



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**DOKUMENTATION**

# **STAU IM TUNNEL**

*Analyse und Massnahmen*

---

*Ausgabe 2026 V1.00*

*ASTRA 86065*

# Impressum

## **Autoren / Begleitgruppe**

Dr. Reto Siegenthaler	FB OpSi ASTRA, Vorsitz
Bernard Mariéthod	FB OpSi ASTRA
Christian Gammeter	ASTRA N-SSI
Paolo Maltese	FB VM, N-VIM
Jean-Pierre Benguerel	VMZ-CH
Valérie Frede	SiBe-S, GE V
Rolf Haas	SiBe-S, GE I
Ferdinand Moor	Oper. StreMa F3
Dr. Thierry Pucci	SiBe-S, UT II
Jacques Magnin	SiBe-S, UT II
Markus Robbiani	SiBe-S, GE VII
Luca Turra	SiBe-S, UT IV
Christoph Lanz	ASIT AG, Bern
Dr. Marco Bettelini	ASIT AG, Bern

## **Originalsprache**

Deutsch

## **Herausgeber**

Bundesamt für Strassen ASTRA  
Abteilung Strassennetze N  
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI  
3003 Bern

## **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) heruntergeladen werden.

© ASTRA 2026

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

## Vorwort

Staus auf den Nationalstrassen treffen das Schweizer Strassensystem empfindlich. Staus auf offener Strecke sind vor allem aus Sicht der verlorenen Stunden zu vermeiden. Bei Staus in Tunnels kommt jedoch der Sicherheitsaspekt hinzu: Aufgrund der beengten Verhältnisse und der grossen Anzahl Verkehrsteilnehmer sind Staus in Tunnels mit höheren Risiken behaftet. Auffahrunfälle, Brände o.ä. können rasch zu schwerwiegenden Auswirkungen führen. Trotz bereits umgesetzter Massnahmen kommt es auch in den Tunnels des Nationalstrassennetzes immer wieder zu Stausituationen.

Diese Dokumentation zeigt Ursachen und Risiken von Stau in Tunnels auf und identifiziert geeignete Massnahmen zur Stauvorbeugung. Sie bietet den zuständigen ASTRA-Stellen, den Betreibern und den Planern Unterstützung für eine wirksame Stauvorbeugung in Tunnels der Nationalstrassen.

### **Bundesamt für Strassen**

Jürg Röthlisberger  
Direktor



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
	<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
1.1	Zweck der Dokumentation .....	7
1.2	Geltungsbereich .....	7
1.3	Adressatinnen und Adressaten .....	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen .....	7
<b>2</b>	<b>Ausgangslage und Vorgehen</b> .....	<b>8</b>
2.1	Ausgangslage und Motivation .....	8
2.2	Definitionen .....	8
2.3	Stand und Entwicklung Stau auf Nationalstrassen .....	8
2.4	Risiken von Stau im Tunnel .....	10
2.5	PIARC-Empfehlungen.....	10
2.6	Abgrenzung .....	11
<b>3</b>	<b>Gefahren von Stau in Tunnels</b> .....	<b>13</b>
3.1	Erhöhte Ereignishäufigkeiten .....	13
3.1.1	Unfälle .....	13
3.1.2	Brände.....	14
3.2	Hohe Personenanzahl im Tunnel.....	15
3.3	Rauchausbreitung und Luftqualität .....	15
3.4	Erschwerter Zugang für die Einsatzkräfte im Ereignisfall .....	16
<b>4</b>	<b>Relevante Ursachen von Stau in Tunnels</b> .....	<b>18</b>
4.1	Verkehrsüberlastung .....	18
4.1.1	Chronische Verkehrsüberlastung.....	18
4.1.2	Punktuelle Verkehrsüberlastungen .....	18
4.2	Meteorologische Einflüsse .....	18
4.3	Bauliche Gegebenheiten.....	18
4.4	Verkehrsführung und Signalisierung.....	19
4.5	Baustellen.....	19
4.6	Verhalten der Verkehrsteilnehmenden .....	19
<b>5</b>	<b>Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels in der Schweiz</b> .....	<b>20</b>
5.1	Dosiersystem.....	20
5.2	Grossräumige Umleitung .....	20
5.3	Pannestreifenumnutzung .....	20
5.4	Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung (GHGW) .....	21
5.5	Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel.....	22
5.6	Tunnelsperrung mittels Portalrot.....	22
5.7	Vermeidung von Fahrstreifenabbau.....	23
5.8	Verhinderung von Fahrstreifenwechseln der Verkehrsteilnehmenden .....	23
5.9	Staudetektion .....	24
<b>6</b>	<b>Mögliche zusätzliche Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels</b> .....	<b>25</b>
6.1	Unterstützung Portalrot .....	25
6.2	Optimierung Baustellenplanung .....	26
6.3	Ausrüstung der Tunnel.....	27
6.4	Information der Verkehrsteilnehmenden.....	28
6.5	Sensibilisierung und Dokumentation.....	28
6.6	Anordnung von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen.....	28

<b>7</b>	<b>Massnahmen bei Stau in Tunnels in der Schweiz .....</b>	<b>29</b>
7.1	Vorbeugende Massnahmen bei Staugefährdung .....	29
7.2	Tunnellüftung .....	29
7.3	Notausgänge.....	29
7.4	Massnahmen bei Staubeginn .....	29
7.5	Dosiersysteme und Stauverhinderung durch Portalrot.....	30
7.6	Intervention .....	30
<b>8</b>	<b>Beurteilung Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels .....</b>	<b>31</b>
8.1	Identifikation der Massnahmen.....	31
8.2	Empfohlene bauliche Massnahmen.....	31
8.2.1	Vermeidung von Fahrstreifenabbau .....	31
8.2.2	Anordnungen von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen .....	32
8.2.3	Geometrie und Längsprofil des Tunnels .....	33
8.3	Empfohlene verkehrstechnische Massnahmen .....	34
8.3.1	Dosiersysteme .....	34
8.3.2	Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel.....	34
8.3.3	Tunnelsperrung bei Stau im Tunnel.....	35
8.3.4	Grossräumige Umleitungen .....	35
8.3.5	Geschwindigkeitsbegrenzung und -Harmonisierung .....	35
8.3.6	Pannestreifenumnutzung .....	36
8.4	Empfohlene technische Massnahmen.....	37
8.4.1	Tunnelausrüstung .....	37
8.4.2	Sperrung Fahrstreifen / Tunnel.....	39
8.5	Empfohlene organisatorische Massnahmen.....	40
8.5.1	Optimierung Baustellenplanung.....	40
8.6	Empfohlene Massnahmen betreffend Information und Sensibilisierung .....	41
8.6.1	Information der Verkehrsteilnehmer .....	41
8.6.2	Ausbildung der Verkehrsteilnehmer.....	41
8.6.3	Erweiterung/Ergänzung Autobahn-Knigge mit Stauende im Tunnel .....	42
8.6.4	Sensibilisierung der Betreiber und Planer .....	42
8.7	Übersicht der empfohlenen Massnahmen .....	43
	<b>Glossar.....</b>	<b>44</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>45</b>
	<b>Auflistung der Änderungen .....</b>	<b>47</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck der Dokumentation

Die Dokumentation zeigt Ursachen und Risiken von Stau in Tunnels auf und identifiziert geeignete Massnahmen zur Stauvorbeugung. Sie verfolgt nachfolgende Zielsetzungen:

- Vorstellung von Grundlagen und Vorgaben bezüglich Staus in Tunnels
- Aufzeigen der Risiken von Stau in Tunnels
- Aufzeigen des volkswirtschaftlichen Nutzens der Stauvorbeugung
- Aufzeigen der relevanten Ursachen von Stau in Tunnels
- Aufzeigen von Erkenntnissen aus dem Ausland
- Analyse von umgesetzten und möglichen weiteren Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels
- Empfehlung von Massnahmen zur Umsetzung
- Empfehlung zur Art der Umsetzung
- Definition der Möglichkeiten und Mechanismen, um die Umsetzung zu verfolgen

Sie bietet den zuständigen ASTRA-Stellen, den Betreibern und den Planern Unterstützung für eine wirksame Stauvorbeugung in Tunnels der Nationalstrassen.

## 1.2 Geltungsbereich

Die Dokumentation ist für die Planung, die Projektierung, die Realisierung und die Nutzung/Betrieb aller Neubauten und existierenden Tunnelanlagen und anliegenden Strecken anwendbar.

## 1.3 Adressatinnen und Adressaten

Angesprochen mit dieser Richtlinie sind Bauherren, Planer, Polizei und Betreiber von Tunnelanlagen.

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 13.03.2026 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 47 dokumentiert.

## 2 Ausgangslage und Vorgehen

### 2.1 Ausgangslage und Motivation

Die Nationalstrassen bilden das Rückgrat des Schweizer Strassennetzes. Sie nehmen einen erheblichen Teil des Verkehrs auf, insbesondere in den wachsenden Agglomerationen entlang der Achse Genf – Bern – Zürich und im Transitverkehr auf der Nord-Süd-Achse.

Staus auf den Nationalstrassen treffen das Schweizer Strassensystem empfindlich. Staus auf offener Strecke sind vor allem aus Sicht des volkswirtschaftlichen Schadens zu vermeiden. Bei Staus in Tunnels kommt jedoch der Sicherheitsaspekt hinzu: Aufgrund der beengten Verhältnisse und der grossen Anzahl Verkehrsteilnehmer sind Staus in Tunnels mit höheren Risiken behaftet. Auffahrunfälle, Brände o.ä. können rasch zu katastrophalen Auswirkungen führen. Trotz bereits umgesetzter Massnahmen kommt es auch in den Tunnels des Nationalstrassennetzes immer wieder zu Stausituationen.

Der Fachbereich Operative Sicherheit des ASTRA (FB OpSi ASTRA) hat die nun vorliegenden Untersuchungen zur Verhinderung von Stau in Tunnels des Nationalstrassennetzes aus Sicht OpSi beauftragt.

### 2.2 Definitionen

Die Verwendung der Begriffe «Stau» und «Stockender Verkehr» sind in der Schweiz auf der ASTRA-Homepage («Verkehrsfluss und Stauaufkommen» – «Definitionen» [9]) eindeutig definiert.

*«Stau im Sinne der Verkehrsinformation ergibt sich,*

- *wenn auf Hochleistungsstrassen oder Hauptstrassen ausserorts die stark reduzierte Fahrzeuggeschwindigkeit während mindestens einer Minute unter 10 km/h liegt und es häufig zum Stillstand kommt*
- *wenn auf Hauptstrassen innerorts bei Knoten oder Engpässen die Verlustzeit insgesamt mehr als 5 Minuten beträgt»*

*«Stockender Verkehr im Sinne der Verkehrsinformation ergibt sich,*

- *wenn ausserorts die stark reduzierte Fahrzeuggeschwindigkeit während mindestens einer Minute unter 30 km/h liegt und/oder es teilweise zu kurzem Stillstand kommt.»*

Die Verkehrstechnische Regelungslogik (VTRL) verwendet eine andere Definition gemäss ASTRA-RL15019 (höhere Schwellwerte).

### 2.3 Stand und Entwicklung Stau auf Nationalstrassen

Eine wichtige und gute Grundlage zu Verkehrsfluss und Stau generell bildet die ASTRA Dokumentation [7], die jährlich erscheint. Sie enthält statistische Auswertungen und gibt einen guten Überblick über die Stauschwerpunkte (Staudefinition gemäss Abschnitt 2.2). Inwieweit Tunnels betroffen sind, ist daraus nur bedingt ablesbar.

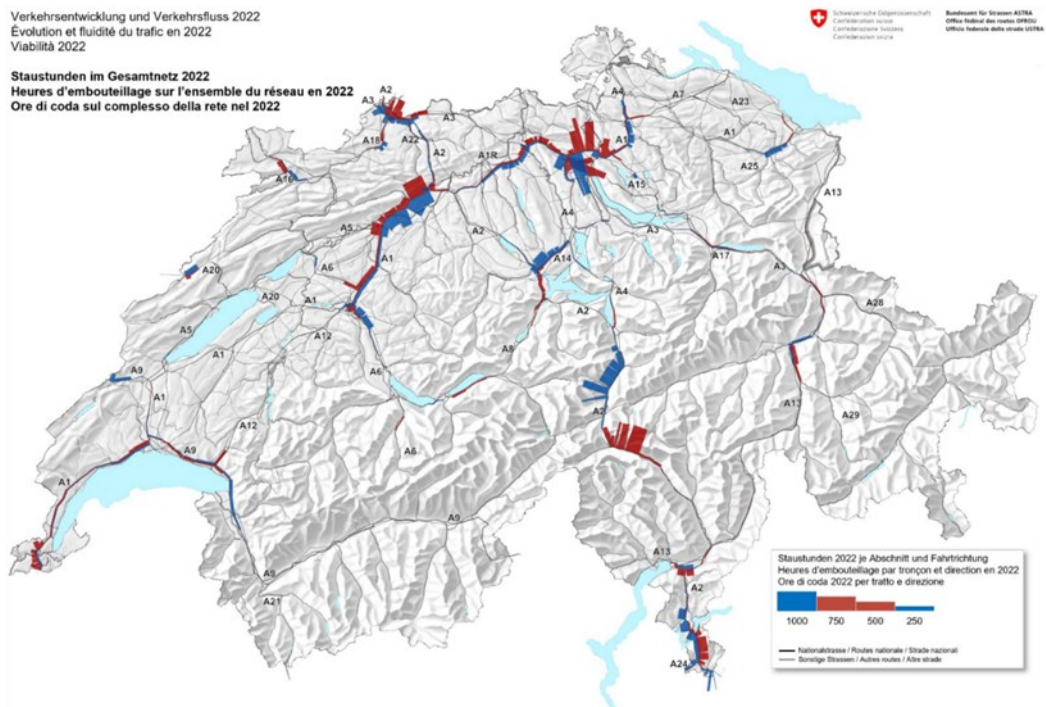


Abb. 1 Stauschwerpunkte [7]

Die zeitliche Entwicklung der Stausunden in der Schweiz ist in Tab. 1 und Abb. 2 angegeben. Die Definition der Stausunden und deren Ermittlung ist im Verkehrsflussbericht [7] im Anhang «Stausunden auf dem Nationalstrassennetz – Methodik, Aussagekraft und Bedeutung» beschrieben.

Tab. 1 Fahrzeug-Stausunden in Mio. pro Jahr für 2010-2019 [13].

	AB		Nicht-AB		Alle Strassen		
	LMW	SMW	LMW	SMW	LMW	SMW	alle
2010	15.19	0.79	11.23	0.22	26.42	1.00	27.42
2011	15.68	0.81	11.23	0.22	26.90	1.03	27.93
2012	16.45	0.85	11.23	0.22	27.68	1.07	28.75
2013	15.67	0.82	11.23	0.22	26.90	1.04	27.93
2014	16.62	0.87	11.23	0.22	27.85	1.09	28.94
2015	17.66	0.87	11.23	0.22	28.89	1.09	29.98
2016	18.60	0.94	11.23	0.22	29.83	1.16	30.99
2017	19.92	1.06	11.23	0.22	31.15	1.28	32.43
2018	20.45	1.81	11.23	0.22	31.67	2.03	33.70
2019	21.21	3.33	11.23	0.22	32.44	3.55	35.99

AB: Autobahnen. LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Reisebusse);

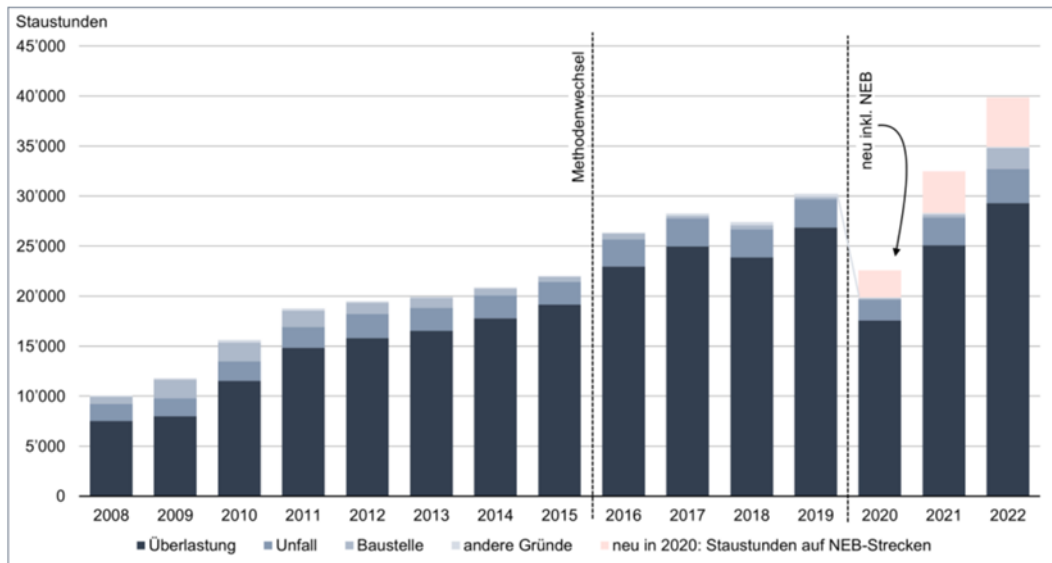


Abb. 2 Fahrzeug-Stautunden pro Jahr auf dem Nationalstrassennetz für 2008-2022 (die Abnahme im Jahr 2020 war pandemiebedingt) [7].

Die Anzahl Stautunden steigt sehr rasch an, viel schneller als die allgemeine Verkehrsentwicklung. 2022 waren 85.1 % aller Stautunden auf Überlastung zurückzuführen. Bei 9.0 % des Stauaufkommens ging ein Unfall voraus. Für 5.5 % waren Baustellen der Auslöser, bei weiteren 0.3 % gab es andere Stauursachen [7].

Weitere Informationen betreffend Stau wurden direkt bei der Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) bezogen [8].

In einigen VSS Normen finden sich Angaben zum Thema Stau. Arbeiten, die explizit das Thema «Stau im Tunnel» behandeln gibt es nicht. Einige Forschungsarbeiten VSS befassen sich mit Themen, die Einfluss auf die Entstehung von Stau im Tunnel haben können, beispielsweise Management Winterdienst (Rückhaltmassnahmen), Gestaltung Vorbereiche Tunnel, Optimierung Baustellen.

## 2.4 Risiken von Stau im Tunnel

Stau auf Strassen ist generell unerwünscht. Insbesondere Stau im Tunnel birgt zusätzliche und grössere Risiken als Stau auf offener Strecke. Diese werden im Kapitel 3 näher erläutert. Im vorliegenden Bericht wird dargelegt, aus welchen Gründen Stau im Tunnel möglichst verhindert werden sollte.

## 2.5 PIARC-Empfehlungen

Der Welt-Strassenverband PIARC weist in verschiedenen Dokumenten auf die Problematik von Stau im Tunnel und entsprechende Massnahmen hin. Nachfolgend sind die relevantesten Empfehlungen betreffend Verhinderung von Stau in Tunnels zusammengestellt.

### PIARC 2008R15 – Tunnels Routiers Urbains – Urban Road Tunnels [16]

Relevante Empfehlungen zur Verhinderung von Stau in Tunnels:

- Keine Reduktion von Fahrstreifen in oder unmittelbar nach einem Tunnel
- Keine Ein- und Ausfahrten in oder in der Nähe eines Tunnels
- Realisierung von Fahrstreifen für langsame Fahrzeuge bei grossen Steigungen im Tunnel
- Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit nach einem Tunnel sollte nicht tiefer sein als vor dem Tunnel.
- Ausrüstung mit knapper Signalisierung: zu viele Schilder verwirren die Verkehrsteilnehmenden und führen zu Bremsmanövern

- Geeignete Tunnelausstattung und -farbgebung, um die Ängste der Verkehrsteilnehmenden abzubauen (Beleuchtung, helle Farben, etc.)
- Erfassung und Steuerung der Verkehrssituation durch ein Verkehrsmanagementsystem

#### **PIARC RR378-027 – Efficacité des mesures d’atténuation des risques pour les tunnels routiers [17]**

Relevante Empfehlungen zur Verhinderung von Stau in Tunnels:

- Information der Verkehrsteilnehmenden über Stausituationen
- Sofortige Schliessung einer Fahrspur nach einem Unfall
- Barrieren zur Unterstützung von Portalrot
- Verbesserung der Unfalldetektion (Video, Induktionsschleifen, akustische Detektion)
- Verkehrsmanagement bei hohem Verkehrsaufkommen

#### **PIARC 2019R03FR – Prévention et limitation des collisions liées aux tunnels [18]**

Relevante Empfehlungen zur Verhinderung von Stau:

- Beschränkung der Verkehrszusammensetzung (z.B. keine Lastwagen, Autobusse, etc.)
- Lastwagenüberholverbote
- Physische Trennung des Verkehrs bzw. der Verkehrsarten (z.B. je eine separate Tunnelröhre für Lastwagen und Personenwagen)
- Keine grossen Steigungen, und falls ja, eine Zusatzspur für langsame Fahrzeuge
- Hohe Rauigkeit der Fahrbahn zur Reduktion des Bremsweges
- Keine Fahrstreifenreduktion in oder kurz nach einem Tunnel
- Signalisierungsmöglichkeiten für die Zuteilung einer Fahrbahn (für einen spezifischen Fahrzeugtyp, z.B. Lastwagen) oder für die Sperrung einer Fahrbahn
- Automatische Detektion von Stau und anderen Anomalien im Verkehrsfluss
- Beleuchtung zur Unterstützung der Soll-Geschwindigkeit, mittels variablen LEDs, die die Geschwindigkeit vorgeben
- Wechseltextanzeigen
- Dosierung des Verkehrs mittels Ampeln, Tropfsystem

#### **PIARC 2008R17 – Facteurs humains et Sécurité des tunnels routiers du point de vue des usagers [19]**

Relevante Empfehlungen zur Verhinderung von Stau:

- Rechtzeitige und ausreichende Signalisierung von Stau und von gesperrten Fahrbahnen / Tunnels
- erste Signalisierung 1,0 – 1,5 km vor Tunnelportal
- wiederholende Informationen, dass der Tunnel geschlossen ist
- Wechseltextanzeigen, keine statischen Signale (generiert mehr Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden)
- 150 – 200 m vor dem Tunnel keine Informationen mehr, damit die Verkehrsteilnehmenden nicht abgelenkt sind

Anmerkung: Signale unmittelbar vor einem Tunnelportal sind in der Schweiz zulässig und sinnvoll, falls sie sicherheitsrelevante Informationen vermitteln.

## **2.6 Abgrenzung**

Massnahmen, bei deren Umsetzung der FB OpSi ASTRA keine Einflussmöglichkeiten hat, werden im vorliegenden Bericht nicht oder nur am Rande behandelt.

Die Weisung ASTRA 73002 [3] beschreibt die operationelle Aufgabenteilung zwischen dem

Verkehrsmanagement (VMZ-CH), den Sicherheitsaufgaben (ELZ) und dem betrieblichen Unterhalt (BLZ). VIM (Verkehrs- und Innovationsmanagement) ist für das strategische VM verantwortlich, die VMZ-CH (Verkehrsmanagementzentrale Schweiz) ist für das operative VM verantwortlich. Die Aufgabenteilung gemäss Leistungsvereinbarungen zwischen VMZ und KAPOs ist entsprechend zu berücksichtigen. Die GEs haben keine LV bezüglich VM-Aufgaben (Schalten von Signalen oder BZ die den Verkehr positiv beeinflussen, d.h. Leiten, Lenken, Steuern und Informieren). Sämtliche technischen Themen sind nicht Aufgabe des VM, wobei VM die Streckenausrüstung definiert [2]. Es soll im vorliegenden Bericht auf diese Aufgabenteilung nicht weiter eingegangen werden.

### 3 Gefahren von Stau in Tunnels

#### 3.1 Erhöhte Ereignishäufigkeiten

##### 3.1.1 Unfälle

Staus führen zu Zeitverlusten und zu einer erhöhten Unfallhäufigkeit mit wesentlichen Folgekosten. Demgegenüber sind Unfälle häufige Stauverursacher. Im Jahr 2015 entstanden ca. 25 % der Staukosten, insgesamt 450 Mio. CHF, durch Unfallkosten.



Abb. 3 Auffahrunfall im Tunnel (Bild: Luzerner Zeitung, 18.10.2019 <https://www.luzernerzeitung.ch>).

Tab. 2 Staukosten [14]

	2010 Mio. CHF	2015 Mio. CHF	% 2010	% 2015	Veränderung 2015 ggü. 2010
Stauzeitkosten	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Staubedingte Umweltkosten	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Staubedingte Klimakosten	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Staubedingte Energiekosten	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Staubedingte Unfallkosten	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
<b>Gesamte Staukosten</b>	<b>1'767</b>	<b>1'888</b>	100.0%	100.0%	+6.9 %

Der Grossteil der staubedingten Unfälle fällt auf Auffahrunfälle (ca. 75 % aller Unfälle, Tab. 3) zurück. Stauenden in Tunnels sind in Bezug auf Auffahrunfälle besonders gefährlich, da Fahrer, welche den Stau nicht bemerken, fast oder ganz ungebremst in das Stauende hineinfahren können.

Tab. 3 Kosten der staubedingten Unfälle 2015 in Mio. CHF pro Jahr [14].

	AB/AS	übrige Strassen	Total	%
Auffahrunfälle	195.2	131.9	327.1	73 %
übrige Unfallarten	59.7	63.2	122.9	27 %
Total	255.0	195.1	450.0	100 %
%	57 %	43 %	100 %	

Quelle: Ecoplan (2019).

Abkürzungen: AB: Autobahnen, AS: Autostrassen.

Weitere Gründe für die erhöhte Unfallhäufigkeit bei Stau sind nachlassende Konzentration durch Eintönigkeit der Tunnelfahrt, Ablenkung oder Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer. Es gibt immer wieder Verkehrsteilnehmer, welche in einer Stausituation waghalsige Überhol- oder Wendemanöver durchführen, welche dann zu Unfällen führen.

Es zeigt sich, dass Stau im Tunnel gesamthaft beträchtliche Kosten verursacht. Massnahmen zur Stauvorbeugung können einen grossen direkten und indirekten volkswirtschaftlichen Nutzen hervorbringen.

### 3.1.2 Brände

Nebst den Unfällen sind bei Stau im Tunnel auch Brände häufiger zu erwarten als bei normal fliessendem Verkehr. Bedingt durch das Stehen an Ort bei laufendem Motor kommt es häufiger zu Überhitzungen von Motoren, da die Kühlluft fehlt oder zu gering ist. Dies führt zu einer erhöhten Brandhäufigkeit bei einem Stau im Tunnel – mit den entsprechenden negativen Auswirkungen auf Verkehrsteilnehmer und Infrastruktur.

Das Potential für ein beträchtliches Schadensausmass ist im Tunnel weitaus höher als auf offener Strecke, dies sowohl für Personen wie auch für die Infrastruktur. Personen sind gezwungen, auf zum Teil verrauchten Fluchtwegen innerhalb des Tunnels bis zum nächsten Notausgang zu fliehen; die Infrastruktur wird durch Feuer, Energie und Rauch, stark geschädigt, da keine direkte Entweichungsmöglichkeit gegen oben besteht.



Abb. 4 Brand Schallbergtunnel und -galerie (Simplonpassstrasse) (Bild: TicinoNews, 2019, <https://www.ticinonews.ch>).

## 3.2 Hohe Personenanzahl im Tunnel

Bei einem Stau stehen die Fahrzeuge eng hintereinander. Geht man beispielsweise bei 5 m langen Fahrzeugen von einer Lücke von 30 m aus, so führt ein Stau zu einer 6 mal grösseren Anzahl Fahrzeuge als bei fahrendem Verkehr. Diese vereinfachte Annahme zeigt die Grössenordnung auf. Genauere Erfahrungsdaten sind im PIARC-Bericht [15] zu finden.

Tab. 4 Verkehrsdichte bei flüssigem Verkehr und Stau [15].

TABLEAU 2 - DONNÉES MOYENNES DE TRAFIC DE POINTE					
		Densité moyenne de trafic de pointe (uvp/km) Volume de trafic (uvp/h) par voie			
		TUNNEL EN RASE CAMPAGNE			
		Trafic unidirectionnel		Trafic bidirectionnel	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	30	1800	23	1400
Trafic congestionné	10	70	700-850	60	600
Trafic à l'arrêt	0	150	-	150	-
		TUNNEL URBAIN			
		Trafic unidirectionnel		Trafic bidirectionnel	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	33	2000	25	1500
Trafic congestionné	10	100	1000	85	850
Trafic à l'arrêt	0	165	-	165	-

Mit der erhöhten Anzahl Fahrzeuge geht eine ebenfalls um den Faktor 6 erhöhte Anzahl Personen einher, welche sich bei Stau im Tunnel befinden. Zudem steigt statistisch mit der Personenanzahl auch die Anzahl der Personen mit Behinderung oder eingeschränkter Mobilität entsprechend an. Die hohe Zahl an Personen birgt das Risiko von hohen Schadensausmassen, beispielsweise bei einem Brand. Wenn die sich im Tunnel befindenden Personen flüchten müssen, kann es zu Engpässen auf den Fluchtwegen und insbesondere bei den Fluchttüren kommen. Dadurch nimmt die mittlere Fluchtgeschwindigkeit stark ab. Es ist mit deutlich erhöhten Personenschäden zu rechnen.

## 3.3 Rauchausbreitung und Luftqualität

Die Wahl des Lüftungssystems in der Schweiz wird auf der Basis der ASTRA-RL 13001 vorgenommen. Bei Richtungsverkehrstunnels mit geringen Stauhäufigkeiten kommen Längslüftungen mit Strahlventilatoren im Bereich zwischen 600-800 m und 2000-3000 m zum Zuge. Bei grosser Stauhäufigkeit liegt der entsprechende Bereich zwischen 600-800 m und 800-1500 m. Kürzere Tunnels werden mit einer natürlichen Lüftung betrieben, längere Tunnels erfordern eine Rauchabsaugung. Bei Gegenverkehr ist die Wahl des Lüftungssystems generell ähnlich wie bei Richtungsverkehr mit grosser Stauhäufigkeit.

Lüftungssysteme mit konzentrierter Rauchabsaugung können die Rauchausbreitung im Tunnel wirksam verhindern. Rauch wird über steuerbare Klappen und Abluftventilatoren in unmittelbarer Brandnähe abgesogen. Dies trägt wirksam dazu bei, die sich im Rauch befindende Anzahl Fahrzeuge auf ein Minimum zu begrenzen.

Die Situation ist grundlegend anders und deutlich gefährlicher bei natürlichen Lüftungen und mechanischen Längslüftungen mit Strahlventilatoren. Im Brandfall bei einem Stau ist die Rauchausbreitung insbesondere im Richtungsverkehr kritisch zu betrachten. Rauch

kann einerseits einseitig verdrängt werden (Abb. 5, obere Hälfte, Lüftung mit kritischer Geschwindigkeit der Luft), was bei flüssigem Richtungsverkehr ideal ist. Alternativ kann die Rauchausbreitung möglichst begrenzt werden (Abb. 5, untere Hälfte), was bei Stau in der Regel die einzige Option darstellt. Je nach Lüftungsleistung und Fluchrichtung, können rauchfreie Fluchtwege nicht allen Verkehrsteilnehmern gewährleistet werden. Im Stau stehende Fahrzeuge können nicht aus der vom Rauch betroffenen Zone herausfahren. Die Situation bei Gegenverkehr ist analog.

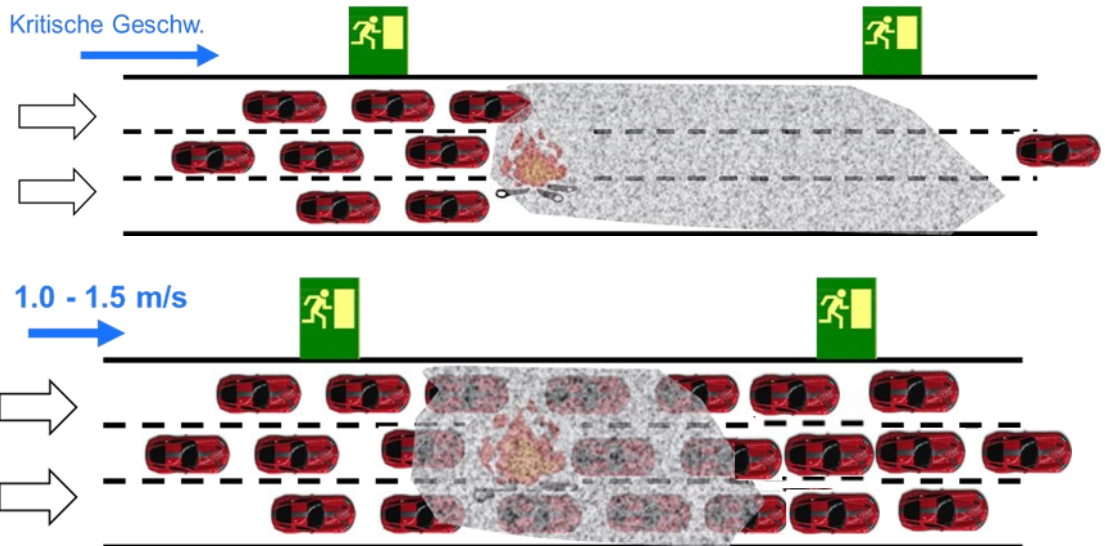


Abb. 5 Situation Brand in einem Tunnel mit Richtungsverkehr; Brand bei fließendem Verkehr (oben, Lüftung mit kritischer Geschwindigkeit) und Brand bei Stau (unten, Luftgeschwindigkeit 1 – 1.5 m/s) (Bild: Autoren).

Erhöhte Abstände der Notausgänge stellen insbesondere bei Stau einen zusätzlichen Risikofaktor dar.

### 3.4 Erschwerter Zugang für die Einsatzkräfte im Ereignisfall

Im Ereignisfall erfolgt der FW-Angriff grundsätzlich beidseitig. Bei Richtungsverkehr erfolgt dies teilweise durch die Ereignisröhre entgegen der Verkehrsrichtung. Die zweite Tunnelröhre und ein allfälliger Sicherheitsstollen stehen für die Intervention ebenfalls zur Verfügung.

Bei einem Stau kann der Zugang der Feuerwehr und der übrigen Einsatzkräfte zu einem allfälligen Brand oder zu einem anderen Ereignis stark erschwert sein. Der Zugang über die Fahrbahn ist nur möglich, sofern die Verkehrsteilnehmer eine Rettungsgasse bilden, sobald sie im Stau stehen. Da es im Tunnel in der Regel keine Pannenstreifen gibt (Bergbautunnel), entfällt die Zufahrt über den Pannenstreifen. Ist keine Zufahrt möglich, muss der Einsatz zu Fuss erfolgen, was mit erheblichen Verzögerungen verbunden ist. Allenfalls kann der Zugang über die Gegenröhre erfolgen, doch auch hier wird der letzte Teil zu Fuss erfolgen müssen, da in der Regel nur jede 3. Querverbindung zwischen den Röhren befahrbar ist.



Abb. 6 Stau im Tunnel ohne Rettungsgasse – kein Durchkommen für die Einsatzkräfte  
(Bild: Dreamstime, <https://www.dreamstime.com>).

## 4 Relevante Ursachen von Stau in Tunnels

### 4.1 Verkehrsüberlastung

#### 4.1.1 Chronische Verkehrsüberlastung

Die wiederkehrende Verkehrsüberlastung ist bei Weitem die häufigste Ursache für Stau.

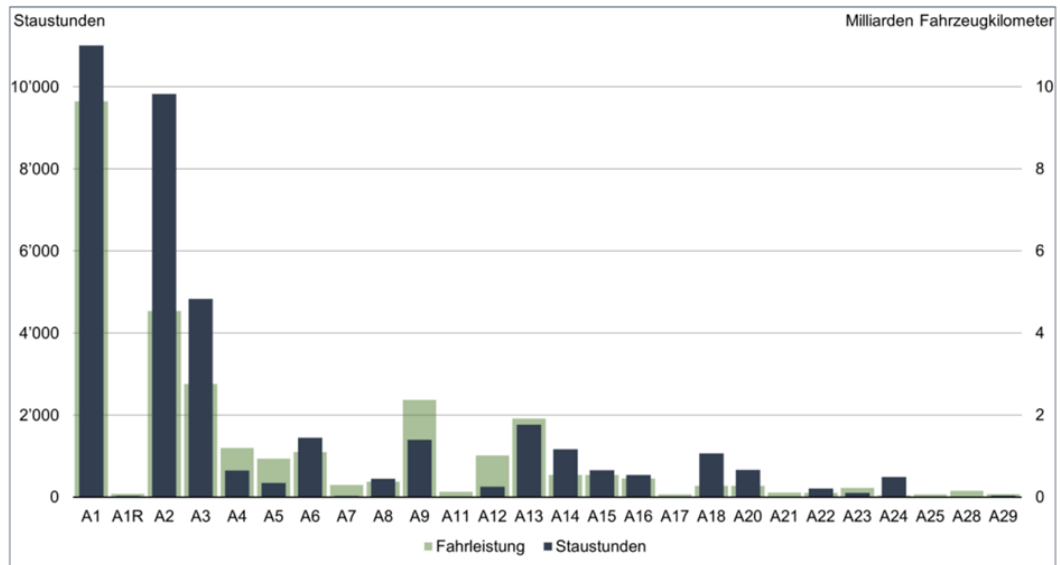


Abb. 7 Ursachen für Stau, pro Nationalstrasse (2022) [7].

Chronische Verkehrsüberlastungen entstehen grundsätzlich dann, wenn der Verkehr regelmässig gleich gross oder grösser ist als die zur Verfügung stehende Kapazität. Häufig zu den Stosszeiten entsteht dann an den neuralgischen Punkten Stau.

#### 4.1.2 Punktuelle Verkehrsüberlastungen

Punktuelle Verkehrsüberlastungen sind zeitlich und örtlich begrenzt, führen aber ebenfalls oft zu Stau. Darunter fallen beispielsweise:

- Urlaubsbeginn oder Urlaubsende / Feiertage
- Bettenwechsel in Skigebieten
- Grossveranstaltungen

### 4.2 Meteorologische Einflüsse

Meteorologische Einflüsse (starkes Gewitter, Hagel, u.a.) führen zu reduzierten Geschwindigkeiten und zu Stau aufgrund der schlechten Fahrbedingungen.

### 4.3 Bauliche Gegebenheiten

Alle baulichen Gegebenheiten, welche generell die Staubildung fördern, führen zu einem Stau in einem Tunnel, wenn diese im oder kurz nach einem Tunnel angeordnet sind. Dazu zählen vorwiegend:

- Verzweigungen
- Aus- und Einfahrten
- Spurabbau

Weiter kann in einem Tunnel eine ungünstige Linienführung mit unübersichtlichen Kurven, unklarer Signalisation oder ein Längenprofil, welches grosse Steigungswechsel aufweist, zu Stau führen.

## 4.4 Verkehrsführung und Signalisierung

Bezüglich Verkehrsführung fördern folgende Massnahmen die Staubildung in einem Tunnel:

- Geschwindigkeitsreduktion in oder kurz nach einem Tunnel
- Signalisierte Spurwechsel in einem Tunnel
- Spurabbau und Ausfahrten in oder kurz nach einem Tunnel
- Einfahrten in bzw. kurz vor oder nach dem Tunnel

Generell gilt SIA 197/2 [5], Ziffer 8.2.4 «Verzweigungen im Tunnel»

Anmerkung: Die EU-Richtlinie [4] schreibt vor: «Mit Ausnahme der Seitenstreifen ist innerhalb und ausserhalb des Tunnels die gleiche Anzahl Fahrstreifen beizubehalten».

## 4.5 Baustellen

Die ungünstige Anordnung von Baustellen im Bereich eines Tunnels kann zu Stau im Tunnel führen, da die Temporeduktion und allfällige Spurwechsel, welche im Rahmen von Baustellen angeordnet werden, per se zu Stau oder stockendem Verkehr führen. Die Ausrüstung einer Baustelle mit temporären Lichtsignalanlagen kann ebenfalls zu Rückstau in einen Tunnel führen, je nach Anordnung der Lichtsignalanlagen und Länge der Rotphasen.

Generell gelten die Vorgaben gem. SIA 197/2 [5].

Anmerkung: Die EU-Richtlinie [4] schreibt vor: «Eine Voll- oder Teilspernung von Fahrstreifen wegen geplanter Bau- oder Unterhaltungsarbeiten muss stets ausserhalb des Tunnels beginnen».

## 4.6 Verhalten der Verkehrsteilnehmenden

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden ist zum Teil schlecht vorhersehbar. Unfälle führen immer wieder zu Stau. Weitere Auslöser für Stau im Tunnel sind beispielsweise:

- keine Spurtreue im Tunnel (Zick-Zack fahren)
- unaufmerksames Fahrverhalten
- abruptes Abbremsen
- Verlangsamung der Fahrt von Schaulustigen bei Unfällen

## 5 Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels in der Schweiz

### 5.1 Dosiersystem

Dosiersysteme bilden ein effektives Mittel, um Staus in Tunnels vorzubeugen. Zur Umsetzung wird genügend Stauraum vor der Dosierstelle (auf der Strecke oder separate Wartebereiche) benötigt, insbesondere für den Schwerverkehr.

### 5.2 Grossräumige Umleitung

Nach einem Unfall oder einem anderen Ereignis, welches den Verkehrsfluss auf einer bestimmten Strecke einer Nationalstrasse über längere Zeit blockiert oder einschränkt, werden grossräumige Umleitungen realisiert. Umleitungen werden durch die VMZ-CH gesteuert und mit Hilfe von Wechseltextanzeigen und dynamischen Wechselwegweisern signalisiert.

Nach Eingang einer Unfall-Meldung bei der Polizei leitet diese die entsprechende Information an die VMZ-CH weiter. Diese erstellt eine Verkehrsmeldung, welche via Navigationsgeräte, Radio und Internet verbreitet werden kann.

Parallel dazu läuft die Erstellung der Umleitung gemäss dem Verkehrsmanagementplan.

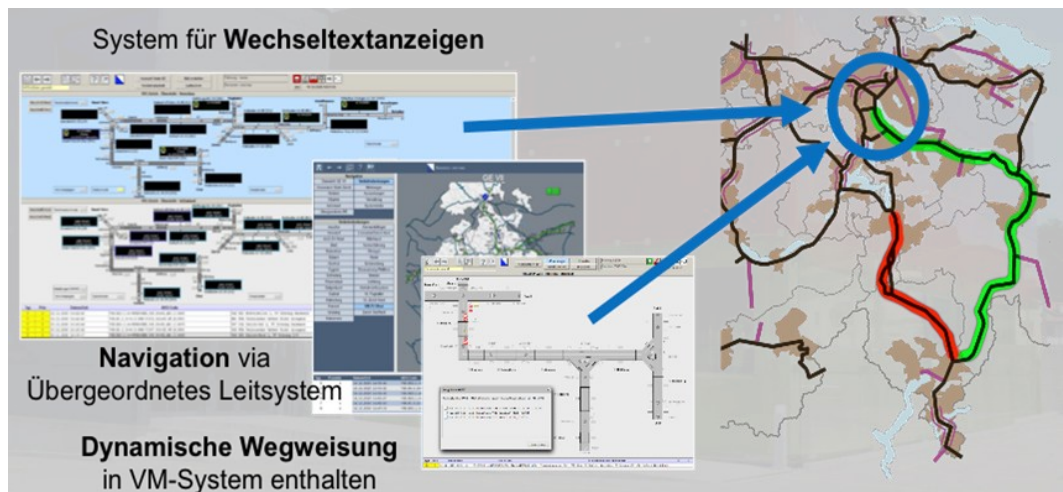


Abb. 8 Grossräumige Umleitung des Verkehrs über den San Bernardino, nach Unfall auf der Gotthard-Achse [10].

### 5.3 Pannestreifenumnutzung

Mit einer Pannestreifenumnutzung (PUN) wird die Kapazität der Nationalstrasse temporär (temporäre PUN) oder permanent (permanente PUN) um einen Fahrstreifen erhöht [12]. Dabei werden die Pannestreifen so umgebaut, dass sie temporär zu Spitzenzeiten oder permanent als Fahrstreifen freigegeben werden können. Besonders geeignet ist PUN in städtischen Agglomerationen, um den Verkehr zu verflüssigen. PUN ist eine verhältnismässig rasch umsetzbare (auch wenn das Plangenehmigungsverfahren aufgrund von vielen Einsprachen häufig lange dauert) und relativ kostengünstige Übergangslösung, um die Leistungsfähigkeit eines überlasteten Autobahnabschnitts kurzfristig zu erhöhen.

Die Umnutzung von Pannestreifen muss mit Blick auf das gesamte Verkehrssystem erfolgen. PUN wird nur dort umgesetzt, wo dies auf den benachbarten Autobahnabschnitten nicht zu neuen Verkehrsüberlastungen führt. Ebenso muss PUN auf das untergeordnete

Strassennetz Rücksicht nehmen und wird deshalb immer in Zusammenarbeit mit den betroffenen Gemeinden und Kantonen realisiert.

Im Grossraum Zürich wurde zusätzlich eine «Ereignis-PUN» implementiert: A1 VZ Limmattal bis AS Seebach sowie A3 AS Urdorf-Süd bis VZ Zürich-Süd. In diesen zwei Abschnitten befinden sich 7 Tunnels.



Abb. 9 Temporäre Pannestreifenumnutzung bei Spitzenverkehr.

In Tunnels kommt PUN aufgrund der in der Regel fehlenden Pannestreifen nicht zum Einsatz. PUN nach einem Tunnel kann jedoch helfen, einen Rückstau in einem Tunnel zu verhindern. Einzelne Tunnels werden mit Pannestreifen nachgerüstet, damit eine durchgehende PUN umgesetzt werden kann.

In den kommenden Jahren werden ca. 300 km neue PUN realisiert und schrittweise in Betrieb genommen.

## 5.4 Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung (GHGW)

Gemäss aktuellem Forschungsstand erreicht ein Autobahnabschnitt seine maximale Kapazität, wenn die Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h unterwegs sind.

Durch die schrittweise Reduktion der Maximalgeschwindigkeit von 120 auf 100 oder 80 resp. 60 km/h kann der Verkehr auf einem bestimmten Autobahnquerschnitt besser fließen. Diese Kapazitätssteigerung reicht in vielen Fällen aus, um Staus zeitlich zu verzögern und abzuschwächen.

Eine zentrale Rolle spielt insbesondere die Ausrüstung mit geeigneten Systemen zur Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung „GHGW“ (ASTRA-RL 15016 [1]). GHGW sind wichtige Instrumente zur Harmonisierung des Verkehrsflusses durch Geschwindigkeitsreduktionen und zur Information und Warnung der Verkehrsteilnehmenden vor Verkehrsstörungen sowie anderweitigen Gefahren auf den nachfolgenden Streckenabschnitten. Diese GHGW werden auf offenen Strecken und auch durch Tunnels hindurchgeführt, d.h., dass der BZ GHGW auch durch Tunneln hindurchgeschaltet wird. Im Ereignisfall übernimmt dann die Reflexmatrix die Schaltung der Portalampeln sowie gewisse Signale im Tunnel. Jedoch wird das Ereignis dem Verkehrsleitsystem Schweiz (VL-CH) übermittelt und dieses erzeugt und schaltet voll- oder halbautomatisch einen lokalen Betriebszustand BZ resp. einen regionalen oder überregionalen BZ (z.B. ein durch das ASTRA und mit den Kantonen vereinbarten Verkehrsmanagementplan). Zudem lassen sich durch das System ad-hoc manuelle BZ definieren und schalten.

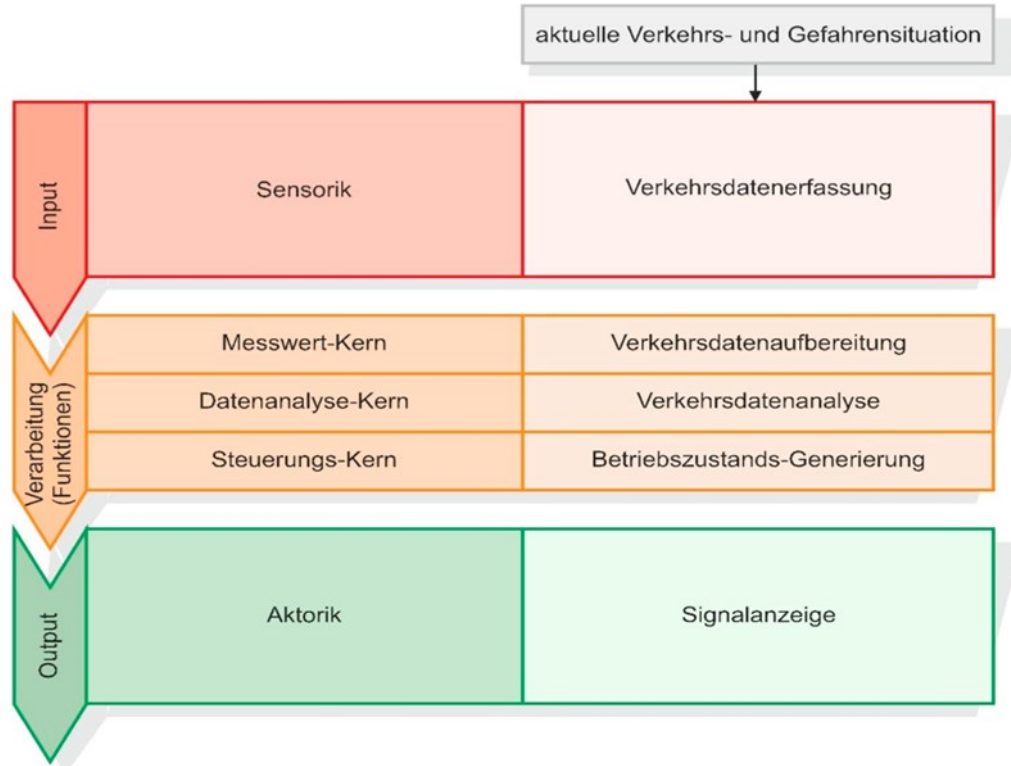


Abb. 10 Ablaufschema für die Umsetzung der Geschwindigkeitsharmonisierung [1].

Auf ausgewählten Strecken erfolgt mit GHGW die Steuerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit automatisch in Abhängigkeit der erfassten Verkehrsmengen. Gelegentlich muss die Automatik durch Operatoren aber übersteuert werden, um die Geschwindigkeit der tatsächlichen (realen) Situation anzupassen. Auf den restlichen Abschnitten, insbesondere in Tunneln, erfolgt die Steuerung noch manuell über die Verkehrsleitzentralen. Neue Systeme werden im Managementfall von der VMZ-CH bedient. Dies bezieht sich auch auf eine mögliche vermehrte Dosierung der Tunneln, im Managementfall.

Die korrekte Funktionsweise des Systems setzt voraus, dass angemessene Geschwindigkeitskontrollen und allfällige Sanktionierungen durchgesetzt werden.

## 5.5 Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel

Ein Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel kann eine wirksame Alternative bzw. Vorstufe zum Portalrot sein. Diese Massnahme reduziert das maximale Verkehrsaufkommen im Tunnel und mindert die Auswirkungen von Verkehrsengpässen im und nach dem Tunnel. Bei grossem Verkehrsaufkommen erfolgt so die Staubildung vor dem Tunnel und der Verkehrsfluss im und nach dem Tunnel bleibt flüssig.

## 5.6 Tunnelssperrung mittels Portalrot

Ein sehr effizientes Mittel gegen Stau im Tunnel ist die temporäre Tunnelssperrung mittels Portalrot. Portalrot verursacht jedoch immer Wellen im Verkehr und führt dadurch unweigerlich zu Stau auf der offenen Strecke bzw. bis in andere Tunneln hinein, sofern mehrere Tunneln aufeinander folgen. Diese Massnahme ist für Polizei (Ereignisfall) oder VMZ-CH (Verkehrsmanagement) zeitintensiv und bindet Ressourcen. Eine zeitgerechte Bewirtschaftung an mehreren Stellen kann nicht sichergestellt werden.

Erfahrungen zeigen, dass Lichtsignalanlagen (Portalrot) auf schweizerischen Autobahnen (insbesondere bei mehrspurigen Tunneln) häufig missachtet werden. Bei der Inbetriebnahme eines neuen Tunneln wurde ein Pilotprojekt zur Unterstützung von Portalrot gestartet. Befragungen von Autofahrern, welche Portalrot missachtet hatten, ergaben, dass sie

das taten, weil kein Grund für die Tunnelsperrung und keine Gefahr zu erkennen war. Deswegen wurde ca. 30 m vor Tunnelportal eine mit GHGW kombinierte LED-Informationstafel installiert, welche das Portalrot unterstützt (siehe Abb. 11). Ein fest installierter Radar garantiert gleichzeitig, dass Missachtungen des Signals geahndet werden können. Erste Erfahrungen sind positiv ausgefallen. Die Pilotstudie wurde nach einem Betriebsjahr ausgewertet (Sommer 2024).



Abb. 11 Signal bei der Einfahrt der 3. Röhre Gubristtunnel.

Anmerkung: Fahrstreifen-Lichtsignalsysteme (FLS) (s. VSS 40 802 und ASTRA 23001) stellen kein Mittel zur Vorbeugung von Stau im Tunnel dar. Das rote «X» wird zur Sperrung einer Fahrspur eingesetzt. FLS dürfen nicht dazu verwendet werden den Verkehr anzuhalten. Dafür sind Ampeln erforderlich.

## 5.7 Vermeidung von Fahrstreifenabbau

Fahrstreifenabbau in oder kurz nach einem Tunnel führt bei hohem Verkehrsaufkommen automatisch zu Stau, da sich dieselbe Anzahl Fahrzeuge plötzlich auf eine Fahrspur weniger verteilen muss. Fahrstreifenabbau im Tunnel ist daher entsprechend den Vorgaben der SIA 197/2 [5], Ziffer 8.2.4 «Verzweigungen im Tunnel» unter allen Umständen zu vermeiden. Falls ein Fahrstreifenabbau notwendig ist, muss dieser vor dem Tunnel erfolgen, oder dann erst nach einer gewissen Strecke nach dem Tunnel, sodass kein Rückstau in den Tunnel entstehen kann.

## 5.8 Verhinderung von Fahrstreifenwechseln der Verkehrsteilnehmenden

Fahrstreifenwechsel im Tunnel können aufgrund der beengten und dunklen Verhältnisse zu Bremsmanövern, Unfällen und Stau führen. Fahrstreifenwechsel sind für die Verkehrsteilnehmenden auf offener Strecke viel einfacher vorzunehmen als im Tunnel. Die Signalisierung von Ausfahrten und Verzweigungen, welche sich unmittelbar nach einem Tunnel befinden, ist daher in genügend grosser Distanz vor dem Tunnel vorzunehmen, damit die Verkehrsteilnehmer bereits vor dem Tunnel genug Zeit haben, um auf die richtige Spur zu wechseln.

Mit durchgezogenen Sicherheitslinien kann zudem verhindert werden, dass die Verkehrsteilnehmer im Tunnel die Spur wechseln, beispielsweise nach einer Einfahrt in einen Tunnel oder unmittelbar vor einem Tunnel. Sie müssen dann durch den Tunnel hindurch auf der rechten Spur bleiben.

## 5.9 Staudetektion

Die Videoüberwachung im oder nach dem Tunnel kann Stau automatisch erkennen. Radarbasierte Lösungen zur Staudetektion wurden ebenfalls punktuell umgesetzt. Beides kann im Prinzip genutzt werden, um die Signalisation entsprechend zu lenken, damit der Stau angezeigt wird. Das wird teilweise schon gemacht, aber nicht systematisch, weil die Detektion vor allem im Portalbereich Fehlalarme generiert. Deswegen wird sie teilweise ausgeschaltet. Für die Detektion des Stauendes können radarbasierte oder induktionsschlaufenbasierte Systeme eingesetzt werden. Diese werden von den Lichtverhältnissen nicht beeinflusst und liefern deshalb sichere Werte, z.B. für die Schaltung von Portalampeln. Eine Staudetektion nach dem Tunnel entspricht einer Vorwarnung, dass ein potenzieller Rückstau in den Tunnel bevorsteht.

## 6 Mögliche zusätzliche Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels

### 6.1 Unterstützung Portalrot

Erfahrungen im In- und Ausland zeigen, dass Portalrot häufig nicht respektiert wird. Verkehrsteilnehmende fahren trotz Rotlicht in den gesperrten Tunnel ein. Zur Unterstützung von Portalrot bzw. zur besseren Sichtbarkeit und Wahrnehmung sind die nachfolgend aufgeführten Massnahmen denkbar. Einige davon werden zum Teil im In- und Ausland bereits umgesetzt.

- Barrieren

Gemäss EU-RL [4], «Zusätzliche Vorrichtungen wie Wechselverkehrszeichen und Sperrschranken können vorgesehen werden, um die Einhaltung des Einfahrverbots sicherzustellen». Der ASTRA-Bereich Standards und Sicherheit hat sich klar gegen physische Barrieren an Tunnelportalen ausgesprochen, weil sie für schweizerische Tunnels auf Hochleistungsstrassen (keine Mautstellen oder sonstige Elemente, welche den Verkehr vor der Barriere verlangsamen würden) als zu gefährlich eingestuft werden. Bei Strassen auf dem untergeordneten Netz ist der Einsatz von Barrieren hingegen prinzipiell denkbar. Barrieren bei Tunnelportalen sind in der Schweiz gem. Fachhandbuch BSA generell nicht vorzusehen: „Bei Tunnelportalen werden keine Barrieren eingesetzt“ [6].

In der Deutschschweiz sind Barrieren auf Autobahnen nicht gerne gesehen. Insbesondere herrschen Bedenken, dass die geschlossene Barriere zu Unfällen und Kollisionen führen kann. In der Romandie dagegen werden Barrieren vereinzelt eingesetzt (Genf, Vernier, Confignon, Glion). Beim Tunnel Glion im Kanton Waadt wird die Barriere bei Portalrot geschlossen. Es gab im Tunnel Glion in den ca. 20 Jahren seit der Umsetzung keine Unfälle im Zusammenhang mit der Barriere. Bei den Tunnel Cholfirst und Fäsenstaub auf der N4 gab es in der Vergangenheit vereinzelt Unfälle aufgrund von Barrieren.



Abb. 12 Barriere beim Tunnel Glion.

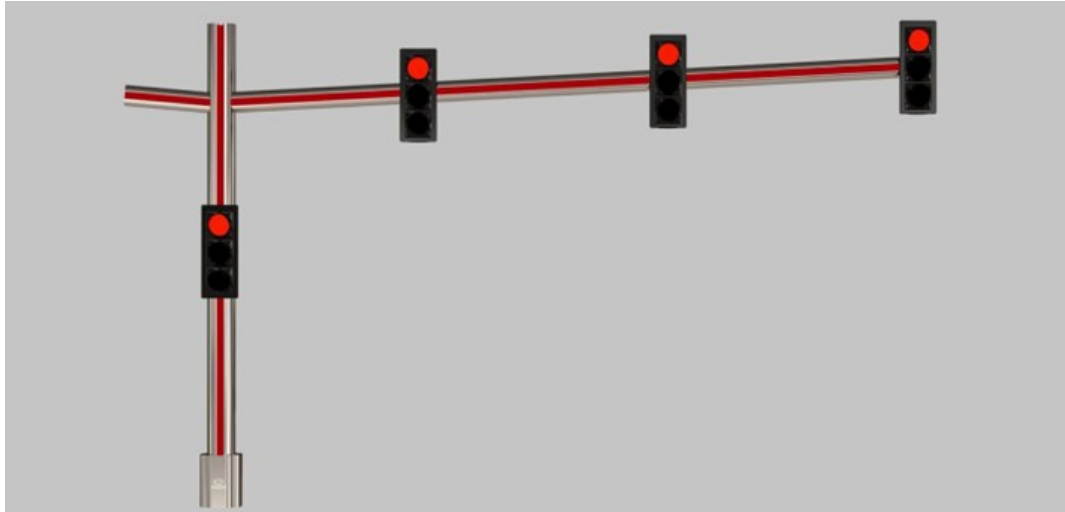


Abb. 13 Dynamische Lichtmarkierungen für Tunnelportale (<https://stolb.com.ua/en>).

- Die Kombination von vertikalen Ampeln, LED auf der Fahrbahn und WTA mit kurzem Erläuterungstext kann als optimale Variante angesehen werden.

## 6.2 Optimierung Baustellenplanung

Bezüglich Baustellenplanung besteht grosses Potenzial zur Verhinderung von Staus in Tunnels. Oftmals wird bei der Planung der Baustellen keine Rücksicht auf die Stausituation in Tunnels genommen. Die zuständigen Stellen müssen ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass die Baustellen zeitlich und örtlich derart angeordnet werden, damit durch die Baustellen keine Staus in Tunnels entstehen.

Fahrspuranpassungen und -überleitungen sowie Lichtsignalanlagen sind so anzuordnen, dass kein Rückstau in einen Tunnel hinein entsteht.



Abb. 14 Fahrspurüberleitung bei einer Autobahnbaustelle (Bild: t-online, 20.07.2019, [www.t-online.de](http://www.t-online.de)).

Mit einer Zeitangabe betreffend die Dauer der Rotphase bei Baustellen-Lichtsignalanlagen wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Rotlichter respektiert werden. Auch hier wirkt der kausale Zusammenhang: Wenn man weiss, warum ein Rotlicht da ist, oder wie lange es dauert, wird es eher eingehalten.



Abb. 15 Ampel mit Timer (hier auch bei Grünphase).

### 6.3 Ausrüstung der Tunnel

Mit einer geeigneten Ausrüstung des Tunnels – insbesondere Beleuchtung und Farbgebung – kann positiv auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer eingewirkt werden. Gelegentlich wird ein Tunnel als «schwarzes Loch» wahrgenommen, was bei Verkehrsteilnehmern zu Abbremsmanövern beim Tunnelportal führen kann. Dies wiederum erhöht die Unfall- und Staugefahr.

Geeignete Elemente betreffend Ausrüstung zur Stauverminderung sind:

- Genügende, homogene und blendfreie Beleuchtung, insbesondere beim Einfahrtsportal (Adaptionsbeleuchtung)
- optische Leiteinrichtungen richtig platziert (LED direkt am Bankettrand, Seitenstreifen, Mittelstreifen)
- helle Farbgebung Wände, ev. helle Fahrbahn, dunkle Decke (erzeugt den Eindruck von Weite)



Abb. 16 Helle Wände, optische Leiteinrichtungen auf dem Bankett, gute Beleuchtung (Bild: Gifas, 18.12.2019, <https://www.gifas.ch>).

Bis ca. 2030 werden alle Tunnels auf dem schweizerischen Nationalstrassennetz mit LED beleuchtet sein. Dies bildet die Möglichkeit, die Lichtverhältnisse im Tunnel mit geeigneter Kombination von Tunnelbeleuchtung und weisse Farbgebung der Tunnelwände zu optimieren.

Grundsätzlich ist betreffend Ausrüstung nicht nur das FHB T/G zu berücksichtigen, sondern auch der Stand der Technik, welcher zum Teil höhere Anforderungen aufweist als das FHB T/G.

## 6.4 Information der Verkehrsteilnehmenden

Wenn Verkehrsteilnehmer staugefährdete Autobahntunnel meiden, ist die Wahrscheinlichkeit von Stau automatisch geringer. Dazu müssen die Verkehrsteilnehmer zeitnah mit aktuellen Informationen bezüglich der Verkehrslage versorgt werden. Die VMZ-CH bereitet alle ihr bekannten Verkehrsdaten (Verkehrseinschränkungen, Verkehrsstörungen etc.) auf und stellt die entsprechenden Informationen via Radio, Internet und Navis zur Verfügung. Dies betrifft Staus, dichter Verkehr, Unfälle, Umleitungen, Sperrungen etc.

Lautsprecheranlagen in Tunnels werden teilweise im Ausland routinemässig eingesetzt. Dies ist in der Schweiz aufgrund der sehr hohen technischen Anforderungen, um die Verständlichkeit zu gewährleisten, vorläufig kein Thema.

Es sind Lautsprecheranlagen nach dem Prinzip des Grenzflächenhorns mit Synchronisation der Frequenzen zwischen den verschiedenen Lautsprechern erforderlich [20]. Die Installation ist technisch aufwändig und in der Einstellung komplex.

## 6.5 Sensibilisierung und Dokumentation

Die Sensibilisierung der Thematik Stau im Tunnel bei allen betroffenen Parteien ist für die Sicherheit sehr wichtig. Mit einer geeigneten Dokumentation muss ASTRA-intern sichergestellt werden, dass der Thematik auf allen Ebenen die nötige Beachtung geschenkt wird. Dies betrifft insbesondere folgende Stellen:

- Austausch FB OpSi ASTRA – FU
- Filialen (StreMa)
- Gebietseinheiten
- SiBe-S
- VIM
- VMZ-CH

Weiter ist die Sensibilisierung der Verkehrsteilnehmer sehr wichtig. Wie verhalte ich mich im Tunnel generell, und wie bei Stau im Tunnel? Diese Fragen sollten bei jeder Fahrausbildung – Privatverkehr und Berufsverkehr, insbesondere Lastwagenfahrer – thematisiert werden.

Diese Massnahme wird heute bereits teilweise umgesetzt. Bei der Fahrerprüfung sind einige Fragen zur Tunnelsicherheit integriert. Weitere Elemente sind bereits Bestandteil der Ausbildung von Berufsfahrern.

Eine entsprechende Sensibilisierung der Fahrlehrer ist notwendig. Dies liegt jedoch nicht im Aufgabenbereich von FB OpSi ASTRA. Allenfalls könnte diese durch die Informations- und Kommunikationsstelle des ASTRA umgesetzt werden.

## 6.6 Anordnung von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen

Die Anordnung von Ein- und Ausfahrten sowie von Verzweigungen in Bezug auf Tunnels haben einen massgeblichen Einfluss auf die Bildung von Staus in einem Tunnel. Die diesbezügliche Einflussnahme des Fachbereichs FB OpSi ASTRA ist jedoch gering. Raumplanerische Überlegungen oder verkehrsplanerische Sachzwänge werden bei der Planung von neuen Autobahnabschnitten selbstverständlich viel stärker gewichtet als die Tatsache, ob durch eine ungünstige Anordnung die Entstehung von Stau gefördert wird.

Die Aufnahme eines entsprechenden Hinweises in Pflichtenhefte für die Planung neuer Autobahnabschnitte wäre aus Sicht OpSi dennoch sinnvoll.

## 7 Massnahmen bei Stau in Tunnels in der Schweiz

Stau im Tunnel lässt sich nicht immer vermeiden. In diesem Kapitel werden Massnahmen bei auftretendem Stau besprochen.

### 7.1 Vorbeugende Massnahmen bei Staugefährdung

Bei hoher Staugefährdung sind weitere Verschärfungen zu minimieren. Mögliche Massnahmen sind zum Beispiel:

- Arbeiten im Tunnel nur in verkehrsarmen Zeiten durchführen
- Baustellen in und nah zum Tunnel sorgfältig planen und realisieren
- Rasche Einleitung von Massnahmen bei Unfällen usw.

### 7.2 Tunnellüftung

Es ist entscheidend, bei erheblicher Staugefährdung das Lüftungssystem korrekt zu wählen, zu gestalten (zum Beispiel konzentrierte Rauchabsaugung anstatt Längslüftung) und zu betreiben. Hierzu ist in der Planungsphase eine aktuelle und zuverlässige Stauprognose erforderlich, als Grundlage für die korrekte Wahl des Lüftungssystems. Eine zuverlässige Staudetektion ist erforderlich, um im Ereignisfall die Lüftung korrekt zu betreiben. Es ist anzumerken, dass die Anforderungen der Lüftung an die Staudetektion in der Regel erheblich höher sind als diejenigen der Verkehrslenkung.

Die Grundlagen dazu sind in der ASTRA-Richtlinie 13001 «Lüftung der Strassentunnels» und 13003 «Steuerung der Lüftung» festgelegt. Diese Massnahme wird hier nicht weiter vertieft, da sie bereits im bestehenden ASTRA-Regelwerk behandelt wird.

### 7.3 Notausgänge

Bei hoher Stauwahrscheinlichkeit kann eine Verdichtung der Notausgänge erforderlich sein, welche deutlich über die Mindestanforderungen der Norm SIA 197/2 [5] geht. Dies ist zum Beispiel bei kurzen, steilen Richtungsverkehrstunnels mit Längslüftung der Fall. Hier ist die Lüftung bei Stau begrenzt wirksam und erfordert teilweise zusätzliche Notausgänge.

Allfällige Optimierung des Abstandes der Notausgänge erfolgen in der Regel aufgrund einer Risikoanalyse nach ASTRA-Richtlinie 19004. Diese Massnahme wird hier nicht weiter vertieft, da sie bereits im bestehenden ASTRA-Regelwerk weitgehend berücksichtigt wird.

### 7.4 Massnahmen bei Staubeginn

Bei Verkehrsgeschwindigkeiten über- oder unterhalb von rund 80 km/h reduziert sich die Verkehrskapazität eines Tunnels. Eine theoretische Kapazitätsreduktion bei höherem Verkehrsaufkommen führt zu höherer Staugefährdung. Nachfolgende Massnahmen können die Gefahr von Staubildung reduzieren oder das Risiko bei Staubildung mindern:

- Rechtzeitige Anpassung der Geschwindigkeitsbegrenzung (zeitlich bevor sich der Stau bildet und räumlich bereits vor dem Tunnel)
- Gelb blinkende Ampeln im Tunnel, als generische Warnung
- Erhöhung der Beleuchtung.

## 7.5 Dosiersysteme und Stauverhinderung durch Portalrot

Dosiersysteme mit eventuellen Zusatzmassnahmen, wie zum Beispiel Massnahmen zur Unterstützung der Einhaltung eines Mindestabstandes zwischen Fahrzeugen, können besonders wirksam sein.

Bei Dosiersystemen, Tunnelsperrung (Portalrot) oder Fahrstreifenabbau vor einem Tunnel, sind der vor dem Tunnel liegende Rückstauraum und vorangehende Tunnel mitzubersichtigen, damit keine Staufortpflanzung in vorangehende Tunnel stattfindet. Es sind bei Bedarf Teilautomatisierungen vorzusehen, damit die Sperrungen automatisch vorgenommen werden können.

Induktionsschleifen oder PIR-Sensoren können eingesetzt werden, um Stau bei Tunnelausfahrten zu Detektieren und mittels Portalrot einer Staufortpflanzung in den Tunnel vorzubeugen.

Zählungen von Fahrzeugen im Tunnelinnern können stauvorbeugende Massnahmen wirksam unterstützen.

## 7.6 Intervention

Stau im Tunnel kann die Intervention der Ereignisdienste erheblich behindern. Dies betrifft sowohl die Zufahrt zum Tunnelportal als auch die Fahrt im Tunnel. Je nach Situation kommen nachfolgende Massnahmen infrage:

- Stau im Rahmen der Einsatzplanung berücksichtigen
- Einsatzpläne bei Bedarf anpassen (zum Beispiel alternative Interventionswege)
- Staugefährdung bei Übungen spezifisch berücksichtigen
- Zusätzliche/alternative Zufahrten bei Stau aufbereiten.

## 8 Beurteilung Massnahmen zur Verhinderung von Stau in Tunnels

### 8.1 Identifikation der Massnahmen

Basierend auf den diskutierten Massnahmen der vorangehenden Kapitel werden die zur Umsetzung empfohlenen Massnahmen festgelegt. Es ist anzumerken, dass diese Massnahmen in der Schweiz teilweise bereits umgesetzt werden. Die Arbeitsgruppe ist aber der Auffassung, dass diese Massnahmen konsequent umgesetzt werden sollten.

Es können fünf Gruppen von Massnahmen wie folgt ausgeschieden werden:

- Empfohlene bauliche Massnahmen
- Empfohlene verkehrstechnische Massnahmen
- Empfohlene technische Massnahmen
- Empfohlene organisatorische Massnahmen
- Empfohlene Massnahmen betreffend Information und Sensibilisierung

Jede dieser Massnahme hat einen positiven Einfluss hinsichtlich Verhinderung von Stau im Tunnel. Die Wirksamkeit jeder Massnahme wird nachfolgend bewertet.

Doch nicht jede Massnahme liegt im Verantwortungsbereich vom FB OpSi ASTRA. In den nachfolgenden Kapiteln wird jeweils angegeben, wie gross die Einflussnahme vom FB OpSi ASTRA auf die Umsetzung einer Massnahme ist.

Es werden für die Bewertung der Wirksamkeit drei Stufen wie folgt unterschieden:

- H** Hoch
- M** Mittel
- G** Gering bzw. nicht vorhanden

Zur groben Abschätzung der Kosten wird eine qualitative Einteilung in 4 Kostenklassen vorgenommen:

- H** Hoch  $\geq 5\%$  Baukosten
- M** Mittel Tief < Kosten < Hoch
- G** Gering Kleiner Baulicher Unterhalt (KBU) und organisatorische Massnahmen
- NB** Nicht bestimmbar (zum Beispiel, weil sehr stark objektabhängig)

### 8.2 Empfohlene bauliche Massnahmen

#### 8.2.1 Vermeidung von Fahrstreifenabbau

##### *Beschreibung*

Fahrstreifenabbau im oder kurz nach einem Tunnel ist zu vermeiden.

##### *Diskussion*

Fahrstreifenabbau im Tunnel ist unter allen Umständen zu vermeiden, da er zwangsläufig zu Stau bzw. erhöhtem Unfallrisiko führt. Falls ein Fahrstreifenabbau notwendig ist, muss dieser vor dem Tunnel erfolgen, oder dann erst nach einer gewissen Strecke nach dem Tunnel, damit kein Rückstau im Tunnel entstehen kann.

Dieses Anliegen ist bereits heute in den massgebenden Regelwerken integriert. Die EU-Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunnels im transeuropäischen Strassen-netz schreibt vor, dass „Mit Ausnahme der Seitenstreifen ist innerhalb und ausserhalb des Tunnels die gleiche Anzahl Fahrstreifen beizubehalten. Jegliche Änderung der Anzahl der Fahrstreifen muss in hinreichender Entfernung vor dem Tunnelportal erfolgen“. Diese Vor-gabe ist gemäss Weisung ASTRA 74001 auch für die Schweiz gültig.

Dieses Prinzip ist auch in der SIA-Norm 197/2 [5] festgehalten:

«8.9.1.2 Eine Verminderung der Fahrbahnbreite (Abbau von Fahrstreifen) ist ausserhalb des Tunnels anzuordnen»

#### *Umsetzung*

Die Umsetzung dieser Massnahme kommt primär in der Planungsphase von neuen Tun-nels oder teilweise bei Sanierungen von bestehenden Tunnels zum Tragen.

Die Aufnahme eines entsprechenden Hinweises in die Pflichtenhefte für die Planung neuer Autobahnabschnitte ist aus sicherheitstechnischen Gründen erforderlich.

#### *Wirksamkeit*

**H** Hoch

#### *Kosten*

**NB** Nicht bestimmbar (stark situationsabhängig)

## 8.2.2 Anordnungen von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen

### *Beschreibung*

Vermeidung von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen in oder unmittelbar nach Tun-nels.

### *Diskussion*

Die Anordnung von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen in Bezug auf Tunnels haben einen massgeblichen Einfluss auf die Bildung von Staus und auf die Unfallhäufigkeit in einem Tunnel.

Dieses Prinzip ist in der SIA-Norm 197/2 [5] festgehalten:

8.2.5.1 Im Portalbereich sind, wenn möglich, keine Knoten vorzusehen.

8.2.5.2 Wenn ein Knoten erforderlich ist, muss nachgewiesen werden, dass bei der Einfahrt in den Knoten kein Rückstau entsteht, der bis in den Tunnel reicht.

8.2.4.1 Einmündungen und Gabelungen werden als Verzweigung bezeichnet.

8.2.4.2 Verzweigungen innerhalb eines Tunnels sollen wenn möglich vermieden werden.»

### *Umsetzung*

Raumplanerische Überlegungen oder verkehrsplanerische Sachzwänge werden bei der Planung von neuen Autobahnabschnitten selbstverständlich viel stärker gewichtet als die Tatsache, ob durch eine ungünstige Anordnung die Entstehung von Stau gefördert wird.

Die Aufnahme eines entsprechenden Hinweises in die Pflichtenhefte für die Planung neuer Autobahnabschnitte ist aus sicherheitstechnischen Gründen erforderlich.

#### *Wirksamkeit*

**H** Hoch

#### *Kosten*

**M** Mittel

## 8.2.3 Geometrie und Längsprofil des Tunnels

### 8.2.3.1 Geometrie und Längsprofil

#### *Beschreibung*

Vermeidung von unübersichtlichen Geometrien (Kurven, Steigungswechsel).

#### *Diskussion*

Enge Kurven oder grosse Steigungswechsel führen dazu, dass die Sichtweite für die Verkehrsteilnehmer eingeschränkt wird und die allgemeine Verkehrsriskien erhöht werden. Dies wiederum kann zu abrupten Bremsmanövern oder langsameren Fahren führen, bis hin zu Stau.

#### *Umsetzung*

Die Umsetzung dieser Massnahme kommt primär in der Planungsphase von neuen Tunnels oder Sanierungen von bestehenden Tunnels zum Tragen.

Die Aufnahme eines entsprechenden Hinweises in die Pflichtenhefte für die Planung neuer Autobahnabschnitte ist sinnvoll.

Dieser Aspekt ist auch im RSA (Road Safety Audit) zwingend zu berücksichtigen.

Diese Anliegen sind bereits in der vorhandenen Dokumentation teilweise berücksichtigt:

- SIA 197/2 [5] 8.2.1 «Horizontale Linienführung»
- SIA 197/2 [5] 8.2.2 «Vertikale Linienführung»
- SIA 197/2 [5], 8.3.2.4. «Bei Tunnels mit Kurven sind die Kurvenverbreiterung für die Fahrzeuge und die Anhalte-Sichtweite zu berücksichtigen»
- VSS 40 090b: Projektierung – Grundlagen, Sichtweiten
- VSS 40 100a: Linienführung – Elemente der horizontalen Linienführung
- VSS 40 110: Linienführung – Elemente der vertikalen Linienführung

#### *Wirksamkeit*

**M** Mittel

#### *Kosten*

**M** Mittel

### 8.2.3.2 Zusätzlicher Fahrstreifen für langsame Fahrzeuge

#### *Beschreibung*

Zusätzlicher Fahrstreifen für langsame / schwere Fahrzeuge bei grossen Steigungen.

#### *Diskussion*

Langsam fahrende Fahrzeuge können einen ganzen Tunnel blockieren, sofern keine Überholmöglichkeit besteht. In diesem Fall kann eine zusätzliche Fahrspur das Risiko einer Staubildung vermindern.

#### *Umsetzung*

Die Umsetzung dieser Massnahme kommt primär in der Planungsphase von neuen Tunnels oder Sanierungen von bestehenden Tunnels zum Tragen. Sofern es nur um Stauverhinderung geht, ist die Realisierung einer zusätzlichen Spur wohl kaum eine kostengünstige Lösung.

Die Aufnahme eines entsprechenden Hinweises in die Pflichtenhefte für die Planung neuer Autobahnabschnitte ist sinnvoll.

Dieser Aspekt wird in den nachfolgenden VSS-Richtlinien behandelt:

- VSS 40 110: Linienführung – Elemente der vertikalen Linienführung
- VSS 40 138b: Linienführung – Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**H** Hoch

## 8.3 Empfohlene verkehrstechnische Massnahmen

### 8.3.1 Dosiersysteme

*Beschreibung*

Einsatz von Dosiersystemen an neuralgischen Punkten des Nationalstrassennetzes.

*Diskussion*

Dosiersysteme bilden ein sehr effektives Mittel, um Staus in Tunnels vorzubeugen. Dosiersysteme können für einzelne Verkehrstypen, beispielsweise Schwerverkehr, oder für den Gesamtverkehr eingeführt werden. Sie benötigen genügend Warte- oder Stauräume sowie eine übergeordnete Sicht auf den Verkehrsfluss. Dosiersysteme werden über die Verkehrsmanagementzentrale gesteuert.

*Umsetzung*

Dosiersysteme werden bereits heute umgesetzt. Die weitere Umsetzung von Dosiersystemen sollte in enger Zusammenarbeit mit der VMZ-CH oder mit regionalen Verkehrsleitzentralen geschehen, damit die Verkehrsdosierung bei einem Tunnel keine negativen Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat, bzw. solchen Auswirkungen rasch und effizient entgegen gewirkt werden kann. Die Zuständigkeit für die Umsetzung liegt ausschliesslich beim ASTRA (VMZ-CH).

An welchen neuralgischen Punkten sinnvollerweise ein Dosiersystem eingesetzt werden soll, ist zu prüfen.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**M** Mittel

### 8.3.2 Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel

*Beschreibung*

Temporärer Abbau von Fahrstreifen vor dem Tunnel bei Staugefährdung im Tunnel, möglichst automatisiert. Klassifizierung und Priorisierung der Tunnels in Bezug auf Anforderungen zur Stauvorbeugung und schrittweise Implementierung, wo dies sinnvoll oder notwendig ist.

*Diskussion*

Diese Massnahme wird bereits punktuell praktiziert.

*Umsetzung*

Die Tunnels auf dem Nationalstrassennetz sind in Bezug auf Stauanfälligkeit, Gefährdungspotential durch Stau und Wirksamkeit dieser Massnahme zu prüfen. Aus der Analyse resultiert eine Prioritätenliste für die Implementation der Massnahme.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

### 8.3.3 Tunnelsperrung bei Stau im Tunnel

#### *Beschreibung*

Temporäre Sperrung des Tunnels (Portalrot) bei Stau im Tunnel, möglichst automatisiert. Klassifizierung und Priorisierung der Tunnels in Bezug auf Anforderungen zur Stauvorbeugung und schrittweise Implementierung, wo dies sinnvoll oder notwendig ist.

#### *Diskussion*

Diese Massnahme wird bereits punktuell praktiziert. Es besteht heute keine systematische Analyse der bestehenden Tunnels in Bezug auf Staugefährdung und Wirksamkeit dieser Massnahme.

#### *Umsetzung*

Die Tunnels auf dem Nationalstrassennetz sind in Bezug auf Stauanfälligkeit, Gefährdungspotential durch Stau und Wirksamkeit dieser Massnahme zu prüfen. Aus der Analyse resultiert eine Prioritätenliste für die Implementation der Massnahme. Bei gravierenden Fällen sind Dosiersysteme vorzusehen.

#### *Wirksamkeit*

**H** Hoch

#### *Kosten*

**G** Gering

### 8.3.4 Grossräumige Umleitungen

#### *Beschreibung*

Grossräumige Umleitungen bei Unfällen, Stau oder anderen Ereignissen.

#### *Diskussion*

Grossräumige Umleitungen bei einem Unfall oder nach einem anderen Ereignis, welches einen Abschnitt einer Nationalstrasse blockiert, vermindern die Bildung von Stau, da die Verkehrsteilnehmer über andere Streckenabschnitte geführt werden. Grossräumige Umleitungen werden durch die VMZ-CH (mittels Verkehrsmanagementplänen) durchgeführt, sobald eine entsprechende Information der Polizei vorliegt. Die Umleitung erfolgt mittels Wechseltextanzeigen und dynamischen Wechselwegweisern sowie über eine Verkehrsmeldung, welche via Navigationsgeräte, Radio und Internet verbreitet wird.

#### *Umsetzung*

Die Umsetzung von grossflächigen Umleitungen ist ein bereits etabliertes Mittel zur Vermeidung von Stau nach Unfällen oder ähnlichen Ereignissen.

#### *Wirksamkeit*

**M** Mittel

#### *Kosten*

**G** Gering

### 8.3.5 Geschwindigkeitsbegrenzung und -Harmonisierung

#### *Beschreibung*

Geschwindigkeitsbegrenzung und -Harmonisierung in überlasteten Abschnitten des Nationalstrassennetzes.

#### *Diskussion*

Die Kapazität einer Autobahn ist unter anderem abhängig von der Geschwindigkeit des Verkehrs. Die maximale Kapazität wird bei einer Geschwindigkeit der Fahrzeuge von ca. 80 km/h erreicht. Bei tieferer oder höherer Geschwindigkeit nimmt die Kapazität ab, was die Staugefahr erhöht.

Im Rahmen der Geschwindigkeitsharmonisierung wird die Höchstgeschwindigkeit über

längere Strecken (auch durch sämtliche Tunnel auf der Strecke) automatisch in Abhängigkeit der erfassten Verkehrsmengen festgelegt. Dies erlaubt es, möglichst nahe an die maximale Kapazität der Autobahn zu gelangen.

Grundsätzlich darf die signalisierte Höchstgeschwindigkeit vor, im und nach einem Tunnel nicht zu einer Minderung der Kapazität im oder unmittelbar nach dem Tunnel führen.

Die ideale Geschwindigkeit, mit dem grössten Durchsatz, liegt bei ca. 80 km/h. Geschwindigkeitsbegrenzungen unterhalb von 80 km/h sind aus Kapazitätsgründen in der Regel nicht sinnvoll. Eine allfällige Geschwindigkeitsreduktion muss in einer ausreichenden Distanz vor der Tunneleinfahrt implementiert werden, um Gefährdungen beim Tunnelportal vorzubeugen.

*Umsetzung*

Die bereits bestehenden Anlagen werden in Zukunft massgeblich ausgebaut und automatisiert.

Es existiert dafür die spezifische Richtlinie zu Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung (GHGW), Grundsätze für Planung und Betrieb (ASTRA 15016 [1])

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**M** Mittel

### 8.3.6 Pannestreifenumnutzung

*Beschreibung*

Verwendung von Pannestreifen als zusätzlicher Fahrstreifen bei Stau.

*Diskussion*

Bei der Pannestreifenumnutzung (PUN) werden Pannestreifen temporär oder permanent als Fahrstreifen freigegeben, wodurch sich die Kapazität des Autobahnabschnittes automatisch erhöht. Pannestreifenumnutzungen nach Tunnels können die Rückstaugefahr in einen Tunnel hinein stark reduzieren. Im Tunnel selbst hat es in der Regel keine Pannestreifen; somit kann dort auch keine Umnutzung erfolgen.

*Umsetzung*

Pannestreifenumnutzungen werden heute bereits an verschiedenen Orten umgesetzt. Im Rahmen der Road Map VM-CH und STEP-NS wird überprüft, auf welchen weiteren Abschnitten ebenfalls Pannestreifenumnutzungen umgesetzt werden sollen. Die Umsetzung muss immer mit Blick auf das gesamte Verkehrssystem erfolgen, damit die Pannestreifenumnutzung nicht zu neuen Verkehrsüberlastungen auf benachbarten Autobahnabschnitten oder dem untergeordneten Strassennetz führt.

Es ist eine eigene ASTRA-RL vorhanden: Richtlinie Pannestreifenumnutzung (ASTRA 15002).

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**M** Mittel

## 8.4 Empfohlene technische Massnahmen

### 8.4.1 Tunnelausrüstung

#### 8.4.1.1 Beleuchtung

##### *Beschreibung*

Genügende, homogene und blendfreie Beleuchtung sowie optische Leiteinrichtungen (LED am Bankettrand) in Tunnels.

##### *Diskussion*

Gelegentlich wird ein Tunnel als «schwarzes Loch» wahrgenommen, was zu Bremsmanövern und damit auch zu Stau im Tunnel führen kann. Hier kann mit einer guten Beleuchtung positiv auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer eingewirkt werden. Die Beleuchtung muss blendfrei, homogen und genügend hell sein, vor allem zu Beginn des Tunnels im Adaptationsbereich. LEDs direkt am Bankettrand bilden für alle Verkehrsteilnehmenden eine optische Leiteinrichtung, insbesondere für den Schwerverkehr.

##### *Umsetzung*

Bei Neubauten oder Sanierungen kann die Beleuchtung entsprechend angepasst oder umgesetzt werden.

Entsprechende Vorgaben sind in der Richtlinie 13015 «Beleuchtungsanlagen» und weitere im FHB BSA aufzunehmen, respektive konsequent umzusetzen.

##### *Wirksamkeit*

**M** Mittel

##### *Kosten*

**M** Mittel

#### 8.4.1.2 Farbgebung

##### *Beschreibung*

Helle Farbgebung der Wände und ev. der Fahrbahn sowie dunkle Decke in Tunnels.

##### *Diskussion*

Gelegentlich wird ein Tunnel als «schwarzes Loch» wahrgenommen, was zu Bremsmanövern und damit auch zu Stau im Tunnel führen kann. Hier kann mit einer guten Farbgebung positiv auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer eingewirkt werden. Die Wände sind hell auszugestalten, ev. die Fahrbahn auch. Die Decke hingegen sollte dunkel gehalten werden, da dies das Gefühl von Weite (Nachthimmel) erzeugt.

##### *Umsetzung*

Bei Neubauten oder Sanierungen kann die Beleuchtung entsprechend angepasst oder umgesetzt werden.

##### *Wirksamkeit*

**M** Mittel

##### *Kosten*

**M** Mittel

#### 8.4.1.3 Durchgezogene Linien zur Verhinderung von Fahrstreifenwechseln

##### *Beschreibung*

Sicherheitslinien in gewissen Tunnelabschnitten zur Verhinderung von Fahrstreifenwechseln durch die Verkehrsteilnehmer.

##### *Diskussion*

Fahrstreifenwechsel im Tunnel können aufgrund der beengten und dunklen Verhältnisse zu Bremsmanövern, Unfällen und Stau führen.

Mit Sicherheitslinien kann verhindert werden, dass die Verkehrsteilnehmer im Tunnel die Spur wechseln, beispielsweise nach einer Einfahrt in einen Tunnel oder unmittelbar vor einem Tunnel. Sie müssen dann durch den Tunnel hindurch auf der definierten Spur bleiben.

Fahrstreifenwechsel sind für die Verkehrsteilnehmer auf offener Strecke viel einfacher vorzunehmen als im Tunnel. Die Signalisierung von Ausfahrten und Verzweigungen, welche sich unmittelbar nach einem Tunnel befinden, ist daher in genügend grosser Distanz vor dem Tunnel vorzunehmen, damit die Verkehrsteilnehmer bereits vor dem Tunnel genug Zeit haben, um auf die richtige Spur zu wechseln.

*Umsetzung*

Relativ einfach umsetzbare und kostengünstige Massnahme bei Neubauten oder Sanierungen, oder auch bei einem regulären Unterhaltsintervall.

*Wirksamkeit*

**M** Mittel

*Kosten*

**G** Gering

**8.4.1.4 Frühzeitige Signalisierung von Ausfahrten und Verzweigungen**

*Beschreibung*

Ausfahrten und Verzweigungen nach einem Tunnel sind frühzeitig vor dem Tunnel zu signalisieren.

*Diskussion*

Fahrstreifenwechsel im Tunnel können aufgrund der beengten und dunklen Verhältnisse zu Bremsmanövern, Unfällen und Stau führen. Fahrstreifenwechsel sind für die Verkehrsteilnehmer auf offener Strecke viel einfacher vorzunehmen als im Tunnel. Die Signalisierung von Ausfahrten und Verzweigungen, welche sich nach einem Tunnel befinden, ist daher in genügend grosser Distanz vor dem Tunnel vorzunehmen, damit die Verkehrsteilnehmer bereits vor dem Tunnel genug Zeit haben, um auf die richtige Spur zu wechseln.

*Umsetzung*

Rasch und einfach umsetzbare sowie kostengünstige Massnahme.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

**8.4.1.5 Manuelle Unfalldetektion**

*Beschreibung*

Konsequente Umsetzung von vorbeugenden Massnahmen bei Unfalldetektion

*Diskussion*

Die technische Ausrüstung der Tunnels mit Mitteln zur Unterstützung der manuellen Unfalldetektion ermöglicht es, rasch auf Unfälle zu reagieren, beispielsweise mit der Sperrung eines Fahrstreifens oder eines gesamten Tunnels durch den Operator. Die Detektion kann mittels Videobildern manuell erfolgen, aber die Umsetzung der Massnahmen muss automatisch erfolgen, und wird vorzugsweise direkt in übergeordnete Leitsysteme (Soforttaste) und das Verkehrsmanagementsystem integriert, damit Umleitungen, Staumeldungen etc. rasch erfolgen können.

*Umsetzung*

Diese Massnahme kann im Rahmen von Sanierungen oder bei Unterhaltsintervallen umgesetzt werden.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

### 8.4.1.6 Automatische Unfalldetektion

*Beschreibung*

Verbesserung der automatischen Unfalldetektion mittels Video, Induktionsschleifen oder akustischer Detektion

*Diskussion*

Die technische Ausrüstung der Tunnels mit Mitteln zur Unfalldetektion ermöglicht es, rasch auf Unfälle zu reagieren, beispielsweise mit der Sperrung eines Fahrstreifens oder eines gesamten Tunnels. Die Detektion muss automatisch erfolgen, und wird mit Vorteil direkt in ein Verkehrsmanagementsystem integriert, damit Umleitungen, Staumeldungen etc. rasch erfolgen können.

Diese Massnahme wird kontrovers beurteilt, da die Zuverlässigkeit der automatischen Unfalldetektion als eher kritisch einzustufen ist.

*Umsetzung*

Die Arbeitsgruppe empfiehlt diese Massnahme zurzeit nicht zur Umsetzung.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**M** Mittel

## 8.4.2 Sperrung Fahrstreifen / Tunnel

### 8.4.2.1 Signalisierung generell

*Beschreibung*

Signalisierungsmöglichkeiten für die komplette oder teilweise (für gewisse Fahrzeugtypen) Sperrung eines Fahrstreifens.

*Diskussion*

Bei Unfällen oder anderen Anomalien im Verkehrsfluss ist es wichtig, dass einzelne Fahrstreifen oder der gesamte Tunnel rasch gesperrt werden können. Dies betrifft sowohl eine komplette Sperrung wie auch die Sperrung für gewisse Fahrzeugtypen, z.B. Schwerverkehr. Die entsprechenden Signalisationen müssen physisch vorhanden sein, damit bei Bedarf die entsprechende Signalisierung gewählt werden kann.

Relevant sind zudem folgende Aspekte:

- Rechtzeitige erste Signalisierung mindestens 1,0 – 1,5 km vor dem Tunnelportal
- wiederholende Informationen, dass ein Fahrstreifen / ein Tunnel geschlossen ist
- Wechseltextanzeigen, keine statischen Signale (generiert mehr Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer)
- 150 – 200 m vor dem Tunnel keine Informationen mehr, damit die Verkehrsteilnehmer nicht abgelenkt sind

*Umsetzung*

Diese Massnahme kann im Rahmen von Neubauten oder Sanierungen umgesetzt werden.

Entsprechende Vorgaben sind in den ASTRA-Richtlinien aufzunehmen.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

### 8.4.2.2 Unterstützung Portalrot

*Beschreibung*

Massnahmen zur Unterstützung von Portalrot.

*Diskussion*

Erfahrungen im In- und Ausland zeigen, dass Portalrot häufig nicht respektiert wird. Verkehrsteilnehmer fahren trotz Rotlicht in den eigentlich gesperrten Tunnel oder auf dem gesperrten Fahrstreifen ein. Zur Unterstützung von Portalrot bzw. zur besseren Sichtbarkeit und Wahrnehmung sind folgende Massnahmen zu prüfen:

- Vertikale Anordnung der Ampeln, werden besser wahrgenommen als die horizontale Anordnung
- Warntext (Halt, Brand, Unfall, etc.), als Grund für die Sperrung neben dem Rotlicht
- Ankündigung des Portalrots mit Vor- und Wechselsignalen
- Akustische Signale

Barrieren werden im französischsprachigen Raum (CH und F) teilweise zur Unterstützung von Portalrot eingesetzt. In der Deutschschweiz bestehen dazu Vorbehalte – obwohl es in der Schweiz noch nie zu einem gravierenden Unfall mit einer geschlossenen Barriere auf Autobahnen gekommen ist.

*Umsetzung*

Die verschiedenen Massnahmen zur Unterstützung von Portalrot sind in einem Konzept zu prüfen und zu evaluieren. Auf der Basis dieses Konzepts sind dann entsprechende Vorgaben auszuarbeiten.

*Wirksamkeit*

**M** Mittel

*Kosten*

**G** Gering

## 8.5 Empfohlene organisatorische Massnahmen

### 8.5.1 Optimierung Baustellenplanung

*Beschreibung*

Optimierung der Baustellenplanung im Hinblick auf Stau in Tunnels.

*Diskussion*

Oftmals wird bei der Planung der Baustellen keine Rücksicht auf die Stausituation in Tunnels genommen. Die zuständigen Stellen müssen ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass die Baustellen zeitlich und örtlich derart angeordnet werden, damit durch die Baustellen keine Staus in Tunnels entstehen.

Fahrspuranpassungen und -Überleitungen sowie Lichtsignalanlagen sind so anzuordnen, dass kein Rückstau in einen Tunnel hinein entsteht. Mit einer Zeitangabe bei einem Baustellenrotlicht betreffend die Dauer der Rotphase wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Rotlichter respektiert werden.

*Umsetzung*

Die für die Planung und Durchführung der Baustellen verantwortlichen Stellen müssen für die Thematik Stau im Tunnel sensibilisiert werden.

Die Signalisation von Baustellen ist in der VSS 40 885 Temporäre Signalisation, Leiteinrichtungen – Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen geregelt.

In den entsprechenden ASTRA-Richtlinien und Vorgaben sind Hinweise betreffend Stau im Tunnel zu integrieren.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

## 8.6 Empfohlene Massnahmen betreffend Information und Sensibilisierung

### 8.6.1 Information der Verkehrsteilnehmer

*Beschreibung*

Information der Verkehrsteilnehmer im Ereignisfall.

*Diskussion*

Wenn Verkehrsteilnehmer staugefährdete Autobahntunnel meiden, ist die Wahrscheinlichkeit von Stau automatisch geringer. Dazu müssen die Verkehrsteilnehmer zeitnah mit aktuellen Informationen bezüglich der Verkehrslage versorgt werden. Die VMZ-CH bereitet alle ihr bekannten Verkehrsdaten auf und stellt die entsprechenden Informationen via Radio, Internet und Navigationsgeräte zur Verfügung. Dies betrifft Staus, dichter Verkehr, Unfälle, Umleitungen, Sperrungen etc.

Das ASTRA führt in den Tunneln des Nationalstrassennetzes keine Neuinstallationen von UKW-Programmen mehr durch. Seit 2017 werden die UKW-Anlagen in den Tunneln zurückgebaut und durch DAB+-Anlagen ersetzt. DAB+-Programme können jederzeit für die Einsprechung von Polizeidurchsagen unterbrochen werden [10]. Die Durchsagen werden vom Operateur der Einsatzleitzentrale (Operateur ELZ) aktiviert.

Zukünftig können Einsprachen durch eine Tunnelbeschallung eine Option sein.

Fast jeder Verkehrsteilnehmer hat heute ein Mobilfunkgerät dabei. Mit Verkehrsmeldungen via Mobilfunknetz könnten Verkehrsteilnehmer erreicht werden. Die Machbarkeit von Verkehrsmeldungen via Mobilfunknetz ist daher zu prüfen.

*Umsetzung*

Verkehrsmeldungen werden heute bereits umgesetzt. Die Informationen müssen sehr spezifisch sein.

Die Ausdehnung auf weitere Kanäle nebst Navigationsgeräten, Radio und Internet ist zu prüfen.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**NB** Nicht bestimmbar (technologie- und tunnelabhängig)

### 8.6.2 Ausbildung der Verkehrsteilnehmer

*Beschreibung*

Schulung des Verhaltens im Tunnel generell und bei Stau im Tunnel, für alle Verkehrsteilnehmer.

*Diskussion*

Mit einer geeigneten Schulung aller Verkehrsteilnehmer inkl. der Berufsschauffeure während der Fahrausbildung bezüglich Verhalten im Tunnel und Verhalten im Stau könnte manchem Fehlverhalten als Ursache oder Konsequenz von Stau in Tunneln entgegenge-wirkt werden.

*Umsetzung*

Die Ausbildung der Verkehrsteilnehmer erfolgt über die Fahrlehrkräfte und Prüfungsfragen. Der FB OpSi ASTRA hat keinen direkten Einfluss. Denkbar wäre allenfalls eine Mitteilung durch die Informations- und Kommunikationsstelle des ASTRA an die Fahrlehrkräfte, der Schulung des Verhaltens in Tunneln und im Stau während der Fahrausbildung verstärkt Aufmerksamkeit zu schenken.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**NB** Nicht bestimmbar (Kosten variabel je nach Konzept)

### 8.6.3 Erweiterung/Ergänzung Autobahn-Knigge mit Stauende im Tunnel

*Beschreibung*

Ergänzung des Autobahn-Knigge [11] mit spezifischen Hinweisen zu den Gefahren von Stau und insbesondere Stauenden im Tunnel und zum richtigen Verhalten, um diese vor-zubeugen.

*Diskussion*

Der Autobahn-Knigge enthält Tipps für richtiges Verhalten auf der Autobahn, um einen besser fließenden Verkehr und mehr Verkehrssicherheit auf den Autobahnen zu erzielen. Er enthält Hinweise zum richtigen Verhalten im Stau (Rettungsgasse bilden, unnötige Spur-wechsel vermeiden) und im Tunnel, aber noch keine Empfehlungen in Bezug auf Stau im Tunnel.

*Umsetzung*

Die nächste Auflage des Autobahn-Knigge soll um Hinweise zu den Gefahren von Stau im Tunnel und einige wichtige Grundregeln (zum Beispiel Portalrot beachten) ergänzt werden.

*Wirksamkeit*

**H** Hoch

*Kosten*

**G** Gering

### 8.6.4 Sensibilisierung der Betreiber und Planer

*Beschreibung*

Sensibilisierung der Betreiber und der Planer von Tunneln bezüglich der Massnahmen zur Verhinderung von Stau.

*Diskussion*

Bereits in der Planungsphase eines Tunneln können verschiedene Massnahmen zur Verhinderung von Stau eingebracht und umgesetzt werden. Auch bei Sanierungen ist die Um-setzung verschiedener Massnahmen einfach möglich. Damit die entsprechenden Mass-nahmen überhaupt eingebracht werden können, ist die Information und Sensibilisierung der Betreiber und Planer bezüglich der Thematik Stau im Tunnel notwendig.

*Umsetzung*

Die Sensibilisierung kann auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Zentral ist die Sensibilisie-rung bei allen Planungs- und Sanierungsarbeiten durch die entsprechenden Stellen inner-halb des ASTRA sowie durch die SiBe-S. Andere Organe wie beispielsweise die Bera-tungsstelle zur Unfallverhütung können ebenfalls zur Sensibilisierung beitragen.

Wirksamkeit

**H** Hoch

Kosten

**G** Gering

## 8.7 Übersicht der empfohlenen Massnahmen

Die in den vorangehenden Abschnitten diskutierten Massnahmen sind in nachfolgender Übersichtstabelle zusammengestellt. Die Farbgebung entspricht nachfolgenden Kriterien:

Wirksamkeit «W»: **H** Hoch, **M** Mittel, **G** Gering

Kosten «K»: **H** Hoch, **M** Mittel, **G** Gering, **NB** Nicht bestimmbar

Tab. 5 Übersicht der empfohlenen Massnahmen, Farbgebung entspricht der Wirksamkeit («W») bzw. Kosten («K»).

W	K	Empfohlene bauliche Massnahme
<b>H</b>	<b>M</b>	Anordnungen von Ein- und Ausfahrten sowie Verzweigungen
<b>H</b>	<b>H</b>	Zusätzlicher Fahrstreifen für langsame Fahrzeuge
<b>H</b>	<b>NB</b>	Vermeidung von Fahrstreifenabbau
<b>M</b>	<b>M</b>	Geometrie und Längsprofil
W	K	Empfohlene verkehrstechnische Massnahmen
<b>H</b>	<b>G</b>	Fahrstreifenabbau vor dem Tunnel
<b>H</b>	<b>G</b>	Tunnelsperrung bei Stau im Tunnel
<b>H</b>	<b>M</b>	Dosiersystem
<b>H</b>	<b>M</b>	Geschwindigkeitsbegrenzung und -harmonisierung
<b>H</b>	<b>M</b>	Pannestreifenumnutzung
<b>M</b>	<b>G</b>	Grossräumige Umleitungen
W	K	Empfohlene technische Massnahmen
<b>H</b>	<b>G</b>	Frühzeitige Signalisierung von Ausfahrten und Verzweigungen
<b>H</b>	<b>G</b>	Signalisierung bei Sperrung Fahrstreifen / Tunnel
<b>H</b>	<b>G</b>	Manuelle Unfalldetektion
<b>H</b>	<b>M</b>	Automatische Unfalldetektion
<b>M</b>	<b>G</b>	Durchgezogene Linien zur Verhinderung von Fahrstreifenwechseln
<b>M</b>	<b>G</b>	Unterstützung Portalrot
<b>M</b>	<b>M</b>	Farbgebung
<b>M</b>	<b>M</b>	Beleuchtung
W	K	Empfohlene organisatorische Massnahmen
<b>H</b>	<b>G</b>	Optimierung Baustellenplanung
W	K	Empfohlene Massnahmen betreffend Information und Sensibilisierung
<b>H</b>	<b>G</b>	Erweiterung der Autobahn-Knigge
<b>H</b>	<b>G</b>	Sensibilisierung von Betreiber und Planer
<b>H</b>	<b>NB</b>	Benutzer: Information im Ereignisfall
<b>H</b>	<b>NB</b>	Benutzer: Ausbildung

## Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
AGr SiT	Arbeitsgruppe «Stau im Tunnel»
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BZ	Betriebszustand
FB OpSi ASTRA	Fachbereich Operative Sicherheit des ASTRA
FHB	Fachhandbuch
FLS	Fahrstreifen-Lichtsignalsysteme
FU	Fachunterstützung
FW	Feuerwehr
GE	Gebietseinheit
GHGW	Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung
KAPO	Kantonspolizei
OpSi	Operative Sicherheit
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses Welt-Strassenverband
PUN	Pannestreifenumnutzung
RABT	Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln (D)
RL	Richtlinie
SIA	Schweizer Ingenieur- und Architekten Verein
SiBe-S	Sicherheitsbeauftragte/r Strecke
SINA	Società Iniziative Nazionali Autostradali (I)
STEP-NS	Strategisches Entwicklungsprogramm Nationalstrassen
StreMa	Streckenmanager
T/G	Tunnel/Geotechnik
TM	Technisches Merkblatt
UT	Gebietseinheit (Unité Territoriale / Unità Territoriale)
VIM	Verkehrs- und Innovationsmanagement
VM	Verkehrsmanagement
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz
VSS	Verband Schweizerischer Strassenfachleute
WTA	Wechseltextanzeige

# Literaturverzeichnis

---

## Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA (2015), «**Geschwindigkeitsharmonisierung und Gefahrenwarnung (GHGW)**», *Richtlinie ASTRA 15016, V1.01*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), «**Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen (Kopfrichtlinie VM-NS)**», *Richtlinie ASTRA 15003, V2.02*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2013), «**Steuerung der BSA – Rollen, Aufgaben und Anforderungen für Benutzeroberflächen**», *Weisung ASTRA 73002, V1.01*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).

---

## Richtlinie EU

- [4] Richtlinie 2004/54/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über **Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz**.

---

## Normen

- [5] Schweizer Norm SN 505 197/2 - SIA 197/2 «**Projektierung Tunnel – Strassentunnel**», 2023

---

## Technische Merkblätter ASTRA

- [6] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014), «**Technisches Merkblatt Bauteile – Nebeneinrichtungen – Barrierenanlage**», *Fachhandbuch BSA ASTRA 23001-11860*, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch).

---

## Dokumentation / Berichte

- [7] Bundesamt für Strassen ASTRA (2022), «**Statistik Verkehrsentwicklung und Verkehrsfluss 2022, Statistik**», *Ausgabe 2022, V1.0*
- [8] Bundesamt für Strassen ASTRA, VMZ-CH, «**Informationen zu Stauschwerpunkten in Tunneln**», *Mail vom 3. Juni 2021*
- [9] Bundesamt für Strassen ASTRA, Definitionen «**Verkehrsfluss – Stauaufkommen**», <https://www.astra.admin.ch>
- [10] Bundesamt für Strassen ASTRA, Silvio Siegrist, «**Nutzung von Wechseltexanzeigen und dynamischen Wechselwegweisern: ein Einblick in die Praxis**», 19.10.2021
- [11] Bundesamt für Strassen ASTRA, Autobahn-Knigge, Auflage 2021, <https://www.astra.admin.ch>
- [12] Bundesamt für Strassen ASTRA, «**Verkehrsmanagement Schweiz Konzept Pannestreifenumnutzung (PUN)**», *Technischer Bericht ASTRA 85005, Ausgabe 2013, V1.00*
- [13] Bundesamt für Raumentwicklung ARE, «**Kosten der Überlastung der Transportinfrastruktur (KÜTI): Grundlagenstudie**», *Schlussbericht 4. Oktober 2022*
- [14] Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Mario Keller (März 2019) «**Staukosten Schweiz 2015**»
- [15] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2012), «**Tunnels routiers : Émissions, ventilation, environnement**», *Rapport technique 2012R05FR*
- [16] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2008) «**Tunnels Routiers Urbains – Urban Road Tunnels**», *Rapport technique 2008R15*
- [17] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC, Bernhard Kohl (2018), «**Efficacité des mesures d'atténuation des risques pour les tunnels routiers**», *RR378-027*
- [18] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2019), «**Prévention et limitation des collisions liées aux tunnels, 2019**», *Rapport technique 2019R03FR*
- [19] Association mondiale de la route AIPCR/PIARC (2008), «**Facteurs humains et Sécurité des tunnels routiers du point de vue des usagers**», 2008R17
- [20] Bundesanstalt für Strassenwesen BAST, «**Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Strassentunneln**», Heft B 80, September 2011



# Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2026	1.00	13.03.2026	Inkrafttreten der Ausgabe 2026.

