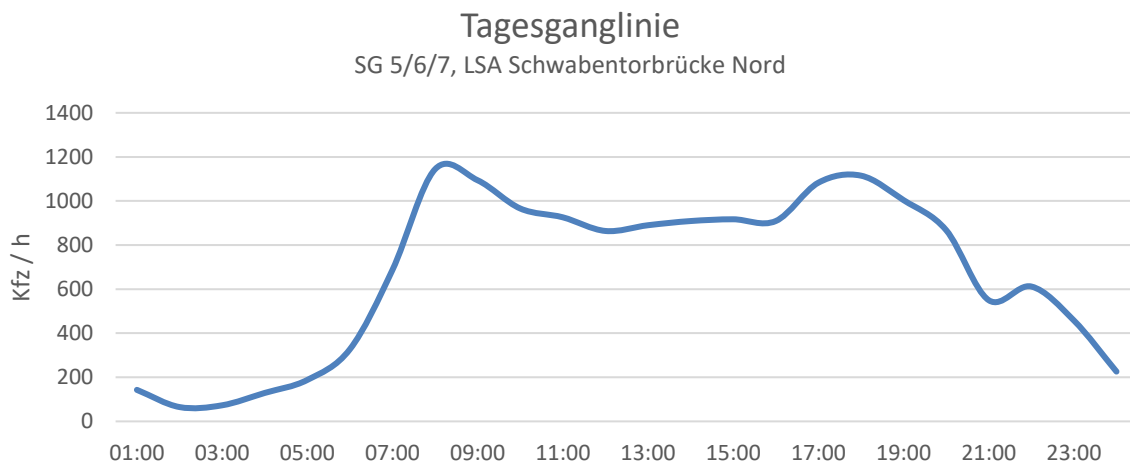


Abbildung 3 Tagesganglinie: Dienstag, 24.09.2019

Es sind eindeutige Morgen- und Abendspitzen erkenntlich, die sich zeitlich mit den Rückstauerscheinungen decken. Für die weiteren Betrachtungen wird die morgendliche Spitzenstunde als Diskussionsgrundlage herangezogen, da hier die Verkehrszahlen ein stärkeres Maximum erreichen und in Beobachtungen die Morgenspitze als rückstaukritischer geschildert wurden. Es sei jedoch erwähnt, dass die Abendspitze ebenfalls kritische Rückstaulängen hervorbringt und bei den Maßnahmen nicht außer Acht gelassen werden darf.

² Die absoluten Werte dieser Ganglinie sind nicht vollkommen belastbar, da diese auf Detektorzählwerten von Induktionsschleifen basieren, die nicht primär für Verkehrszählungen ausgelegt sind. Diese Schleifenart liefert in Relation verlässliche Daten, die absoluten Zahlen sind jedoch zumeist niedriger als der reale Wert (insbesondere bei dichtem Verkehr).

Prinzipiell liegen nicht für jede zu betrachtende Strecke belastbare Verkehrszahlen vor. Zudem entsprechen Zählwerte immer nur maximal der Kapazität und nicht dem eigentlichen Verkehrsdruck (Fahrzeuge im Rückstau werden nicht gezählt). Es können daher keine absoluten Aussagen rein auf Zählwerten erfolgen. Eine Kombination aus Zählwerten, sowie Rückstaulänge kann für die Quantifizierung des Verkehrsdruckes herangezogen werden. Daher werden nachfolgende Aussagen teilweise auf abgeleiteten Kennwerten und Werten aus der voranstehenden Simulation beruhen.

2.2 Einfluss der Lichtsignalanlagen

Bei den erwähnten Knotenpunkten Schwabentorbrücke Nord, Kaiserbrücke Nord und Kronenbrücke Nord handelt es sich um lichtsignalgeregeltene Knotenpunkte. Hierbei wird die Kapazität vor allem durch den Grünzeitanteil einer betrachteten Fahrbeziehung, sowie deren Fahrstreifenanzahl bestimmt. Auf dieser Basis lässt sich die Abflusskapazität an Knotenpunkten näherungsweise bestimmen (siehe dazu 6.2 bis 6.4).

In Abbildung 4 ist der Verlauf der theoretischen Kapazitäten entlang der östlichen B31 aus dem Höllental kenntlich gemacht³. Die Kapazitäten stromabwärts der lichtsignalgeregeltene Knotenpunkte basieren jeweils auf den Grünzeitanteilen der zugehörigen Signalgruppen. Die tatsächlichen Kapazitäten werden, bedingt durch verschiedenartige Abminderungsfaktoren des Verkehrsflusses⁴, in etwa 10-25% geringer sein. Dies ergibt sich aus Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung in der mikroskopischen Simulation [2]. Da in der Hauptrichtung mit weitestgehend ungestörtem Abfluss⁵ gerechnet werden kann, sind die Größen in Relation durchaus aussagekräftig und Veranschaulichen die generelle Situation.



Abbildung 4 theoretische Kapazitäten

Es ist klar zu erkennen, dass der Flaschenhals an den Knotenpunkten zu finden ist. Basierend auf der mikroskopischen Simulation [2] lassen sich bereits recht spezifische Eingrenzungen der wesentlichen Einflussgrößen ableiten.

³ Die Kapazitäten der lichtsignalgeregeltene Knotenpunkte basieren auf den Festzeitplänen, die gemäß Jahresautomatik in der Morgenspitzenstunde aktiv sind.

⁴ Beispielsweise ungleichmäßige Aufteilung auf Richtungsfahrbahnen, Anfahnen, Stop-and-Go, Spurwechsel, Seitenparken

⁵ Es sind keine bedingt verträglichen Konflikte vorhanden und es nicht mit starken Störeinflüssen durch Abbiegeverkehre zu rechnen

Der Hauptfaktor der die Kapazität begrenzt ist dabei nicht primär die Kreuzung Schwabentorbrücke Nord, sondern die westlich davon liegende Kreuzung Kaiserbrücke Nord. An der LSA Kaiserbrücke Nord wird die Grünzeit nicht ideal genutzt, da hier die Aufteilung auf die drei Geradeausfahrstreifen nicht gleichmäßig erfolgt. Dies zeigt eine Auswertung der Detektorbelegungen. Hierdurch wird die tatsächliche Abflusskapazität an dieser Stelle zusätzlich reduziert. Die verringerte Nutzung des linken Geradeausfahrstreifens ist wesentlich dadurch bedingt, dass dieser unmittelbar stromabwärts der LSA Kaiserbrücke Nord in einen Linksabbiegestreifen für die LSA Kronenbrücke Nord übergeht. Da die anschließende Verflechtungslänge recht kurz ist und aufgrund der hohen Verkehrsmengen ein Einfädeln erheblich erschwert wird, nutzen ortskundige Verkehrsteilnehmer diesen Fahrstreifen tendenziell nicht, sofern diese anstreben weiter in Richtung Schnewlinbrücke zu fahren.

Der Rückstau in östlicher Richtung erreicht ab etwa 07:30 Uhr die, der Kreuzung Schwabentorbrücke stromabwärts gelegenen, Rückstaudetektoren. Diese befinden sich unmittelbar stromabwärts des Knotenpunktes Schwabentorbrücke Nord. Wird hier Rückstau von der LSA Kaiserbrücke Nord detektiert, so wird die Freigabe der entsprechenden Signalgruppe an der LSA Schwabentorbrücke Nord reduziert. Dadurch wird verhindert, dass Fahrzeuge, die aufgrund des Rückstaus die Kreuzung nicht passieren können, die Kreuzung blockieren. Dies wiederum verlagert bewusst das Kapazitätsdefizit stromaufwärts der LSA Schwabentorbrücke Nord, obwohl der eigentliche Flaschenhals an der LSA Kaiserbrücke Nord liegt.

2.3 Rückstaubildung

Die mikroskopische Simulation [2] zeigte einen sehr schnellen Anstieg der Rückstaulänge zwischen 07:15 Uhr und 08:15 Uhr auf über 1800m (siehe Abbildung 5). Daraus lässt sich indirekt das Kapazitätsdefizit herleiten (siehe Anhang 6.2 und 6.3). Dieses ist in Abbildung 5 abgebildet.

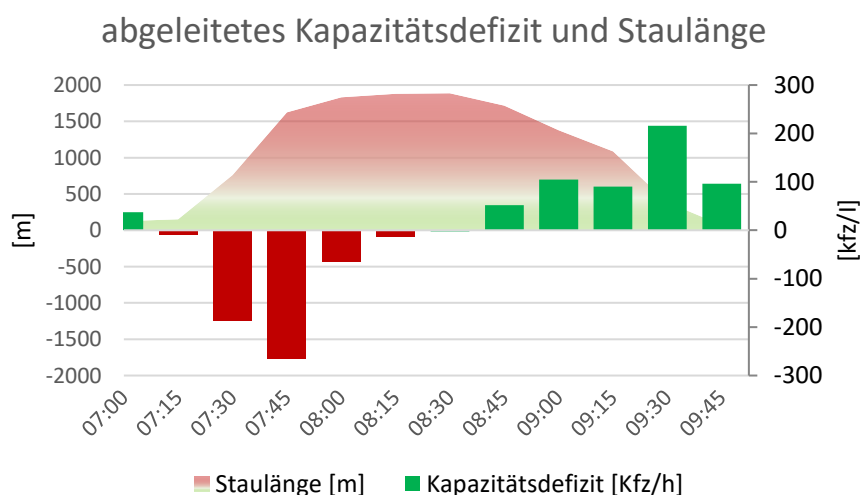


Abbildung 5 abgeleitetes Kapazitätsdefizit anhand der mikroskopischen Simulation

Man sieht, dass sich der Rückstau recht schnell, in einer Stoßzeit von unter einer Stunde bildet. Anschließend wird dieser jedoch, aufgrund nicht ausreichender Kapazitätsüberschüsse, nur sehr langsam abgebaut und sinkt dann, ab etwa 09:30, wieder unterhalb der kritischen Staulänge von 800m.

2.4 Handlungspotenzial

Die Rückstaubildung leitet sich direkt aus dem Kapazitätsdefizit ab und summiert sich über die Zeit auf (siehe Anhang 6.5). Füttert man auf dieser Datenbasis ein abstrahiertes, lineares Modell, lassen sich anhand dessen Aussagen treffen, wie stark eine Kapazitätserhöhung im Abfluss sein müsste, um den Rückstau in gefordertem Maße (Rückstaulänge $\leq 800\text{m}$) zu reduzieren.

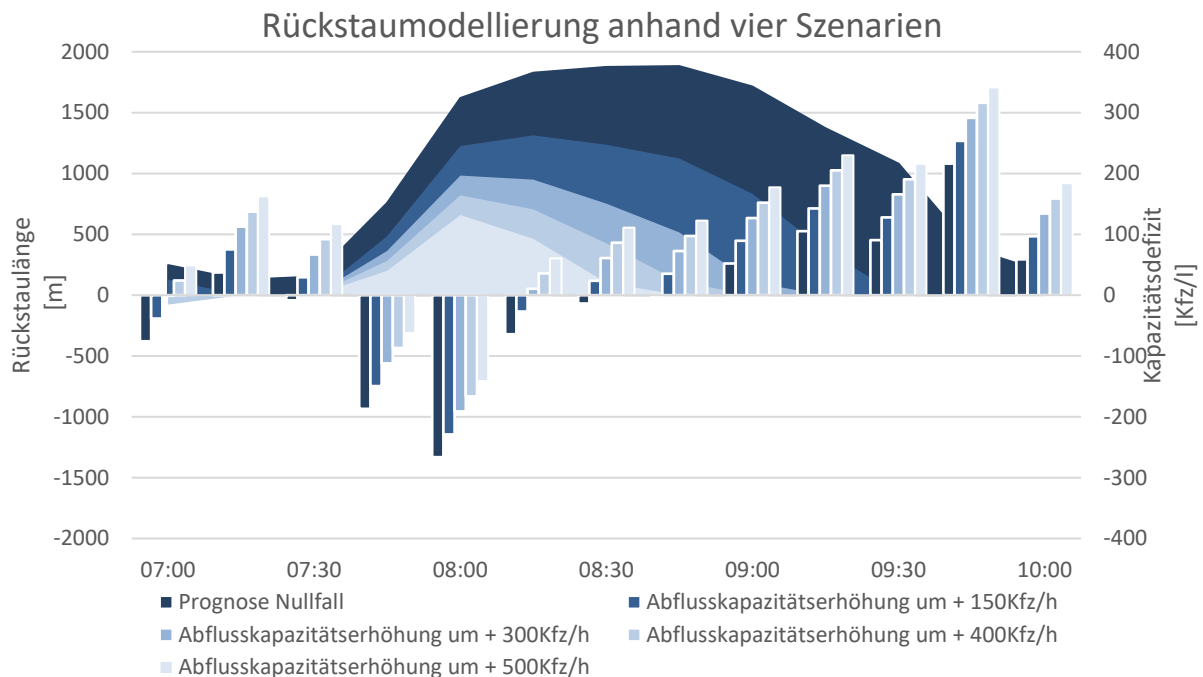


Abbildung 6 Ergebnisse der linearen Rückstaumodellierung bei Erhöhung der Abflusskapazität. Angaben in Kraftfahrzeugen pro Stunde

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse eines solchen vereinfachten Modells. Demnach reicht eine Erhöhung der Abflusskapazität um 400 Kfz/h nicht vollkommen aus. Um gemäß Modell nie über 800m Rückstaulänge zu kommen ist eine Kapazitätserhöhung von etwa 450Kfz/h nötig⁶. Das Modell zeigt jedoch auch, dass die Kapazitätserhöhung nur sehr zeitlich begrenzt benötigt wird. Im Modell explizit zwischen 7:30Uhr und 8:30Uhr. Vor und nach dieser Spitzenzeit reicht die bestehenden Abflusskapazität aus, um einen Rückstauaufbau zu vermeiden.

Diese Kapazitätserhöhung müsste auf dem Streckenzug ab LSA Schwabentorbrücke Nord über die LSA Kaiserbrücke Nord bis zur LSA Kronenbrücke Nord durchgängig abfließen können, um vorgelagerte Rückstaueffekte zu vermeiden. Maßnahmen, die also die Kapazität nur an einem der drei Knotenpunkte erhöhen sind nicht erfolgsversprechend, da dadurch nur der Flaschenhals verschoben werden würde. Der gesamte Verkehrsraum ist immer als Einheit zu betrachten.

⁶ Dabei kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es selten zu noch stärkeren Verkehrsmengen kommen kann und selbst diese Kapazitätserhöhung nicht ausreicht.

3 Maßnahmenkatalog

Im Folgenden werden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung des Kapazitätsdefizites zusammengetragen. Diese werden insbesondere auf ihr Potenzial zur Rückstauvermeidung untersucht und es werden deren Auswirkungen auf den bestehenden Verkehrsfluss betrachtet. Die Maßnahmen werden grob differenziert nach softwareseitigen, baulichen und regulativen Maßnahmen.

3.1 Softwareseitige Maßnahmen (M1)

Als softwareseitige Maßnahmen werden in diesem Kontext diejenigen Maßnahmen bezeichnet, die durch Softwareanpassung am Steuergerät der Lichtsignalanlage umgesetzt werden können.

Prinzipiell gilt es hierbei zu beachten, dass es sich beim betrachteten Untersuchungsgebiet um ein sehr komplexes und sensibles, verkehrstechnisches Gesamtsystem handelt (insbesondere die Knotenpunkte entlang der nördlich und südlich der Dreisam verlaufenden B31). Bei Veränderung der signaltechnischen Steuerung einer der Knoten müssen die Auswirkungen auf das Gesamtsystem genauestens untersucht und entsprechend nachjustiert werden. Aufgrund der geringen Aufstellflächen zwischen den jeweiligen Knotenpunkten, speziell auf den Brücken über die Dreisam, ist eine funktionierende Koordinierung an dieser Stelle von besonderer Bedeutung. Bei hohen Verkehrsmengen in den Spitzenstunden kann ansonsten die Überstauung einer der Fahrbeziehungen schnell zu einer Kettenreaktion führen, die zeitweise gesamte Streckenzüge zum Stillstand bringen kann. Insbesondere kann eine kapazitätserhöhende Maßnahme auf der Nordseite der Dreisam aufgrund der Abhängigkeiten zu einer Leistungsfähigkeitsreduzierung der Südseite und damit der Hauptrichtung West-Ost der B31 führen.

Aufgrund der in Abschnitt 2.4 ermittelten Eingriffsschwere ist mit einer wesentlichen Beeinträchtigung des gesamten östlichen Stadtgebietes im erweiterten Wirkungskreis der B31 zu rechnen. Diese Eingriffe sind idealerweise zeitlich zu begrenzen, um deren negative Auswirkungen zu minimieren. Da Verkehrsmengen und insbesondere Rückstauerscheinungen selten deterministisch sind, würden fest definierte Eingriffsszenarien unweigerlich zu vermeidbaren Kapazitätsverlusten führen. Des Weiteren sollte eine Aktivierung der Maßnahme immer auf makroskopischer Ebene erfolgen, da die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Knotenpunkten von wesentlicher Bedeutung sind und auf mikroskopischer Ebene eine weiträumige Situationserkennung nur begrenzt möglich ist.

Daher wird empfohlen alle softwareseitigen Maßnahmen dynamisch, verkehrsabhängig zu aktivieren und zu deaktivieren. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, durch makroskopische verkehrsabhängige Steuerverfahren, anlagenübergreifende Szenarien zu schalten. Die verkehrsabhängige Signalprogrammauswahl (*TASS – „traffic actuated signalprogramm selection“*) kann auf der bestehenden Verkehrsrechnerinfrastruktur der Stadt Freiburg aufsetzen und auf Basis bestehender Detektoreingangsgrößen regelbasierte Szenarien definieren. Die vordefinierten Szenarien schalten dann an der betroffenen Menge an Lichtsignalanlagen automatisiert die maßnahmenspezifischen Signalprogramme.

Ein solches makroskopisches Steuerverfahren kann prinzipiell für alle softwareseitigen Maßnahmen M1.x eingesetzt werden⁷.

⁷ Sowie in erweitertem Umfang für M2.1 (bei dynamischer temporärer Freigabe), M3.1 und M3.3

3.1.1 Koordinierungsanpassung B31 Fahrtrichtung West (M1.1)

Ein wesentliches Merkmal der Verkehrsqualität an stark belasteten Streckenzügen mit mehreren konsekutiven lichtsignalgeregelten Knotenpunkten stellt die Koordinierung dar. Eine funktionierende Koordinierung kann dabei die Verkehrsqualität auf Streckenzügen verbessern. Generell gilt es hier zwischen einer Harmonisierungswirkung durch Pulkführung („geringe Instationarität“) und einer optimierten Grünzeitnutzung zu unterscheiden. Ersteres hat eine geringere positive Auswirkung auf die mittleren Wartezeiten des Streckenabschnittes durch einen harmonisierten Verkehrsfluss [4], [5], [6]. Zweiteres kann hingegen ein hartes Kriterium der tatsächlich genutzten Abflusskapazität an den einzelnen Lichtsignalanlagen sein und damit einen erheblichen Einfluss auf die Rückstaubildung haben.

Bei idealer Koordinierung kommen alle Fahrzeuge innerhalb von festen Pulks an einer Lichtsignalanlage an, treffen dort durchgängig auf Grünzeit und können so stopfrei den gesamten Streckenzug durchfahren („Grüne Welle“). Ist die Pulklänge mindestens genauso lange wie die anstehende Grünzeit, dann wird die Grünzeit vollkommen genutzt und es kommt zu keinen Kapazitätsverlusten. Kommen Fahrzeugpuls zu spät an einer Lichtsignalanlage an (also nach Grünzeitbeginn) so besteht die Gefahr von ungenutzten Grünzeiten, also potenziellen Kapazitätsverlusten. Solch ungenutzte Grünzeiten gilt es in jedem Fall zu vermeiden. Auf der anderen Seite können Fahrzeugpuls, die zu spät an einer Lichtsignalanlage ankommen (also wesentlich vor Grünzeitbeginn) zu einer möglichen Überstauung der Knotenzwischenräume führen.

Generell gilt, dass Koordinierungsmaßnahmen nur bei einem Auslastungsgrad von <85% der Kapazität einen wesentlichen positiven Einfluss auf den Verkehrsablauf hat [7]. Bei höheren Auslastungsgraden, wie sie in den betreffenden Spitzenstunden auf dem Abschnitt der B31 aus dem Höllental anzutreffen sind, ist mit einem Bruch der Koordinierung durch staubedingte Störfaktoren zu rechnen, sodass der Einflussfaktor der Koordinierung auf den Rückstau stark reduziert ist.

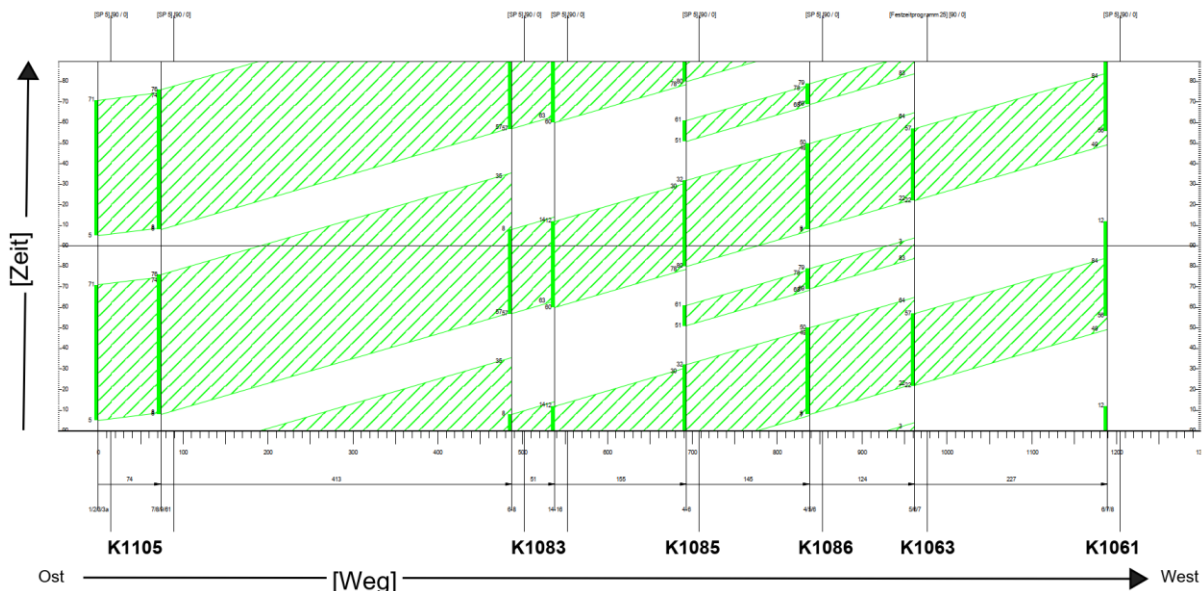


Abbildung 7 Zeit-Weg-Diagramm der Bestandskoordinierung im Verlauf der B31, Fahrtrichtung Westen

Abbildung 7 zeigt das aktuelle Zeit-Weg-Diagramm für die morgendlichen Spitzenstunden im Bereich zwischen LSA Nägeleseestraße/Schwarzwaldstr. (K1105) und LSA Kronenbrücke Nord (K1061) unter Berücksichtigung der aktuellen Geschwindigkeitsbegrenzungen (Tempo 30km/h). Die Betrachtung der Koordinierung deckt sich mit den Erkenntnissen die in der

mikroskopischen Simulation [2] gewonnen wurden, dass die Koordinierung eher kein Verbesserungspotential bietet. Keine der lichtsignalgeregelten Knotenpunkte zeigt potenziell ungenutzte Grünzeiten.

Im Gegenteil zeigt Abbildung 7 eine nahezu ideale Koordinierung mit kaum Verjüngungen des Freigabekanals zwischen LSA Schwabentorbrücke Nord und Kronenbrücke Nord. An der LSA Kronenbrücke Nord ist ein gerinfügiger Versatz der Grünzeit zu erkennen. Dieser führt zu einem leichten Auflaufen der Kraftfahrzeuge und kann aufgrund der kurzen Verflechtungsfläche durchaus sinnvoll sein. In jedem Fall sind hier keine Kapazitätsverluste durch ungenutzte Grünzeiten zu erwarten.

Die heute bestehende Koordinierung ist nicht optimierungsbedürftig, daher kann diese Maßnahme keinen relevanten Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Die Maßnahme kann daher aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.1.2 Umlaufzeiterhöhung (M1.2)

In den aktuell vom Rückstau betroffenen Zeitbereichen werden Umlaufzeiten von 90s geschaltet. Dies bezieht sich auf alle lichtsignalgeregelten Knotenpunkte im erweiterten Untersuchungsgebiet.

Generell führt eine Umlaufzeiterhöhung zu einer geringfügig leistungsfähigeren Kreuzung, da Verlustzeiten bei Übergängen in Relation verringert werden. Dieser Effekt ist jedoch nur geringfügig. Eine reine Erhöhung der Umlaufzeit wird nur einen geringen Effekt haben. Zudem wird sich die Angebotsqualität für den Fußgänger- und Radverkehr, sowie den ÖPNV verschlechtern, da die mittleren Wartezeiten merklich erhöht werden. Es ist daher mit einer erhöhten Anzahl an Rotlichtverstößen zu rechnen, wodurch die Verkehrssicherheit verringert wird.

Die quantifizierten und weiträumigen Effekte einer Umlaufzeiterhöhung müssten in einer getrennten Untersuchung betrachtet werden. Insbesondere ist die Aufrechterhaltung der Koordinierung, sowie die Überstauung der Aufstellflächen für diese Maßnahme in Ihrer Komplexität dediziert zu betrachten.

Eine Umlaufzeiterhöhung könnte nur einen sehr geringen Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten und kann daher aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.1.3 Umverteilung der Grünzeiten (M1.3)

Aus den Modellrechnungen aus Abschnitt 2.4 ergibt sich eine benötigte Grünzeitanteilerhöhung des betroffenen Verkehrsstroms von 8-12%⁸ bezogen auf die gesamte Umlaufzeit (siehe 6.6). Bei einer Umlaufzeit von 90s entspricht dies etwa 8-11s Grünzeiterhöhung (damit einer Grünzeiterhöhung der jeweiligen Signalgruppe um 23-31%). Diese muss wiederum konsekutiv den Nebenrichtungen abgezogen werden. Zur Relation: Würde man dies exemplarisch der nördlichen Nebenrichtung aus der Kaiser-Joseph-Straße abziehen, entspräche dies einer Grünzeitreduzierung der Zufahrt aus der Kaiser-Joseph-Straße

⁸ Bei idealisiertem Abfluss. Die Spanne ergibt sich aus der Anzahl der Fahrspuren. Da an der LSA Kaiserbrücke Nord theoretisch drei Fahrspuren vorhanden sind, die aber nicht ideal genutzt werden (siehe Abschnitt 2.2) sind 8% Freigabezeitanteilerhöhung kaum ausreichend. Vermutlich wird die tatsächlich benötigte Freigabezeitanteilerhöhung eher im Bereich $\geq 12\%$ liegen.

Fahrrichtung Süden um etwa 50-70%. Es kommt demnach zu einer starken Verlagerung der Kapazitäten, bei der die Nebenrichtungen auf Kosten der Hauptrichtung, in noch höherem Maße als bereits im Bestand, benachteiligt werden.

Eine Minderung des Grünzeitanteils der Nebenrichtungszufahrten reduziert die Kapazität und führt zu einer verstärkten Rückstaubildung in den Zufahrten Greifeneggring, Kaiser-Joseph-Straße, Werthmannstraße, Kronenstraße und Günterstalstraße. Es ist davon auszugehen, dass eine Umverteilung in angestrebtem Maße, in diesen Nebenrichtungen zu einer Überstauung der stromaufwärts gelegenen Knotenpunkte führt und nachgelagerte Schneeballeffekte weitere Teile der Altstadt beeinträchtigen. Im Mischverkehr geführte Fußgänger und Radfahrer, sowie die auf geteilter Fahrbahn geführten ÖPNV-Fahrzeuge an der LSA Kaiserbrücke sind ebenfalls wesentlich vom Rückstau beeinträchtigt.

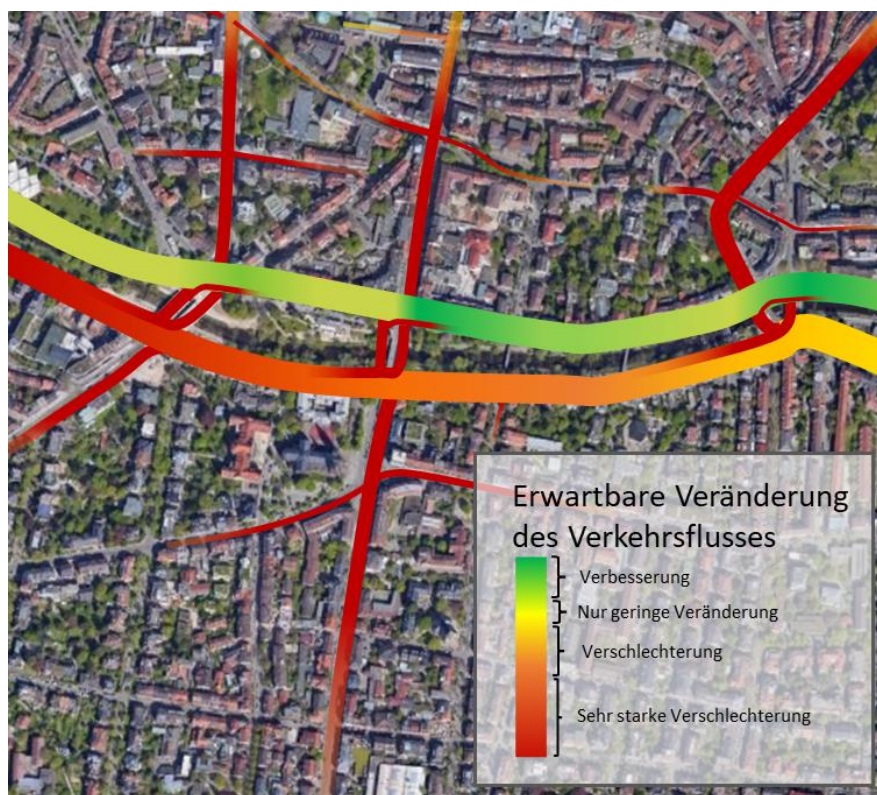


Abbildung 8 Übersicht östliches Stadtgebiet mit zu erwartenden Kapazitätsverlagerungen bei Grünzeitemumverteilung zugunsten der B31 aus Richtung Höllental

Zudem führt eine Reduzierung der Grünzeiten der südlichen Abbieger über die Dreisam zu einer potenziellen Überstauung der Aufstellflächen. Die Abbiegebeziehungen über die Dreisam haben allesamt sehr eingeschränkte Aufstellflächen (zwischen 30 und 60m). Ist der Abfluss auf diesen eingeschränkt besteht die Gefahr der Überstauung der südlichen B31. Auch hier entsteht dann wiederum die Gefahr von nachgelagerten Schneeballeffekten. Gekürzte Grünzeiten des querenden Fußgänger- und Radverkehrs verringern die Verkehrssicherheit, da mit einer erhöhten Anzahl an Rotlichtverstößen zu rechnen ist. Darüber hinaus wird der Radverkehr teilweise im Mischverkehr auf der Fahrbahn geführt und ist dadurch von einer Überstauung ebenfalls negativ betroffen.

Die quantifizierten und weiträumigen Effekte einer Umverteilung der Grünzeiten müssten in einer getrennten Untersuchung betrachtet werden. Insbesondere ist die Aufrechterhaltung der

Koordinierung, sowie die Überstauung von sensiblen Verkehrsflächen für diese Maßnahme in Ihrer Komplexität dediziert zu betrachten.

Eine Umverteilung der Grünzeiten könnte einen entscheidenden Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Eine Umverteilung hätte jedoch extreme negative Auswirkungen auf den Verkehrsablauf der Neben- und Gegenrichtung. Die Maßnahme kann aufgrund der erheblichen negativen Auswirkungen aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.1.4 Umlaufzeiterhöhung und Anpassung der Grünzeiten (M1.4)

Um den geringen Wirkungsgrad einer reinen Umlaufzeiterhöhung zu kompensieren, gleichzeitig die negativen Folgeerscheinungen einer Grünzeitumverteilung in höchstmöglichem Maße zu reduzieren, könnte sich eine Kombination der Maßnahmen aus M1.2 und M1.3 empfehlen.

Aus den Modellrechnungen aus Abschnitt 2.4 ergibt sich eine benötigte Grünzeitanteilerhöhung des betroffenen Verkehrsstroms von 8-12% (siehe 6.6), bei einer gleichzeitigen Umlaufzeiterhöhung auf 120s demnach 10 - 15s Grünzeiterhöhung. Diese muss auch hier wiederum konsekutiv den Nebenrichtungen abgezogen werden. Es lassen sich jedoch, durch gewonnene Zeit aufgrund Reduzierung der Übergangszeiten bei Umlaufzeiterhöhung, Kapazitätsverluste in den Nebenrichtungen reduzieren.

Generell hat eine Umlaufzeiterhöhung positive Effekte auf die Gesamtkapazität der Kreuzung. Jedoch bedingt die Skalierung eine generelle Zunahme der kurzzeitigen Rückstauereffekte (in Relation steigt der Grünzeitanteil leicht, die absolute Sperrzeit pro Umlauf wird jedoch erhöht). Die in 3.1.2 angeführten negativen Folgen einer Umlaufzeiterhöhung bleiben bestehen. Generell steigt die mittlere Wartezeit für die Nebenrichtungen. Insbesondere sind die Wartezeiten für den Fußgänger- und Radverkehr anzuführen, da sich diese subjektiv stärker auswirken aufgrund deren ungeschützter Stellung im Verkehrsraum. Es ist daher mit einer erhöhten Anzahl an Rotlichtmissachtungen der Fußgänger und Radfahrer zu rechnen.

Trotz Umlaufzeiterhöhung müssen für den Nebenrichtungen größtenteils die Grünzeitanteile gekürzt werden, um die Hauptrichtung in erforderlichem Maße zu verflüssigen. Die in 3.1.3 angeführten Risiken bezüglich Rückstauerscheinungen in der Altstadt, sowie Überstauung der Aufstellflächen auf den Brücken über die Dreisam und deren Rückkopplungseffekte bleiben bestehen, sind jedoch leicht abgeschwächt.

Um die Folgen dieser Maßnahme exakt quantifizieren zu können wäre im Hinblick auf die Komplexität des Gesamtsystems und die Aufrechterhaltung der Koordinierung, sowie die Überstauung von sensiblen Verkehrsflächen eine dezidierte Detailuntersuchung erforderlich. Der dafür erforderliche Aufwand ist aber vor dem Hintergrund der absehbaren negativen Effekte kritisch zu bewerten.

Eine Kombination aus Umlaufzeiterhöhung und Umverteilung der Grünzeiten könnte einen entscheidenden Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten.

Eine Umverteilung in erforderlichem Maße hätte jedoch extreme Auswirkungen auf den Verkehrsablauf der Neben- und Gegenrichtung, sowie den ÖPNV und den Fuß- und Radverkehr. Die Maßnahme kann aufgrund der erheblichen negativen Auswirkungen aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.1.5 Dauergrün der B31 aus Richtung Höllental- „Verkehrabhängiger Volleingriff“ (M1.5)

Eine maximale Auflösung des Rückstaus wird durch dauerhafte Freigabe (also freien Abfluss und damit maximale Abflusskapazität der freien Strecke) erreicht. Statt einer zeitlich verteilten Erhöhung der Abflusskapazität, gibt es auch die Möglichkeit sehr punktuell aber umso drastischer zu reagieren. So kann mit einem Dauergrün reagiert werden. Die Aktivierungsschwellen einer solchen Maßnahme lassen sich prinzipiell aus der Voruntersuchung zur Zuflussdosierungsanlage übernehmen und basieren auf bereits vorhandener Infrastruktur [2]. Es können Induktionsschleifen genutzt werden, die etwa 250m stromabwärts der Ausfahrt Schützenalleeetunnel liegen.

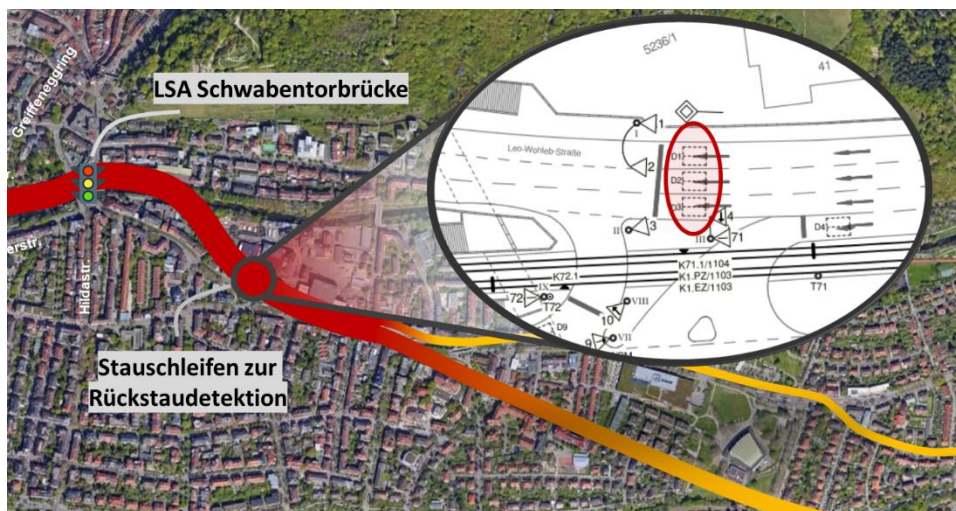


Abbildung 9 Ergebnisse der linearen Rückstaumodellierung bei verkehrabhängiger Aktivierung von Dauergrün

Abbildung 10 zeigt das vereinfachte Verkehrsmodell mit verkehrabhängigem Volleingriff bei zwei Eingriffsschwellen (Szenario 1 schaltet den Volleingriff bereits nach weniger staufreier Nachlaufzeit ab als in Szenario 2, dadurch wird in Szenario 2 etwas effektiver der Rückstau reduziert und der Eingriff ist zeitlich etwas begrenzter). Das Modell zeigt, dass ein solcher Volleingriff wirksam ist und nur zu sehr begrenzten Zeiten aktiviert werden muss. Allerdings ist die Parametrierung der Aktivierungs- und Deaktivierungsschwellen von enormer Bedeutung [2].

Eine Wirksamkeit des Volleingriffs ist in jedem Fall gegeben. Jedoch steht demgegenüber der absolute Eingriff in den Verkehrsfluss. Reagiert das System auf einen Rückstau bei einer Länge von $\pm 550\text{m}^9$, so wird für den Abfluss dieser Menge in etwa 3min Dauerfreigabe benötigt. Dieser Eingriff würde (während der etwa 60-90min dauernden Spitzenzeit) dann für etwa 10 min ausreichen, bis erneut eingegriffen werden müsste¹⁰.

Während diesem Volleingriff kommen alle Nebenrichtungen und auch querende ÖV-Linien komplett zum Erliegen. Die Gegenrichtung wird ebenfalls als Folge zum Erliegen kommen. Während dieser Standzeit bildet sich hier ein Rückstau der anschließend nur über einen sehr langen Zeitraum abgebaut werden kann und dessen nachgelagerte Schneeballeffekte als immens anzunehmen sind. Die Auswirkungen auf die jeweils stromaufwärts gelegenen Knotenpunkte sind ohne dedizierte Untersuchung kaum abzusehen. Es wird jedoch in jedem

⁹ Das System muss bereits vor Erreichen der kritischen Staulänge reagieren, da der Abfluss eine gewisse Reaktionszeit beinhaltet in der kurzzeitig weiterhin der Rückstau zunimmt.

¹⁰ bei abgeleiteter Kapazitätsdefizit kommen pro Sekunde und Fahrstreifen 0.97m Rückstau dazu

Fall zu sehr hohen Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer der Nebenrichtungen (Fußgänger, Radfahrer, ÖPNV und Kraftfahrzeugführer) kommen.

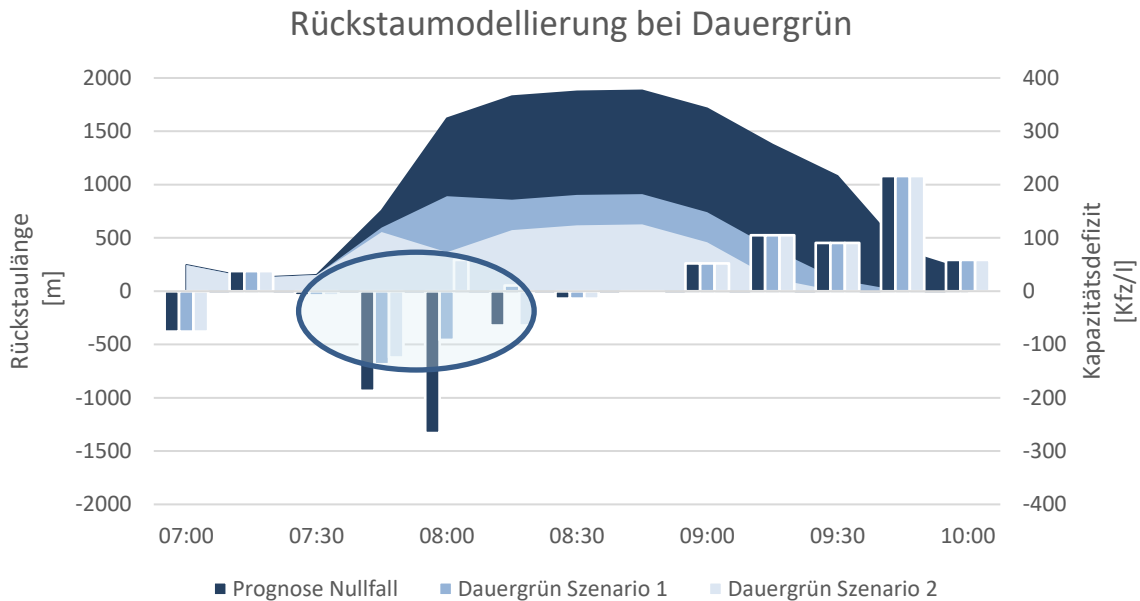


Abbildung 10 Ergebnisse der linearen Rückstaumodellierung bei verkehrsabhängiger Aktivierung von Dauergrün

Nach Regelwerk [4] gelten Wartezeiten für

- den Kfz-Verkehr ab 70s,
- den ÖPNV auf Sonderfahrstreifen ab 60s,
- und den Fußgänger- sowie Radverkehr ab 85s

als „[...] sehr lang. Auf dem betrachteten Fahrstreifen wird die Kapazität im Kfz-Verkehr überschritten. Der Rückstau wächst stetig. Die Kraftfahrzeuge müssen bis zur Weiterfahrt mehrfach vorrücken“. Bei solch langen Dauerrotphasen ist mit erhöhten Rotlichtverstößen, insbesondere bei Fußgängern und Radfahrern zu rechnen. Urteile von Oberlandesgerichten¹¹ legten außerdem fest, dass bei Wartezeiten von über drei Minuten eine Funktionsstörung angenommen werden kann, woraufhin trotz Rotlicht der Kreuzungsbereich befahren werden kann. Dies hat negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit.

Eine solcher Volleingriff muss an allen lichtsignalgeregelten Anlagen des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden, um auch einen freien Durchfluss dieser Verkehrsmengen durch das Gesamtsystem zu bewerkstelligen. Außerdem müsste sichergestellt werden, dass Aufstellflächen während dieses Volleingriffes nicht so weit überstauen, dass dieser Abfluss verhindert wird. Dies bedarf einer genauen Untersuchung und einer Einzelfallbetrachtung aller betroffenen Anlagen. Eine mikroskopische Simulation wäre, sollte die Maßnahme trotz der immensen negativen Auswirkungen weiterverfolgt werden, dringend empfohlen.

Eine Dauergrünschaltung auf der B31 aus dem Höllental könnte einen entscheidenden Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Demgegenüber stehen jedoch erhebliche Auswirkungen auf nahezu alle anderen Fahrbeziehungen. Die Maßnahme braucht daher aus gutachterlicher Sicht nicht weiterverfolgt werden.

¹¹ Urteil vom OLG Hamm vom 10.06.1999 Az- 2 Ss OWi 486/99

3.1.6 Reduzierung der ÖV-Eingriffsmöglichkeiten (M1.6)

An den Knotenpunkten Schwabentorbrücke, Kaiserbrücke und Kronenbrücke verkehren jeweils Stadtbahnlinien (siehe Abbildung 11). Diese können in den lichtsignalgesteuerten Ablauf eingreifen, um den jeweiligen Knotenpunkt zu durchfahren. Solche Eingriffe können beliebig stark priorisiert werden. Hierbei geschieht immer eine Abwägung zwischen den Interessen des ÖPNV und des Individualverkehrs.

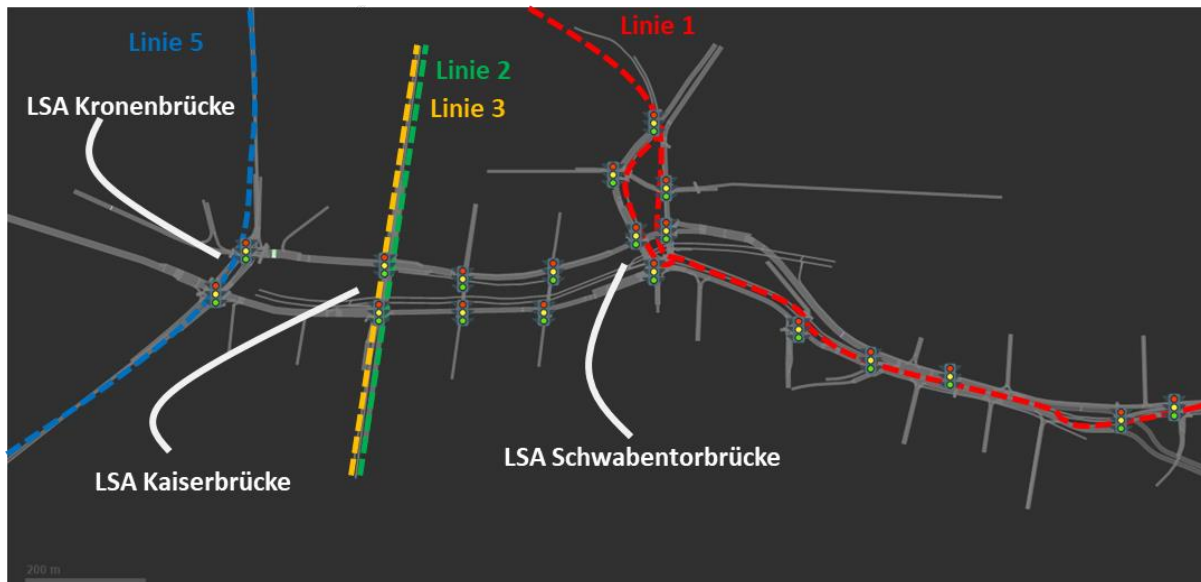


Abbildung 11 Übersichtsplan ÖV-Linien im Untersuchungsgebiet

An den betroffenen Anlagen erfolgen diese Eingriffe nach dem Erlaubnisbereichsverfahren. Die Eingriffe sind demnach auf vordefinierte Zeitbereiche innerhalb eines signaltechnischen Umlaufs beschränkt. Dadurch wird sichergestellt, dass der Verkehrsfluss des Individualverkehrs nicht zu stark eingeschränkt wird und innerhalb der Koordinierung bleibt.

Nach Rücksprache mit dem zuständigen Planungsbüro und Sichtung der verkehrstechnischen Unterlagen sind diese Eingriffe heute bereits sehr eingeschränkt um dem hohen Verkehrsdruck des Individualverkehrs Rechnung zu tragen. Es sind demnach nur geringe Spielräume für weitere Einschränkungen des ÖPNV vorhanden. Der Effekt einer möglichen Erlaubnisbereichseinschränkung kommt zudem nur dann zum Tragen, wenn ein ÖV-Fahrzeug innerhalb des nun eingeschränkten Zeitfensters eintrifft. Da dieser Zeitbereich sehr gering ist und die Eintreffenswahrscheinlichkeit eines ÖV-Fahrzeuges innerhalb dieses Bereiches nochmals vielfach geringer ist, sind die Potenziale einer solchen Maßnahme deutlich reduziert.

Diese Erkenntnis deckt sich mit Erkenntnissen der vormals angestellten mikroskopischen Simulation [2]. Es wurde damals zur Ermittlung des Einflusses der ÖPNV-Eingriffe ein Szenario ohne die ÖV-Eingriffe der Linien 2,3 und 5 simuliert. Bei Vergleich der abfließenden Verkehrsmengen stromabwärts der LSA Kaiserbrücke konnte nur eine unwesentliche Erhöhung im Vergleich zum Prognose Nullfall (mit ÖV-Eingriffen) festgestellt werden. Dieser Maßnahme kann daher alleinstehend nur ein sehr geringes Potenzial den Rückstau zu reduzieren zugewiesen werden. Zwar bietet die LSA Schwabentorbrücke Nord etwas höheres Potenzial die Erlaubnisbereiche des ÖPNV's einzuschränken, jedoch könnte die erhöhte Abflusskapazität konsekutiv nicht über die LSA Kaiserbrücke abfließen und hätte somit keine wesentlich rückstau-reduzierende Wirkung.

Demgegenüber steht eine Reisezeiterhöhung für die Straßenbahnen und demzufolge eine Attraktivitätsreduzierung für den ÖPNV. Eine solche kann langfristig vermehrt Kraftfahrzeugverkehr induzieren [8]. Außerdem ist zu beachten, dass insbesondere auch bei Abfluss der Stadtbahnlinien Abhängigkeiten zu den südlichen Lichtsignalanlagen bestehen. Eine solche Maßnahme wäre in jedem Fall, vor einer Umsetzung, dediziert zu untersuchen und idealerweise in einer mikroskopischen Simulation zu betrachten.

Eine Reduzierung der ÖV-Eingriffsmöglichkeiten kann nur einen geringen Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Demgegenüber steht eine Verschlechterung der Angebotsqualität des ÖPNV. Die Maßnahme kann aufgrund der erheblichen negativen Auswirkungen aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.1.7 Eingriffe an Fußgängeranlagen Marien- und Luisensteg reduzieren (M1.7)

Zwischen den beiden Knotenpunkten Schwabentorbrücke Nord und Kaiserbrücke Nord befinden sich zwei lichtsignalgeregelt Fußgängerüberwege am Mariensteg und am Luisensteg (siehe Abbildung 12). Bei Anforderung der Fußgänger über einen Taster wird hier jeweils der Kraftfahrzeugverkehr der B31 gesperrt, um den Fußgängern ein Passieren zu ermöglichen. Diese Eingriffsmöglichkeit kann dem Fußgänger aktuell zwei Mal pro Umlauf gegeben werden. Die Zeitfenster sind dabei so gewählt, dass die bestehende Koordinierung nicht gebrochen wird. Durch eine Reduzierung der Anforderungsbereiche des Fußgängers, sodass dieser nur einmal pro Umlauf bedient werden kann, könnte demnach zusätzliche Kapazität für den Kraftfahrzeugverkehr der B31 geschaffen werden.

Die theoretische, absolute Kapazität könnte an dieser Stelle zwar erhöht werden, es besteht jedoch kein wesentliches Potenzial durch diese Maßnahme den Abfluss zu erhöhen. Die beiden Fußgängeranlagen haben in Relation so geringe Grünzeiten, dass Sie kein reduzierender Faktor der Abflusskapazität sind (insbesondere in den Spitzenstunden). Da die Fußgängeranlagen außerdem innerhalb der Grünen Welle geschaltet werden, kommt es außerdem zu keinem Abbruch des koordinierten Verkehrsflusses. Es wäre demnach durch diese Maßnahme mit keiner Reduzierung der Rückstauemenge zu rechnen. Demgegenüber sinkt die Angebotsqualität durch erhöhte Wartezeiten für die querenden Fußgänger und das Risiko von Rotlichtverstößen steigt.

Eine Reduzierung der Eingriffe an den Fußgängeranlagen Marien- und Luisensteg kann keinen relevanten Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Die Maßnahme braucht daher aus gutachterlicher Sicht nicht weiterverfolgt werden.

3.2 Bauliche Maßnahmen (M2)

3.2.1 Fahrspuraufweitung (M2.1)

Die in Abschnitt 3.1 betrachteten Maßnahmen zielen auf eine Erhöhung der Abflusskapazität durch Erweiterung der Grünzeitfenster an den betroffenen Lichtsignalanlagen ab. Alternativ dazu kann eine Erhöhung der Abflusskapazität auch erreicht werden, indem mehr Abfluss pro Zeit ermöglicht wird. Dies ist insbesondere durch eine Erweiterung der Fahrstreifenanzahl möglich.

Im Bereich zwischen Schwabentorbrücke Nord bis Kaiserbrücke Nord wäre genügend Platz vorhanden, um die Fahrstreifen von zwei auf drei zu erweitern. So könnte eine neue Fahrspur von etwa 300m Länge entstehen auf der die Verkehrskapazität rechnerisch um den Faktor 1.5 erhöht werden könnte.



Abbildung 12 Bereich der möglichen Fahrspuraufweitung im Luftbild

Da jedoch die Aufweitung erst unmittelbar vor der Haltelinie der LSA Schwabentorbrücke Nord erfolgen kann, wird sich die Kapazitätserhöhung im Abfluss an dieser LSA voraussichtlich nicht in vollem Maße entfalten können. Hinsichtlich der aktuell verringerten Nutzung des dritten (linken) Geradeausfahrstreifens¹² an der LSA Kaiserbrücke Nord, die ein kapazitätsreduzierender Faktor ist, lässt sich durch diese Maßnahme keine wesentliche Verbesserung erwarten. Da die geringere Nutzung des linken Fahrstreifens aus der konsekutiven Weiterführung als Linksabbiegestreifen an der LSA Kronenbrücke Nord resultiert, wird sich diese durch eine dreiteilige Führung im Zulauf nicht in erheblichem Maße ändern. Durch die Erhöhung der Kapazität wäre die Wahrscheinlichkeit, dass durch Staudetektoren die Grünzeiten gekürzt wird, leicht reduziert, da generell etwas mehr Aufstellfläche zur Verfügung steht und die Linksabbieger der LSA Kronenbrücke Nord geringfügig verträglicher abfließen könnten. Die Fahrspuraufweitung hat demnach ein geringes Potenzial zu einer Rückstaureduzierung im Schützenallee-Tunnel beizutragen. Als alleinstehende Maßnahme wird jedoch die Auswirkung auf die LSA Schwabentorallee als zu gering eingeschätzt. Durch diese Maßnahme würden zudem die vorhandenen Parkmöglichkeiten, Radfahrwege, Gehwege und Grünstreifen teilweise wegfallen oder zumindest verengt werden. Allgemein wird das Stadtebild dadurch aus heutiger Sicht negativ beeinträchtigt.

¹² Die Aufteilung auf die drei Fahrstreifen für die Fahrbeziehung Geradeaus ist aktuell in der Spitzenstunde bei etwa 37% , 40% und 23% (von rechtem FS nach linkem FS).

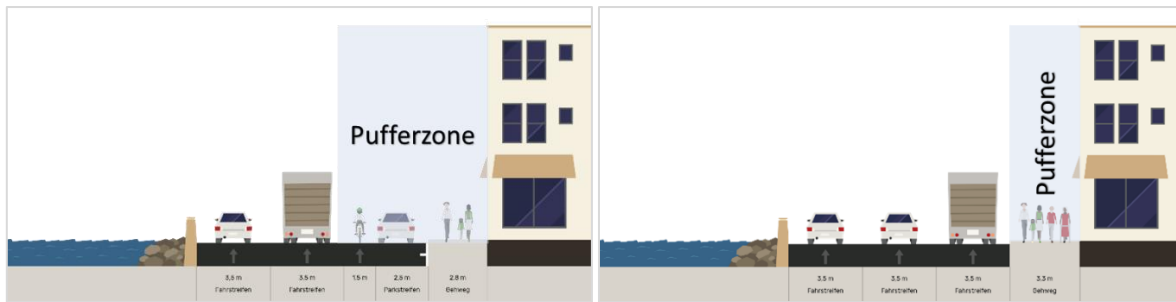


Abbildung 13 Straßenraumquerschnitt im Vergleich. Bestand (links) und mit Fahrspuraufweitung (rechts)

Die Pufferzone zwischen Wohnbereich und Kraftfahrzeugverkehr der Bundesstraße wird dadurch um 3,5m reduziert. Die Pufferzone für die auf dem Gehweg befindlichen Personen wird gar von 4m auf 0 reduziert. Der Fußgängerbereich befände sich dann unmittelbar angrenzend an den Kraftfahrzeugverkehr. Durch das Heranrücken des rechten Fahrstreifens an die Wohnbebauung wäre eine deutliche Erhöhung der Immissionspegel sowie eine Erhöhung der Erschütterungen der Bestandsgebäude die Folge. Neben den genannten Aspekten ist daher entscheidend, dass diese Maßnahme im Hinblick auf die dortigen extrem hohen Lärmbelastungen planungsrechtlich nicht genehmigungsfähig erscheint. Außerdem entfällt der aktuelle Radfahrstreifen. Die Fahrradfahrer müssten also dann die normale Fahrspur mitnutzen, was neben Sicherheitsaspekten auch die Leistungsfähigkeit des Kfz-Verkehrs beeinträchtigen kann.

Theoretisch ließe sich die Fahrspuraufweitung stromabwärts weiterführen, indem der Rechtsabbiegestreifen an der LSA Kaiserbrücke Nord zu einem geteilten Fahrstreifen für die Fahrbeziehung Geradeaus und Rechtsabbiegen umgewidmet wird. Stromabwärts der LSA Kaiserbrücke Nord müssten dann ebenfalls die Flächen für das bisherige Seitenparken als zusätzlicher Fahrstreifen genutzt werden. Da jedoch die zusätzliche Fahrspur für die Geradeausfahrbeziehung nicht bis über die LSA Kronenbrücke Nord weitergeführt werden kann, müssten in dem kurzen Abschnitt zwischen LSA Kaiserbrücke Nord und LSA Kronenbrücke Nord von etwa 160m erhebliche Verflechtungsvorgänge stattfinden. Könnte man den Anteil der Rechtsabbieger auf dem neuen geteilten Fahrstreifen von unter 50Kfz/h noch als geringen Reduktionsfaktor der gewonnenen Kapazität einordnen, sind die Verflechtungsvorgänge in dichtem Verkehr jedoch als wesentlicher Reduktionsfaktor anzusehen. Es ist durch die geringen Verflechtungsflächen gar mit einer Verschlechterung der Abflusskapazität zu rechnen. Durch das Heranrücken des rechten Fahrstreifens an die Wohnbebauung im gesamten beschriebenen Abschnitt wäre eine deutliche Erhöhung der Immissionspegel sowie eine Erhöhung der Erschütterungen der Bestandsgebäude die Folge. Neben den genannten Aspekten ist daher entscheidend, dass diese Maßnahme im Hinblick auf die dortigen extrem hohen Lärmbelastungen planungsrechtlich nicht genehmigungsfähig erscheint.

Eine Fahrspuraufweitung könnte einen gewissen Beitrag zur erforderlichen Rückstauvermeidung leisten. Demgegenüber steht jedoch ein erheblicher baulicher Eingriff, der neben einer wesentlichen Verschlechterung der Angebotsqualität für den Fußgänger- und Radverkehr planungsrechtlich aus Immissionsschutzgründen nicht genehmigungsfähig erscheint. Die Maßnahme braucht daher aus gutachterlicher Sicht nicht weiterverfolgt werden.

3.2.2 Planfreie Fußgängerführung (Tunnel/Brücke) (M2.2)

Eine Möglichkeit zusätzliche Kapazitäten für den Kraftfahrzeugverkehr zu schaffen, ist es die kreuzenden Fußgänger planfrei zu führen. Passieren die Fußgänger auf einem anderen Niveau den Knoten, etwa durch eine Unterführung oder über eine Brücke, so entfällt der Konflikt zwischen Kfz-Verkehr und diesen Verkehrsteilnehmern. Jedoch werden die Fußgänger parallel zu den querenden Kraftfahrzeugverkehren aus den Nebenrichtungen bedient, was eine signalisierte Fußgängerbedienung als nicht-limitierend darstellt. Nach Durchsicht der Planungsunterlagen könnten durch den Entfall der Feindlichkeiten nur etwa zwei Sekunden mehr Grünzeit pro Umlauf für die B31 erreicht werden. Hinzu kommt, dass Fußgängerbrücken barrierefrei gestaltet werden müssen [9], was den Flächenbedarf deutlich erhöht. Die Herstellung der Barrierefreiheit ist unter dem Gesichtspunkt der Flächenverfügbarkeit an den Knotenpunkten auf der Nordseite der Dreisam, unter Berücksichtigung der angrenzenden Bebauung und knappen öffentlichen Flächen, voraussichtlich nicht möglich.

Der positive Einfluss dieser Maßnahme auf den Verkehrsfluss der östlichen Zufahrt der B31 aus dem Höllental wäre nur sehr geringfügig, da die Fußgänger hier kein wesentlicher Faktor sind.

Eine Planfreie Fußgängerführungen kann keinen relevanten Beitrag zur erforderlichen Rückstauvermeidung leisten. Demgegenüber steht jedoch ein erheblicher baulicher Eingriff, der aufgrund der örtlichen Situation nicht die gesetzlich vorgeschriebene Barrierefreiheit ermöglicht. Die Maßnahme braucht daher aus gutachterlicher Sicht nicht weiterverfolgt werden.

3.2.3 Bündelung der Stadtbahnlinien (M2.3)

Um die Anzahl der ÖV-Eingriffe am designierten Flaschenhals, der LSA Kaiserbrücke Nord, zu reduzieren, könnte die Anzahl der hier querenden Stadtbahnen durch Verlegung einzelner Linien reduziert werden. Abbildung 14 zeigt eine denkbare Variante. Dabei wird die Stadtbahnlinie 3 parallel zur Stadtbahnlinie 5 über die Kronenbrücke geführt, anstatt wie bisher über die Kaiserbrücke. Die neue Führung würde ab Haltestelle Stadttheater beginnen und über die Haltestellen Erbprinzenstraße, Mattenstraße und an der Haltestelle Heinrich-von-Stephan-Straße wieder in die bisherige Linienführung zurückkehren. Hierzu wären erhebliche Umbaumaßnahmen am Stadttheater nötig, da die Gleiskörper für die Linienführung der Fahrbeziehung West nach Süd bisher nicht vorhanden sind.

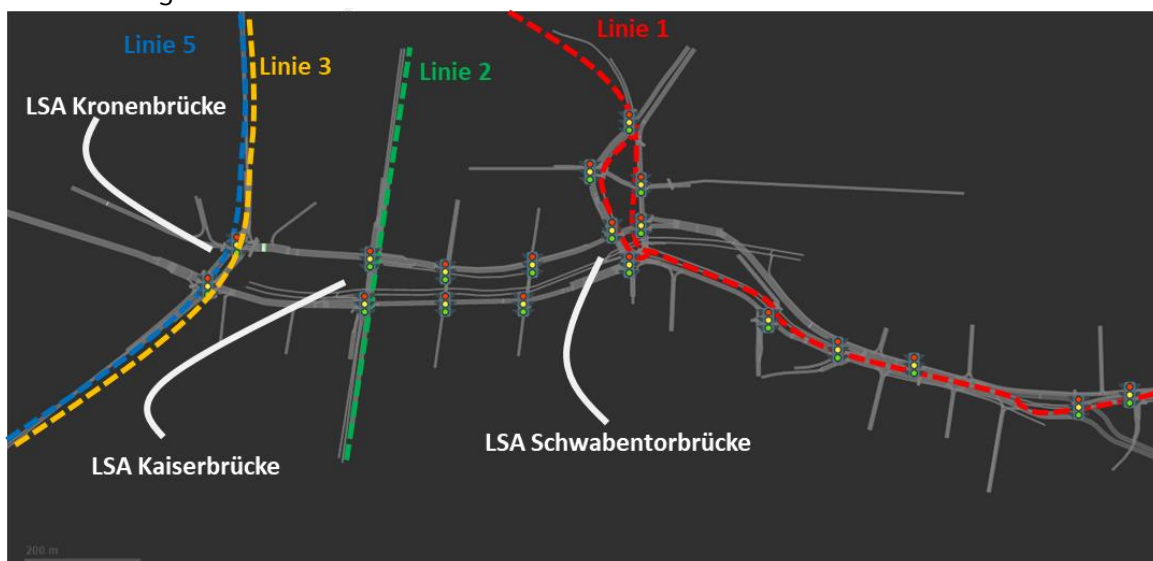


Abbildung 14 Übersichtspland ÖV-Linien mit Verlegung des Streckenverlaufs von Linie 3

Das Potenzial dieser Maßnahme ist, mit Hinblick auf die in Abschnitt 3.1.6 (Maßnahme 1.5) beschriebene geringe Eingriffsmöglichkeiten des ÖPNV, sehr gering. Demgegenüber steht die fehlende Gleisverbindung am Stadttheater (eine bauliche Machbarkeit wurde nicht untersucht), sowie die Verschlechterung der ÖPNV-Angebotsqualität der (südlichen) Innenstadt (Wegfall der Haltestellenbedienungen Bertoldsbrunnen, Holzmarkt und Johanniskirche durch die Stadtbahnlinie 3). Des Weiteren müsste dediziert betrachtet werden, welche Auswirkungen diese Maßnahme auf den Verkehrsablauf an der Kronenbrücke hat, da hier nun eine erhöhte Anzahl an ÖV-Eingriffen vorzufinden sein wird.

Eine Bündelung der Stadtbahnlinien könnte aufgrund der aktuell geringen Eingriffsschwere nur einen geringen Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Demgegenüber steht jedoch ein erheblicher Umsetzungsaufwand, sowie eine erwartbare Verschlechterung der Angebotsqualität des ÖPNV. Diese Maßnahme kann daher aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.3 Regulative Maßnahmen (M3)

3.3.1 Zuflussdosierung Schwarzwaldstraße (M3.1)



Abbildung 15 Übersichtsplan bei Zuflussdosierung auf der Schwarzwaldstraße

Gemäß Zähldaten aus dem Jahr 2019 (siehe Abschnitt 2.1.2) kommt in der betrachteten morgendlichen Spitzenstunde in etwa 35% der gesamten zufließenden Kraftfahrzeuge auf die östliche Zufahrt des Knotenpunktes Schwabentorbrücke Nord aus der einspurigen Schwarzwaldstraße. Es sei jedoch explizit darauf hingewiesen, dass die gezählten Verkehrsmengen nicht dem tatsächlichen Verkehrsdruck entsprechen. Da in den betrachteten Spitzenzeiten die Zufahrt der B31 bereits überstaut ist, entsprechen die 65% Zuflussmenge der B31 aus dem Höllental nur der anteiligen Abflusskapazität der stromabwärts gelegenen Bereiche. Da die Zufahrt der Schwarzwaldstraße den überstauten Bereich auf der zufahrenden linken Fahrspur noch weitestgehend frei befahren kann, ist beim Verhältnis des eigentlichen Verkehrsdruckes ein geringerer Anteil der Schwarzwaldstraße anzunehmen.

Nichtsdestotrotz trägt diese Zufahrt der Schwarzwaldstraße nicht unwesentlich zur Rückstaubildung bei. Eine Zuflussdosierung der einspurigen Schwarzwaldstraße könnte demnach zur Rückstaureduzierung auf der parallelen B31 aus Richtung Höllental beitragen. Hierbei könnte prinzipiell bestehende Infrastruktur genutzt werden. Die bestehende Lichtsignalanlage, auf Höhe der Haltestelle Maria-Hilf-Kirche (K1101 in Abbildung 15) kann durch Softwareänderung zur Zuflussdosierung genutzt werden. Die stromaufwärts liegenden Lichtsignalanlagen sollten im Zuge dieser Maßnahme ebenfalls angepasst werden.

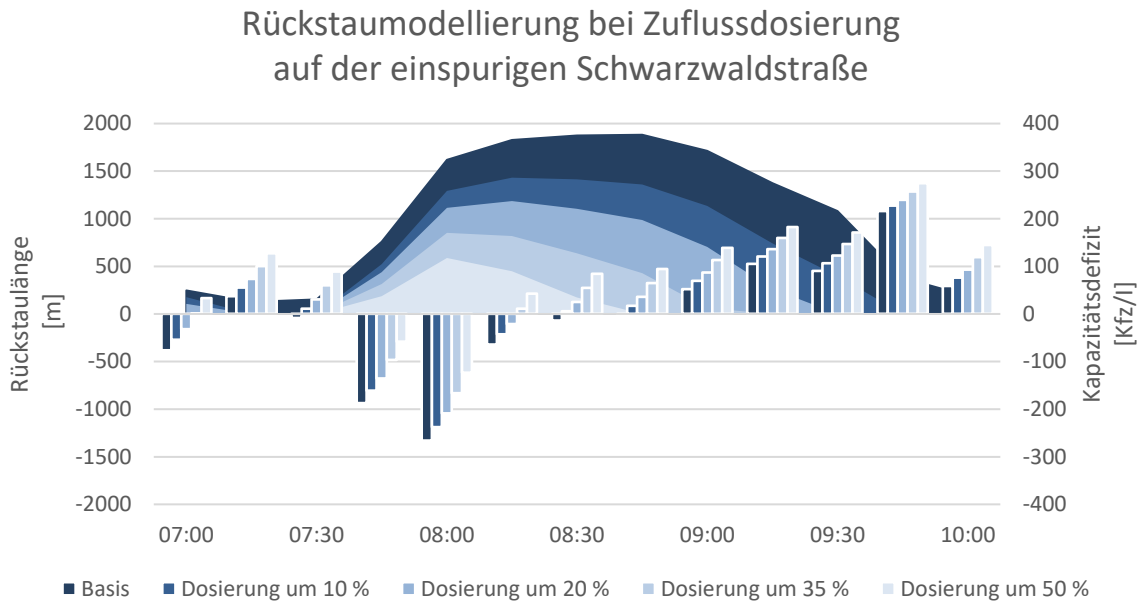


Abbildung 16 Ergebnisse der linearen Rückstaumodellierung bei Zuflussdosierung der einspurigen Zufahrt Schwarzwaldstraße. Angaben in Prozent an zufließender Verkehrsmenge der einspurigen Schwarzwaldstraße

Nach Modellierung der Zuflussdosierung im linearen Modell ist eine Zuflussdosierung um etwa 40% nötig, um die erforderlicher Rückstau zu erhalten. Der Rückstau auf der Schwarzwaldstraße wäre bei einer solchen Maßnahme enorm. Geht man von einer gut parametrisierten, verkehrabhängigen Aktivierung der Zuflussdosierung aus, so müsste diese in der Regel über den Zeitraum von etwa 07:45Uhr bis 08:15Uhr aktiviert werden. Der Rückstau vor der Zuflussdosierung würde jedoch selbst in diesem Zeitraum auf bis zu 4km Länge wachsen und damit den Verlauf der stromaufwärts gelegenen Schwarzwaldstraße, der Hansjakobstraße und Kappler Straße überstauen. Aufgrund dessen würde es zu enormer Lärm- und Umweltbelastung der Anwohner kommen. Es würde zu einer enormen Beeinträchtigung des teilweise nicht getrennt geführten ÖPNV aber auch des Radverkehrs kommen. Durch Überstauung der stromaufwärts liegenden Knotenpunkte wären auch querende Verkehrsströme (u.a. Fußverkehr) behindert oder gefährdet. Außerdem wären starke Mengen an Ausweichverkehren durch Gewöhnungseffekte nicht vermeidbar.

Um mit dieser Maßnahme die erforderliche Rückstau zu erreichen, ist in jedem Fall mit enormen verkehrlichen Auswirkungen in Oberau und Waldsee zu rechnen. Eine genaue Quantifizierung bedarf jedoch weiteren dedizierten Untersuchungen in mikro- und makroskopischen Modellen.

Eine Zuflussdosierung auf der Zufahrt Schwarzwaldstraße könnte einen entscheidenden Beitrag zur erforderlichen Rückstau zu erhalten. Demgegenüber steht jedoch eine unvermeidbare Überstauung des Straßennetzes im Freiburger Ostens. Die Maßnahme kann aufgrund der erheblichen negativen Auswirkungen aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.3.2 Anpassung der Geschwindigkeitsbegrenzung (M3.2)

Die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im städtischen Verlauf der östlichen B31 aus Richtung Höllental kann aus dem Gesichtspunkt der Leistungsfähigkeit vernachlässigt werden. Die Fachwelt ist sich hierbei einig, dass eine Geschwindigkeitserhöhung von 30 auf 50km/h keinen nennenswerten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Streckenabschnittes hat [7].

Zeitbedarfswert und Sättigungsverkehrsstärke

Die **Sättigungsverkehrsstärke** bestimmt sich aus der Anzahl der Fahrstreifen multipliziert mit dem Zeitbedarfswert.

Der **Zeitbedarfswert** quantifiziert den zeitlichen Abstand zweier fahrender Kraftfahrzeuge auf einem Fahrstreifen.

(Genauere Berechnung und Formel siehe Anhang 6.2)

Die Abflusskapazität wird wesentlich von der Grünzeit der Lichtsignalanlagen bestimmt. Hinzukommt die Sättigungsverkehrsstärke der Strecke, die sich aus dem Zeitbedarfswert ableitet. Dieser liegt nach einschlägiger Meinung der Fachwelt, sowohl bei Tempo 30, als auch bei Tempo 50, bei etwa 1.8s [4] [10]. Hierbei spielen andere Einflussgrößen, wie etwa der Schwerverkehrsanteil durchaus eine Rolle (siehe dazu auch Anhang 6.2). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit, innerhalb der hier betrachteten Grenzen, jedoch nicht.

Hinzukommt, dass in den betroffenen Zeiträumen der Überstauung, die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht zum Tragen kommt, da der Verkehrsfluss in einem Maße gehemmt ist, dass eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von ≥ 30 km/h hier nur selten erreicht werden würde. Aus rechtlicher Sicht ist die Erhöhung der Geschwindigkeitsbegrenzung ebenfalls kritisch zu sehen, da die aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung aufgrund von Überschreitungen der Lärmgrenzwerte eingeführt wurde.

Eine Neufestlegung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit kann keinen relevanten Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Die Maßnahme braucht daher aus gutachterlicher Sicht nicht weiterverfolgt werden.

3.3.3 Schwerlastverkehr reduzieren (M3.3)

Einen sehr hohen Anteil von 8.9% des Gesamtverkehrs der östlichen B31 aus Richtung Höllental macht der Schwerlastverkehr aus. Ein hoher Schwerverkehrsanteil bewirkt sowohl eine größere Staulänge aufgrund der deutlich längeren Fahrzeuge, als auch eine reduzierte Sättigungsverkehrsstärke aufgrund des behäbigeren Beschleunigungs- und Abbremsverhaltens des Schwerverkehrs.

Es kann demnach erwartet werden, dass eine Reduzierung des Schwerverkehrsanteils einen wesentlichen Einfluss auf die Rückstaulänge haben kann. Abbildung 17 zeigt die Modellierung dieser Maßnahme. Bei vollkommener Reduktion des Schwerverkehrsanteils auf 0%, zeigt das Modell eine Rückstaureduktion auf eine maximale Rückstaulänge von immer noch 975m (anzutreffen zwischen 08:15Uhr und 08:30Uhr). Der Schützenallee-tunnel würde also trotz dieser Maßnahme in nicht unerheblichem Maße überstaut werden.

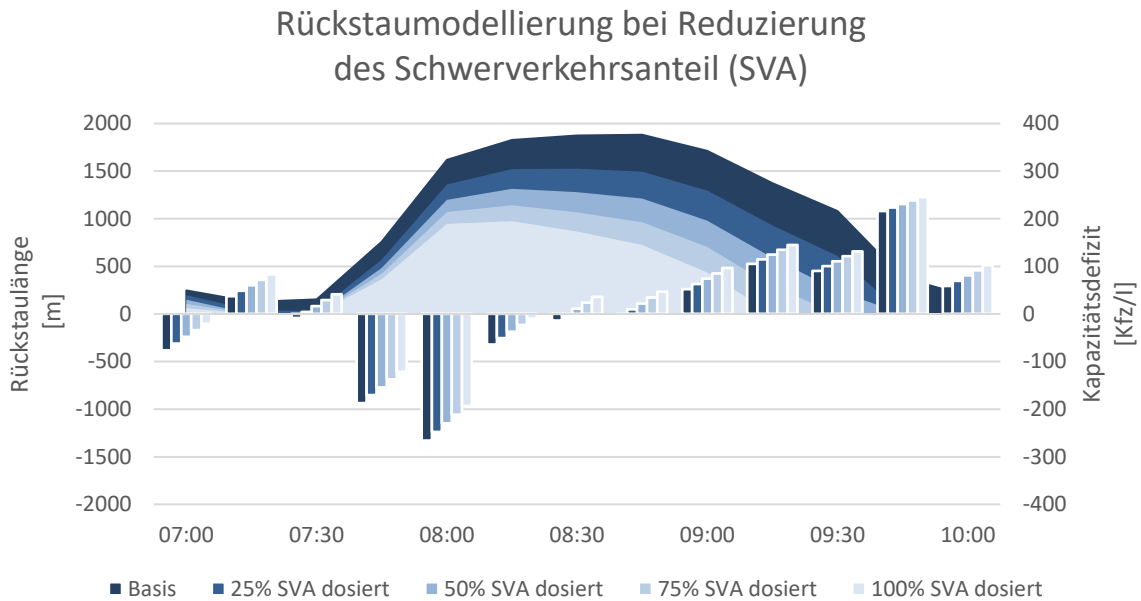


Abbildung 17 Ergebnisse der linearen Rückstaumodellierung Reduzierung des Schwerverkehrsanteils. Angaben in prozentualer Dosierung des SVA's. Berücksichtigt sind der geänderte Zeitbedarfswert und die durchschnittliche Fahrzeuglänge, sowie die Anzahl an reduzierten Fahrzeugen

Zudem stellt sich die Frage der Umsetzbarkeit. Der Schwerverkehr müsste entweder großräumig umgeleitet werden, was eine enorme Lärm- und Umweltbelastung für die betroffenen Wohngebiete der angrenzenden Gemeinden bedeuten kann. Zudem kann es aufgrund der hohen Mengen an Schwerlastverkehr wiederum auf den Ausweichstrecken zu Kapazitätsengpässen kommen.

Da plausible Alternativrouten für eine Schwerverkehrsumleitung nicht vorhanden sind, könnte eine Zuflussdosierungsanlage rein für den Schwerverkehr auf der B31 aus Richtung Höllental vorgesehen werden. Dazu müsste mit Aufstellflächen des Schwerverkehrs (bei einspuriger Aufstellungen) von bis zu 1km pro Stunde aktiver Zuflussdosierung in den Spitzenverkehrszeiten gerechnet werden. Eine Umsetzung dieser Art stellt allerdings einen enormen Eingriff in den fließenden Verkehr dar. Langfristig müsste mit zunehmenden Ausweichverkehren des Schwerverkehrs gerechnet werden, die die Zuflussdosierung umfahren möchten.

Eine zeitweise vollkommene Dosierung des Schwerverkehrsanteils auf 0% könnte einen durchaus relevanten Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Demgegenüber steht jedoch eine fragliche technische und bauliche Umsetzbarkeit, sowie die gesteigerte Lärm- und Umweltbelastung auf den möglichen Ausweichstrecken. Die Maßnahme kann aufgrund der erheblichen negativen Auswirkungen aus gutachterlicher Sicht nicht empfohlen werden.

3.3.4 Park and Ride (M3.4)

Das Ziel vom Park & Ride (P&R) ist es, außerhalb einer Stadt Parkmöglichkeiten in der Nähe von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs anzubieten. Somit wird eine Möglichkeit für Pendler aus dem Umland geschaffen, den eigenen Pkw außerhalb der Innenstadt abzustellen, um mit dem ÖPNV in die Stadt zu gelangen. Dadurch kann der Kraftfahrzeugverkehr reduziert werden und das städtische Straßensystem entlastet werden.

Für eine Entlastung der östlichen B31 aus Richtung Höllental müsste die Anzahl an Fahrzeugen in der Spitzenstunde um etwa 500-600 reduziert werden. Für diese Menge an Fahrzeugen müssten dann wiederum Parkflächen in Nähe einer ÖPNV-Haltestelle geschaffen werden. Bei einem durchschnittlichen Platzbedarf von 21m² pro Parkplatz (hierbei sind Flächen für Fahrgassen sowie Zu- und Abfahrt berücksichtigt), benötigt man dort eine Parkfläche zwischen 10.000 und 13.000m² [11] allein für die Fahrzeuge der Spitzenstunden. Eine Umsetzung als Parkhaus könnte den Flächenverbrauch deutlich reduzieren.

Neben der fehlenden Flächenverfügbarkeit für diese große Anzahl an Parkplätzen, stellt sich die Frage, inwiefern die Kapazitäten des ÖPNV mit der erhöhten Nachfrage zurecht kommen würden¹³. Aufgrund der hohen Bereitschaft der Verkehrsteilnehmer, die für den Erfolg von P&R benötigt wird, scheint eine Umsetzung in anvisiertem Umfang als eher unrealistisch. Jedoch kann die Förderung von P&R (bei geeigneter Standortwahl und leistungsfähigem ÖPNV) generell positive Auswirkungen haben ohne negative verkehrstechnische Folgeerscheinungen. Eine Förderung von P&R kann daher allgemein als erstrebenswert angesehen werden und reduziert als flankierende Maßnahme die Wahrscheinlichkeit eines rückstaukritischen Zustandes.

Ein verbessertes Park and Ride-Angebot könnte nur einen gewissen Beitrag zur erforderlichen Rückstaureduzierung leisten. Als Maßnahme zur akuten Reduzierung des Rückstaus ist sie aufgrund der Mittelfristigkeit in der Umsetzung sowie den fehlenden Voraussetzungen (z.B. Flächen und ÖPNV-Kapazitäten) nicht geeignet. Die Maßnahme erscheint als ergänzende Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse sinnvoll.

¹³ bei durchschnittlichem Belegungsgrad von 1.2 Personen pro Fahrzeug [13]: etwa 600-700 mehr Fahrgäste in der morgendlichen Spitzenstunde, sowie Abends in der Rückrichtung

3.4 Übersicht

		Maßnahmen	Potenzial	(negative) Auswirkungen auf den Verkehr im Untersuchungsraum					Umsetzungsaufwand			Gesamtbetrachtung
			B31 stadteinwärts	B31 stadtauswärts	KFZ	Radfahrer	Fußgänger	ÖV	Softwareseitig und planerisch	Technisch	Baulich	
Softwareseitige Maßnahmen	M1.1	Koordinierungsanpassung	Sehr geringes Potenzial									Nahezu kein Potenzial. Koordinierung bereits optimiert. → keine Empfehlung
	M1.2	Umlaufzeiterhöhung	Sehr geringes Potenzial									Sehr geringes Potenzial, bei starken Auswirkungen auf die Nebenrichtungen → keine Empfehlung
	M1.3	Umverteilung der Grünzeiten	Potenzial									Geringes Potenzial, bei sehr starken Auswirkungen auf die Nebenrichtungen → keine Empfehlung
	M1.4	Umlaufzeiterhöhung und Anpassung der Grünzeiten	Potenzial									Potenzial vorhanden, bei sehr starken Auswirkungen auf die Nebenrichtungen Voruntersuchung nötig. → eher keine Empfehlung
	M1.5	Dauergrün	Sehr hohes Potenzial									Hohes Potenzial vorhanden, bei extrem starken Auswirkungen auf die Nebenrichtungen → keine Empfehlung
	M1.6	Reduzierung der ÖV-Eingriffsmöglichkeiten	Geringes Potenzial									Geringes Potenzial, bei starken Auswirkungen auf den ÖV → keine Empfehlung
	M1.7	Fußgängereingriffe Marien- und Luisensteg reduzieren	Kein Potenzial									Kein Potenzial vorhanden → keine Empfehlung

		Maßnahmen	Potenzial	(negative) Auswirkungen auf den Verkehr im Untersuchungsraum					Umsetzungsaufwand			Gesamtbetrachtung	
			B31 stadteinwärts	B31 stadtauswärts	KFZ	Radfahrer	Fußgänger	ÖV	Softwareseitig und planerisch	Technisch	Baulich		
Bauliche Maßnahmen	M2.1	Fahrspuraufweitung	Potenzial										<p>Potenzial vorhanden, bei sehr starken Auswirkungen auf das Stadtbild und für die Anwohner, bei hohem baulichem Aufwand. Planungsrechtlich voraussichtlich nicht genehmigungsfähig.. → keine Empfehlung</p> <p>Sehr geringes Potenzial, bei sehr starken Auswirkungen auf das Stadtbild, bei extrem hohem baulichem Aufwand. → keine Empfehlung</p> <p>Geringes Potenzial, bei sehr hohem planerischem und baulichem Aufwand → keine Empfehlung</p> <p>Potenzial vorhanden, bei sehr hohen Rückstauerscheinungen in Oberau und Waldsee → keine Empfehlung</p> <p>Kein Potenzial vorhanden. Rechtlich voraussichtlich nicht umsetzbar. → keine Empfehlung</p> <p>Potenzial vorhanden, bei sehr starken Ausweichverkehren und/oder sehr hohen Rückstauerscheinungen auf der B31 → keine Empfehlung</p> <p>Geringes Potenzial vorhanden, bei planerischen und baulichen Aufwendungen. → als flankierende Maßnahme in Betracht zu ziehen</p>
	M2.2	Planfreie Fußgängerführung	Sehr geringes Potenzial										
	M2.3	Bündelung der Stadtbahnlinien	Sehr geringes Potenzial										
Sonstige Maßnahmen	M3.1	Zufussdosierung Schwarzwaldstraße	Potenzial										
	M3.2	Anpassen der Geschwindigkeitsbegrenzung	Kein Potenzial										
	M3.3	Schwerlastverkehr reduzieren	Potenzial										
	M3.4	Park and Ride	Geringes Potenzial										

4 Fazit

Nach Abwägung der Rückstaureduzierungspotenziale der einzelnen Maßnahmen mit Ihren jeweiligen negativen Auswirkungen, lässt sich keine Maßnahme uneingeschränkt empfehlen. Den Maßnahmen, denen ein Potenzial zugeschrieben werden kann, den Rückstau in annähernd erforderlichem Maße zu reduzieren (*M1.5 Dauergrün, M2.1 Fahrspuraufweitung, M3.1 Zuflussdosierung Schwarzwaldstraße und M3.3 Schwerlastverkehr reduzieren*) stehen immense Auswirkungen auf andere lokale oder modale Verkehrsbereiche entgegen, beziehungsweise bei Maßnahme M2.1 insbesondere die fehlende Rechtsgrundlage sowie ein enormer baulicher Aufwand. Diejenigen Maßnahmen hingegen, deren Auswirkungen und Aufwand akzeptabel wären, bieten auch in Kombination mit weiteren Maßnahmen kein ausreichendes Potenzial den Rückstau zu reduzieren.

Zieht man zur angestellten Maßnahmenbetrachtung die vormals untersuchte Maßnahme der Zuflussdosierungsanlage auf der östlichen B31 aus dem Höllental hinzu, stellt sich diese, aus verkehrstechnischer Sicht, als klare Vorzugsmaßnahme heraus. Bei ausreichend guter Parametrierung und anschließender Kalibrierung der Aktivierungs- und Deaktivierungsschwellen, kann eine solche Zuflussdosierungsanlage ohne Effizienzverluste eingesetzt werden (bei idealer Parametrierung konnten sogar Reisezeitgewinne erzielt werden).

Insbesondere aus Sicherheitsaspekten ist eine Dosierung des Zuflusses empfehlenswerter als eine Erhöhung des Abflusses. Zwar kann eine Erhöhung des Abflusses den Verkehrsfluss an sich verbessern, jedoch kann bei keiner untersuchten Maßnahme und selbst bei beliebiger Kombination dieser Maßnahmen, trotz Inkaufnahme drastischer negativer Begleiterscheinungen, nie garantiert werden, dass bei variierenden Verkehrsmengen ein Rückstau bis in den Tunnel vermieden wird. Jede dieser Maßnahmen (und deren Kombination) kann durch eine beliebig ausgeartete Verkehrsstörung ausgehebelt werden, die in einem Verkehrssystem, das sich am Kapazitätslimit befindet, zu einem Zusammenbruch führen kann. Da diese Untersuchung aus Beweggründen der Personensicherheit entstanden ist, muss eine klare Empfehlung für eine Zuflussdosierung ausgesprochen werden. Nur diese vermag es maximale Rückstaufreiheit im Tunnel und somit die Selbstrettung der Insassen im Havariefall zu garantieren. Da die Zuflussdosierung auf jegliche Schwankungen im Abfluss der Fahrzeuge dynamisch reagieren kann, ist sie maximal resilient.

Flankierende Maßnahmen, insbesondere die Schaffung eines Park-and-Ride-Angebots, die die Aktivierungswahrscheinlichkeit einer solchen Zuflussdosierung reduzieren, können sinnvoll sein und sind einzeln abzuwägen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Köln: FGSV Verlag, 2006.
- [2] VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH, Siemens Mobility GmbH und IVU Umwelt GmbH Freiburg, „Luftreinhalteplan Freiburg: Umweltorientierte Verkehrssteuerung B31 - Schlussbericht,“ Freiburg, 2020.
- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen (bast), Sicherheit geht vor - Straßentunnel in Deutschland, Bergisch Gladbach: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017.
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) - Teil S Stadtstraßen, Köln: FGSV Verlag, 2015.
- [5] U. Leyn, „Einfluss von Instationarität auf die Wartezeiten an Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage,“ in *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen*, Bd. 72, Karlsruhe, KIT Scientific Publishing, Institut für Verkehrswesen, Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch, 2016.
- [6] J. Geistefeldt und S. Giuliani, „Verkehrsqualität an verkehrsabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen,“ in *Berichte der Bundesanstalt für Verkehrswesen - Verkehrstechnik Heft V 289*, Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen (bast), 2017.
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Köln: FGSV Verlag, 2015.
- [8] A. Flade und U. Wullkopf, in *Förderung des Umweltverbundes*, Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Theorien und Modelle zur Verkehrsmittelwahl.
- [9] D. I. f. N. e. (DIN), DIN 18040 - Norm Barrierefreies Bauen, Berlin: Beuth Verlag, 2010.
- [10] E. Heinrichs, F. Scherbarth und K. Sommer, Wirkung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016.
- [11] T. Jocher und S. Loch, „Grundlagen, Ruhender Verkehr,“ in *Raumpilot*, Ludwigsburg, Wüstenrot Stiftung / Karl Krämer Verlag, 2012, p. 109ff..
- [12] Mobilitätszentrale Baden-Württemberg, „Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg,“ Mobilitätszentrale Baden-Württemberg, 2020. [Online]. Available: <https://www.svz-bw.de/verkehrszaehlung/automatische-strassenverkehrszaehlung/ganglinien-bundesstrassen>. [Zugriff am 21.12.2021].
- [13] H. Dürrholt, R. Hamacher, H. Hautzinger, B. Krämer, L. Neumann, T. Pischner und B. Schaaf, Strategien zur Erhöhung des Besetzungsgrades im Pkw-Verkehr, Heilbronn: Institut für angewandte Verkehrs- und Toursimusforschung, 1998.
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA), Köln: FGSV Verlag, 2002.
- [15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA), Köln: FGSV Verlag, 2010.
- [16] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, Köln: FGSV Verlag, 2006.

- [17] infas, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Mobilität in Deutschland (MiD)
- Ergebnisbericht, Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur,
2019.

6 Anhang

6.1 Jahresganglinie zur Verkehrsentwicklung (DTV)

DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr.

Zur Einstufung des Einflusses der Corona-Pandemie auf die Verkehrszahlen im betrachteten Gebiet.

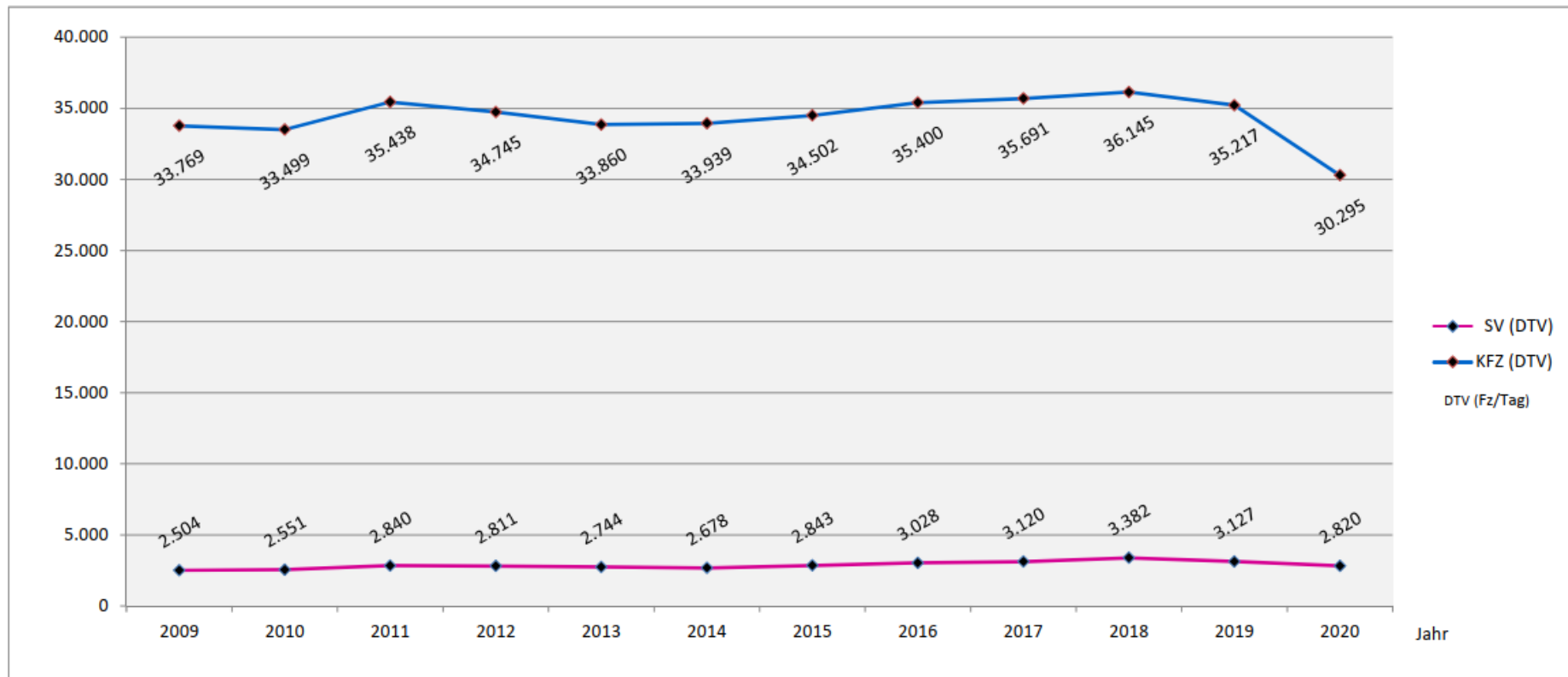


Abbildung 18 Verkehrsentwicklung an der Dauerzählstelle B31n Freiburg-Osttunnel [12]

6.2 Berechnung Zeitbedarfswert und Sättigungsverkehrsstärke

Berechnung des Zeitbedarfswertes unter Berücksichtigung des Schwerlastverkehrs nach HBS [4] Formel S4-2 und S4-6:

$$f_{SV} = \frac{q_{LV} + (1.9 \times q_{SV})}{q_{Kfz}}$$

f_{SV} = Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs

q_{LV} = Verkehrsstärke des Leichtverkehrs

q_{SV} = Verkehrsstärke des Schwerverkehrs

q_{Kfz} = Gesamtverkehrsstärke

t_B = Zeitbedarfswert

Mit SV-Anteil von 8.9% und einer angenommenen Gesamtverkehrsstärke von 2400kFz (abgeleitete maximale Leistungsfähigkeit der LSA Schwabentorbrücke aus [2]):

$$f_{SV} = \frac{2186 + (1.9 \times 214)}{2400} = 1.08$$

$$\rightarrow t_B = f_{SV} \times 1.8 = 1.94s$$

Daraus ergibt sich nach HBS Formel S4-1 eine Sättigungsverkehrsstärke pro Fahrstreifen j von

$$q_{S,j} = \frac{3600}{1.94} = 1886 \text{ Kfz/h}$$

6.3 Berechnung der durchschnittlichen Fahrzeuglänge

Bei gegebenem Schwerverkehrsanteil von $f_{SV} = 1.08$ abgeleitet aus HBS Formel S4-66

$$L_{Kfz} = 6 \times f_{SV} = 6 \times 1.08 = 6.48m$$

6.4 Berechnung der Kapazität einer Signalgruppe bei unbehindertem Abfluss.

Es wird die Kapazität einer Signalgruppe bei **unbehindertem Abfluss** angenommen. Diese Komplexitätsreduzierung kann für Signalgruppen angenommen werden, in denen keine bedingt verträglichen Konflikte bestehen, kein Rückstau in der Knotenausfahrt gewährleistet ist (beispielsweise durch Stauschleifen), sowie keine Überstauung von Aufstellflächen in den Knotenzufahrten und -zwischenräumen zu erwarten ist.

Berechnung gemäß HBS Formeln S4-7 und S4-8

$t_{A,i}$ = Abflusszeit für den Verkehrsstrom i

$t_{F,i}$ = geschaltete Freigabezeit für den Verkehrsstrom i

$C_{0,i}$ = Kapazität des Verkehrsstroms i auf einem Fahrstreifen bei unbehindertem Abfluss

t_U = Umlaufzeit

$$C_{0,i} = \frac{(t_{F,i} + 1)}{t_U} \times q_{s,j}$$

mit der Anzahl der Fahrstreifen einer Signalgruppe $a_{FS,sg}$ und gegebenem $q_{s,j} = 1886$ ergibt sich die Kapazität $C_{0,sg}$ einer Signalgruppe zu:

$$C_{0,sg} = \frac{(t_{F,i} + 1)}{t_U} \times a_{FS,sg} \times 1886$$

→ Beispielhaft für die Signalgruppe 6,7,8 der LSA Schwabentorbrücke Nord im Signalplan 5 mit $a_{FS,sg} = 2$, $t_{F,i} = 41s$ und $t_U = 90s$:

$$C_{0,6,7,8} = \frac{(41 + 1)}{90} \times 2 \times 1886 = 1760 \text{ Kfz/h}$$

6.5 Lineare Modellierung der Rückstaulänge zu einem Zeitpunkt t_X

So ergibt sich die Rückstaulänge zu einem Zeitpunkt t_X auf Basis eines rückstaufreien Zeitpunktes t_0 unter Berücksichtigung der Fahrzeuglänge L_{Kfz} und der Anzahl der Fahrstreifen a_{FS} gemäß:

$$L_{RS} = \int_{t=t_0}^{t_X} \left(\frac{\text{Kapazitätsdefizit}(t) \times L_{Kfz}}{a_{FS}} \right)$$

6.6 Berechnung Freigabezeitanteilerhöhung

Bei zweispurigem Abfluss:

$$\frac{\text{Kapazitätsdefizit}}{q_{S,j} \times a_{FS,sg}} = \frac{450}{1886 \times 2} = 11,93\%$$

Bei dreispurigem Abfluss:

$$\frac{\text{Kapazitätsdefizit}}{q_{S,j} \times a_{FS,sg}} = \frac{450}{1886 \times 3} = 7,95\%$$

6.7 Berechnung der Eingriffsdauer bei Volleingriff

Berechnung der Eingriffsdauer bis Rückstaulänge $\leq 100\text{m}$:

Bei angenommener Gleichverteilung auf die beiden Fahrstreifen.

Mit angenommener Verkehrsstärke der Zuflüsse B31 und Schwarzwaldstraße kombiniert (aus Simulation abgeleitet) von $q_{Kfz} = 2300 \text{ Kfz/h}$

Dauer **Ohne** Berücksichtigung des Zuflusses:

$$t = \frac{550 \times t_B}{L_{Kfz}} = 164,66\text{s}$$