



Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse für neue Massnahmenarten

**Application des normes concernant l'analyse
coûts/avantages pour des nouveaux types de mesures**

**Application of standards for the Cost Benefits Analysis of
new types of measures**

**EBP Schweiz AG
Frank Bruns
Remo Fischer
Nadine Rieser**

**Forschungsprojekt VSS 2013/104 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

September 2018

1643

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse für neue Massnahmenarten

**Application des normes concernant l'analyse
coûts/avantages pour des nouveaux types de mesures**

**Application of standards for the Cost Benefits Analysis of
new types of measures**

**EBP Schweiz AG
Frank Bruns
Remo Fischer
Nadine Rieser**

**Forschungsprojekt VSS 2013/ auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

September 2018

1643

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Frank Bruns
Remo Fischer
Nadine Rieser

Federführende Fachkommission

Fachkommission 1: Verkehr

Begleitkommission

Präsident

Jost Lüking

Mitglieder

Dieter Egger
Niklaus Hilty
Christoph Lieb
Dorina Markus
Michael Neumeister
Margarita Rodriguez
Frank Schiffmann
Deborah von Wartburg

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	11
	Summary	17
1	Einleitung	21
1.1	Ausgangslage.....	21
1.2	Aufgabenstellung	22
1.3	Vorgehen.....	23
1.4	Untersuchungsabgrenzung	24
1.5	Definitionen SN 641 820 und Massnahmenkategorien	25
2	Anforderungen und Datenbedarf Kosten-Nutzen-Analyse	31
3	Massnahmen Verkehrsmanagement	33
3.1	Massnahmenarten und Abbildbarkeit der Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse.....	34
3.1.1	Übersicht	34
3.1.2	Informieren	35
3.1.3	Lenken.....	36
3.1.4	Leiten.....	39
3.1.5	Steuern.....	46
3.1.6	Ruhender Verkehr	57
3.1.7	Fahrberechtigung	61
3.1.8	Fazit und Festlegung der Vertiefungsfälle	65
3.2	Vertiefungsfall «Pannestreifenumnutzung (PUN)»	67
3.2.1	Festlegung Referenzfall und Planfall	67
3.2.2	Systemabgrenzung	69
3.2.3	Ermittlung der Auswirkungen	70
3.2.4	Wertgerüste und Bewertung	79
3.3	Vertiefungsfall «Dosierung»	79
3.3.1	Festlegung Referenzfall und Planfall	79
3.3.2	Systemabgrenzung	80
3.3.3	Ermittlung der Auswirkungen	81
3.3.4	Wertgerüste und Bewertung	87
3.4	Hinweise zur Bewertung von Verkehrsmanagement-Massnahmen mittels Kosten-Nutzen-Analyse	88
4	Erhaltungsmassnahmen	91
4.1	Massnahmenarten und Abbildbarkeit der Wirkungen Kosten-Nutzen-Analyse.....	92
4.1.1	Übersicht	92
4.1.2	Verschiebung des Zeitpunkts.....	93
4.1.3	Variation des Umfangs von Massnahmen	94
4.1.4	Synergien	97
4.1.5	Fazit und Festlegung der Vertiefungsfälle	101
4.2	Vertiefungsfall 1: «Verzögerte Erhaltung»	102
4.2.1	Festlegung Referenzfall und Planfall	102
4.2.2	Systemabgrenzung	104
4.2.3	Ermittlung der Auswirkungen	105
4.2.4	Wertgerüste und Bewertung	113
4.3	Vertiefungsfall 2: «Etappierte Erhaltung»	114
4.3.1	Festlegung Referenzfall und Planfall	114
4.3.2	Systemabgrenzung	116
4.3.3	Ermittlung der Auswirkungen	116

4.3.4	Wertgerüste und Bewertung	120
4.4	Hinweise zur Bewertung von Erhaltungsmassnahmen mittels Kosten-Nutzen-Analyse	121
5	Fazit und weitergehender Forschungsbedarf.....	123
	Anhänge.....	127
	Literaturverzeichnis	133
	Projektabschluss	137
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	141

Zusammenfassung

Neu- und Ausbauten von Strassen werden häufig mittels Kosten-Nutzen-Analyse hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlichen Effizienz untersucht. Dabei werden unterschiedliche Projekte priorisiert oder Varianten eines Projekts miteinander verglichen. Mit den Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse (SN 641 820 bis SN 641 828) steht ein Instrumentarium zur Verfügung, welches für die Ermittlung der Kosten und Nutzen einheitliche Standards und einheitliche Massstäbe setzt, damit die Ergebnisse der Projekte miteinander vergleichbar sind.

In der politischen und öffentlichen Auseinandersetzung um die Verwendung öffentlicher Gelder und der „richtigen“ Verkehrspolitik werden aber nicht nur Neu- und Ausbauprojekte miteinander verglichen. Zunehmend wird auch darum gerungen, ob weniger Finanzmittel für Neu- und Ausbauprojekte und dafür mehr z.B. für Erhaltungsmassnahmen eingesetzt werden sollen. Oder es wird argumentiert, dass zum Beispiel mit Massnahmen des Verkehrsmanagements auf Neu- und Ausbauprojekte verzichtet werden kann. Hier fehlt aber der Nachweis der Kosten und Nutzen solcher Massnahmen, sodass diese mit denjenigen der Neu- und Ausbauprojekte nicht vergleichbar sind.

Das Ziel des Forschungsvorhabens war zu prüfen, inwieweit die Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641820 ff. auch für die Bewertung von Massnahmen aus weiteren Kategorien für vergleichende Bewertungen geeignet ist. Diese Analyse wurde am Beispiel vom Massnahmen des Verkehrsmanagements und der Erhaltung durchgeführt.

In einem ersten Schritt erfolgte für jede Kategorie eine Zusammenstellung der zugehörigen Massnahmenarten. Für jede Massnahmenart wurden die erwarteten Wirkungen ermittelt und anschliessend analysiert, inwiefern diese Wirkungen in einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass die Kosten-Nutzen-Analyse grundsätzlich gut geeignet ist, um Massnahmen des Verkehrsmanagements und der Erhaltung zu bewerten.

Im zweiten Schritt wurde die Anwendbarkeit der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse für zwei Massnahmenarten je Kategorie vertieft analysiert: Für Verkehrsmanagement waren dies Dosierung und Pfortnerung, für die Erhaltung eine verzögerte und eine etappierte Umsetzung der Massnahmen. Im Bericht wird aufgezeigt, welche – gegenüber der Bewertung von Neu- und Ausbaumassnahmen – zusätzlichen Informationen für die Bewertung notwendig sind und was Anwender bei der Erarbeitung einer Kosten-Nutzen-Analyse beachten müssen. Auf Basis nationaler und internationaler Literatur recherchierte Grundlagen werden zur Verfügung gestellt. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse je Massnahmenkategorie dargestellt. Es werden diejenigen Aspekte einer Bewertung behandelt, bei denen sich Unterschiede zur «üblichen» Anwendung bei Neu- und Ausbauprojekten oder bezüglich der Datenverfügbarkeit zeigten.

Massnahmen Verkehrsmanagement:

- Vorgehen, Referenzfall und Systemabgrenzung:
 - Das Vorgehen zur Ermittlung der Mengengerüste und die Definition des Referenzfalls für Verkehrsmanagementmassnahmen entspricht grundsätzlich dem für Aus- und Neubauprojekte.
 - Verkehrsmanagementmassnahmen haben eine vergleichsweise kurze Lebensdauer. Aufgrund des technischen Fortschritts und sich verändernden Verkehrsproblemen ist sicher davon auszugehen, dass diese nicht identisch wiederholt werden. Der Betrachtungszeitraum für die Kosten-Nutzen-Analyse beinhaltet deshalb nur die Bauphase und einen Lebenszyklus. Falls die Verkehrsmanagementmassnahme mit einem Neubauprojekt verglichen werden soll, sollte für beide Massnahmen der kürzere Lebenszyklus als Nutzungsdauer verwendet und Restwerte berücksichtigt werden.

- Kosten:
 - Die Bau- und Landkosten sind an sich projektspezifisch zu ermitteln. Liegen keine Kosten vor, sind für Dosierungen im Bericht Kostensätze je Steuerungsanlage angegeben. Für Pannestreifenumnutzungen variieren die recherchierten Kosten sehr stark, weshalb hier keine Angabe zu Einheitskostensätzen gemacht werden kann.
 - Kosten für Ersatzinvestitionen sollten nicht berücksichtigt werden (siehe oben).
 - Die Betriebs- und Unterhaltskosten können gemäss SN 641 826 abgeschätzt werden.
- Verkehrliche Mengengerüste:
 - Für die Ermittlung der verkehrlichen Auswirkungen von Verkehrsmanagementmassnahmen ist eine statische Umlegung im Rahmen eines makroskopischen Modells nicht ausreichend. Es ist mindestens eine dynamische Umlegung, idealerweise sogar Verkehrsflusssimulation, notwendig.
 - Die Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl müssen in der Regel mit modelliert werden. Eine gute Alternative zur Berechnung mit dem Verkehrsmodell ist der Pivot-Point-Ansatz.
- Zuverlässigkeit:
 - Für Verkehrsmanagementmassnahmen auf HLS, welche wie eine Pannestreifenumnutzung ganze Streckenabschnitte betreffen, kann die Zuverlässigkeit gemäss SN 641 825 bestimmt werden. Falls es sich um Massnahmen handelt, die nicht während des ganzen Tages aktiv sind, sind Anpassungen am bestehenden Tool notwendig. Wir empfehlen, die generalisierten Kosten für jede Stunde mit und ohne Massnahme zu berechnen und anschliessend zusammen zu führen.
 - Für Verkehrsmanagementmassnahmen im städtischen Raum, die wie Dosierungen weitreichende Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit haben, ist diese Methode jedoch nicht geeignet. Für diese Fälle können fundierte Aussagen zur Zuverlässigkeit nur mithilfe einer Verkehrsflusssimulation getroffen werden. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit auf dieser Grundlage.
- Unfallraten und Unfallkosten: Für beide vertieft untersuchten Verkehrsmanagementmassnahmen sind die Auswirkungen auf Unfallraten und Unfallkosten unklar. Hier besteht Forschungsbedarf. Für PUN wird vorgeschlagen in der Zwischenzeit die Unfallkostenraten der bestehenden SN 641 824 zu verwenden.
- Aufenthaltsqualität: Im Rahmen des Fallbeispiels Dosierung wurde auch geprüft, inwiefern die Aufenthaltsqualität im Perimeter ermittelt werden kann. Bisher existiert kein zufriedenstellender Ansatz für die Quantifizierung dieses Aspekts, welcher der Vielzahl von beeinflussenden Faktoren gerecht wird. Hier besteht Forschungsbedarf. Für Dosierungen wurde als erster Ansatz eine Messung der Trennwirkung einer Strasse nach EWS vorgeschlagen. Eine Anwendung auf Schweizer Fallbeispiele steht jedoch noch aus.
- Fahrkomfort: Eine weitere mögliche Auswirkung von Verkehrsmanagementmassnahmen, die in der Kosten-Nutzen-Analyse bisher nicht abgebildet wird ist die Steigerung des Fahrkomforts durch eine Reduktion der Anzahl Anfahr- und Bremsvorgänge, z.B. bei einer Koordination von Lichtsignalanlagen. Bisher fehlen Ansätze, um diese Komfortsteigerung zu quantifizieren und allfällige Auswirkungen auf die Routenwahl aufzuzeigen. Hier besteht Forschungsbedarf.

Erhaltungsmassnahmen:

- Vorgehen, Referenzfall und Systemabgrenzung: Bei der Kosten-Nutzen-Analyse von Erhaltungsmassnahmen kommt der Definition des Referenzfalles eine besondere Bedeutung zu. Als Referenzfall ist jeweils der «ordentlichen» Erhaltungszyklus anzusehen. Dieser muss hinsichtlich Kosten und Wirkungen gleich detailliert beschrieben werden wie der zu prüfende Planfall.

- Kosten:
 - Die Unterschiede in den Baukosten von Erhaltungsprojekten hängen stark von der Spezifizierung des Referenz- und Planfalls ab. Im Fall einer verzögerten Erhaltung ist es essentiell, dass für sämtliche Kosten die Abweichung zwischen dem Referenzfall und dem Planfall für jedes Jahr des Erhaltungszyklus angegeben wird, um Diskontierungseffekte abzubilden.
 - Zusatzkosten entstehen bei der verzögerten Erhaltung vor allem durch Mehraufwand beim betrieblichen Unterhalt, und bei der etappierten Erhaltung durch das mehrmalige Einrichten und Auflösen der Baustelle bzw. Nachtarbeitszuschläge.
- Verkehrliche Mengengerüste:
 - Die Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen erfolgt getrennt für die Zeit vor, während und nach der Bauphase und im Fall der etappierten Erhaltung zwischen den Bauphasen. Falls ein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte dies verwendet werden, ggf. muss es jedoch verfeinert und neu kalibriert werden. Ein makroskopisches Modell ist in der Regel ausreichend. Falls kein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte mittels Handumlegungen die Verteilung der Nachfrage auf die betroffene Route und alle relevanten Alternativrouten erfolgen. Der Bericht enthält konkrete Hinweise zum Vorgehen für Handumlegungen, die im Einzelfall angewendet werden können.
- Zuverlässigkeit:
 - Baustellen haben grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit. Diese Effekte abzubilden ist komplex und erfordert eine dynamische Simulation des Verkehrsflusses. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit.
 - Allfällige Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz ebenfalls nur mittels Simulation ermittelt werden. Es ist fraglich, ob der damit verbundene Aufwand im Verhältnis zu den erwarteten Auswirkungen auf den Nutzen in der KNA steht. Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Methoden für eine einfachere Abschätzung.
- Unfallraten und Unfallkosten: Es gibt derzeit keine verlässlichen Auswertungen zu Unfallraten und Unfallkosten in Abhängigkeit vom Strassenzustand oder im Zusammenhang mit Baustellen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Auf Ausweichrouten können die Unfallkosten gemäss SN 641 824 bestimmt werden.

Fazit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen und verweist auf die Kapitel im Bericht, wo entsprechende Grundlagen für Anwender dokumentiert sind.

Tab. 1 Anwendbarkeit der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse bei Verkehrsmanagement und Erhaltungsmassnahmen

	Verkehrsmanagement		Erhaltungsmassnahmen	
	Nationalstrasse	Untergeordnetes Netz	Verzögerung	Etappierung
Verkehrliche Mengengerüste	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Dynamisch Umlegung - Verkehrsmittelwahl mit Pivot Point	Ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Simulation - Verkehrsmittelwahl mit Pivot Point	Ermittelbar (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - getrennte Berechnung vor, während und nach der Erhaltung - statische Umlegung oder Handumlegungen	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - getrennte Berechnung vor, während und nach der Erhaltung - statische Umlegung oder Handumlegungen
Zuverlässigkeit	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - SN 641 825 mit Anpassungen	Nicht nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation	Teilweise nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation	Teilweise nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation
Unfälle	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Unfallkostenraten der SN 641 824	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Unfallkostenraten der SN 641 824 nur teilweise geeignet	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf zu Auswirkung von Baustellen und Strassenzustand - Ausweichrouten: SN 641 824	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf zu Auswirkung von Baustellen und Strassenzustand - Ausweichrouten: SN 641 824
Aufenthaltsqualität	Nicht relevant	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Ermittlung der Trennwirkung gemäss EWS 1997 [26]	Nicht relevant	Nicht relevant
Fazit: Normen anwendbar?	Problemlos mit beschriebenen Verfahren	Zu empfehlen mit beschriebenen Verfahren und Hinweisen	Eingeschränkt mit Bezug auf Unfälle und Zuverlässigkeit während Bauphase	Eingeschränkt mit Bezug auf Unfälle und Zuverlässigkeit während Bauphase

Die Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse ist auf Nationalstrassen sowohl für Verkehrsmanagementmassnahmen als auch für Erhaltungsmassnahmen gut möglich. Hier sind prinzipiell auch die Grundlagen für die Anwendung vorhanden. Im untergeordneten Netz bestehen Herausforderungen vor allem hinsichtlich der Verkehrsmodelldaten, der Aufenthaltsqualität und der Abbildung der Unfälle. Hier werden der Stand des Wissens dargestellt, Anwendungshinweise gegeben und der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Weitergehender Forschungsbedarf

Im Rahmen der Bearbeitung ergab sich weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Bewertung der Aufenthaltsqualität, der Bewertung von Komfortsteigerungen im MIV, der Zuverlässigkeit und der Unfallraten.

Résumé

L'efficacité macro-économique des constructions et des extensions de routes est souvent examinée au moyen d'une analyse coûts-avantages. Les différents projets sont alors priorisés ou les variantes d'un projet sont comparées les unes aux autres. Les normes relatives à l'analyse coûts-avantages (de SN 641 820 à SN 641 828) fournissent un instrument qui établit des normes et des critères uniformes pour déterminer les coûts et les avantages, afin que les résultats des projets soient comparables les uns aux autres.

Dans le débat politique et public autour de l'utilisation des fonds publics et de la « bonne » politique des transports, ce ne sont pas seulement les projets de construction et d'extension qui sont comparés les uns aux autres. La discussion porte aussi de plus en plus sur la question de savoir si moins de moyens financiers doivent être engagés dans le cadre des projets de construction et d'extension, davantage en contrepartie par ex. pour des mesures d'entretien. Ou bien il est argumenté que des mesures de gestion du trafic permettent de renoncer à des projets de construction et d'extension. La preuve des coûts et des avantages de telles mesures fait toutefois défaut en l'occurrence, de sorte qu'ils ne sont pas comparables à ceux des projets de construction et d'extension.

Le but du projet de recherche a visé à vérifier dans quelle mesure l'analyse coûts-avantages conformément aux normes SN 641820 et suivantes se prête également à l'évaluation de mesures émanant d'autres catégories en vue d'appréciations comparatives. Cette analyse a été exécutée en prenant l'exemple des mesures de la gestion du trafic et de l'entretien.

Les types de mesures associés sont récapitulés pour chaque catégorie au cours d'une première étape. Les effets attendus de chaque type de mesure ont été déterminés, puis il a été analysé à quel point ces effets sont reproduits dans une analyse coûts-avantages. Il a pu être alors mis en évidence que l'analyse coûts-avantages est en principe bien adaptée pour évaluer les mesures de la gestion du trafic et de l'entretien.

L'applicabilité des normes relatives à l'analyse coûts-avantages a ensuite été étudiée de manière approfondie pour deux types de mesures par catégorie : ces dernières ont consisté dans la régulation et le contrôle des accès s'agissant de la gestion du trafic, dans la mise en œuvre temporisée et par étapes des mesures en ce qui concerne l'entretien. Le rapport révèle quelles informations supplémentaires – par rapport à l'évaluation des mesures de construction et d'extension – sont nécessaires à l'évaluation d'une part et ce que les utilisateurs doivent prendre en considération en établissant une analyse coûts-avantages d'autre part. Les fondements explorés reposant sur des publications nationales et internationales sont mis à disposition. Les principales connaissances acquises par catégorie de mesures sont présentées ci-après. Le rapport traite les aspects d'une évaluation ayant laissé apparaître des différences par rapport à l'application « usuelle » lors de projets de construction et d'extension ou en matière de disponibilité des données.

Mesures de gestion du trafic :

- Procédure, cas de référence et délimitation du système :
 - La procédure pour déterminer les tableaux des performances et définir le cas de référence pour les mesures de gestion du trafic cadre en principe avec celle des projets de construction et d'extension.
 - Les mesures de gestion du trafic ont une durée de vie relativement courte. En raison du progrès technique et des problèmes de circulation changeants, il peut être admis avec certitude que celles-ci ne se répètent pas de manière identique. La période prise en considération pour l'analyse coûts-avantages ne comporte donc que la phase de construction et un cycle de vie. Au cas où la mesure de gestion du trafic devrait être comparée à un projet de nouvelle construction, le cycle de vie le plus court devrait être utilisé comme durée d'utilisation pour les deux mesures et il faudrait prendre en compte les valeurs résiduelles.

- Coûts :
 - Les coûts de construction et du terrain doivent faire l'objet en soi d'une évaluation spécifique du projet. En l'absence de coûts, les coûts unitaires par installation de commande applicables aux régulations sont mentionnés dans le rapport. Concernant les changements d'affectation des bandes d'arrêt d'urgence, les coûts examinés varient énormément, c'est pourquoi aucune indication relative aux coûts unitaires ne peut être donnée.
 - Les coûts des investissements de remplacement ne devraient pas être pris en considération (voir ci-dessus).
 - Les coûts d'exploitation et d'entretien peuvent être estimés conformément à la norme SN 641 826.
- Tableaux des performances du trafic :
 - Pour déterminer les effets des mesures de gestion du trafic sur la circulation, une ventilation statistique dans le cadre d'un modèle macroscopique n'est pas suffisante. Il est nécessaire de procéder au moins à une affectation dynamique, dans l'idéal même à une simulation du flux de la circulation.
 - En règle générale, les effets sur le choix des moyens de transport doivent être modélisés concurremment. La méthode du point-pivot constitue une bonne alternative au calcul avec le modèle de trafic.
- Fiabilité :
 - La fiabilité applicable à des mesures de gestion du trafic sur des routes à grand débit (RGD), affectant des tronçons de route entiers comme un changement d'affectation des bandes d'arrêt d'urgence, peut être déterminée conformément à la norme SN 641 825. Dans le cas de mesures non actives durant toute la journée, des adaptations sont requises sur l'outil existant. Nous recommandons de calculer les coûts généralisés pour chaque heure avec et sans mesure, puis de les recouper.
 - Cette méthode n'est pas appropriée cependant à des mesures de gestion du trafic en milieu urbain, ayant un impact considérable sur la fiabilité comme les régulations. Des appréciations fondées sur la fiabilité ne peuvent être formulées en pareils cas qu'à l'aide d'une simulation du flux de la circulation. Il s'avère encore néanmoins nécessaire de rechercher une mesure adéquate de la fiabilité sur cette base.
- Taux d'accidents et coûts des accidents : s'agissant des deux mesures de gestion du trafic étudiées en profondeur, les effets sur les taux d'accidents et les coûts des accidents ne sont pas établis clairement. Il y a un besoin de recherche en l'occurrence. Pour les changements d'affectation des bandes d'arrêt d'urgence, il est proposé d'utiliser pour l'instant les taux d'accidents de la norme existante SN 641 824.
- Qualité de séjour : il a été également examiné dans le cas de figure de la régulation, dans quelle mesure la qualité de séjour peut être déterminée dans le périmètre d'observation. Il n'existe jusqu'à présent aucune approche satisfaisante pour quantifier cet aspect qui recouvre de multiples facteurs d'influence. Une recherche en la matière s'impose également. La mesure de l'effet séparateur d'une route selon les recommandations d'analyses de rentabilité (EWS) a été suggérée comme première méthode en ce qui concerne les régulations. L'application à des scénarios suisses se fait encore attendre pourtant.
- Confort de conduite : un autre effet éventuel des mesures de gestion du trafic, pas encore reproduit à ce jour dans l'analyse coûts-avantages réside dans l'augmentation du confort de conduite découlant de la réduction du nombre des processus de démarrage et de freinage, p.ex. dans le cas d'une coordination des feux de signalisation. Des approches manquent pour l'instant afin de quantifier ce surcroît de confort et de mettre en évidence d'éventuels effets sur le choix des trajets. Cela nécessite une recherche plus approfondie.

Mesures d'entretien :

- Procédure, cas de référence et délimitation du système : la définition du cas de référence revêt une importance particulière lors de l'analyse coûts-avantages des

mesures d'entretien. Il convient de considérer chaque fois comme cas de référence le cycle d'entretien «ordinaire». Celui-ci doit être décrit, quant aux coûts et aux effets, de manière aussi détaillée comme le cas planifié à examiner.

- Coûts :
 - Les différences enregistrées dans les coûts de construction des projets d'entretien dépendent beaucoup de la spécification du cas de référence et du cas planifié. Il est essentiel dans le cas d'un entretien temporisé que l'écart relevé entre le cas de référence et le cas planifié au niveau de l'ensemble des coûts soit indiqué pour chaque année du cycle d'entretien afin de représenter les effets d'actualisation.
 - Dans le cas d'un entretien temporisé, les coûts additionnels sont surtout induits par le surplus de travail lors de l'entretien d'exploitation et, dans le cas d'un entretien par étapes, par la mise en place et la désinstallation réitérées du chantier ou par les suppléments pour le travail de nuit.
- Tableaux des performances du trafic :
 - Le calcul des effets sur le trafic est réalisé séparément pour la période avant, pendant et après la phase de construction et, dans le cas de l'entretien par étapes, entre les phases de construction. Si un modèle de trafic est disponible, il devrait être utilisé, mais il doit être alors affiné et de nouveau calibré, le cas échéant. Un modèle macroscopique s'avère suffisant en règle générale. En l'absence d'un modèle de trafic, la répartition de la demande sur le trajet concerné et sur tous les trajets alternatifs pertinents devrait se faire au moyen d'affectations manuelles. Le rapport renferme des consignes concrètes pour procéder aux affectations manuelles, pouvant être pratiquées au cas par cas.
- Fiabilité :
 - Les chantiers influent énormément sur la fiabilité. Il est compliqué de reproduire leurs effets, car cela exige une simulation dynamique du flux de circulation. De plus amples travaux de recherche sont indispensables, portant notamment sur une mesure appropriée de la fiabilité.
 - D'éventuels effets sur la fiabilité dans le réseau secondaire ne peuvent être également déterminés qu'à l'aide d'une simulation. Il est permis de se demander si la charge de travail qui s'y rattache est proportionnée aux effets escomptés sur l'avantage dans l'analyse coûts-avantages. Il est nécessaire en l'occurrence de rechercher des méthodes simplifiant l'estimation.
- Taux d'accidents et coûts des accidents : il n'existe actuellement aucune évaluation fiable des taux d'accidents et du coût des accidents en fonction de l'état de la route ou en rapport avec des chantiers. Il faut approfondir la recherche dans ce domaine. Les coûts liés aux accidents sur des itinéraires de délestage peuvent être déterminés conformément à la norme SN 641 824.

Conclusions

Le tableau suivant récapitule les résultats et renvoie aux paragraphes figurant dans le rapport, où les principes correspondants sont documentés à l'intention des utilisateurs.

Tableau 2 Applicabilité de l'analyse coûts-avantages dans le cadre de la gestion du trafic et de mesures d'entretien

	Gestion du trafic		Mesures d'entretien	
	Route nationale	Réseau secondaire	Temporisation	Par étapes
Tableaux des performances du trafic	Évaluables (cf. paragraphe 3.2.3) <u>Recommandations :</u> - affectation dynamique - choix des moyens de transport avec point-pivot	Évaluables (cf. paragraphe 3.3.3) <u>Recommandations :</u> - Simulation - choix des moyens de transport avec point-pivot	Évaluables (cf. paragraphe 4.2.3) <u>Recommandations :</u> - calcul séparé avant, pendant et après l'entretien - affectation statistique ou affectations manuelles	En partie évaluables (cf. paragraphe 4.3.3) <u>Recommandations :</u> - calcul séparé avant, pendant et après l'entretien - affectation statistique ou affectations manuelles
Fiabilité	Évaluable (cf. paragraphe 3.2.3) <u>Recommandations :</u> - SN 641 825 avec des adaptations	Non évaluable selon la norme. (cf. paragraphe 3.3.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche de mesures de fiabilité sur la base d'une simulation	En partie évaluable selon la norme. cf. paragraphe 4.2.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche de mesures de fiabilité sur la base d'une simulation	En partie évaluable. (cf. paragraphe 4.3.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche de mesures de fiabilité sur la base d'une simulation
Accidents	Évaluables (cf. paragraphe 3.2.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche - taux d'accidents de SN 641 824	En partie évaluables (cf. paragraphe 3.3.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche - taux de coûts des accidents de SN 641 824 ne convenant qu'en partie	En partie évaluables (cf. paragraphe 4.2.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche quant à l'effet des chantiers et de l'état de la route - itinéraires de délestage : SN 641 824	En partie évaluables (cf. paragraphe 4.3.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche quant à l'effet des chantiers et de l'état de la route - itinéraires de délestage : SN 641 824
Qualité de séjour	Non pertinente	En partie évaluable (cf. paragraphe 3.3.3) <u>Recommandations :</u> - besoin de recherche - détermination de l'effet séparateur selon EWS 1997 [26]	Non pertinente	Non pertinente
Bilan : normes applicables ?	Sans problème avec les procédés décrits	À recommander avec les consignes et les procédés décrits	De manière restreinte en référence aux accidents et à la fiabilité durant la phase de construction	De manière restreinte en référence aux accidents et à la fiabilité durant la phase de construction

Il est possible d'appliquer les normes relatives à l'analyse coûts-avantages aux routes nationales tant pour des mesures de gestion du trafic que pour des mesures d'entretien. En principe, les bases de l'application existent en l'occurrence. Des défis se posent dans le réseau secondaire surtout s'agissant des données du modèle de trafic, de la qualité de séjour et de la reproduction des accidents. Le présent projet présente l'état des connaissances, il fournit des instructions d'utilisation et il met en exergue le besoin de recherche.

Nécessité de plus amples travaux de recherche

D'autres besoins de recherche relatifs à l'évaluation de la qualité de séjour, de l'augmentation de confort dans le trafic individuel motorisé (TIM), de la fiabilité et des taux d'accidents sont apparus dans le cadre du traitement de ce projet.

Summary

New construction and expansion of roads are often studied by means of cost-benefit analyses regarding their economic efficiency. In this process, various projects are prioritised, or versions of a project are compared with one another. The cost-benefit analysis standards (SN 641 820 to SN 641 828) offer a set of tools which establish uniform standards and measurements for determining costs and benefits such that the results of projects are intercomparable.

In political and public debate about the use of public sector funds and the "right" traffic policy, however, not only new road construction and expansion projects are compared with each other. More and more, there is disagreement about whether fewer funds should be implemented for new construction and expansion projects, and instead, for instance, more should be spent on maintenance work. Or, it is also argued that with traffic management measures, new construction and expansion projects can be done without. However, proof of the costs and benefits of such measures is lacking, such that they are not comparable with those of the new construction and expansion projects.

The aim of the research project was to investigate to what extent the cost-benefit analysis pursuant to SN 641820 *et seq* is also suited to assessing measures from various categories for comparative assessments. This analysis was conducted using the examples of traffic management and maintenance measures.

In an initial step, associated types of measures were compiled for each category. For each type of measure, the expected impact was determined and then analysed regarding how this impact can be illustrated in a cost-benefit analysis. We were thus able to show that the cost-benefit analysis is, generally speaking, well-suited for analysing traffic management and maintenance measures.

In the second step, the applicability of the cost-benefit analysis standards was analysed in greater depth for two types of measures per category: For traffic management, these comprised metering and gating, for maintenance, delayed and staged implementation of measures. The report reveals which additional information is necessary for assessment, in comparison to the assessment of new construction and expansion measures, and what users need to consider when performing a cost-benefit analysis. Foundations researched based on national and international literature are provided. The most pertinent knowledge gained for each category of measures is presented below. Those aspects of an assessment are treated for which differences were observed versus "conventional" application to new construction and expansion projects.

Traffic Management Measures:

- Method, Reference Case and System Boundary Definition:
 - The method for determining the quantity structure and defining the reference case for traffic management measures essentially corresponds to that used for new construction and expansion projects.
 - Traffic management measures have a comparatively short lifespan. Due to technical progress and changing traffic problems, we can certainly assume that these cannot be identically reproduced. The observation period for the cost-benefit analysis therefore only comprises the construction phase and one life cycle. If a traffic management measure should be compared with a new construction project, then the shorter lifespan should be used for both measures and residual values considered.
- Costs:
 - Construction and land costs *per se* should be determined on a project-specific basis. If no costs are available, cost rates per control system are listed in the report for

metering. For breakdown lane re-purposing, the costs researched vary quite significantly, for which reason no details on standard cost rates can be provided.

- Costs for replacement investments should not be considered (see above).
- Operating and maintenance costs can be estimated based on SN 641 826.
- Traffic Quantity Structure:
 - A static apportionment as part of a microscopic model is not sufficient for determining the traffic impact of traffic management measures. At a minimum, a dynamic apportionment, or ideally even a traffic flow simulation is needed.
 - The impact on the choice of means of transport must generally also be modelled along with the foregoing. An appropriate alternative to calculating with the traffic model is the pivot point approach.
- Reliability:
 - For traffic management measures on high-capacity roads, which like breakdown lane re-purposing can affect entire sections of roadway, reliability can be determined according to SN 641 825. When dealing with measures which are not active throughout the entire day, adjustments to the existing tool are required. We recommend calculating and then pooling the generalised costs for each hour with and without measures.
 - This method is not suitable, however, for urban traffic management measures which, like metering, have a wide-ranging impact on reliability. For these cases, well-founded statements on reliability can only be made using a traffic flow simulation. Research is still needed in terms of a suitable measurement for reliability on this basis.
- Accident Rates and Accident Costs: For both traffic management measures investigated in-depth, the impact on accident rates and accident costs is unclear. Research is needed here. For breakdown lane re-purposing, we recommend using the accident cost rates of the existing SN 641 824 in the meantime.
- Quality of Stay: As part of the case study on metering, we also investigated to what extent the quality of stay in the perimeter can be determined. There is currently no satisfactory approach for quantifying this aspect which accommodates the multitude of influencing factors. Research is needed here. For metering, a measurement of the separating effect of a road pursuant to the German EWS [Guidelines for Economic Efficiency Calculations on Roads] was suggested. These have not yet been applied to Swiss case studies, however.
- Driving Comfort: Another potential effect of traffic management measures which has not yet been illustrated in the cost-benefit analysis is the enhancement of driving comfort by means of a reduction in stop and go, e.g. via coordination of traffic signals. At present, approaches to quantify and show this comfort enhancement and any impact on choice of route are lacking. Research is needed here.

Maintenance Measures:

- Method, Reference Case and System Boundary Definition: For the cost-benefit analysis of maintenance measures, particular importance is attributed to defining the reference case. The reference case in each instance is the "ordinary" maintenance cycle. This must be described with regard to costs and impact with the same detail as the planned case.
- Costs:
 - Differences in the construction costs of maintenance projects are highly dependent on the specification of the reference and planned case. In the event of delayed maintenance, it is essential to indicate, for all costs, the difference between the reference case and the planned case to plot the discounting impact.
 - Additional costs are incurred by delayed maintenance especially due to the extra costs during operational maintenance, and for staged maintenance due to the repeated setup and removal of construction sites and/or night shift surcharges.
- Traffic Quantity Structure:

- Traffic impact is calculated separately for the periods before, during and after the construction phase, and in the case of staged maintenance, between construction phases. If a traffic model exists, it should be used and may need to be refined and recalibrated. Generally, a macroscopic model is sufficient. If there is no existing traffic model, manual apportionments should be used to allocate the demand to the route in question and all alternative routes. The report contains specific information on how to perform manual apportionments which can be used on a case-by-case basis.
- Reliability:
 - Construction sites have a major impact on reliability. Mapping these effects is complex and requires a dynamic simulation of traffic flow. There is a need for further research, in particular into a suitable gauge for reliability.
 - Any impact on reliability in the subordinate grid can also only be plotted via a simulation. It is questionable whether the expense is proportional to the expected impact on use in the CBA. There is a need for research here into methods for simpler estimating.
- Accident Rates and Accident Costs: There are not currently any reliable analyses on accident rates and costs based on road condition or associated with construction sites. More research is needed here. Accident costs can be calculated on detour routes according to SN 641 824.

Conclusion

The following table summarises the results and refers to the chapter in the report where corresponding foundations for users are documented.

Use of the cost-benefit analysis standards is quite feasible on national motorways for both traffic management measures and maintenance measures. The foundations for use exist in principle here. In the subordinate network, there are challenges, especially concerning traffic model data, quality of stay and mapping of accidents. The current state of knowledge is presented here, tips for use given, and the need for research shown.

Tab. 3 Applicability of Cost-Benefit Analysis Standards for Traffic Management and Maintenance Measures

	Traffic Management		Maintenance Measures	
	National Motorway	Subordinate Grid	Delay	Staging
Traffic Quantity Structures	Can be determined (see Chapter 3.2.3) <u>Recommendations:</u> - Dynamic Apportionment - Choice of means of transport with pivot point	Can be determined (see Chapter . 3.3.3) <u>Recommendations:</u> - Simulation - Choice of means of transport with pivot point	Can be determined (see Chapter 4.2.3) <u>Recommendations:</u> - Separate calculation before, duration and after maintenance - Static apportionment or manual apportionment	Can be partially determined (see Chapter 4.3.3) <u>Recommendations:</u> - Separate calculation before, duration and after maintenance - Static apportionment or manual apportionment
Reliability	Can be determined (see Chapter 3.2.3) <u>Recommendations:</u> - SN 641 825 with adaptations	Cannot be determined with standard. (see Chapter . 3.3.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research into reliability measurements based on simulations	Can be partially determined with standard. (see Chapter 4.2.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research into reliability measurements based on simulations	Can be partially determined with standard. (see Chapter 4.3.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research into reliability measurements based on simulations
Accidents	Can be determined (see Chapter 3.2.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research - Accident cost rates as defined in SN 641 824	Can be partially determined (see Chapter . 3.3.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research - Accident cost rates as defined in SN 641 824 only partially suitable	Can be partially determined (see Chapter 4.2.3) <u>Recommendations:</u> - Research needed on impact of construction sites and road condition - Detour routes: SN 641 824	Can be partially determined (see Chapter 4.3.3) <u>Recommendations:</u> - Research needed on impact of construction sites and road condition - Detour routes: SN 641 824
Quality of Stay	Not relevant	Can be partially determined (see Chapter .3.3.3) <u>Recommendations:</u> - Need for research - Determination of separator effect per German EWS 1997 [26]	Not relevant	Not relevant
Conclusion: Standards applicable?	Without problems using the processes described	Recommendable with described processes and notes	To a limited extent with regard to accidents and reliability during construction phase	To a limited extent with regard to accidents and reliability during construction phase

Further need for research

As part of the work, it was determined that further research is needed concerning analyses of quality of stay, comfort enhancements in motorised individual transport, reliability and accident rates.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Neu- und Ausbauten von Strassen werden häufig mittels Kosten-Nutzen-Analyse hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlichen Effizienz untersucht. Dabei werden unterschiedliche Projekte priorisiert oder Varianten eines Projekts miteinander verglichen. Neu- und Ausbauprojekte werden zum Beispiel wie in *Abb.1* dargestellt miteinander verglichen. Fraglich ist, wie sich andere Massnahmenarten hinsichtlich ihrer Nutzen und Kosten positionieren würden, sei es zum Vergleich verschiedener Projekte innerhalb einer Massnahmenart, aber auch zum Vergleich zwischen Projekten verschiedener Massnahmenarten.

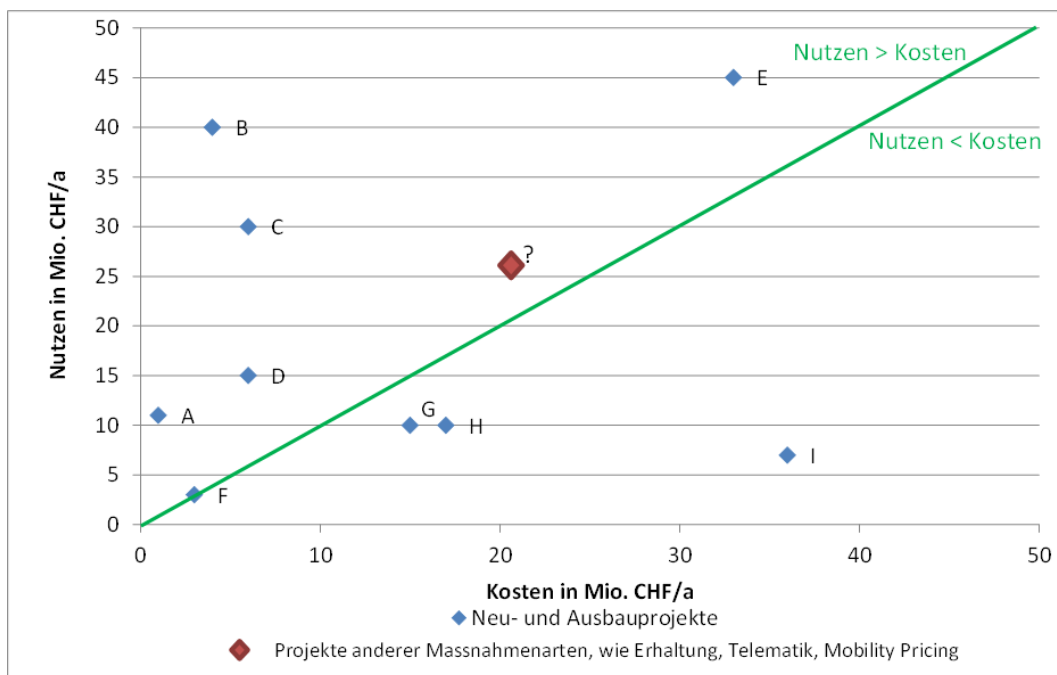


Abb.1 Darstellung von Nutzen und Kosten von Neu- und Ausbauprojekten und für andere Massnahmenarten

Die Kosten-Nutzen-Analyse für Neu- und Ausbauprojekte erlaubt eine eindeutige Identifikation derjenigen Projekte, bei denen die Nutzen grösser sind als die Kosten (oberhalb der grünen Linie) und damit auch, welche Projekte am effizientesten sind. Dies sind diejenigen mit der grössten Steigung, also die Projekte im linken oberen Bereich. Mit den Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse (SN 641 820 bis SN 641 828) besteht ein Instrumentarium, welches für die Ermittlung der Kosten und Nutzen einheitliche Standards und einheitliche Massstäbe setzt, damit die Ergebnisse der Projekte miteinander vergleichbar sind.

In der politischen und öffentlichen Auseinandersetzung um die Verwendung öffentlicher Gelder und der „richtigen“ Verkehrspolitik werden aber nicht nur Neu- und Ausbauprojekte miteinander verglichen. Zunehmend wird auch darum gerungen, ob weniger Finanzmittel für Neu- und Ausbauprojekte und dafür mehr z.B. für Erhaltungsmassnahmen eingesetzt werden sollen. Oder es wird argumentiert, dass zum Beispiel mit Massnahmen des Verkehrsmanagements auf Neu- und Ausbauprojekte verzichtet werden kann. Hier fehlt aber oft der Nachweis der Kosten und Nutzen solcher Massnahmen, sodass diese mit denjenigen der Neu- und Ausbauprojekte vergleichbar sind. Aus den folgenden Gründen werden für solche Vergleiche zwischen Massnahmenarten selten Kosten-Nutzen-Analysen erstellt:

- Fehlende Grundlagen zur Ermittlung der Mengengerüste für die jeweiligen Massnahmenarten.
- Die Wirkungen können räumlich oder bezüglich der berücksichtigten Verkehrsarten nicht vollständig ermittelt werden (Systemabgrenzung).
- Die angestrebten Wirkungen werden (vermeintlich) nicht mit der Kosten-Nutzen-Analyse erfasst (oder müssten in das Bewertungsschema der Kosten-Nutzen-Analyse übersetzt werden).

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird geprüft, inwieweit die Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641 820 ff. auch für die Bewertung von Massnahmen aus weiteren Kategorien für vergleichende Bewertungen geeignet ist. Vor dem Hintergrund des Finanzbedarfs und der verkehrspolitischen Diskussionen insbesondere in Konkurrenz zu Neu- und Ausbauten von Strassen werden in dieser Forschungsarbeit die folgenden Massnahmenkategorien behandelt:

- Massnahmen des Verkehrsmanagements
- Erhaltungsmassnahmen

Es wird aufgezeigt, welche zusätzlichen Informationen für die Bewertung dieser Massnahmenkategorien notwendig sind, und es werden Handlungsempfehlungen zur Bewertung der jeweiligen Massnahmenkategorien gegeben. Allfälliger Forschungsbedarf bzw. Ergänzungs- oder Anpassungsbedarf bei den Normen wird dargelegt.

Ergebnis der Arbeiten sind Hinweise für Anwender von Kosten-Nutzen-Analysen, wie sie für unterschiedliche Massnahmen die Kosten-Nutzen-Analyse anwenden können.

1.3 Vorgehen

Die Bearbeitung der Forschungsarbeit erfolgte in 6 Arbeitsschritten, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind:

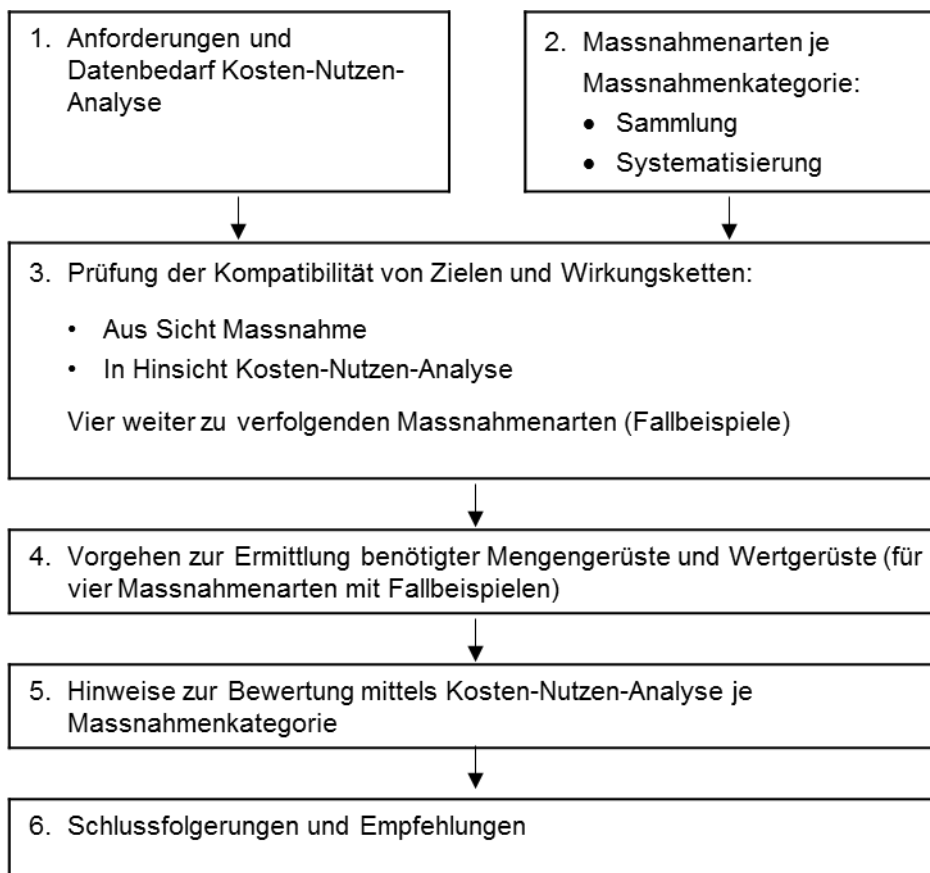


Abb.2 Übersicht zum Vorgehen mit Arbeitsschritten

Für die Bearbeitung wurde wie folgt vorgegangen:

- AS1 Anforderungen und Datenbedarf Kosten-Nutzen-Analyse: Hier wird eine zusammenfassende Darstellung der benötigten Mengengerüste für die Kosten-Nutzen-Analyse auf Basis der SN 641 820 bis SN 641 828 sowie NISTRA (Teil Kosten-Nutzen-Analyse) erstellt. Diese wird in Arbeitsschritt 4 benötigt, um Vorgehensweisen zur Ermittlung der Mengengerüste für andere Massnahmenarten darzustellen. In Kapitel 2 sind die Ergebnisse dokumentiert.
- Die anschliessenden Arbeitsschritte werden je Massnahmenkategorie «Verkehrsmanagement» (Kapitel 3) und «Erhaltung» (Kapitel 4) beschrieben:
 - AS2 Massnahmenarten je Massnahmenkategorie und AS3: Prüfung der Kompatibilität von Zielen und Wirkungsketten für die Massnahmenarten: Hier werden Massnahmenarten beschrieben und diese hinsichtlich Kosten-Nutzen-Überlegungen systematisiert. Innerhalb der Massnahmenkategorien Verkehrsmanagement und Erhaltung werden die Massnahmenarten dahingehend geprüft, ob eine Vertiefung hinsichtlich Anwendung von Kosten-Nutzen-Analysen zu empfehlen ist, da die erhofften Wirkungen der Massnahmen kompatibel zu den Indikatoren der Kosten-Nutzen-Analyse sind oder gemacht werden können. Auf Basis von Literaturanalyse und Fachgesprächen (eines je Massnahmenkategorie Verkehrsmanagement und Erhaltung) werden die angestrebten Ziele und Hauptwirkungen sowie allfällige Nebenwirkungen der Massnahmenkategorien erhoben. Diese werden mit Bezug auf die Indikatoren der Kosten-Analyse dargestellt. Das Kapitel beinhaltet entsprechende Kompatibilitätsdarstellungen. Ergebnis ist die Festlegung von zu vertiefende Massnahmenarten, für die die

Anwendung von der Kosten-Nutzen-Analyse vertieft untersucht werden. Die Arbeiten und Ergebnisse sind in Kapitel 3.1 respektive 4.1 dokumentiert.

- AS4: Vorgehen zur Ermittlung benötigter Mengengerüste und Wertgerüste für zwei Massnahmenarten (je Massnahmenkategorie): Je Massnahmenarten werden die Möglichkeiten und Grenzen zur Ermittlung der benötigten Mengen- und Wertgerüste aufgezeigt bezüglich:
 - Festlegung Referenzfall
 - Systemabgrenzung
 - Ermittlung der Auswirkungen der Massnahmen
 - Benötigte Wertgerüste und Berechnungsfaktoren.
 Die Kapitel 3.2, 3.3, 4.2 und 4.3 beinhalten die entsprechenden Ergebnisse.
- AS5: Hinweise zur Bewertung mittels Kosten-Nutzen-Analyse je Massnahmenkategorie: Je Massnahmenkategorie werden zusammenfassend Hinweise zu ihrer Bewertung mittels Kosten-Nutzen-Analyse gegeben. Diese sind in Kapitel 3.4 und 4.4 beschrieben.
- AS 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen: Das Fazit fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt den weitergehenden Forschungsbedarf auf.

1.4 Untersuchungsabgrenzung

Die folgende Abbildung zeigt den Ablauf bei der Durchführung von Kosten-Nutzen-Analyse.

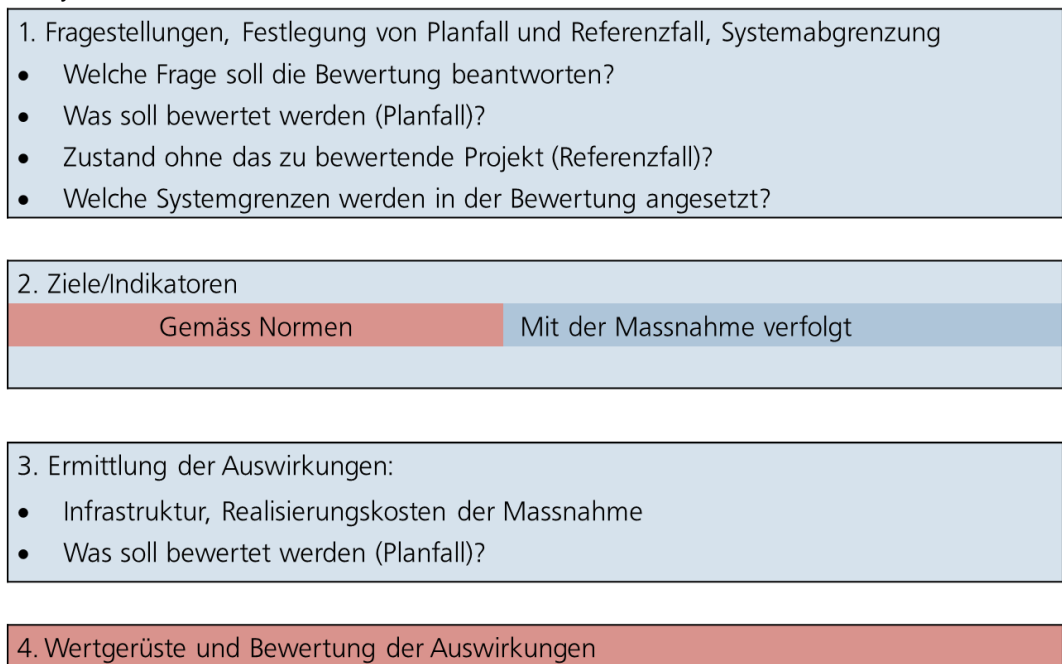


Abb.3 Übersicht zum Vorgehen mit Arbeitsschritten

Die rot hinterlegten Bereiche zeigen, welche Arbeitsschritte einer Bewertung in der Kosten-Nutzen-Analyse notwendig sind und wo die SN 641820 bis 641828 Grundlagen zur Verfügung stellen. Für die blau hinterlegten Bereiche wird hier geprüft, ob und inwieweit je Massnahmenart Unterschiede zur Kosten-Nutzen-Analyse für Neu- und Ausbauprojekte notwendig sind.

1.5 Definitionen SN 641 820 und Massnahmenkategorien

Hier werden die Definitionen aus der SN 641 820 mit Bezug zu den Massnahmenkategorien dargestellt.

Projekt	<p>Ein Projekt ist ein definiertes Bündel von Massnahmen, welches eine bestehende Situation im Strassennetz in einen neuen Zustand überführt.</p> <p>Im <u>Bereich des Verkehrsmanagements</u> sind dies beispielsweise die projektspezifischen Massnahmen, die im Rahmen der Einrichtung einer «PUN» bzw. einer «Dosierung» durchgeführt werden.</p> <p>Im <u>Erhaltungsmanagement</u> ist die Erhaltungsmassnahme selber als Projekt anzusehen, auch wenn diese die Situation im Strassennetz nicht in einen neuen Zustand führt, sondern der Bewahrung des bestehenden Zustands dient.</p> <p>Zu Beginn einer Kosten-Nutzen-Analyse sind die zu betrachteten Massnahmen und betroffenen Objekte zu definieren.</p>
Beschreibung Referenzfall	<p>Gemäss SN 641 820 entspricht der Referenzfall der Entwicklung, die eintreffen würde, wenn im untersuchten Fall keine Massnahme getroffen wird. Die Vollendung im Bau befindlicher, aber auch bereits beschlossener, rechtlich und finanziell gesicherter anderer Projekte wird eingeschlossen.</p> <p>Für <u>Massnahmen des Verkehrsmanagements</u> entspricht der Referenzfall dem Netzzustand mit der zugrunde gelegten Verkehrsnachfrage, wenn die zu untersuchende Massnahme nicht getroffen wird.</p> <p>Für <u>Erhaltungsmassnahmen</u> wird der Referenzfall durch einen gesamten Erhaltungszyklus nach Inbetriebnahme der Infrastruktur oder nach der letzten Gesamterneuerung abgebildet. Innerhalb des Erhaltungszyklus, von z.B. 40 Jahren Dauer, kann es Arbeiten an Bauteilen mit kürzerer Lebensdauer geben (elektromechanische Anlagen, Strassenbelag etc.).</p> <p>Der Referenzfall dient dem Vergleich der abweichenden Erhaltungsfälle von einem «ordentlichen» Erhaltungszyklus. Die Kosten des Referenzfalls (Kosten für den betrieblichen und baulichen Unterhalt je Jahr) und die negativen Nutzen infolge Verkehrsbehinderungen während der Erhaltungsarbeiten sind zu bestimmen, um sie mit Kosten und Nutzen verschiedener Erhaltungsfälle vergleichen zu können.</p> <p>Anders als bei anderen Projekten darf also nicht davon ausgegangen werden, dass der Referenzfall ein «Null-Fall» ist, in welchem keine Kosten und Nutzen anfallen. Auch der Referenzfall umfasst Erhaltungsmassnahmen und ihre Kosten und Nutzen.</p>
Exkurs: Betriebseinschränkungen	<p>Nach Ablauf der Lebensdauer kann die Gebrauchstauglichkeit des Erhaltungsobjekts eingeschränkt sein. Je nach Zustand des Objekts können betriebliche Massnahmen erforderlich werden. Z.B. kann bei einer Brücke aufgrund ihres Zustands das Höchstgewicht von Fahrzeugen limitiert werden, was zu Ausweichfahrten und</p>

entsprechend höheren Wegekosten bei schweren Fahrzeugen führen kann. Oder die zulässige Höchstgeschwindigkeit muss infolge des Strassenzustands gesenkt werden, was zu höheren Zeitkosten der Nutzerinnen und Nutzer führt.

Diese Formen von Auswirkungen spielen für die Schweiz kaum je eine Rolle und werden deshalb in den weiteren Überlegungen ausgeschlossen.

Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum entspricht gemäss SN 641 820 dem Zeitraum, für den die Kosten und Nutzen einer Massnahme in der Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigt werden. Dazu gehören die Planungs-, Projektierungs- und Bauphase einerseits und die Nutzungsphase andererseits.

Für verkehrsorganisatorische Massnahmen schlägt die SN 641 820 für einen Betrachtungszeitraum von minimal 5 bis maximal 40 Jahre vor. Für die Fallbeispiele sind entsprechende Annahmen zu treffen.

Zur besseren Veranschaulichung des Referenzfalls für Erhaltungsmassnahmen wird ein Beispielschema entworfen, welches grafisch die Bestandteile des Referenzfalls darstellt. Es bildet den Verlauf der Kosten und des Strassenzustands (Qualität nach unten abgetragen) für einen beispielhaft definierten Erhaltungszyklus ab. Für das hier verwendete Beispielschema werden Annahmen getroffen, die im konkreten Anwendungsfall durch projektspezifische Charakteristika des Erhaltungsobjekts zu ersetzen sind: Der Erhaltungszyklus im Beispielschema erstreckt sich über 40 Jahre und umfasst neben der Gesamterneuerung den betrieblichen Unterhalt sowie für verschiedene Bauteile mit kürzerer Lebensdauer den erforderlichen baulichen Unterhalt.

Die Verlaufskurve des Strassenzustands im Beispielschema beschreibt qualitativ den Wert einer Strasse, wie er z.B. in der Anlagenbuchhaltung geführt wird. Im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse kann es zweckdienlich sein, den Zustandsverlauf separat für die einzelnen Komponenten aufzuzeigen.

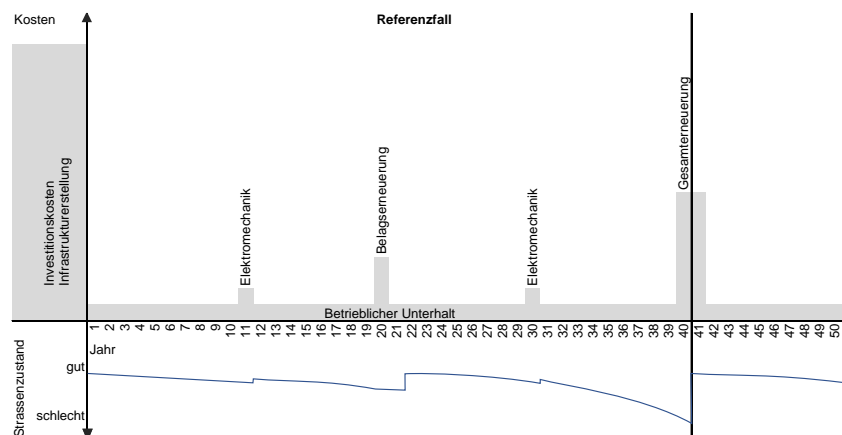


Abb.4 Beispielschema für den Referenzfall eines Erhaltungszyklus

Der spezifische Referenzfall wird hinsichtlich des Betrachtungszeitraums durch die folgenden Elemente eindeutig

formuliert, so dass der Vergleich mit einem davon abweichenden Erhaltungsfall systematisch und ohne Verzerrungen erfolgen kann:

d_{zyklus} Dauer eines Erhaltungszyklus (von Inbetriebnahme bis Gesamterneuerung oder zwischen zwei Gesamterneuerungen)

t_0 Zeitpunkt zu Beginn des Erhaltungszyklus

t_{En} Zeitpunkt, zu welchem die Erhaltungsmassnahme n umgesetzt wird (Angabe in Jahren nach t_0).

k_{En} Kosten der Erhaltungsmassnahme n

d_{En} Dauer der Umsetzung der Erhaltungsmassnahme n (in Jahren)

Räumliche
Abgrenzung

Die SN 641 820 unterscheidet zwischen dem direkt betroffenen Gebiet, in dem das Projekt relevante Auswirkungen hat, und dem Einflussgebiet, in dem die zur Berechnung des Verkehrsaufkommens im direkt betroffenen Gebiet relevanten Wunschlinien beginnen oder enden sowie das zugehörige Netz.

Je nach Massnahmenart kann es notwendig sein, das direkt betroffene Gebiet weiter zu differenzieren. Im Folgenden werden daher die in **Abb.5**dargestellten drei Perimeter für die räumliche Abgrenzung verwendet.

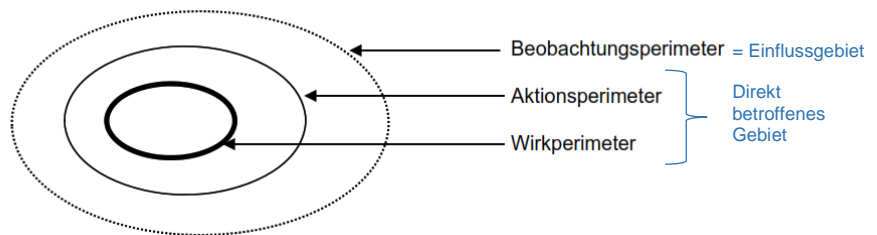


Abb.5 Prinzip der räumlichen Abgrenzung[59]; *Blau* entsprechend SN 641 820

Wirkperimeter

Der Wirkperimeter beschreibt das Gebiet, in dem mit einer Massnahme eine Wirkung erzielt werden soll, in das jedoch nicht direkt eingegriffen wird. Der Wirkperimeter kann einen oder mehrere Streckenabschnitte, einen Korridor oder ein gesamtes Gebiet umfassen. Im Fall einer Dosierung ist das beispielsweise das Gebiet nach der Dosierungsstelle. Innerhalb des Wirkperimeters sind vor allem die positiven Auswirkungen der Dosierung wie eine Verbesserung der Reisezeiten sowie der Zuverlässigkeit für den MIV und den ÖV und damit einhergehend eine Verringerung der Schadstoffemissionen und des Unfallrisikos zu erwarten.

**Aktions-
perimeter**

Im Aktionsperimeter werden die Massnahmen umgesetzt. Hier sind deutliche Auswirkungen zu erwarten, welche jedoch in der Regel über den Aktionsperimeter hinausgehen. Im Beispiel einer Dosierung ist dies der Streckenabschnitt vor der Dosierungsstelle. Hier sind vor allem negative Auswirkungen wie zusätzlicher Rückstau, eine Zunahme der Reisezeit, eine Verschlechterung der Zuverlässigkeit,

eine Erhöhung der Schadstoffemissionen und potentiell der Unfallraten zu erwarten.

Wirk- und Aktionsperimeter bilden zusammen das direkt betroffene Gebiet gemäss SN 641 820. Eine Differenzierung nach Wirk- und Aktionsperimeter ist insbesondere für Verkehrsmanagementmassnahmen sinnvoll, wo sich Wirkungen innerhalb des Wirkperimeters von denjenigen Aktionsperimeter deutlich unterscheiden.

Es ist daher für jede Massnahme zu untersuchen, ob eine solche Differenzierung sinnvoll ist. Bei Erhaltungsmassnahmen kann das direkt betroffene Gebiet in der Regel zusammengefasst betrachtet werden.

Beobachtungsperimeter (Einflussgebiet) Die verkehrlichen Auswirkungen, können über den Wirk- und Aktionsperimeter hinausgehen. Es ist daher ein Beobachtungsperimeter zu definieren. Dieser ist so zu wählen, dass Ausweichfahrten und allfällige Sekundärfolgen infolge des zusätzlichen Verkehrs auf den Ausweichrouten erfasst sind.

Der Beobachtungsperimeter entspricht dem Einflussgebiet gemäss SN 641 820. Das Einflussgebiet umfasst gemäss Definition das Gebiet, in dem die zur Berechnung der Verkehrsaufkommen im direkt betroffenen Gebiet relevanten Wunschlinien beginnen oder enden (Ziel- und Quellverkehr) sowie das zugehörige Netz.

Sachliche Abgrenzung Nach SN 641 820 ist eine Unterteilung nach den folgenden Fahrzeugkategorien notwendig:

- Personenwagen, inkl. Lieferwagen und Motorräder
- Lastwagen inkl. Sattelschlepper und Reisebusse
- Busse des öffentlichen Verkehrs

Abhängig vom Projekt und der Datenlage kann eine weitere Unterteilung sinnvoll sein.

Im Rahmen der Bewertung ist die sachliche Systemabgrenzung festzulegen. Je nach Art der Massnahme ist auch zu prüfen, ob der Einbezug des Fuss- und Veloverkehrs notwendig ist.

Kosten	<p>Die Kosten umfassen gemäss SN 641 820 die Baukosten (Erstinvestition abzüglich Restwerte), Ersatzinvestitionen, Landkosten, Unterhaltskosten, Betriebskosten der Strasse und die Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr.</p> <p>Sollten durch die <u>Verkehrsmanagementmassnahme</u> bestehende oder für den Prognosezustand erwartetet Kosten wegfallen, z.B. durch Ersatz von Steuerungsanlagen, sind diese aufzuführen. Andernfalls werden für den Referenzfall keine Kosten ausgewiesen.</p> <p>Für eine <u>Erhaltungsmassnahme</u> umfassen «Kosten» alle Kosten für betriebliche und bauliche Massnahmen, die im Laufe eines Erhaltungszyklus anfallen. Für alle Jahre des Erhaltungszyklus ist die Höhe der Kosten anzugeben. Diese setzen sich zusammen aus Sockelkosten für den betrieblichen Unterhalt und periodische Arbeiten zum baulichen Unterhalt, z.B. Belagserneuerung.</p>
Nutzen	<p>Der Nutzen umfasst alle über die Kostenindikatoren hinausgehenden positiven und negativen Auswirkungen der Kosten-Nutzen-Analyse.</p> <p>Der Referenzfall dient als Vergleichspunkt für die Berechnung des Nutzens. Der Nutzen entsteht aus der Differenzbetrachtung zwischen Plan- und Referenzfall.</p>

2 Anforderungen und Datenbedarf Kosten-Nutzen-Analyse

Ausgangspunkt für die vorliegende Untersuchung sind die Mengen- und Wertgerüste der Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie in den Schweizer Normen (vgl. *Tab. 4*) definiert sind. Dabei ist zu beachten, dass SN 641 824 «Unfallraten und Unfallkostensätze» und SN 641 826 «Betrieblicher Unterhalt von Strassen» gerade in Überarbeitung sind bzw. bald überarbeitet werden. Im Rahmen der Forschungsarbeit wird auf die Herrmann et al. (2018) [32] vorgesehenen Änderungen an der SN 641 826 hingewiesen.

Tab. 4 Übersicht der zugrunde gelegten Schweizer Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse

Nummer	Titel	Erscheinungsjahr
SN 641 820	Grundnorm	2006
SN 641 821	Diskontsatz	2006
SN 641 822a	Zeitkosten im Personenverkehr	2009
SN 641 823	Zeitkosten im Güterverkehr	2007
SN 641 824	Unfallraten und Unfallkostensätze	2013
SN 641 825	Zuverlässigkeit	2017
SN 641 826	Betrieblicher Unterhalt von Strassen	2008
SN 641 827	Betriebskosten von Strassenfahrzeugen	2009
SN 641 828	Externe Kosten	2009

Abb.6 gibt eine Übersicht über die Wirkungen einer Massnahme oder eines Projektes, die im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Für jedes Kriterium wird aufgezeigt, welche Daten für die Ermittlung des Mengengerüsts notwendig sind und auf Basis welcher Grundlagen diese ermittelt werden können. Da die Normen im Bewertungstool NISTRA des ASTRA umgesetzt wurden und dort auf Indikatorebene dargestellt werden, werden die Inputdaten hier nach diesen Indikatoren und nicht nach den Normen dargestellt.

Tab. 5 Übersicht der zugrunde gelegten Schweizer Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse

Indikator gemäss NISTRA	Inputdaten	Grundlagen
W111 Baukosten	Preisbasis Kostenangaben Baukosten nach Baubestandteile und zeitlicher Anfall [CHF] Lebensdauer der Baubestandteile <u>Reserven und Kostengenauigkeit</u>	Detaillierte Kostenschätzung Detaillierte Kostenschätzung SN 641 820 <u>Detaillierte Kostenschätzung</u>
W112 Ersatzinvestitionen	Jährliche reale Kostenveränderung [%/Jahr] (bzw. offen lassen)	Kostenschätzung, SN 641 820
W113 Landkosten	Preisbasis Kostenangaben Landwert/Opportunitätskosten [CHF] Wertminderung angrenzender Parzellen [CHF] Transaktionskosten [CHF] Rückbaukosten [CHF] <u>Reserven und Kostengenauigkeit</u>	Detaillierte Kostenschätzung Detaillierte Kostenschätzung Detaillierte Kostenschätzung Detaillierte Kostenschätzung <u>Detaillierte Kostenschätzung</u>
W114 Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	Strassentypen Abschnittslängen [km] bzw. virtuelle Längen [km] DTV [Fz/d] Siedlungsdichte der Umgebung Höhenlage [m.ü.M.] Anzahl Fahrstreifen Bau-/Sanierungsjahr und Inbetriebnahme Anlage (Grünanlagen, Trottoir, Radweg, ÖV, Gestaltung) <u>Veränderung Fahrleistung [Fzkm]</u>	Projektpläne, GIS, Strassenpläne Projektpläne, SN 641 826 Verkehrsmodell Einschätzung Fachleute Projektpläne, GIS Projektpläne, GIS Zeitplanung Projekt Projektpläne <u>Verkehrsmodell</u>
W115 Auswirkungen auf den ÖV	Verkehrsaufkommen im ÖV [Personenfahrten] Ertragsatz ÖV [CHF/Personenfahrt] inkl. Preisbasis reale Veränderung Ertragsatz [%/Jahr] <u>Veränderung Betriebskosten ÖV [CHF/Jahr]</u>	Verkehrsmodell Angaben ÖV-Betreiber Angaben ÖV-Betreiber <u>Angaben ÖV-Betreiber</u>
W116 Finanzierungskosten	Kreditaufnahme [CHF] nach Jahr Rückzahlungen [CHF] nach Jahr Zinszahlungen [CHF] nach Jahr	Finanzplan Projekt Finanzplan Projekt Finanzplan Projekt
W121 Reisezeitveränderungen Stammverkehr	Reisezeitveränderung Personen-Stammverkehr nach Fz.kat. Reisezeitveränderung Güter-Stammverkehr nach Fz.kat. <u>Reisezeitverluste während Bauphase nach Fz.kat.</u>	Verkehrsmodell Verkehrsmodell <u>Verkehrsmodell / Grobschätzung</u>
W122 Veränderung der Zuverlässigkeit	stündliche Verkehrsstärken Gesamt- und Schwerverkehr [Fz/h] Schwerverkehrsanteil zulässige Höchstgeschwindigkeit Kapazität Besetzungsgrad <u>Jahresganglinie Gesamt- und Schwerverkehr gemäss Typisierung</u>	Verkehrsmodell, Zählungen Verkehrsmodell, Zählungen Projektpläne, GIS SN 640 018a , SN 640 020a Einschätzung Fachleute, MZMV <u>Verkehrsmodell, Zählungen</u>
W123 Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	Nettoveränderung im Stammverkehr [Fzkm] nach Verkehrsart Umleitung während Bauphase: Beginn, Dauer <u>Umwegfahrten pro Jahr [Fzkm bzw. Fzh] nach Verkehrsart</u>	Verkehrsmodell Umsetzungsplanung Projekt <u>Verkehrsmodell</u>
W124 Nettonutzen Mehrverkehr	Reisezeitveränderung Personen-Mehrverkehr nach Verkehrsart Reisezeitveränderung Güter-Mehrverkehr nach Verkehrsart <u>Nettoeffekt Fzkm Mehrverkehr nach Verkehrsart und Ortslage</u>	Verkehrsmodell Verkehrsmodell <u>Verkehrsmodell</u>
W125 Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	Mengengerüst entsprechend W115	Verkehrsmodell
W127 Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	Fahrtlängen im Mehrverkehr [Fzkm] nach Verkehrsart und Ortslage	Verkehrsmodell
W128 Einnahmen Steuer und Maut Stammverkehr	Nettoveränderung im Gesamtverkehr [Fzkm] nach Verkehrsart und Ortslage	Verkehrsmodell
U111 Luftbelastung	Nettoveränderung [Fzkm] nach Verkehrsart, Ortslage und Bebauungsdichte Umleitung während Bauphase: Beginn, Dauer Umwegfahrten pro Jahr [Fzkm bzw. Fzh] nach Verkehrsart Anteil Bauemissionen im bebauten Gebiet	Verkehrsmodell Umsetzungsplanung Projekt Verkehrsmodell GIS (Lage der Baustelle)
U121 Lärmbelastete Personen	Veränderung Anzahl Wohnungen Taglärm in Lärmklassen über 55 dB(A) oder Nettoveränderung [Fzkm] nach Verkehrsart, Tunnel und Gebietstyp Umleitung während Bauphase: Beginn, Dauer Umwegfahrten pro Jahr [Fzkm/Jahr] nach Verkehrsart	Lärmmodell Verkehrsmodell Umsetzungsplanung Projekt <u>Verkehrsmodell</u>
U131 Bodenversiegelung	Strassenabschnitte: Länge [m], Breite [m], Strassentyp Flächen für Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen [m ²] <u>Jahr der Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen</u>	Projektpläne Projektpläne <u>Umsetzungsplanung Projekt</u>
U142 Landschafts- und Ortsbild	Flächen der Teilräume [m ²] Zielerfüllung UZ1-UZ3 <u>Abschluss der Bauphase bzw. Rückbauten</u>	Projektpläne Einschätzung Fachleute <u>Umsetzungsplanung Projekt</u>
U211 Klimaeffekt	Nettoveränderung [Fzkm] nach Verkehrsart	Verkehrsmodell
U311 Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	Energieverbrauch [MWh/Jahr]	Projektpläne
G211 Unfälle	Veränderung Fahrleistung [km/Jahr] nach Strassentypen Strassen- und Knotentypen, Ortslage (Standardverfahren) oder Veränderung Fahrleistung [km/Jahr] nach Ortslage +Autobahn (vereinfachtes Verfahren)	Verkehrsmodell Projektpläne, GIS, Strassenpläne <u>Verkehrsmodell / Grobschätzung</u>

Abb.6 Abgebildete Wirkungen einer Massnahme in einer Kosten-Nutzen-Analyse und projektbezogener Datenbedarf (rot = Indikatoren Wirtschaft – direkte Kosten, blau = Indikatoren Wirtschaft – direkte Nutzen, grün = Indikatoren Umwelt, violett = Indikatoren Gesellschaft)

3 Massnahmen Verkehrsmanagement

Für die Bewältigung der erwarteten Verkehrszunahme gewinnen Massnahmen des Verkehrsmanagements zunehmend an Bedeutung. Dies führt immer öfter zu Abwägungen zwischen Neu- und Ausbaumassnahmen und Verkehrsmanagementmassnahmen. Bereits in der Vergangenheit wurden daher erste Studien zur Bewertung verschiedener Verkehrsmanagementmassnahmen durchgeführt.

Für die Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrstelematik (SVT)-Systemen wurde im Jahr 2001 eine Anleitung zur Beurteilung mittels einer einfachen Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) durch Meier-Eisenmann und Abay ausgearbeitet, und es wurden Vorschläge gemacht, welche Effekte zu bewerten sind (vgl. [14]). Für SVT-Systeme, bei denen ein grosser Teil der Auswirkungen zum damaligen Zeitpunkt nicht monetär bewertet werden konnte, wird auf andere Verfahren wie die Nutzwertanalyse verwiesen. Auf die Nutzwertanalyse selber wird jedoch nicht näher eingegangen.

Für Verkehrsdosierungen haben Aemisegger et al. eine Methodik zur Abschätzung des volkswirtschaftlichen Nutzens entwickelt (vgl. [59]). Die Bewertung der Auswirkungen basiert auf einer Kombination der Kosten-Nutzen-Analyse und der Vergleichswertanalyse und erfolgt für eine Auswahl an NISTRA-Indikatoren. Die Bewertungsmethodik wurde auf drei Fallbeispiele angewandt, wobei jeweils unterschiedliche Kombinationen von Indikatoren zur Bewertung beigezogen wurden. Auffällig ist, dass bei allen drei Fallbeispielen nur negative Nutzen ermittelt wurden (z.B. Reisezeitverlängerungen). Es stellt sich die Frage, ob die Auswahl an Indikatoren und die Wirkungsermittlung (z.B. Berücksichtigung des besseren Verkehrsflusses in der Innenstadt) sämtliche Wirkungen vollumfänglich abdeckt und ob sie für bestimmte Fälle standardisiert werden kann.

Von Carsten und Tate (vgl. [25]) wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung eines Systems zur intelligenten Geschwindigkeitsanpassung (ISA, Intelligent Speed Adaptation) beigezogen. Über die Einführung solcher Systeme wird derzeit in mehreren EU-Ländern diskutiert. Eine Kosten-Nutzen-Untersuchung kooperativer Verkehrstelematiksysteme von Nebel und Gessenhardt hat gezeigt, dass mit vergleichsweise kostengünstigen Verkehrstelematiklösungen bei bestimmten Randbedingungen volkswirtschaftliche Vorteile geschaffen werden können (vgl. [40]). Offen ist, inwieweit das gewählte Vorgehen für ähnliche Massnahmen verallgemeinert werden kann.

In dieser Forschungsarbeit erfolgt nun eine systematische Analyse, inwiefern die Wirkungen der verschiedenen Massnahmen des Verkehrsmanagements im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Dazu wird im nächsten Abschnitt zunächst für jede Massnahmenart gemäss SN 640 781 im Rahmen einer Abbildungsanalyse die Kompatibilität zwischen den Zielen dieser Massnahmenart und den Indikatoren der Kosten-Nutzenanalyse geprüft. Die Analyse basiert auf einem Experteninterview mit Lorenz Raymann (eh. Delegierter des SVI-Vorstandes, Schweizerische Verkehrstelematik-Plattform its-ch) sowie verschiedenen Faktenblättern und Konzepten (vgl. [23], [33] und [55]).

Anschliessend werden zwei ausgewählte Massnahmenarten, Pannestreifenumnutzungen (PUN) und Dosierungen, vertiefter analysiert und die Möglichkeiten und Grenzen zur Ermittlung der benötigten Mengen- und Wertgerüste aufgezeigt. Abschliessend wird diskutiert, wie die so gewonnenen Erkenntnisse auf andere Massnahmenarten des Verkehrsmanagements übertragen werden können.

3.1 Massnahmenarten und Abbildbarkeit der Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse

3.1.1 Übersicht

Gemäss SN 640 781 können die Massnahmen des Verkehrsmanagements sechs Begriffsebenen zugeordnet werden. Die Begriffsebenen und die Zuordnung der einzelnen Massnahmenarbeiten zu den Begriffsebenen ist in **Abb.7** dargestellt. Die Diskussion der nachfolgenden Massnahmenarten folgt dieser Struktur.

Informieren	VM-0: Informationskanäle und -anzeigen
Lenken	VM-1: Umfahrungsempfehlung VM-2: Umleitung
Leiten	VM-3: Intelligente Geschwindigkeitsassistentz (ISA) VM-4: Variable Geschwindigkeitsbegrenzung VM-5: Koordination Lichtsignalanlagen VM-6: Pannestreifenumnutzung (PUN) VM-7: Umkehrbare Fahrstreifen
Steuern	VM-8: Lichtsignalsteuerung VM-9: Allgemeine Dosierung VM-10: Zuflussregelung in Einfahrten VM-11: Pförtnerung VM-12: ÖV-Priorisierung VM-13: Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten
Ruhender Verkehr	VM-14: Parkraumbewirtschaftung VM-15: Parkleitsystem VM-16: Parkfeldreservation VM-17: Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen
Fahrberechtigung	VM-18: Physische Busspuren VM-19: Bidirektionale Busspuren VM-20: Elektronische Busspur VM-21: Fahrstreifen für stark belegte Fahrzeuge VM-22: Überholspuren

Abb.7 Begriffsebenen der Massnahmen des Verkehrsmanagements gemäss SN 640 781

3.1.2 Informieren

Das Ziel von Verkehrsmanagementmassnahmen der Ebene «Informieren» ist, die Verkehrsteilnehmenden über Sachverhalte in Kenntnis zu setzen, welche für deren Fahrt oder den Transport von deren Gütern vor und während der Fahrt von Bedeutung sein können. **Abb.8** zeigt Beispiele für diese Massnahmen.

Massnahmen zur Information werden immer in Kombination mit anderen Massnahmen getroffen. Die Wirkungen werden daher für die anderen VM-Ebenen bestimmt. Es wird daher auf eine Abbildungsanalyse für diese Ebene verzichtet.

Tab. 6 Massnahmenbeschreibung VM-0 «Informieren»

VM-0	Informationskanäle und -anzeigen	Informieren
Definition	In Kenntnis setzen der Verkehrsteilnehmer über Sachverhalte, die für deren Fahrt von Bedeutung sein können.	
Kombination	Immer in Kombination mit anderen VM-Massnahmen	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Information der Nutzer • Unterstützung anderer VM-Massnahmen 	
Einsatz	HLS, HVS	
Beispiele	Verkehrsmeldungen oder Verkehrsnachrichtenkanal über Radiodatensystem, Wechseltextanzeigen (WTA), Wechselwegweiser (WWW), Optische Wechselsignale	

Wechseltextanzeige



Bildquelle: Signal AG, 2016

Wechselwegweiser



Bildquelle: Colberg Forster AG, 2016

Optische Wechselsignale



Bildquelle: Signal AG, 2016

Abb.8 Beispiele für Verkehrsmanagementmassnahmen der Ebene «Informieren»

3.1.3 Lenken

Zu den Verkehrsmanagementmassnahmen der Ebene «Lenken» gehören die Massnahmen:

- VM-1 Umfahrungsempfehlung
- VM-2 Umleitung

VM-1 Umfahrungsempfehlung

Das Ziel einer Umfahrungsempfehlung ist die Beeinflussung der Routenwahl in Strassennetzen und die Abgabe von Empfehlungen zur Wahl des Abfahrtszeitpunktes sowie des Verkehrsmittels. Eine Massnahmenbeschreibung für Umfahrungsempfehlungen ist in **Tab. 7** gegeben.

Tab. 7 Massnahmenbeschreibung VM-1 Umfahrungsempfehlung

VM-1	Umfahrungsempfehlung	Lenken
Definition	Abgabe von Empfehlungen zur Umfahrung einer in Bezug auf Leistung oder Sicherheit kritischen Stelle im Verkehrsnetz (ohne Signalisation)	
Kombination	Verkehrsmeldungen, Verkehrsnachrichtenkanal	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Leistungsfähigkeit • Verminderung des Unfallrisikos • Optimieren der Reisezeiten 	
Einsatz	HLS, HVS	
Beispiele	-	

Die wesentlichen Wirkungen einer Umfahrungsempfehlung sind:

- Temporäre Veränderung der Routenwahl
- Verhinderung übersättigter Zustände
- Veränderung der Reisezeiten
- Erhöhte Zuverlässigkeit
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderte Luftbelastung

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in **Tab. 8** dargestellt abgebildet werden.

Tab. 8 Abbildungsanalyse VM-1 Umfahrungsempfehlung

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-2	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Info-Anlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Kosten Info-Anlagen
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Anlagenbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Repräsentative Umfahrungswege und Stauwahrscheinlichkeit
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Befolgsrate Empfehlung, Häufigkeit Umfahrungsempfehlung Stauwahrscheinlichkeit
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Streckenprofil und Verkehrszustand, Umfahrungswege
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Emissionen nach Streckenprofil und Verkehrszustand, Umfahrungswege
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Streckenprofil und Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-2 Umleitung

Das Ziel einer Umleitung ist die Beeinflussung der Routenwahl in Strassennetzen, um die Leistungsfähigkeit des Netzes aufrechtzuerhalten und die Erreichbarkeit von Zielen sicherzustellen. Umleitungen werden insbesondere dann eingesetzt, wenn auf eine Strecke nicht oder mit verminderter Kapazität zur Verfügung steht. Eine Massnahmenbeschreibung für Umleitungen ist in *Tab. 9* gegeben.

Tab. 9 Massnahmenbeschreibung VM-2 Umleitung

VM-2	Umleitung	Lenken
Definition	Massnahme zur Verkehrsermöglichung bzw. zur Herstellung dessen Verflüssigung durch Routenänderung, sofern ein vorhandener Verkehrsweg nicht die erwartete oder tatsächliche Belastung aufnehmen kann (mit Signalisation)	
Kombination	Verkehrsmeldungen, Verkehrsnachrichtenkanal, Wechseltextanzeige, Wechselwegweiser	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung der Erreichbarkeit • Erhalt der Leistungsfähigkeit • Optimieren der Reisezeiten 	
Einsatz	HLS, HVS	
Beispiele	-	

Die wesentlichen Wirkungen einer temporären Umleitung sind:

- Veränderung der Routenwahl
- Bereitstellung zusätzlicher Kapazität, Leistungserhöhung
- Veränderung der Reisezeiten
- Verminderte Zuverlässigkeit, da «nur» Sicherstellung Grunderreichbarkeit
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderte Luftbelastung

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in *Tab. 10* dargestellt abgebildet werden.

Tab. 10 Abbildungsprüfung VM-2 Umleitung

Indikator gemäss SN 641 820		VM-2	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Info-Anlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Kosten Info-Anlagen
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Anlagenbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Repräsentative Umfahrungswege und Stauwahrscheinlichkeit
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Befolgerungsrate Empfehlung, Häufigkeit Umfahrungsempfehlung Stauwahrscheinlichkeit
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Streckenprofil und Verkehrszustand, Umfahrungswege
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Emissionen nach Streckenprofil und Verkehrszustand, Umfahrungswege
U121	Lärmbelastete Personen	x	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Streckenprofil und Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen

(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein

0: Indikator nicht betroffen

3.1.4 Leiten

Das Ziel der Massnahmen der Ebene «Leiten» ist die Beeinflussung des Verkehrs auf einer bestimmten Strecke. Zu dieser Ebene gehören die Massnahmen:

- VM-3 Intelligente Geschwindigkeitsassistenz (ISA)
- VM-4 Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen (VSL)
- VM-5 Koordination von Lichtsignalanlagen
- VM-6 Pannestreifenumnutzung (PUN)
- VM-7 Umkehrbare Fahrstreifen

VM-4 Intelligente Geschwindigkeitsassistentz (ISA) und VM-5 Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen (VSL)

Intelligente Geschwindigkeitsassistentzsysteme finden sich im Fahrzeug und unterstützen Autofahrer darin, die aktuellen Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten. Systeme für variable Geschwindigkeitsbegrenzungen finden sich an der Strecke und ermöglichen es dem Strassenbetreiber, die zulässige Höchstgeschwindigkeit an Verkehrs- und Umweltbedingungen anzupassen. Die wesentlichen Ziele beider Massnahmenarten sind eine Verminderung des Unfallrisikos und der Erhalt der Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes. Eine Massnahmenbeschreibung für intelligente Geschwindigkeitsassistentzsysteme ist in Tab. 11 und für variable Geschwindigkeitsbegrenzungen in Tab. 12 gegeben.

Tab. 11 Massnahmenbeschreibung VM-3 Intelligente Geschwindigkeitsassistentz (ISA)

VM-3	Intelligente Geschwindigkeitsassistentz (ISA)	Leiten
Definition	Fahrerassistentzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Einhaltung des aktuellen Geschwindigkeitslimits auf dem augenblicklich befahrenen Straßenabschnitt (Basis: digitale Karte oder Verkehrszeichenerkennung), Optional: fremdgesteuerter Eingriff in Geschwindigkeitswahl	
Kombination	Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen, On-Board-Anzeigen, Wechseltextanzeigen	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Leistungsfähigkeit • Verminderung des Unfallrisikos 	
Einsatz	HLS, HVS	
Beispiele	Automobilhersteller	

Tab. 12 Massnahmenbeschreibung VM-4 Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen

VM-4	Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen	Leiten
Definition	Anpassung der Höchstgeschwindigkeiten an die Verkehrsbedingungen (Verkehrsbelastung, Wetter, Umwelt, etc.)	
Kombination	elektronisch gesteuerte Geschwindigkeitssignale	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Leistungsfähigkeit • Verminderung des Unfallrisikos 	
Einsatz	HLS	
Beispiele	N1 Verzweigung Birrfeld – Neuenhof (Baregg)	

Intelligente Geschwindigkeitsassistentzsysteme und variable Geschwindigkeitsbegrenzungen verfolgen nicht nur die gleichen Ziele, auch ihre Wirkungen sind sehr ähnlich. Beide Massnahmenarten bewirken:

- Tiefere Geschwindigkeiten, verringerte Zeitlücken, erhöhte Kapazität
- Einheitlicherer Verkehrsfluss, weniger Fahrstreifenwechsel, Verzögerung Kapazitätsabfall (stabil -> instabil)
- Stabilisierung Reisezeiten (erhöhte Berechenbarkeit)
- Reduziertes Unfallrisiko (Schwere und Häufigkeit)
- Verringerter Treibstoffverbrauch
- Geringere Luftbelastung:

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in *Tab. 13* dargestellt abgebildet werden.

Tab. 13 *Abbildungsprüfung VM-3 Intelligente Geschwindigkeitsassistenz (ISA) und VM-4 Variable Geschwindigkeitsbegrenzungen (VSL)*

Indikator gemäss SN 641 820		VM-4	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Info-Anlagen bzw. Fahrzeugsystem
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie W111
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Anlagenbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Kombination Geschwindigkeitsreduktion und Kapazitätserhöhung
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
U121	Lärmbelastete Personen	0	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Geschwindigkeit

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-5 Koordination von Lichtsignalanlagen

Bei einer Koordination von Lichtsignalanlagen werden die Grünzeiten von zwei oder mehr Lichtsignalanlagen eines Streckenzugs so aufeinander abgestimmt, dass die Fahrzeuge beim Befahren des Streckenzugs mit einer bestimmten Geschwindigkeit möglichst geringe Wartezeiten erfahren. Das Hauptziel einer solchen Koordination ist die Optimierung der Leistungsfähigkeit des Streckenzugs und die Kontrolle von Rückstaus innerhalb des Korridors. Zudem können dadurch die Reisezeiten der Verkehrsteilnehmer und die Umweltemissionen verringert und der Fahrkomfort erhöht werden.

Tab. 14 Massnahmenbeschreibung VM-5 Koordination von Lichtsignalanlagen

VM-5	Koordination Lichtsignalanlagen	Leiten
Definition	Zeitliches Abstimmen von Grünzeiten benachbarter lichtsignalgesteuerter Knoten, damit Fahrzeuge auf durchgehenden Beziehungen die Lichtsignalanlagen möglichst ohne Wartezeiten passieren können.	
Kombination	Lichtsignalsteuerung, ÖV-Priorisierung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsoptimierung Strassennetz • Rückstaukontrolle, Stauraumausnutzung • Reduktion von Wartezeiten und Reisezeiten • Komfortsteigerung MIV • Verminderte Umweltemissionen 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	Stadt Zürich	

Die wesentlichen Wirkungen einer Koordination von Lichtsignalanlagen sind:

- Optimierung der Netzleistungsfähigkeit durch Abstimmung von Knoten
- Einflussnahme räumliche Stauverteilung
- Verminderte Wartezeiten auf koordinierten Korridoren, Reduktion Reisezeiten
- Komfortsteigerung für MIV durch reduzierte Anfahr- und Bremsvorgänge
- Verringerter Treibstoffverbrauch
- Geringere Luftbelastung
- Verändertes Unfallrisiko auf Korridoren

Die meisten dieser Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse über die in Tab. 15 aufgeführten Indikatoren abgebildet werden. Eine Ausnahme bildet die Komfortsteigerung für MIV durch reduzierte Anfahr- und Bremsvorgänge. Diese ist derzeit in der Kosten-Nutzen-Analyse nicht abbildbar. Für die Ermittlung dieser Wirkung müsste einerseits ein geeignetes Mengengerüst und ein geeignetes Wertgerüst bestimmt werden. Hier besteht also Forschungsbedarf.

Tab. 15 Abbildungsprüfung VM-5 Koordination von Lichtsignalanlagen

Indikator gemäss SN 641 820		VM-5	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Steuerungsanlage
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	(x)	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Repräsentative Steuerungsveränderung auf Korridoren
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch für unterschiedliche Fahrvorgänge
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch für unterschiedliche Fahrvorgänge
U121	Lärmbelastete Personen	0	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten für Rückstaubereiche

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-6 Pannestreifenumnutzung (PUN)

Im Rahmen einer Pannestreifenumnutzung wird der Standstreifen einer Autobahn oder Autostrasse permanent oder temporär für den Verkehr freigegeben. Das Hauptziel ist eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit auf dem betroffenen Streckenabschnitt und allenfalls auf vorgelagerten Strecken. Dadurch werden der Verkehrsfluss verbessert und die Reisezeiten der Verkehrsteilnehmer verringert. Eine Beschreibung der Massnahmenart ist in *Tab. 16* gegeben.

Tab. 16 Massnahmenbeschreibung VM-6 Pannestreifenumnutzung (PUN)

VM-6	Pannestreifenumnutzung (PUN)	Leiten
Definition	Temporäre oder permanente Umnutzung des Pannestreifens als Fahrstreifen	
Kombination	Optische Wechselsignale	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Leistungsfähigkeit • Verbesserung Verkehrsfluss • Reisezeitersparnis MIV 	
Einsatz	HLS	
Beispiele	N9 Lausanne Vennes – Belmont (temporär)	

Die wesentlichen Wirkungen einer Pannestreifenumnutzung sind:

- Temporäre Veränderung der Routenwahl
- Temporäre Bereitstellung zusätzlicher Kapazität, Leistungserhöhung
- Verminderte Reisezeiten
- Umgelagerter und induzierter Verkehr
- Verringerter Treibstoffverbrauch
- Veränderung Luftbelastung
- Veränderung Unfallrisiko (weniger Stau, mehr Fahrstreifenwechsel, Pannenproblematik)

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in *Tab. 17* dargestellt, abgebildet werden.

Tab. 17 Abbildungsprüfung VM-6 Pannenstreifenumnutzung (PUN)

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-6	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Bauliche Anpassungen, Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 112
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Betrieb und Unterhalt zusätzliche Spuren, Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	x	Verkehrsverlagerungen bei Kapazitätsausbauten
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Einfluss Kapazitäts- erhöhung (Modell)
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrrschein- lichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	x	Beschrieb induzierter Verkehr
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	x	Verkehrsverlagerungen bei Kapazitätsausbauten
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	x	
U111	Luftbelastung	x	Quantifizierung induzierter Verkehr, Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten stabiler/ instabiler Verkehr, nach Spuranzahl, Pannenhäufigkeit

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-7 Umkehrbare Fahrstreifen

Unter dieser Massnahmenart versteht man Fahrstreifen die in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung, der Uhrzeit oder anderer Umstände in die eine oder andere Richtung befahren werden können. Diese Massnahmenart wird bisher in der Schweiz nicht eingesetzt und daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 18 Massnahmenbeschreibung VM-7 Umkehrbare Fahrstreifen

VM-7	Umkehrbare Fahrstreifen	Leiten
Definition	In beide Richtungen befahrbare Fahrstreifen mit Betrieb in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung	
Kombination	Optische Wechselsignale	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Temporäre Erhöhung Leistungsfähigkeit • Reduktion Reisezeiten 	
Einsatz	HLS, HVS	
Beispiele	China, USA, Deutschland (HH)	

3.1.5 Steuern

Massnahmen der Verkehrssteuerung oder auch Verkehrsregelung zielen darauf, Verkehrsströme an Knoten oder Objekten wie Brücken, Tunnel, Baustellen, oder Parkieranlagen zu beeinflussen. Dazu gehören die Massnahmenarten:

- VM-8 Lichtsignalsteuerung
- VM-9 Allgemeine Dosierung
- VM-10 Zuflussregelung in Einfahrten (Ramp Metering)
- VM-11 Pfortnerung
- VM-12 ÖV-Priorisierung
- VM-13 Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten

VM-8 Lichtsignalsteuerung (LSA)

Die Steuerung einer Lichtsignalanlage ist eine der am häufigsten eingesetzten Massnahmenarten des Verkehrsmanagements. Über die Verteilung der Grünzeiten auf die einzelnen Ströme kann die Leistungsfähigkeit eines Knotens erhöht und damit Rückstaus und Unfallrisiken verringert werden. Die Betrachtung von isolierten Lichtsignalanlagen steht jedoch nicht im Fokus von Verkehrsmanagementmassnahmen, welche mittels Kosten-Nutzen-Analyse bewertet werden. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 19 Massnahmenbeschreibung VM-8 Lichtsignalsteuerung (LSA)

VM-8	Lichtsignalsteuerung (LSA)	Steuern
Definition	Verhaltensanordnung an Knoten durch Abgabe gesteuerter Signale	
Kombination	Koordination LSA, ÖV-Priorisierung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung Knotenleistungsfähigkeit • Verminderung Unfallrisiko 	
Einsatz	HVS, urbaner Raum	
Beispiele	-	

VM-9 Allgemeine Dosierung

Mit einer Dosierungsmassnahme werden die Kapazitäten von bestimmten Knotenbeziehungen gezielt reduziert, sodass auf den folgenden Netzelementen keine Überlast auftritt. Das Ziel einer Dosierung ist die Sicherstellung einer ausreichenden Verkehrsqualität auf den nachfolgenden Netzelementen. Zudem soll damit erreicht werden, dass die Rückstaubildung dort stattfindet, wo sie zu weniger Beeinträchtigungen führt, wie z.B. am Siedlungsrand.

Tab. 20 Massnahmenbeschreibung VM-9 Allgemeine Dosierung

VM-9	Allgemeine Dosierung	Steuern
Definition	Freigabe der Weiterfahrt für in den nachfolgenden Netzelementen verarbeitbare Fahrzeugpakete	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung Verkehrsqualität auf nachfolgenden Netzelementen • Staubildung in definierten Räumen 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	-	

Die wesentlichen Wirkungen einer allgemeinen Dosierung sind:

- Veränderung der Routenwahl

- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Sicherstellung Verkehrsqualität bzw. Verhinderung Überlastung der nachfolgenden Abschnitte
- Verringerte MIV-Reisezeiten auf nachfolgenden Abschnitten, erhöhte MIV-Reisezeiten auf Zufahrt
- Erhöhter Rückstau (Stauräume)
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderte Luftbelastung
- Erhöhte Aufenthaltsqualität im Perimeter
- Erhöhte Attraktivität Fuss- und Veloverkehr im Perimeter

Die meisten Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in *Tab. 21* dargestellt, abgebildet werden. Bisher nicht abbildbar sind die Wirkungen «Erhöhte Aufenthaltsqualität im Perimeter» und «Erhöhte Attraktivität Fuss- und Veloverkehr im Perimeter».

Tab. 21 Abbildungsprüfung VM-9 Allgemeine Dosierung

Indikator gemäss SN 641 820		VM-9	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Bereitstellung Stauräume, Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	(x)	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	x	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Definition Wartezeiten auf Basis des Betriebs
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb Gesamtnetz
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	x	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	Evtl. Lärmauswirkungen nach Stauverteilung
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-10 Zuflussregelung in Einfahrten (Ramp Metering)

Mit der Massnahmenart Zuflussregelung in Einfahrten wird der Verkehrsfluss auf einer Einfahrt so reguliert, dass auf dem übergeordneten Streckenelement der Verkehrsfluss nicht beeinträchtigt und die Leistungsfähigkeit erhalten wird. Dadurch kann auch die Sicherheit auf dem übergeordneten Streckenelement erhöht werden.

Tab. 22 Massnahmenbeschreibung VM-10 Zuflussregelung in Einfahrten

VM-10	Zuflussregelung in Einfahrten (Ramp Metering)	Steuern
Definition	Regulierung des Verkehrsflusses auf Einfahrten in Abhängigkeit der Verkehrsbedingungen auf dem übergeordneten Streckenelement	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Leistungsfähigkeit des übergeordneten Netzes • Harmonisierung Verkehrsfluss • Erhöhung der Sicherheit in Verflechtungszonen 	
Einsatz	HLS	
Beispiele	N1 Zürich-Seebach	

Die wesentlichen Wirkungen einer Zuflussregelung in Einfahrten sind:

- Aufrechterhaltung Verkehrsfluss auf übergeordnetem Netz, Verzögerung des Kapazitätsabfalls (Übergang vom stabilen in den instabilen Zustand)
- Verringerte Reisezeiten auf HLS
- Erhöhte Reisezeiten und erhöhter Rückstau auf untergeordnetem Netz
- Reduziertes Unfallrisiko (Schwere und Häufigkeit)
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderung Luftbelastung
- Veränderung Lärmbelastung

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in Tab. 23 dargestellt, abgebildet werden.

Tab. 23 Abbildungsprüfung VM-10 Zuflussregelung in Einfahrten

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-10	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Bereitstellung Stauräume, Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	(x)	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	(x)	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Definition Wartezeiten auf Basis des Betriebs
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	(x)	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	(x)	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	(x)	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen

(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein

0: Indikator nicht betroffen

VM-11 Pfortnerung

Die Pfortnerung ist eine Spezialform der Dosierung. Dabei werden Fahrzeuge am Perimeterrand zurückgehalten mit dem Ziel, dass innerhalb des Perimeters die Verkehrsqualität aufrechterhalten und die Überlastung von Schlüsselknoten verhindert werden kann. Zudem soll damit erreicht werden, dass die Rückstaubildung dort stattfindet, wo sie zu weniger Beeinträchtigungen führt, wie z.B. am Siedlungsrand.

Tab. 24 Massnahmenbeschreibung VM-11 Pfortnerung

VM-11	Pfortnerung	Steuern
Definition	Vorübergehendes Zurückhalten von Nachfrageüberhängen, meistens am Siedlungsrand. Dieses Zurückhalten der Fahrzeuge bedingt eine entsprechend verfügbare Strassenfläche (Stauraum).	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung Überlastung von innerstädtischen Schlüsselknoten (Sicherstellung Verkehrsqualität) • Staubildung in definierten Räumen 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	Stadt Zürich, Stadt Rapperswil-Jona	

Die wesentlichen Wirkungen einer Pfortnerung sind:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Sicherstellung Verkehrsqualität bzw. Verhinderung Überlastung der nachfolgenden Abschnitte
- Verringerte MIV-Reisezeiten auf nachfolgenden Abschnitten, erhöhte MIV-Reisezeiten auf Zufahrt
- Grösserer Rückstau am Perimeterrand
- Stabilisierung von ÖV-Reisezeiten
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderte Luftbelastung
- Erhöhte Aufenthaltsqualität im Perimeter
- Erhöhte Attraktivität Fuss- und Veloverkehr im Perimeter

Die meisten Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in *Tab. 25* dargestellt, abgebildet werden. Bisher nicht abbildbar sind die Wirkungen «Erhöhte Aufenthaltsqualität im Perimeter» und «Erhöhte Attraktivität Fuss- und Veloverkehr im Perimeter». Hier besteht Forschungsbedarf.

Tab. 25 Abbildungsprüfung VM-11 Pfortnerung

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-11	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Bereitstellung Stauräume, Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	(x)	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	x	Quantifizieren der Verlagerungswirkung durch verbesserte ÖV-Reisezeiten
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Definition Wartezeiten auf Basis des Betriebs
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrschein- lichkeit stabiler Betrieb im Zentrum
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	x	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	x	Wie 115
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	x	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	Evtl. Lärmauswirkungen nach Stauverteilung
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-12 ÖV-Priorisierung

Bei einer ÖV-Priorisierung werden Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs an Knoten mit Lichtsignalanlagen bevorzugt behandelt. Das Ziel ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit des ÖV und allenfalls eine Verkürzung der ÖV-Reisezeiten.

Tab. 26 Massnahmenbeschreibung ÖV-Priorisierung

VM-12	ÖV-Priorisierung	Steuern
Definition	Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs an lichtsignalgesteuerten Knoten durch Anmeldung (Detektion, Funk) und Anpassung des Signalablaufs	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierung bzw. Reduktion der ÖV-Reisezeiten 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	(sehr viele)	

Die wesentlichen Wirkungen einer ÖV-Priorisierung sind:

- Stabilisierung bzw. Verminderung ÖV-Reisezeiten
- Erhöhte MIV-Reisezeiten
- Erhöhung Attraktivität ÖV, Verkehrsmittelwahländerungen
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderte Luftbelastung

Diese Wirkungen können, wie in Tab. 27 dargestellt, im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden.

Tab. 27 Abbildungsprüfung VM-12 ÖV-Priorisierung

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-12	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	(x)	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	x	Quantifizieren der Verlagerungswirkung durch verbesserte ÖV-Reisezeiten
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Definition Erhöhung Wartezeiten auf Basis des Betriebs
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Verminderung Wahrscheinlichkeit stabiler MIV-Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Verkehrszustand
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	x	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	x	Wie 115
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	x	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Verkehrszustand
U121	Lärmbelastete Personen	0	
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen

(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein

0: Indikator nicht betroffen

VM-13 Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten

Das Hauptziel temporärer Schliessungen von Ein- und Ausfahrten des Hochleistungsnetzes ist der Erhalt der Leistungsfähigkeit des übergeordneten Netzes. Dadurch kann der Verkehrsfluss auf dem übergeordneten Streckenelement harmonisiert und die Sicherheit erhöht werden.

Tab. 28 Massnahmenbeschreibung VM-13 Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten

VM-13	Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten	Steuern
Definition	Temporäre Schliessung der Ein- und Ausfahrten zur Verbesserung des Verkehrsflusses in Phasen höherer Kapazitätsauslastung	
Kombination	Verkehrsmeldungen, Verkehrsnachrichtenkanal, Wechseltexanzeige	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der Leistungsfähigkeit des übergeordneten Netzes • Harmonisierung Verkehrsfluss • Erhöhung der Sicherheit in Verflechtungszonen 	
Einsatz	HLS	
Beispiele	N2 Airolo (Gotthard)	

Die wesentlichen Wirkungen einer Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten sind:

- Aufrechterhaltung Verkehrsfluss auf übergeordnetem Netz, Verzögerung des Kapazitätsabfalls (Übergang vom stabilen in den instabilen Zustand)
- Verringerte Reisezeiten auf HLS, Erhöhte Reisezeiten im übrigen Netz
- Verändertes Unfallrisiko (Schwere und Häufigkeit)
- Änderungen Routenwahl auf untergeordnetem Netz
- Veränderter Treibstoffverbrauch
- Veränderung Luftbelastung

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in Tab. 29 dargestellt, abgebildet werden.

Tab. 29 Abbildungsprüfung VM-13 Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten

Nr. gemäss NISTRA Indikator gemäss SN 641 820		VM-13	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Kosten Steuerungsbetrieb
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Verbindung Verkehrsstabilität – Reisezeiten HLS, Repräsentative Routenveränderungen
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Repräsentative Routenveränderungen, Treibstoffverbrauch nach Verkehrszustand
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Repräsentative Routenveränderungen, Treibstoffverbrauch nach Verkehrszustand
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszustand

Erläuterung Wirkungsmatrix:

x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen

(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein

0: Indikator nicht betroffen

3.1.6 Ruhender Verkehr

Die Ebene «Ruhender Verkehr» umfasst alle Massnahmen zur Nutzung von Parkierungsanlagen, Lenkung des Parksuchverkehrs und Regelung der Parkierungsausfahrten. Dazu gehören die Massnahmenarten:

- VM-14 Parkraumwirtschaftung
- VM-15 Parkleitsystem
- VM-16 Parkfeldreservation
- VM-17 Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen

VM-14 Parkraumbewirtschaftung

Das Ziel der Parkraumbewirtschaftung ist die Regulierung der Nachfrage nach Parkplätzen und damit indirekt der Anzahl und räumlichen Verteilung Quell- und Zielfahrten im Perimeter der Parkraumbewirtschaftung. Parkraumbewirtschaftungen werden in der Schweiz in vielen Gemeinden umgesetzt, und die Ausgestaltung dieser Systeme ist sehr unterschiedlich. Dadurch lassen sich nur wenige allgemeingültige Aussagen treffen. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 30 Massnahmenbeschreibung VM-14 Parkraumbewirtschaftung

VM-14	Parkraumbewirtschaftung	Ruhen
Definition	Zielgerichtete Steuerung des Verhältnisses von Parkplatzsuchverkehr zur Anzahl verfügbarer Parkplätze im öffentlichen Straßenraum. Möglichkeiten sind: Freies Parken, eingeschränkte Haltverbote, Halteverbote, Parkscheibenregelung, Parken mit Parkschein, Sonderparkplätze, Sonderparkberechtigungen.	
Kombination		
Hauptziel	• Nachfrageregulierung des Strassennetzes	
Einsatz	Urbaner Raum	
Beispiele	-	

VM-15 Parkleitsystem

Ein Parkleitsystem leitet Autolenker mit Hilfe von dynamischen und statischen Anzeigetafeln zu einem freien Parkplatz. Das wesentliche Ziel dieser Systeme ist die Verringerung des Parksuchverkehrs.

Tab. 31 Massnahmenbeschreibung VM-15 Parkleitsystem

VM-15	Parkleitsystem	Ruhen
Definition	System, das Autofahrern mit Hilfe von dynamischen und statischen Anzeigetafeln und Informationshinweisen zu einem freien Parkplatz leiten soll. Viele der heutzutage genutzten Systeme sind automatisch, rechnerunterstützt und bedienen sich elektronischer Anzeigen, die über die verfügbaren Parkplätze Auskunft geben.	
Kombination	Optische Wechselsignale	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Parksuchverkehrs 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	-	

Die wesentlichen Wirkungen eines Parkleitsystems sind:

- Verringerung der Verkehrsbelastung
- Reduktion Reisezeiten (Parksuchverkehr)
- Erhöhung der Verkehrsqualität (Zuverlässigkeit)
- Verändertes Unfallrisiko durch Staureduktion
- Verringerter Treibstoffverbrauch
- Verminderte Luftbelastung

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wie in *Tab. 32* dargestellt, abgebildet werden.

Tab. 32 Abbildungsprüfung VM-15 Parkleitsystem

Indikator gemäss SN 641 820		VM-15	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosten Info-Anlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Betrieb Info-Anlagen
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Repräsentative Verkehrsentlastungen (Potentiale)
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Erhöhung Wahrscheinlichkeit stabiler Betrieb
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch Parksuchverkehr
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch Parksuchverkehr
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	(x)	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	x	Unfallraten nach Verkehrszuständen, Erhöhung Häufigkeit stabiler Betrieb

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

VM-16 Parkfeldreservation

Eine Parkfeldreservation ermöglicht es Autofahrern, im Voraus einen Parkplatz zu buchen. Das Hauptziel dieser Massnahme ist die Verringerung des Parksuchverkehrs. Bisher sind noch wenige Parkfeldreservationssysteme im Einsatz. Es fehlen daher die Grundlagen, um die Wirkungen genauer zu beschreiben. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 33 Massnahmenbeschreibung VM-16 Parkfeldreservation

VM-16	Parkfeldreservation	Ruhen
Definition	Buchen einer Benützungsberechtigung für ein Parkfeld in einer Parkierungsanlage und Massnahmen für das Informieren, Feststellen der Verfügbarkeit resp. der Belegung des Parkfeldes, sowie Kontrollieren der Berechtigung und Bezahlung der Reservation.	
Kombination		
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Parksuchverkehrs 	
Einsatz	Urbaner Raum	
Beispiele		

VM-17 Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen

Ausfahrtdosierungen von Parkierungsanlagen steuern die Anzahl Fahrzeuge, die die Parkierungsmöglichkeit verlassen können, in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge oder der Verkehrsqualität auf den nachfolgenden Netzelementen. So sollen dort Überlastungskonflikte vermieden werden. Die Wirkungen dieser Massnahmenart sind in der Regel eher kleinräumig. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 34 Massnahmenbeschreibung VM-17 Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen

VM-17	Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen	Ruhen
Definition	Ausfahrtregelung aus Parkierungsanlagen in Abhängigkeit der Verkehrsqualität im Strassennetz	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Überlastungskonflikten der nachfolgenden Netzelementen 	
Einsatz	Urbaner Raum	
Beispiele		

3.1.7 Fahrberechtigung

Die Ebene «Fahrberechtigung» umfasst Massnahmen, welche die Berechtigung, bestimmte Netzelemente zu befahren nach Fahrzeugkategorien, Nutzerkategorien oder Fahrzeugkontingente differenzieren. Zu dieser Ebene gehören die Massnahmenarten:

- VM-18 Physische Busspuren
- VM-19 Bidirektionale Busspuren
- VM-20 Elektronische Busspuren
- VM-21 Fahrstreifen für stark belegte Fahrzeuge
- VM-22 Überholspuren

Busspuren

Busspuren sind Fahrstreifen, die nur von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs befahren werden dürfen. Das Ziel ist eine Erhöhung der Zuverlässigkeit und allenfalls eine Verringerung der Reisezeiten im öffentlichen Verkehr. Eine klassische bzw. physische Busspur ist richtungstrennt und ist statisch markiert. Zur Minimierung des Platzbedarfs können Busspuren auch als in zwei Richtungen befahrbare Fahrspuren oder in der Form von elektronischen Busspuren eingerichtet werden.

Tab. 35 Massnahmenbeschreibung VM-18 Physische Busspuren

VM-18	Physische Busspuren	Berechtigten
Definition	Bereitstellung eigener Fahrspuren für den öffentlichen Verkehr	
Kombination		
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung eines minimalen, vom Restverkehr unabhängigen Zeitbedarfs 	
Einsatz	HVS, urbaner Raum	
Beispiele	-	

Tab. 36 Massnahmenbeschreibung VM-19 Bidirektionale Busspuren

VM-19	Bidirektionale Busspuren	Berechtigten
Definition	Bereitstellung von in beide Richtung befahrbaren Fahrspuren für den öffentlichen Verkehr	
Kombination		
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierung/Reduktion ÖV-Reisezeiten • Minimierung des Platzbedarfs 	
Einsatz	Urbaner Raum	
Beispiele	Stadt Zürich	

Tab. 37 Massnahmenbeschreibung VM-20 Elektronische Busspuren

VM-20	Elektronische Busspuren	Berechtigten
Definition	Temporäre Räumung von Fahrspuren durch signaltechnische Einrichtungen, Ermöglichung von «Überholmanövern» durch Benutzung der Gegenfahrbahn, (v.a. bei geringen Taktdichten im ÖV)	
Kombination	Lichtsignalsteuerung	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierung/Reduktion ÖV-Reisezeiten • Minimierung Platzbedarf 	
Einsatz	Städte und Agglomerationen	
Beispiele	Stadt Zug	

Die Wirkungen aller drei Arten von Busspuren sind ähnlich:

- Verringerte und stabilere ÖV-Reisezeiten
- Reduzierte ÖV-Betriebskosten
- Erhöhte MIV-Reisezeiten
- Kleinere bauliche Anpassungen nötig

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in *Tab. 38* dargestellt abgebildet werden.

Tab. 38 Abbildungsprüfung VM-18 bis VM20 Physische, bidirektionale und elektronische Busspuren

Indikator gemäss SN 641 820		VM-20	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Bauliche Anpassungen, Kosten Steuerungsanlagen
W112	Ersatzinvestitionen	x	Wie 111
W113	Landkosten	(x)	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	Betrieb Steuerungsanlagen
W115	Auswirkungen auf den ÖV	x	Quantifizieren der Verlagerungswirkung durch verbesserte ÖV-Reisezeiten
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Definition Wartezeiten auf Basis des Betriebs
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Wartezeiten
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	x	Wie 115
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Treibstoffverbrauch nach Wartezeiten
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	(x)	
G211	Unfälle	(x)	

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

Fahrestreifen für stark belegte Fahrzeuge

Fahrestreifen für stark belegte Fahrzeuge dürfen nur von Fahrzeugen befahren werden, die eine Mindestzahl an Insassen befördern. Das Ziel dieser Massnahmenart ist die Erhöhung von Belegungsraten und damit eine Reduktion der Verkehrsbelastung und eine Verbesserung des Verkehrsflusses. Solche Fahrestreifen werden bisher vor allem in Nordamerika und Südostasien implementiert. In der Schweiz sind sie derzeit aufgrund der hohen Anschlussdichte des HLS-Netzes nicht geplant. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 39 Massnahmenbeschreibung VM-21 Fahrestreifen für stark belegte Fahrzeuge

VM-21	Fahrestreifen für stark belegte Fahrzeuge (HOV)	Berechtigten
Definition	Bereitstellung eines Fahrestreifens für Fahrzeuge, die eine Mindestanzahl in Insassen aufweisen. Dies soll die Bildung von Fahrgemeinschaften fördern. HOV: <i>high occupancy vehicle lane</i>	
Kombination		
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Fahrzeugbelegung und damit Reduktion der Verkehrsbelastung • Verbesserung Verkehrsfluss 	
Einsatz	HLS	
Beispiele	USA	

Überholspuren

Überholspuren sind zusätzliche Fahrestreifen, die an Steigungen oder exponierten Stellen Überholmanöver vereinfachen. Das Ziel ist vor allem eine Verminderung des Unfallrisikos. Überholspuren werden in der Schweiz vor allem in den Bergen eingesetzt. Bisher stehen sie aber nicht im Fokus von Kosten-Nutzen Überlegungen. Diese Massnahmenart wird daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Tab. 40 Massnahmenbeschreibung VM-22 Überholspuren

VM-22	Überholspuren	Berechtigten
Definition	Zusätzliche Fahrspuren zur Ermöglichung von Überholmanövern in Steigungen und an exponierten Stellen	
Kombination		
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderung Unfallrisiko 	
Einsatz	HVS	
Beispiele	Passstrassen	

3.1.8 Fazit und Festlegung der Vertiefungsfälle

Das Ergebnis der Abbildungsanalyse für die verschiedenen Massnahmenarten des Verkehrsmanagements ist in *Tab. 41* zusammengefasst. Es ist festzustellen, dass für die relevanten Massnahmenarten grundsätzlich die Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Ausnahmen stellen die Komfortsteigerungen im MIV durch die Koordination Lichtsignalanlagen und die Steigerung der Aufenthaltsqualität und der Attraktivität für Fuss- und Velofahrer durch eine Pfortnerung. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

Tab. 41 Ergebnis Abbildungsprüfung Verkehrsmanagement

Massnahme	Abbildbarkeit bzw. Relevanz
VM-0 Informieren	Relevanz nicht gegeben, da immer in Kombination mit anderen Massnahmen
VM-1 Umfahrungsempfehlung	Wirkungen abgebildet
VM-2 Umleitung	Wirkungen abgebildet
VM-3 Intelligente Geschwindigkeitsassistentz (ISA)	Wirkungen abgebildet
VM-4 Variable Geschwindigkeitsbegrenzung	Wirkungen abgebildet
VM-5 Koordination Lichtsignalanlagen	Komfortsteigerung MIV nicht abgebildet
VM-6 Pannestreifenumnutzung (PUN)	Wirkungen abgebildet
VM-7 Umkehrbare Fahrstreifen	Relevanz nicht gegeben (in CH nicht verfolgt)
VM-8 Lichtsignalsteuerung	Relevanz nicht gegeben (isolierte LSA nicht im Fokus VM)
VM-9 Allgemeine Dosierung	Aufenthaltsqualität und Attraktivität Fuss- und Veloverkehr nicht abgebildet
VM-10 Zuflussregelung in Einfahrten	Wirkungen abgebildet
VM-11 Pfortnerung	Aufenthaltsqualität und Attraktivität Fuss- und Veloverkehr nicht abgebildet
VM-12 ÖV-Priorisierung	Wirkungen abgebildet
VM-13 Temporäre Schliessung von Ein- und Ausfahrten	Wirkungen abgebildet
VM-14 Parkraumbewirtschaftung	Relevanz nicht gegeben (grosse Vielfalt)
VM-15 Parkleitsystem	Wirkungen abgebildet
VM-16 Parkfeldreservation	Relevanz nicht gegeben (fehlende Grundlagen)
VM-17 Ausfahrtdosierung Parkierungsanlagen	Relevanz nicht gegeben (zu kleinräumig)
VM-18 Physische Busspuren	Wirkungen abgebildet
VM-19 Bidirektionale Busspuren	Wirkungen abgebildet
VM-20 Elektronische Busspuren	Wirkungen abgebildet
VM-21 Fahrstreifen für stark belegte Fahrzeuge	Relevanz nicht gegeben (Anschlussdichte)
VM-22 Überholspuren	Relevanz nicht gegeben (Fragestellung)

In den nachfolgenden Fallbeispielen werden die Massnahmenarten «VM-6 Pannenstreifenumnutzung (PUN)» und «VM-9 Allgemeine Dosierung» genauer betrachtet. PUNs werden derzeit vom ASTRA intensiv verfolgt und es ist eine Reihe von Projekten in Planung. Die Wirkungen einer PUN sind in der Kosten-Nutzen-Analyse abbildbar.

Dosierungen liegen derzeit im Fokus vieler Städte und Agglomerationen mit dem Ziel, den Verkehrsfluss im Kerngebiet zu verbessern und Rückstaus an verträglichere Orte zu verlagern. Die Wirkungen einer Dosierung sind in der Kosten-Nutzen-Analyse abbildbar, so lange es sich nicht um eine Pförtnerung handelt, welche das Ziel hat, die Aufenthaltsqualität bzw. die Attraktivität für Fuss- und Velofahrer zu erhöhen.

Im nächsten Schritt werden die Möglichkeiten und Grenzen zur Ermittlung der benötigten Mengen- und Wertgerüste für diese beiden Massnahmenarten aufgezeigt.

3.2 Vertiefungsfall «Pannestreifenumnutzung (PUN)»

3.2.1 Festlegung Referenzfall und Planfall

Beschreibung (abstrahiert)	<p>Eine Pannestreifenumnutzung (PUN) ist eine Verkehrsmanagementmassnahme des Grundelementes «Leiten» (SN 640 781). Gemäss ASTRA-Richtlinie [1] besteht das primäre Ziel einer PUN in der «Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Elimination von Konfliktstellen infolge von Rückstaus und Verflechtungsvorgängen». Durch die PUN entstehende Sicherheitsdefizite aufgrund des Wegfallens des Pannestreifens sollen durch entsprechende Massnahmen wie Geschwindigkeitsreduktion, Nothaltebuchten oder Verkehrsbeobachtung kompensiert werden. Gemäss ASTRA-Richtlinie ist eine PUN eine temporäre Massnahme bis zur späteren Realisierung eines regulären Ausbaus. In diesem Fall entspricht der Referenzfall dem heutigen Zustand, allenfalls mit anderen Verkehrsstärken in der Zukunft.</p> <p>Es ist in Zukunft jedoch auch denkbar, dass eine PUN als eine kostengünstigere und einfach zu realisierende Alternative zu einem Infrastrukturausbau erwogen wird. In diesem Fall entspricht der Referenzfall dem Zustand mit Infrastrukturausbau einschliesslich des Zeitraums zwischen Einrichtung der PUN und Fertigstellung des Infrastrukturausbaus.</p> <p>Aufgrund der aktuellen Weisungslage des ASTRA wird im nachfolgenden Fallbeispiel die PUN als temporäre Massnahme betrachtet.</p>
Fallbeispiel	<p><u>Temporäre Pannestreifenumnutzung</u></p> <p>Das Fallbeispiel für eine temporäre Pannestreifenumnutzung wird gedanklich am HLS-Streckenabschnitt Winterthur-Töss – Winterthur-Wülflingen beschrieben. Ziel der Forschungsarbeit ist es NICHT, eine effektive Bewertung einer PUN auf diesem Abschnitt selber durchzuführen. Es hilft aber, Vorgehensweisen für die Bewertung besser zu erläutern.</p>
Referenzfall	<p>Im Fokus liegt der HLS-Streckenabschnitt der Autobahn A1 zwischen den Anschlüssen Winterthur-Töss und Winterthur-Wülflingen (blau markiert, vgl. Abb. 9). Er weist zwei Fahrstreifen pro Richtung auf einer Länge von 4.8 km auf und ist Bestandteil der geplanten PUN-Massnahmen des ASTRA für Nationalstrassen. Heute sind ausgeprägte Nachfragespitzen vorhanden, welche die Kapazitäten übersteigen. Es kommt in den HVZ zu Überlastungen mit Staufolge. Der Streckenabschnitt ist bereits heute mit Wechselsignalen zur variablen Geschwindigkeitsbegrenzung ausgerüstet. Diese werden auch im Referenzfall betrieben. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit ist abhängig vom Betriebszustand. Bei hoher Auslastung in der Spitzenstunde wird sie häufig auf 80 km/h beschränkt.</p> <p>Der Abschnitt zwischen Winterthur-Töss und Winterthur-Wülflingen bleibt zweistreifig (je Richtung). Es werden keine PUN-Massnahmen realisiert, zudem werden auch keine weiteren Verkehrsmanagement-Massnahmen gegenüber dem heutigen Zustand getroffen. Die Höchstgeschwindigkeit bleibt unverändert.</p>

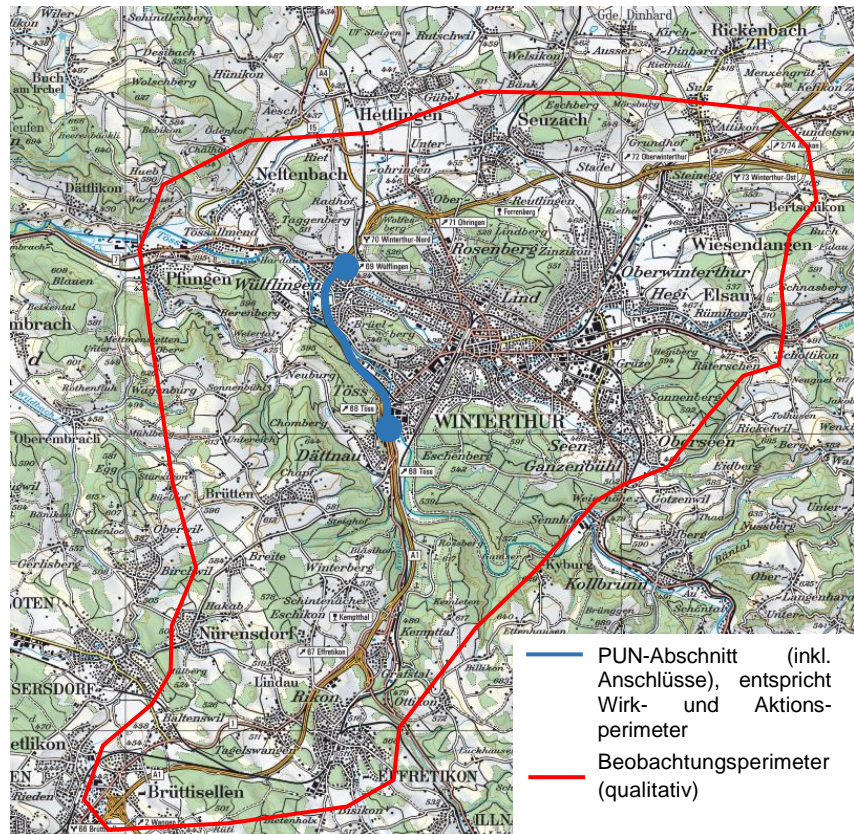


Abb. 9: Übersicht Fallbeispiel Winterthur-Töss – Winterthur-Wülflingen (Quelle: map.geo.admin.ch)

Planfall

Auf dem Abschnitt soll bis 2019 in beide Richtungen eine temporäre PUN realisiert werden. Durch die Freigabe des Pannenstreifens in den HVZ (ausschliesslich) werden kurzfristig zusätzliche Kapazitäten bereitgestellt. Die Bestimmung der Betriebsdauer erfolgt in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens. Im Fallbeispiel wird der Pannenstreifen je 3 h in der MSP und ASP geöffnet (Annahme). Die Signalisation erfolgt mittels Fahrstreifen-Lichtsignal-Systeme (FLS) sowie Wechselsignalen zur Warnung (vgl. [1]). Hierzu muss der Abschnitt technisch ausgestattet werden.

Das Programm Engpassbeseitigung (PEB2) beinhaltet einen Ausbau der Strecke im Rahmen der Erweiterung N1 Umfahrung Winterthur zwischen Winterthur-Töss und der Verzweigung Winterthur auf 6-Fahrstreifen. Entsprechend der einleitend erwähneter Zweck der PUN dient diese als Übergangsmassnahme. Übergangsmassnahme. Für eine Bewertung ist eine Nutzungsdauer festzulegen, z.B. 15 Jahre, bis die Bauarbeiten für den Ausbau beginnen.

Die betrachtete Pannenstreifenumnutzung ist im Rahmen der Planungen genauer zu spezifizieren. Dies umfasst unter anderem die räumliche Ausdehnung, die Ziele der Freigabe des Pannenstreifens, die vorgesehenen baulichen Massnahmen (u.a. allfällige Verstärkungsmassnahmen), Steuerungsanlagen, Steuerungsprinzipien und Auswirkungen auf bestehende Infrastruktur.

Grundsätzlich muss bei einer PUN im Einzelfall beurteilt werden, ob das bestehende Geschwindigkeitsregime angemessen ist. Das ASTRA [1] empfiehlt allerdings, eine temporäre Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vorzunehmen, welche mittels Wechselsignalen angezeigt wird. Diese ist wie im Referenzfall abhängig vom Betriebszustand. Da sich die Kapazitätserhöhung positiv auf den Verkehrsfluss auswirkt kann in der Regel eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h zugelassen werden.

Neben den Sicherheitsgründen kann sich eine Temporeduktion auch positiv auf die Streckenleistungsfähigkeit auswirken. Die Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen können verringert werden [51]. Zudem wird ein homogenerer Verkehrsfluss erreicht, welcher die Anzahl Fahrstreifenwechsel reduzieren dürfte. Damit kann der Kapazitätsabfall vom stabilen in den instabilen Zustand verzögert werden. Um dies abzubilden, ist eine Simulation des Verkehrsflusses notwendig.

3.2.2 Systemabgrenzung

Für das Fallbeispiel «PUN» werden folgende Systemabgrenzungen vorgenommen:

Zeitlich Gemäss Richtlinien des ASTRA ist die PUN eine «vorübergehende Massnahme bis zur späteren Realisierung eines regulären Ausbaus». Im Rahmen der zeitlichen Abgrenzung ist daher einerseits die Nutzungsdauer und andererseits ein geeignetes Prognosejahr zu definieren. Falls die PUN mit einem Neubauprojekt verglichen werden soll, sollte für beide Massnahmen der kürzere Lebenszyklus als Nutzungsdauer verwendet und Restwerte berücksichtigt werden.

Die Nutzungsdauer ergibt sich aus dem geplanten Eröffnungsjahr und dem geplanten Beginn der Bauarbeiten für den Ausbau. Für das Fallbeispiel der PUN Winterthur-Töss und Winterthur-Wülflingen ist die Eröffnung der PUN für das Jahr 2019 vorgesehen und der Ausbau auf 6-Fahrstreifen für das Jahr 2030. Daraus ergibt sich eine voraussichtliche Nutzungsdauer von 11 Jahren.

Bei der Berechnung der Auswirkungen der PUN ist die Entwicklung des Verkehrsaufkommens während der Nutzungsdauer zu berücksichtigen. Falls ein Verkehrsmodell mit einem Prognosezustand existiert, kann dies für die Abschätzung der Entwicklung verwendet werden. Falls eine lineare Entwicklung des Verkehrsaufkommens angenommen werden kann, kann für die Berechnung der Auswirkungen ein mittlerer Prognosezustand verwendet werden. Falls eine nichtlineare Entwicklung oder Sprünge in der Entwicklung anzunehmen sind, sollten mehrere Prognosezustände bestimmt werden.

Falls kein geeigneter Prognosezustand eines Verkehrsmodells vorliegt, können alternativ auf Basis von Zählstellendaten jährliche Wachstumsraten ermittelt werden und auf dieser Basis ein mittlerer Prognosezustand bestimmt werden.

Räumlich Der Wirk- und Aktionsperimeter (direkt betroffenes Gebiet) entspricht dem Abschnitt Winterthur-Töss – Winterthur-Wülflingen mit den damit verbundenen Anschlussbauwerken (vgl. Abbildung 3, blau markiert).

Der Beobachtungsperimeter muss gemäss der Bedeutung von Räumen an der Verkehrsbelastung auf dem Abschnitt Winterthur-Töss – Winterthur-Wülflingen definiert werden. Er muss relevante Quellen und Ziele der Fahrten auf der PUN-Strecke enthalten (mit entsprechenden Verkehrsachsen). Mögliche Vorgehen sind dabei:

- Perimeter gemäss vorhandenem kantonalen Verkehrsmodell, beispielsweise wird bei einer Anwendung des Verkehrsmodells des Kantons Zürich (GVM-ZH) dessen räumlichen Perimeter für den Beobachtungsperimeter übernommen.

-
- Bei Verkehrsmodellen mit räumlich weitergehenden Abbildungen (Bsp. NPVM) ist für das PUN-Streckenelement eine Spinnenanalyse durchzuführen.
 - Ist kein geeignetes Verkehrsmodell verfügbar, muss aufgrund einer qualitativen Einschätzung der Verkehrsströme auf dem HLS-Netz eine Abgrenzung vorgenommen werden. Für das Beispiel Winterthur müssten etwa – ohne detaillierte Analyse – das Einflussgebiet die Stadt Winterthur (Quell- und Zielverkehr) sowie die nächsten Autobahn-Verzweigungen enthalten (vgl. Abbildung 8, rot markiert).
-

Sachlich: Betrachtet wird der MIV (PW, Lieferwagen, Schwerverkehr, Car, Motorrad) und der ÖV. Fuss- und Veloverkehr wird vernachlässigt, da diese Verkehrsmittel auf dem HLS-Netz nicht zulässig sind und angenommen wird, dass die Auswirkungen auf städtische Strassen vernachlässigbar sind.

3.2.3 Ermittlung der Auswirkungen

Gemäss der Abbildungsanalyse in Kapitel 3.1.4 sind bei der Einrichtung einer PUN im wesentlichen Auswirkungen auf die nachfolgenden Grössen zu erwarten:

- 1) Kosten gemäss SN 641 820, insbesondere NISTRA Indikatoren W111, W112, W114 und W115
- 2) Verkehrliches Mengengerüst mit Auswirkungen auf die NISTRA Indikatoren W115, W121, W122, W123, W124, W125, W127, U111, U211 und G211
- 3) Zuverlässigkeit (NISTRA Indikator W122)
- 4) Unfallraten (NISTRA Indikator G211)

Für jede dieser Grössen wird im Folgenden erläutert, welche Auswirkungen jeweils zu erwarten sind und wie diese quantifiziert werden können.

1) Kosten gemäss SN 641 820

Ergebnisse der Recherche

Die Kosten einer PUN hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab und variieren stark. Es ist daher dringend zu empfehlen, die Kosten der PUN im Rahmen der Planungen für das konkrete Projekt zu ermitteln. Dazu gehören die Kosten für Landerwerb, notwendige Änderungen an der Infrastruktur und die Installation und den Betrieb von Steuerungsanlagen und notwendige Unterhaltskosten. Im Vergleich zum Referenzfall sind zudem evtl. entfallende Ersatzinvestitionen, z.B. für die bestehenden Wechselzeichen zu ermitteln. Im Folgenden werden daher die folgenden drei Kostenindikatoren erörtert:

- Baukosten (NISTRA Indikator W111)
- Ersatzinvestitionen (NISTRA Indikator (W112)
- Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse (NISTRA Indikator (W114)
- Auswirkungen auf den ÖV (NISTRA Indikator (W115)

Baukosten

Das ASTRA plant derzeit über 15 PUN-Projekt auf dem Nationalstrassennetz (mehrheitlich temporäre PUN). Diese weisen unterschiedliche Projektstände auf. Erfahrungswerte zu den effektiven Baukosten existieren jedoch derzeit noch nicht. Die Bandbreite der notwendigen baulichen Anpassung ist sehr gross und reicht von reinen Markierungsarbeiten bis zum Neubau des Fahrstreifens. Auf jeden Fall bedingen PUN eine

dynamische Fahrstreifensignalisation, die recht kostenintensiv ist. Als Orientierungswerte können die derzeitigen Kostenschätzungen für die folgenden zwei PUN Projekte dienen:

- A2/A3 bei Augst
Länge der PUN ca. 2 km, Investitionskosten: ca. 5 Mio CHF = 2.5 Mio. CHF / km
- A6 zwischen Bern/Wankdorf und Muri
Länge der PUN ca. 3.8 km, Investitionskosten: ca. 35 Mio CHF = 9.0 Mio. CHF / km

Die beiden Beispiele zeigen, wie gross die Spannweite ist. Im Fall der A6 lassen die hohen Investitionskosten z.B. auf einen eigentlichen Umbau des Pannestreifens zu einem vollwertigen Fahrstreifen schliessen. Aus diesen Gründen ist das Ausweisen von Einheitskostensätzen zu diesem Zeitpunkt schwierig.

Es ist daher unerlässlich, im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse eine Kostenschätzung für das konkret vorliegende PUN-Projekt zu verwenden. Idealerweise stammt diese aus dem Bauprojekt. Liegt dieses zum Zeitpunkt der Durchführung der KNA noch nicht vor, sollten bei der Kostenschätzung im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse mindestens folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

- Ist der bestehende Querschnitt gross genug für die Umnutzung?
Der Querschnitt sollte in der Regel mindestens 10 m betragen. In Ausnahmefällen sind auch 9.25 m möglich.
- Reicht die Oberbaustärke des best. Pannestreifens für die Aufnahme des Verkehrs aus?
- Lage der PUN: Liegt die PUN zwischen zwei Anschlüssen oder geht sie über Anschlüsse hinweg?
- Ist die Verkehrsbelastung in den Anschlussbereichen derart, dass die PUN über den Anschlussbereich durchgezogen werden kann, oder muss der Anschlussbereich infolge starker Verkehrsbelastung aufwändig baulich umgestaltet werden?
- Liegt der Bereich mit PUN in einer Kurve mit grosser Differenz des Quergefälles von Fahrbahn und Pannestreifen?
Ist dies der Fall, sind aufwändige bauliche Anpassungen erforderlich.
- Liegen viele Schächte und Leitungen im Pannestreifen?
- Wo liegen die Widerlager von Brücken / Überführungen?
- Ist die Sichtweite ausreichend?

Ersatzinvestitionen

Die Lebensdauer der Pannestreifen dürfte sich nicht von anderen Fahrstreifen unterscheiden und ist gemäss SN 641 820 nach Bauteilen zu differenzieren.

Hinsichtlich der Abschätzung der Lebensdauern von Steuerungsanlagen ist auf der einen Seite zu beachten, dass es sich bei PUN gemäss der Richtlinie des ASTRA um eine «vorübergehende Massnahme bis zur späteren Realisierung eines regulären Ausbaus» handelt. Das bedeutet, dass eine PUN per Definition in der Regel nur für etwa 15 Jahren betrieben wird. Der Betrachtungszeitraum für eine Kosten-Nutzen-Analyse sollte entsprechend festgelegt werden. Falls die Verkehrsmanagementmassnahme mit einem Neubauprojekt verglichen werden soll, sollte für beide Massnahmen der kürzere Lebenszyklus als Nutzungsdauer verwendet und Restwerte berücksichtigt werden. Ersatzinvestitionen für die PUN sind dann nicht zu berücksichtigen.

Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse

Der betriebliche Unterhalt wird gemäss SN 641 826 berechnet. Es werden die Einflussfaktoren Verkehrsbelastung (DTV) und Anzahl Fahrstreifen berücksichtigt. Damit liegen Kennzahlen für den fahrleistungsabhängigen Unterhalt vor.

Da die Unterhaltskosten für die Steuerungsanlagen in erheblichem Mass von der verwendeten Signalisations- und Erfassungstechnik abhängig sind, wird empfohlen für das konkrete Projekt eine Kostenschätzung zu erstellen. Falls keine konkrete Kostenschätzung vorliegt, können die in [32] für die Überarbeitung der SN 641 826 entwickelten Zu- und Abschlagsfaktoren verwendet werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, die gesamten Betriebs- und Unterhaltskosten gemäss der in [32] beschriebenen Methode zu berechnen, da die Struktur der Kostenmodelle für die neue SN 641 826 grundlegend überarbeitet worden ist.

Auswirkungen auf den ÖV

Es ist zu erwarten, dass es aufgrund einer PUN zu Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl kommt. Im Rahmen der Ermittlung des verkehrlichen Mengengerüsts ist daher für diesen Indikator die Veränderungen der Personenkilometer respektive Personenfahrten im ÖV zu bestimmen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer PUN

Baukostensätze für eine PUN stehen aufgrund fehlender Erfahrungswerte derzeit noch nicht zur Verfügung. Es ist daher dringend zu empfehlen, die Kosten der PUN im Rahmen der Planungen für das konkrete Projekt zu ermitteln, idealerweise im Rahmen des Bauprojektes, ansonsten mittels einer Grobkostenschätzung.

Die Lebensdauer der Pannenstreifen dürfte sich nicht von anderen Fahrstreifen unterscheiden und ist gemäss SN 641 820 nach Bauteilen zu differenzieren. Da PUN per Weisung des ASTRA temporäre Massnahmen sind, übersteigt die Lebensdauer der Steuerungsanlagen in der Regel die Dauer des PUN-Projektes. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass keine planmässigen Ersatzinvestitionen notwendig sind und der Restwert der Steuerungsanlagen am Ende der Lebensdauer vernachlässigbar ist.

Der betriebliche Unterhalt für den fahrleistungsabhängigen Unterhalt wird gemäss SN 641 826 berechnet. Für die Abschätzung der Unterhaltskosten der Steuerungsanlagen sind die Kosten in erheblichem Mass von der verwendeten Signalisations- und Erfassungstechnik abhängig. Daher wird wiederum empfohlen für das konkrete Projekt eine Kostenschätzung zu erstellen.

Liegen keine Informationen zu den Steuerungsanlagen vor, können die in [32] für die Überarbeitung der SN 641 826 entwickelten Zu- und Abschlagsfaktoren verwendet werden. In diesem Fall sollten die gesamten Betriebs- und Unterhaltskosten gemäss der in [32] beschriebenen Methode berechnet werden, da die Struktur der Kostenmodelle sich grundlegend von der aktuellen SN 641 826 unterscheidet.

Es ist zu erwarten, dass es aufgrund einer PUN zu Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl kommt. Im Rahmen der Ermittlung des verkehrlichen Mengengerüsts ist daher für diesen Indikator die Veränderungen der Personenkilometer respektive Personenfahrten im ÖV zu bestimmen.

2) Verkehrliches Mengengerüst

Ergebnisse der Recherche

Das verkehrliche Mengengerüst dient als Eingangsgrösse für eine Reihe von Indikatoren. Die gemäss Abbildungsanalyse relevanten Indikatoren im Fall einer PUN sind:

- Auswirkungen auf den ÖV (NISTRA Indikator W115)
- Reisezeitveränderungen Stammverkehr (NISTRA Indikator W121)
- Veränderung der Zuverlässigkeit (NISTRA Indikator W122)
- Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr (NISTRA Indikator W123)
- Nettonutzen Mehrverkehr (NISTRA Indikator W124)
- Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr (NISTRA Indikator W127)
- Luftbelastung (NISTRA Indikator U111)
- Klimaeffekt (NISTRA Indikator U211)
- Unfälle (NISTRA Indikator G211)

Es sind daher die Veränderungen folgender Grössen zu bestimmen:

- Verkehrsaufkommen bzw. die Verkehrsleistung im ÖV für den Indikator W115
- Reisezeiten im Stamm- und Mehrverkehr auf der Strasse nach Verkehrsmittel für die Indikatoren W121, W124
- Verkehrsbelastung je Streckenabschnitt für den Indikator W122
- Fahrleistungen der Fahrten im Mehrverkehr auf der Strasse für die Indikatoren W127 und W124
- Fahrleistungen der Fahrten im Stammverkehr auf der Strasse für den Indikator W123
- Fahrleistungen auf der Strasse (Gesamtverkehr) differenziert nach Ortslage, und Fahrzeugkategorie für die Indikatoren U111, U211 und G211

Diese Grössen können mit Hilfe eines Verkehrsmodells oder einer Simulation des Verkehrsablaufs bestimmt werden. Im Folgenden wird erläutert, was dabei zu beachten ist.

Gemäss [27] trägt die Vermeidung von Verlustzeiten, die infolge der Überlastung auftreten, wesentlich zum Nutzen einer PUN bei. Um dies in der Kosten-Nutzen-Analyse abzubilden, müssen die Veränderung der Reisezeiten auf dem HLS-Netz, inklusive Berücksichtigung von Routenwähländerungen, modelliert werden. Dabei müssen zwingend die Interaktionen zwischen den Strassennetzhierarchien berücksichtigt werden. Winterthur weist beispielsweise starke Abhängigkeiten zwischen dem HLS-Netz mit einer hohen Anschlussdichte und den städtischen Hauptverkehrsachsen auf. Die Reisezeitenveränderungen sind im ganzen Beobachtungssperimeter zu berücksichtigen.

Ein wesentlicher Faktor bei der Berechnung der Verlustzeiten sind die tatsächlich fahrbaren Geschwindigkeiten. Für den Referenzzustand sollte dafür nach Möglichkeit auf Beobachtungswerte zurückgegriffen werden. Gemäss Fallbeispiel beträgt bei hoher Auslastung die Geschwindigkeit in der Spitzenstunde häufig nur 80 km/h. Bei der Beschreibung des Referenzfalls muss nun ermittelt werden, wie oft dieser Zustand eintritt. Dies kann auf der Grundlage von bestehenden Verkehrsmessstellen oder neuen Erhebungen erfolgen. Die beobachteten Geschwindigkeiten sollten zudem zur Kalibration der anschliessenden modellbasierten Berechnung der Reisezeiten und Verkehrsbelastungen für den Planfall verwendet werden.

Die Berechnung der Reisezeiten, Verkehrsbelastungen und Fahrleistungen kann entweder mittels mikroskopischer Simulation des Verkehrsflusses oder mittels makroskopischer Umlegung erfolgen. Mit einer mikroskopischen Simulation des Verkehrsflusses kann das effektive, kleinräumige Verkehrsgeschehens einschliesslich Staudynamik und Verflechtungsvorgängen abgebildet werden. Mit Hilfe der mikroskopischen Simulation können zudem auch die oben angesprochenen Auswirkungen einer Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf die Leistungsfähigkeit der Strecke abgebildet werden. Routenwahleffekte können mittels dynamischer Umlegung modelliert werden. Der Aufbau und die Kalibration einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation für den

gesamten Beobachtungssperimeter, welcher im Fallbeispiel z.B. die gesamte Stadt Winterthur und die A1 zwischen dem Brüttiseller Kreuz und dem Dreieck Winterthur Ost umfasst, ist jedoch mit sehr grossen Aufwänden verbunden. Zudem müssen zur Absicherung der Resultate sowohl für die Kalibration als auch für die Auswertung jeweils mehrere Simulationsläufe gerechnet und die Ergebnisse gemittelt werden.

Der Aufwand für eine makroskopische Modellierung ist deutlich geringer, insbesondere wenn ein bestehendes Modell als Grundlage verwendet werden kann. Allerdings können mit einem makroskopischen Modell mit statischer Umlegung die Interaktionen zwischen den Fahrzeugen und ihre Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit nicht beschrieben werden. Um die Effekte möglichst realitätsnah zu beschreiben müssen die Kapazitäten und der Capacity Restraint-Funktionen¹ sorgfältig überprüft und allenfalls angepasst werden.

Eine Alternative ist die Verwendung einer dynamischen Gleichgewichtsumlegung mit kleinen Zeitintervallen (z.B. 5 oder 10 Minuten) im makroskopischen Modell. Mit einer dynamischen Umlegung können die Ausbreitung und der Abbau von Rückstaus abgebildet werden. Zudem können zeitliche Variationen der Reisezeiten aufgrund von Rückstau oder dynamischer Geschwindigkeitsregulierung abgebildet werden.

Da eine dynamische Umlegung aufwändig in der Rechenzeit ist, sollte der Beobachtungssperimeter aus dem Modell ausgeschnitten werden. Zudem müssen diverse Attribute wie Kapazitäten von Strecken und Knoten überprüft werden und zeitabhängige Attribute eingefügt werden. Ausserdem muss die dynamische Umlegung für das Teilnetz neu kalibriert werden. Wie in [59] ausgeführt, ist dies aufwändiger als die Kalibration eines statischen Umlegungsmodells, da eine dynamische Umlegung sensitiver auf die Einstellung der Kapazitäten reagiert.

Sind aufgrund der PUN Änderungen in der Verkehrsmittelwahl zu erwarten, können diese entweder mit einem Verkehrsmodell oder mittels einer vereinfachten Abschätzung berechnet werden. Beide Vorgehensweisen haben gewissen Einschränkungen. Die Bestimmung des Modal Shifts mit einem Verkehrsmittelwahlmodell bedingt, dass ein geeignetes Modell vorhanden ist. Zudem kann eine Rückkoppelung zur Ziel- und Verkehrsmittelwahl ohne weitere Zwischenschritte nur gerechnet werden, wenn die Berechnung der Reisezeiten und Routenwahleffekte mit dem (in der Regel statischen) Umlegungsmodell des originalen Verkehrsmodells geschehen ist. Falls dies hingegen mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation oder dynamischer Umlegung eines Teilnetzes erfolgt, müssen die resultierenden Fahrzeiten so aufbereitet werden, dass sie in den Kenngrössenmatrizen des Verkehrsmodells berücksichtigt werden. Dieser Prozess kann aufwändig werden.

Weniger aufwändig ist die Abschätzung des Modal Shifts mittels Pivot-Point Ansatz[42]. Dabei wird der Anteil des Verkehrsmittels k im Planzustand P'_k berechnet ausgehend vom Anteil des Verkehrsmittels k im Referenzzustand P_k^0 und der Veränderung des Nutzens V'_k gegenüber dem Nutzen im Referenzzustand V_k^0 relativ zur Veränderung der Anteile aller Verkehrsmittel i .

$$P'_k = \frac{P_k^0 \cdot \exp(V'_k - V_k^0)}{\sum_i P_i^0 \cdot \exp(V'_i - V_i^0)}$$

Zur Veranschaulichung des Pivot-Point Ansatzes dient folgendes stark vereinfachte Beispiel. Berechnet werden soll der Modal Shift von Pendler-Fahrten zwischen A-Dorf und B-Stadt aufgrund einer Verkürzung der Reisezeit im MIV von 5 Minuten berechnet werden. Die Fahrtzeiten im Referenzfall und im Planfall sind in Tab. 42 dargestellt. Der bimodale Modal Split im Referenzfall liegt bei 70% MIV und 40% ÖV.

¹ Capacity Restraint-Funktionen werden in Verkehrsmodellen dazu verwendet, die Auswirkungen der Auslastung, d.h. des Verhältnisses zwischen Belastung und Kapazität, einer Strecke auf die Fahrtzeit abzubilden.

Der Nutzen V_k des Verkehrsmittels k in diesem Beispiel wird nur durch die Reisezeit bestimmt und errechnet sich aus der Reisezeit * Reisezeitparameter. In einer realen Anwendung beinhalten die Nutzenfunktionen weitere Kostenkomponenten wie die Anzahl Umsteigevorgänge im ÖV oder den Treibstoffpreis im MIV. Falls Verkehrsmodell vorliegt sind die dort spezifizierten Nutzenfunktionen und Parameter zu verwenden. Falls kein Verkehrsmodell vorliegt, sollten sie aus bestehenden Verkehrsmodellen übernommen werden. Die Reisezeitparameter in diesem Beispiel stammen aus dem NPVM 2010 [21].

Tab. 42 Beispielrechnung Pivot-Point Ansatz

Verkehrsmittel k	Reisezeitparameter [1/min]	Referenzfall			Planfall		
		Reisezeit [min]	Nutzen V_k^0 [-]	VM-Anteil P_k^0 [%]	Reisezeit [min]	Nutzen V_k' [-]	Modal Split [%]
MIV	-0.049	30	-1.47	70.0	25	-1.23	74.9
ÖV	-0.028	25	-0.98	30.0	35	-0.98	25.1

Zur Berechnung des Modal Shifts wird, wie in Tab. 42 aufgezeigt, der Nutzen für den Referenzfall V_k^0 und den Planfall V_k' . Da in dem gewählten Beispiel die Nutzenfunktion nur aus der bewerteten Reisezeit besteht, ist der Nutzen negativ. Anschliessend wird auf Basis der Differenz dieser Nutzen und des bekannten Modal Split im Referenzzustand der Modal Split im Planzustand mit der oben angegebenen Formel berechnet. Demnach führt eine Reduktion der Fahrtzeit im MIV von 30 auf 25 Minuten, dazu dass 4.9% der Wege neu mit dem MIV statt mit dem ÖV durchgeführt werden.

Nach der Berechnung der neuen Verkehrsnachfrage für den MIV sollte eine Rückkoppelung zur dynamischen Umlegung oder zur Simulation gerechnet werden. In der Regel dürfte dies ausreichend sein. Sollten sich jedoch grosse Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl ergeben, kann es notwendig sein mehrere Iterationen mit Rückkoppelung zu rechnen. Bei der Verwendung eines solchen vereinfachten Ansatzes ist jedoch zu bedenken, dass in komplexen Systemen oder bei grossen Änderungen wird die Wirkung u.U. nicht ausreichend erfasst wird. Ausserdem ist die Abgrenzung der Effekte im Beobachtungssperimeter schwierig.

Sind durch die PUN Änderungen in der Zielwahl zu erwarten, so ist für die Abbildung dieser Effekte ein Verkehrsmodell notwendig. Da in den meisten Schweizer Verkehrsmodellen die Ziel- und Verkehrsmittelwahl gekoppelt gerechnet wird, erfolgt dies in der Regel in Kombination mit der Berechnung des Modal Shifts. Für die Abschätzung von Neuverkehr sollte ebenfalls ein Verkehrsmodell oder Elastizitäten gemäss [58] verwendet werden. Dabei ist es jedoch relevant zu betrachten, ob die PUN ganztätig oder nur temporär betrieben werden soll. Bei einem Betrieb in der HVZ werden mutmasslich vor allem Pendlerfahrten unternommen. Dabei ist die Generierung von Neuverkehr bzw. die Zielwähländerungen von untergeordneter Bedeutung.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer PUN

Mit einem makroskopischen Modell mit statischer Umlegung können die Interaktionen zwischen den Fahrzeugen und ihre Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit nicht beschrieben werden. Daher ist zur Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen einer PUN der Aufbau einer Verkehrsflusssimulation zu empfehlen. Falls der damit verbundene Aufwand zu gross ist, kann alternativ eine dynamische Gleichgewichtsumlegung mit kleinen Zeitintervallen (z.B. 5 oder 10 Minuten) in einem makroskopischen Modell in Betracht gezogen werden, mit welcher zumindest die zeitlichen Variationen der Reisezeiten aufgrund von Rückstau oder dynamischer Geschwindigkeitsregulierung abgebildet werden können.

Für die Abschätzung des Modal Shifts empfehlen wir den Pivot-Point Ansatz. Anschliessend sollte mit der neuen MIV-Nachfrage mindestens eine Rückkoppelung zur dynamischen Umlegung oder zur Simulation gerechnet werden.

Wird eine PUN nur in der HVZ betrieben, können die Auswirkungen auf die Zielwahl und Neuverkehre vernachlässigt werden. Wird die PUN jedoch ganztägig betrieben, so ist für die Abbildung der Zielwahleffekte ein Verkehrsmodell notwendig. Für die Abschätzung von Neuverkehr sollte ebenfalls ein Verkehrsmodell oder Elastizitäten gemäss [58] verwendet werden.

1) Zuverlässigkeit**Ergebnisse der Recherche**

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit im Wirk- und Aktionsperimeter ist ein wichtiges Ziel bei der Einrichtung einer PUN. Zuverlässigkeit wird gemäss SN 641 825 verstanden als die Zeit, die ein Reisender früher oder später als erwartet an seinem Ziel ankommt. Im Fallbeispiel werden durch die Bereitstellung zusätzlicher Kapazität die Leistungsfähigkeit der Strecke erhöht und dadurch die Rückstaulängen verringert. Dies hat nicht nur einen positiven Effekt auf die Reisezeit, sondern auch auf die Zuverlässigkeit der Reisezeit.

Für die Bewertung der Auswirkungen von Kapazitätserweiterungen im HLS Netz auf die Zuverlässigkeit wurde als Ergänzung zur neuen SN 641 825 (Stand 2017) ein Excel-Tool entwickelt, welches auf der Analyse realer Zählraten in (Bernard, 2008) aufbaut und in [15] genauer beschrieben wird. Darin erfolgt eine Berechnung der gesellschaftlichen generalisierten Kosten der Zuverlässigkeit einer Strecke anhand der Zusammenbruchwahrscheinlichkeit und den daraus resultierenden Verfrühungen und Verspätungen. Berücksichtigt werden dabei die Verkehrsbelastung, der Schwerverkehrsanteil, der Sättigungsgrad der Strecke sowie die für die Strecke typische Ganglinie der Verkehrsnachfrage.

Bei der Anwendung des Excel-Tools ist allerdings zu beachten, dass es primär für die Bewertung von dauerhaften Effekten entwickelt wurde, welche den ganzen Tag gelten. Eine PUN ist jedoch nur einige Stunden am Tag, während der Hauptverkehrszeit geöffnet. Die automatische Hochrechnung auf Jahreswerte kann daher nicht verwendet werden. In dem Excel-Tool werden jedoch die generalisierten Kosten für jede Stunde ausgewiesen. Für die Modellierung einer PUN sollten daher die Berechnung einmal mit der Kapazität der PUN und einmal mit der Kapazität ohne PUN vorgenommen und dann für die Kosten pro Jahr, die generalisierten Kosten der jeweiligen Stunden aus den separaten Berechnungen zusammengeführt werden.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer PUN Für die Ermittlung der Auswirkungen einer PUN auf die Zuverlässigkeit kann das als Ergänzung zur SN 641 825 (Stand 2017) entwickelte Excel-Tool verwendet werden.

Bei der Anwendung dieses Tools ist zu beachten, dass dieses nicht nur die Mengengerüste zur Bewertung der Zuverlässigkeit, sondern bereits die generalisierten Kosten gemäss SN 641 825 ausweist. Zudem wurde das Excel-Tool nicht für die Bewertung von Massnahmen entwickelt, die nur während eines Teil des Tages aktiv sind. Es werden jedoch die generalisierten Kosten für jede Stunde ausgewiesen. Für die Modellierung einer PUN sollten daher Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit mit und ohne Kapazitätserweiterung der PUN berechnet und die generalisierten Kosten der jeweiligen Stunden zusammengeführt werden.

3) Unfallraten

Ergebnisse der Recherche

Die Sicherheit von Pannestreifenumnutzung wurde in der Vergangenheit breit diskutiert. Es muss dabei zwischen dem Streckenabschnitt, auf dem die PUN besteht, der Zulaufstrecke und dem untergeordneten Netz unterschieden werden. Im untergeordneten Netz verändern sich die Unfallraten und die Unfallkostenraten grundsätzlich nicht. Durch eine PUN steht allerdings mehr Kapazität auf dem Hochleistungsnetz zur Verfügung, was zu einer Entlastung des untergeordneten Netzes führt. Durch diese Entlastung sinkt die Zahl der Unfälle auf dem untergeordneten Netz. Da die Unfallraten und die Unfallkostenraten im untergeordneten Netz deutlich höher sind als im Hochleistungsnetz, ist hier eine wesentliche positive Wirkung der PUN zu erwarten.

Im direkten Zusammenhang mit einer PUN sind auf dem Hochleistungsnetz verschiedene gegenläufige Wirkungen zu erwarten. Einerseits steigt im Bereich der PUN das Unfallrisiko aufgrund der erhöhten Häufigkeit von Fahrstreifenwechseln (vgl. [52]) und dem Entfall von Sicherheitszonen für Pann- und Unfallfahrzeuge (vgl. [1]). Andererseits nimmt die Fahrzeugdichte ab, was wiederum das Unfallrisiko senkt (vgl. [34]). Auf der Zulaufstrecke hingegen sinkt das Unfallrisiko, da es zu weniger staubedingten (Auffahr-)Unfällen kommt (vgl. [27]). Gleichzeitig entsteht sowohl im Bereich der PUN als auch auf der Zulaufstrecke Mehrverkehr, was zu einer Erhöhung der Zahl der Unfälle führt.

Zur Quantifizierung des Ausmasses dieser Effekte wurden in verschiedenen Ländern Studien in Auftrag gegeben. [34] untersuchte den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke, Dichte, Geschwindigkeit und Verkehrssicherheit auf ausgewählten Autobahnabschnitten in Colorado. Die empirischen Unfallzahlen in dieser Studie zeigen, dass mit steigender Verkehrsstärke die Unfallraten bis zu einem gewissen Grenzwert relativ konstant bleiben. Wird dieser Grenzwert überschritten, gibt es einen deutlichen Anstieg der Unfallraten. Dies ist vor allem auf eine hohe Dichte bei immer noch relativ hoher Geschwindigkeit in den Beobachtungen zurückzuführen. Der so hergestellte nichtlineare Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallzahlen wurde anschliessend verwendet, um den Effekt einer PUN auf dem Autobahnring um Denver abzuschätzen. Auf dem betroffenen Abschnitt mit zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung verkehren in der Spitzenstunde 1'870 Fz/h/Fahrstreifen. Die Unfallrate liegt bei 1.25 Unfälle/Mio. Fz-Meilen. Mit Einführung einer PUN liegt die durchschnittliche Verkehrsstärke bei 1'245 Fz/h/Fahrstreifen, und die Autoren rechnen – nach Erhöhung der theoretischen Unfallrate um 25% zur Kompensation des fehlenden Standstreifens – mit einer Unfallrate von 0.58 Unfälle/Mio. Fz-Meilen. Es fehlt jedoch derzeit noch die Ex-Post-Evaluation der Güte dieser Vorhersage.

In Deutschland hat die Verkehrszentrale Hessen die Auswirkungen eines PUN Pilot-Projektes auf der A3 zwischen Offenbach und Obertshausen auf die Unfallraten ausgewertet [47]. Wie in *Abb. 10* zu sehen ist, sinken insgesamt durch die PUN die Unfallraten, die Auswirkungen im Abschnitt der PUN selber und auf der Zulaufstrecke sind jedoch unterschiedlich. Für den Abschnitt der PUN ist keine signifikante Veränderung der

Unfallraten oder Raten mit Schwerverletzten festzustellen. Der eigentliche Sicherheitsgewinn findet aber auf der Zulaufstrecke statt, wo bei aktiver PUN eine Senkung der staubedingten Unfallraten um bis zu 35% festzustellen ist.

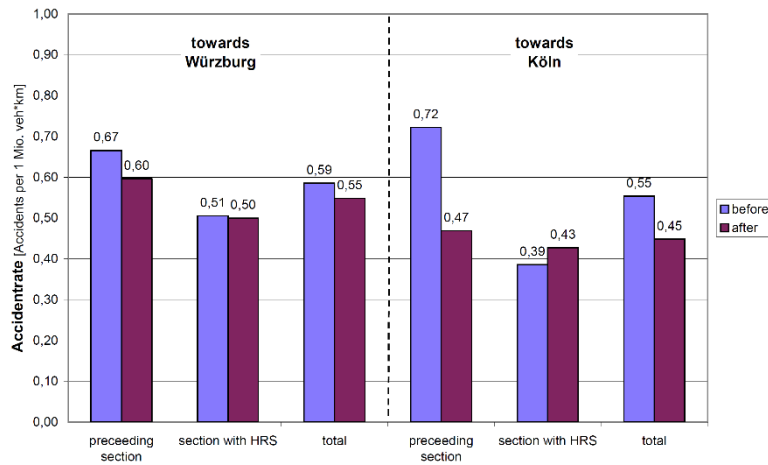


Abb.10 Unfallraten mit und ohne PUN auf der A3 zwischen Offenbach und Obertshausen; Quelle: [47], Folie 13

In der Schweiz wurde das PUN-Pilotprojekt zwischen Morges und Ecublens im Jahr 2010 ebenfalls auf die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit anhand der kantonalen Unfallstatistik untersucht (vgl. [37] und [38]). Es wurde dabei kein Anstieg der Unfallraten aufgrund des fehlenden Standstreifens registriert. Gemäss dieser Auswertung führte die PUN insgesamt zu einer Reduktion der Unfallzahlen um 35%, in den Spitzenstunden um 13%. Mögliche Gründe für die Reduktion der Unfallzahlen ausserhalb der Spitzenstunden ist einerseits, dass die PUN nicht nur während der Spitzenstunden, sondern auch jeweils mindestens eine Stunde vor und nach der Spitzenstunde in Betrieb war. Andererseits ermöglicht die installierte Überwachungs- und Steuerungstechnik eine schnelle Reaktion auf Störungen, wodurch Unfälle verhindert werden können.

[38] stellen heraus, wie wichtig die richtige Ausgestaltung der PUN für die Realisierung dieses Sicherheitsgewinns ist. Dazu gehört eine klare und eindeutige Signalisation und eine schnelle und vollständige Schliessung des Standstreifens im Falle von Störungen wie Unfällen oder liegengebliebenen Fahrzeugen und Sicherstellung des Zugangs für Rettungsfahrzeuge. Wesentlich für letzteres ist die Überwachung des Streckenabschnitts mit Sensoren und Videokameras, eine entsprechende Ausbildung der Verkehrsleiter sowie klar definierte Einsatzprozeduren. Die Bedeutung eines gut funktionierenden Störungsmanagements und der Überwachung mit Videokameras wurde auch von [47] und [39] herausgestrichen. Das Vorhandensein solcher Massnahmen ist bei der Bestimmung der massgeblichen Unfallraten zu berücksichtigen.

Insgesamt weisen die bisherigen Erkenntnisse also darauf hin, dass bei Einführung einer PUN eher mit einer Senkung als mit einer Erhöhung der Unfallraten zu rechnen ist. Die bisherigen Studien basieren jedoch erst auf Pilotversuchen und weisen eine breite Spannweite von Veränderungen in den Unfallraten bzw. Unfallzahlen aus. Zudem werden bisher vor allem die Auswirkungen auf Unfallraten und nicht auf die Unfallkostenraten betrachtet. Es besteht daher der Bedarf nach weiterer Forschung und systematischen Auswertung von Unfallzahlen bei PUN.

Bis verlässliche Zahlen über die Auswirkung einer PUN auf die Unfallraten und die Unfallkostenraten vorliegen, empfehlen wir für die Anwendung in einer Kosten-Nutzen-Analyse die Unfallkostenraten der bestehenden SN 641 824 zu verwenden. Wie in **Fehler! V erweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen ist, sind gemäss Norm die Unfallraten auf einer 3-spurigen Autobahn höher als auf einer 2-spurigen Autobahn. Die Unfallkostenraten für eine 3-streifige Autobahn liegt ist jedoch knapp tiefer als die Unfallkostenrate für eine 2-streifige Autobahn. Dies ist in der SN 641 824 insbesondere auf eine geringere Getötetenrate auf 3-streifigen Autobahnen zurückzuführen.

Tab. 43 Unfall- Verletzten- und Getötetenraten gemäss SN 641 824

Strassenart	Unfallrate [Unfälle / 10 ⁶ Fzkm]	Verletztenrate [Verletzte / 10 ⁸ Fzkm]	Getötetenrate [Getötete / 10 ⁸ Fzkm]	Unfallkostensatz [CHF / 10 ³ Fzkm]
Autobahn 2-streifig	0.42	15.74	0.32	42.2
Autobahn 3-streifig	0.55	16.32	0.11	41.8

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer PUN

Die Auswirkungen von PUN auf die Unfallraten ist derzeit ein aktives Forschungsfeld, In ein paar Jahren sollten daher verlässlichere Zahlen dazu vorliegen. In der Zwischenzeit wird für die Erstellung einer Kosten-Nutzen-Analyse empfohlen, die Unfallkostenraten der bestehenden SN 641 824 zu verwenden. Die grösste Wirkung der PUN auf die Unfallkosten ist dabei durch die Verlagerung des Verkehrs vom untergeordneten Netz auf das Hochleistungsnetz zu erwarten.

3.2.4 Wertgerüste und Bewertung

Für die Bewertung einer PUN können die Wertgerüste der Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie in den Schweizer Normen SN 641 820ff. definiert sind, verwendet werden. Es besteht kein Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf.

3.3 Vertiefungsfall «Dosierung»**3.3.1 Festlegung Referenzfall und Planfall**

Beschreibung (abstrahiert) Eine Dosierung ist eine Verkehrsmanagementmassnahme des Grundelementes «Steuern» (SN 640 781). Mit einer Dosierungsmassnahme werden die Kapazitäten von bestimmten Knotenbeziehungen gezielt reduziert, sodass auf den folgenden Netzelementen keine Überlast auftritt. Damit kann die Leistungsfähigkeit ohne Kapazitätserweiterungen sichergestellt werden. Dosierungen werden insbesondere durch entsprechende Schaltungen von Lichtsignalen umgesetzt. Die wesentlichen Ziele sind eine Verbesserung des Verkehrsflusses nach der Dosierstelle und somit die Erhöhung der Zuverlässigkeit für den MIV sowie ggf. auch für den ÖV und den Fuss- und Veloverkehr. Weitere Ziele sind die Erhöhung der Verkehrssicherheit im betroffenen Perimeter und die Verringerung von Schadstoffemissionen.

In diesem Fallbeispiel wird die Dosierung auf einem Streckenabschnitt zur Regulierung des Zuflusses zu nachfolgenden Knoten genauer untersucht.

Fallbeispiel Dosierung auf einem Streckenabschnitt

Auf einem Streckenabschnitt (z.B. einer städtischen Achse) entstehen im Siedlungsgebiet an vier aufeinander folgenden Knoten lange Rückstaus mit den daraus entstehenden Lärm- und Schadstoffbelastungen für die Bevölkerung. Der strassengebundene ÖV ist unzuverlässig, da er mit im Stau steht. Die Lichtsignalanlagen

	sind untereinander koordiniert. Mittels belastungsabhängiger Dosierung soll der Rückstau an den Siedlungsrand verlagert werden.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Referenzfall	Die Verkehrsnachfrage wächst gemäss Verkehrsprognose. Die Lichtsignalanlagen auf dem Streckenabschnitt werden weiterhin koordiniert betrieben. Das Ziel der Steuerung ist ein möglichst grosser Durchfluss. Es wird kein Verkehr am Siedlungsrand zurückgehalten.
--------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Planfall	Für die Dosierung wird am Siedlungsrand eine neue Lichtsignalanlage eingerichtet. An dieser Lichtsignalanlage wird mittels gezielter Reduktion der Grünzeitenanteile der MIV zurückgehalten, sodass an den nachfolgenden Lichtsignalen der jeweilige Rückstau innerhalb der folgenden Grünphase verarbeitet werden kann. Die Lichtsignalanlagen auf dem gesamten Streckenabschnitt werden so koordiniert, dass die Anzahl Halte für den Verkehr in Haupttrichtung minimal ist.
----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.3.2 Systemabgrenzung

Zeitlich	Ein Prognosejahr ist zu definieren, auf dessen Basis die Auswirkungen ermittelt werden. Zu berücksichtigen ist dabei der Zeitpunkt der Implementierung der Massnahme und ob allenfalls für gewisse Zeitpunkte bereits Prognosen zum Verkehrsaufkommen vorliegen. Im Fallbeispiel gehen wir davon aus, dass für das Jahr 2030 eine Prognose im Rahmen eines kantonalen Verkehrsmodells vorliegt.
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Räumlich	<p>Der <i>Wirkperimeter</i> entspricht dem Streckenabschnitt nach der Dosierungsstelle bis und mit dem letzten betroffenen Lichtsignal. Die wesentlichen zu erwartenden Wirkungen für den Wirkperimeter sind eine Verbesserung der Reisezeiten sowie der Zuverlässigkeit für den MIV und den ÖV und damit einhergehend eine Verringerung der Schadstoffemissionen und des Unfallrisikos. Im Wirkperimeter kann es zu Minderverkehr aufgrund von Routenwahlveränderungen kommen.</p> <p>Der <i>Aktionsperimeter</i> ist der Streckenabschnitt vor der neuen LSA. Hier sind ist ein neuer Rückstau aufgrund der Dosierungsstelle zu erwarten. Dies führt zu einer Zunahme der Reisezeit und damit verbunden zu einer Verschlechterung der Zuverlässigkeit, einer Erhöhung der Schadstoffemissionen und potentiell der Unfallraten. Es kann zu Minderverkehr aufgrund von Routenwahlveränderungen kommen.</p> <p>Der <i>Beobachtungperimeter</i> entspricht dem Einzugsgebiet der Verkehrsnachfrage auf dem Streckenabschnitt und den möglichen Verlagerungsrouten. Auf diesen kann es zu Mehrverkehr kommen, welche gegebenenfalls zu einer Verschlechterung der Reisezeiten, einer Erhöhung der Schadstoffbelastung und zu höheren Unfallraten auf diesen Routen führt.</p>
-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sachlich	<p>Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf den Auswirkungen für den ÖV und den MIV (PW, Lieferwagen, Schwerverkehr, Car, Motorrad).</p> <p>Da durch die Dosierung keine nennenswerte Veränderung der Reisezeiten für den Fuss- und Veloverkehr erwartet wird, werden die verkehrlichen Auswirkungen auf diese Verkehrsmittel nicht weiter betrachtet. Es erfolgt jedoch eine Betrachtung der Auswirkungen auf die Aufenthaltsqualität im Perimeter.</p>
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.3.3 Ermittlung der Auswirkungen

Gemäss der Abbildungsanalyse in Kapitel 3.1.5 sind bei der Einrichtung einer Dosierungsstelle im wesentlichen Auswirkungen auf die nachfolgenden Grössen zu erwarten:

- 1) Kosten gemäss SN 641 820, insbesondere NISTRA Indikatoren W111, W112, W114 und W115
- 2) Verkehrliches Mengengerüst mit Auswirkungen auf die NISTRA Indikatoren W115, W121, W122, W123, U111, U211 und G211
- 3) Zuverlässigkeit (NISTRA Indikator W122)
- 4) Unfallraten (NISTRA Indikator G211)
- 5) Aufenthaltsqualität im Perimeter

Für jede dieser Grössen wird im Folgenden erläutert, welche Auswirkungen jeweils zu erwarten sind und wie diese quantifiziert werden können.

1) *Kosten gemäss SN 641 820*

Ergebnisse der Recherche

Die Kosten werden im Rahmen der Planungen des konkreten Projekts ermittelt. Sie umfassen die Kosten für notwendige Änderungen an der Infrastruktur, allfälligen Landerwerb, die Installation und den Betrieb von Steuerungsanlagen und notwendige Betriebs- und Unterhaltskosten.

Es ist zu erwarten, dass es aufgrund einer Dosierung zu Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl kommt. Im Rahmen der Ermittlung des verkehrlichen Mengengerüsts ist daher für diesen Indikator die Veränderungen der Personenkilometer respektive Personenfahrten im ÖV zu bestimmen.

Falls zum Zeitpunkt der Kosten-Nutzen-Analyse noch kein konkretes Projekt vorliegt, können für die Kosten der Dosierungsanlage Kostenschätzungen aus [59] verwendet werden. Darin wurden die folgenden Kostensätze zusammengetragen:

- Investitionskosten: 330'000 CHF / Verkehrssteuerungsanlage
- Unterhalts- und Betriebskosten: 15'000 CHF / Verkehrssteuerungsanlage und Jahr

Für die Abschätzung der Kosten für Ersatzinvestitionen ist zu beachten, dass gemäss [59] ein Dosierungskonzept in der Regel nicht länger als 20 Jahren betrieben wird, bevor es neu definiert wird. Innerhalb dieses Zeitraumes sind in der Regel keine Ersatzinvestitionen notwendig. Eine Ausnahme wären Ersatzinvestitionen aufgrund von Entwicklungen von Steuerungskonzepten oder -technologien. Die Kosten dafür sind aber zum Zeitpunkt der Kosten-Nutzen-Analyse kaum abzuschätzen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer Dosierung

Die Kosten einer Dosierungsmassnahme sollten - wenn immer möglich - basierend auf dem konkreten Projekt abgeschätzt werden.

Ist das Projekt noch nicht ausreichend definiert, kann in einer ersten Abschätzung von Investitionskosten von 330'000 CHF / Verkehrssteuerungsanlage und Unterhalts- und Betriebskosten von 15'000 CHF / Verkehrssteuerungsanlage und Jahr ausgegangen werden.

Bei einem Dosierungskonzept geht man davon aus, dass es nicht länger als 20 Jahre betrieben wird, bevor es neu definiert wird. Dies entspricht der Lebensdauer der meisten Steuerungsanlagen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass während der Lebensdauer der Dosierung in der Regel keine Ersatzinvestitionen notwendig sind und am Ende der Lebensdauer der Restwert der Anlage vernachlässigbar ist.

Für die Bewertung der zu erwartenden Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr (Veränderungen der Einnahmen und Betriebskosten) werden im Rahmen der Ermittlung des verkehrlichen Mengengerüsts die Veränderungen der Personenkilometer respektive Personenfahrten im ÖV bestimmt.

2) Verkehrliches Mengengerüst**Ergebnisse der Recherche**

Das verkehrliche Mengengerüst dient als Eingangsgrösse für eine Reihe von Indikatoren. Die gemäss Abbildungsanalyse relevanten Indikatoren im Fall einer Dosierung sind:

- Auswirkungen auf den ÖV (NISTRA Indikator W115)
- Reisezeitveränderungen Stammverkehr (NISTRA Indikator W121)
- Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr (NISTRA Indikator W123)
- Luftbelastung (NISTRA Indikator U111)
- Klimaeffekt (NISTRA Indikator U211)
- Unfälle (NISTRA Indikator G211)

Es sind daher die Veränderungen folgender Grössen zu bestimmen:

- Verkehrsaufkommen bzw. die Verkehrsleistung im ÖV für den Indikator W115
- Reisezeiten im Stammverkehr auf der Strasse nach Verkehrsmittel für den Indikator W121
- Fahrleistungen der Fahrten im Stammverkehr auf der Strasse für den Indikator W123
- Fahrleistungen auf der Strasse (Gesamtverkehr) differenziert nach Ortslage, und Fahrzeugkategorie für die Indikatoren U111, U211 und G211

Diese Grössen können mit Hilfe eines Verkehrsmodells oder einer Simulation des Verkehrsablaufs bestimmt werden. Im Folgenden wird erläutert, was dabei zu beachten ist.

Ein wesentlicher Teil des Nutzens einer Dosierungsmassnahme ergibt sich aus den verkehrlichen Wirkungen der Massnahme im Vergleich zum Referenzzustand. Durch eine Dosierung entstehen Veränderungen in den Reisezeiten. Im Zusammenspiel mit der Zuverlässigkeit führen diese in erster Linie zu Verlagerungen der Verkehrsnachfrage auf andere Routen (Routenwahleffekte). Erst nachgelagert sind Verlagerungen auf andere Verkehrsmittel (Modal Shift) zu erwarten. Falls es zu solchen Verlagerungen kommt, entstehen Rückkoppelungseffekte auf die Zuverlässigkeit und die Reisezeiten.

Im Fokus liegen die Veränderungen der Reisezeiten im Wirk-, Aktions- und Beobachtungssperimeter – insbesondere müssen innerstädtische Verkehrseffekte berücksichtigt werden. Wie in [59] diskutiert, können mit den standardmässig in

makroskopischen Verkehrsmodellen eingesetzten statischen Umlegungsmodellen Veränderungen in den Reisezeiten nur sehr eingeschränkt abgebildet werden, da sie die Dynamiken der Staubildung nicht ausreichend wiedergeben. Für die Abbildungen dieser Dynamiken sind Simulationsmodelle oder dynamische Umlegungsmodelle mit kleinen Zeitscheiben erforderlich.

Falls ein makroskopisches Verkehrsmodell für den Untersuchungsraum vorhanden ist, so kann dieses als Grundlage für eine dynamische Umlegung verwendet werden. Da eine dynamische Umlegung aufwändig in der Rechenzeit ist, sollte der Beobachtungspereimeter aus dem Modell ausgeschnitten werden. Zudem muss die dynamische Umlegung des Teilnetzes neu kalibriert werden. Falls dafür zusätzliche Zählraten zur Verfügung stehen, sind diese zu berücksichtigen.

Besonderes Augenmerk sollte dabei auf eine korrekte Abbildung der Abbiegewiderstände gelegt werden. Das Ergebnis der dynamischen Umlegung sind Reisezeiten und Belastungen auf Strecken und Abbiegern. Aussagen zu Rückstaulängen oder zur Zuverlässigkeit können jedoch keine gemacht werden. Dafür ist der Aufwand für den Modellaufbau deutlich kleiner als für eine Verkehrsflusssimulation, insbesondere wenn auf einem bestehenden Modell aufgebaut werden kann.

Eine Verkehrsflusssimulation sollte ebenfalls den gesamten Beobachtungspereimeter abbilden. Als Grundlage kann ebenfalls der Ausschnitt aus einem bestehenden Verkehrsmodell verwendet werden, insbesondere die Darstellung der Knoten und Abbieger müssen jedoch deutlich verfeinert werden. Falls Knotenstromzählungen oder Angaben zu Rückstaulängen vorhanden sind, sollten die Simulation auf diese kalibriert werden. Zudem müssen sowohl für die Kalibration als auch für die Auswertung jeweils mehrere Simulationsläufe gerechnet und die Ergebnisse gemittelt werden. Die Anzahl erforderlicher Simulationsläufe ist abhängig von der Varianz der zu untersuchenden Parameter und der gewünschten Genauigkeit. Die Abbildung von Routenwahleffekten im Rahmen der Verkehrsflusssimulation erfolgt über eine dynamische Umlegung. Das Ergebnis der Simulation sind neben Belastungen und Reisezeiten auf Strecken und Abbiegern Aussagen zu Rückstaulängen und Schwankungen in der Reisezeit, welche zur Berechnung der Zuverlässigkeit herangezogen werden können.

Bei der Einrichtung einer Dosierungsstelle für einen Streckenabschnitt sind vornehmlich Routenwahleffekte zu erwarten. Je nach Situation können aber auch Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl auftreten. Diese können, wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, vereinfacht mit einem Pivot-Point Ansatz abgeschätzt werden [42]

Nach der Berechnung der neuen Verkehrsnachfrage für den MIV sollte eine Rückkoppelung zur dynamischen Umlegung oder zur Simulation gerechnet werden. In der Regel dürfte dies ausreichend sein. Sollten sich jedoch grosse Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl ergeben kann es notwendig sein mehrere Iterationen mit Rückkoppelung zu rechnen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer Dosierung

Für die Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen einer Dosierung sind makroskopische Verkehrsmodelle mit statischer Umlegung nicht geeignet, da damit weder Rückstauereffekte noch Veränderungen in der Reisezeit abgebildet werden können. Mit einer dynamischen Umlegung kann die Variabilität in den Reisezeiten besser abgebildet werden, für eine fundierte Analyse empfiehlt sich jedoch der Aufbau einer Verkehrsflusssimulation, welche auch für die Ermittlung der Auswirkungen auf Rückstaulängen und die Zuverlässigkeit verwendet werden kann.

Für die Abschätzung des Modal Shifts empfehlen wir ein den Pivot-Point Ansatz. Anschliessend sollte mit der neuen MIV-Nachfrage mindestens eine Rückkoppelung zur dynamischen Umlegung oder zur Simulation gerechnet werden.

3) Zuverlässigkeit

Ergebnisse der Recherche

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit im Wirkperimeter stellt ein wesentliches Ziel der Dosierung dar. Zuverlässigkeit wird gemäss SN 641 825 verstanden als die Zeit, die ein Reisender früher oder später als erwartet an seinem Ziel ankommt. Im Fallbeispiel vermindern die langen Rückstaus auf den Strecken im Wirkperimeter die Zuverlässigkeit für den MIV und den ÖV. Im Planfall erfolgt die Dosierung so, dass im Wirkperimeter, d.h. dem Streckenabschnitt nach der Dosierungsstelle, die Zuverlässigkeit für den MIV und den ÖV hoch ist. Dies führt jedoch zu längeren Rückstaus im Aktionsperimeter am Siedlungsrand. Für den MIV werden dadurch die Fahrtzeiten in diesem Bereich verlängert und die Zuverlässigkeit sinkt. Für den ÖV wird hingegen durch Einrichten der Busspur auch im Aktionsperimeter eine hohe Zuverlässigkeit erreicht.

Obwohl die Bedeutung der Zuverlässigkeit auf die täglichen Verkehrsentscheidungen von Reisenden mittlerweile erkannt ist, sind Methoden zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Verkehrsmodellen und zur Bestimmung der Auswirkungen von verkehrsplanerischen Massnahmen auf die Zuverlässigkeit noch in Entwicklung, wie die umfangreiche Literaturdurchsicht im Rahmen des österreichischen Projekts RELAUT [43] zeigt. Grundsätzlich stehen für die Ableitung von Zusammenhängen zwischen der Verkehrsinfrastruktur und -nachfrage und der Zuverlässigkeit zwei Ansätze zur Verfügung. Die Ableitung aus realen Daten oder die Simulation von Nachfrage- und Angebotsschwankungen.

Hinsichtlich der Analyse realer Daten für die Schweiz hat [18] für HLS bereits entscheidende Grundlagen gelegt. Darauf aufbauend wurde als Ergänzung zur SN 641 825 entwickelte Excel-Tool entwickelt, welches in [15] genauer beschrieben wird. Darin erfolgt eine Berechnung der gesellschaftlichen generalisierten Kosten der Zuverlässigkeit einer Strecke anhand der Zusammenbruchwahrscheinlichkeit und den daraus resultierenden Verfrühungen und Verspätungen. Berücksichtigt werden dabei die Verkehrsbelastung, der Schwerverkehrsanteil, der Sättigungsgrad der Strecke sowie die für die Strecke typische Ganglinie der Verkehrsnachfrage.

Allerdings ist das Excel-Tool und die dahinterliegende Methodik nur für HLS anwendbar, da die zugrundeliegende Datenbasis nur Zähldaten auf HLS umfasst. Eine Übertragung auf HVS ist daher nicht möglich. Dosierungen werden jedoch vor allem auf HVS eingerichtet. Der Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Zuverlässigkeit auf HVS ist bisher nicht ausreichend untersucht, es liegt jedoch nahe, dass dieser wesentlich stärker von der Leistungsfähigkeit der Knoten abhängig ist als auf HLS.

Eine Möglichkeit für die Messung der Auswirkung der Dosierungsstelle auf die Zuverlässigkeit ist die Auswertung der Schwankungen in der Reisezeit in einer Verkehrsflusssimulation (vgl. [59]). Dies hat den Vorteil, dass die Veränderungen der Zuverlässigkeit für den Wirk-, Aktions- und Beobachtungsperimeter sowohl für den MIV als auch den ÖV gesamthaft und konsistent abgebildet werden können. Zudem können in einer Verkehrsflusssimulation auch die Auswirkungen von Veränderungen in der Zuverlässigkeit auf die Routenwahl abgebildet werden. Dies bedingt jedoch eine ausreichend gute Kalibration der Simulation und die Durchführung von ausreichend vielen Simulationsläufen. Als Mass für die Zuverlässigkeit empfehlen [59] basierend auf einer Literaturrecherche, die Differenz zwischen dem Median und dem 90% Perzentil der Reisezeit zu verwenden. Ein weiteres mögliches Mass ist die Standardabweichung der simulierten Reisezeiten als Mass für die durchschnittliche Entfernung aller Messwerte zum Mittelwert. Beide Masse ergeben eine Abweichung pro Zeiteinheit und können anschliessend mit dem Kostensatz für Reisezeitgewinne bewertet werden.

Es besteht hier noch weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich des Einflusses von Knotenauslastungsgraden und -leistungsfähigkeiten auf die Zuverlässigkeit.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer Dosierung

Die Erhöhung der Zuverlässigkeit im Perimeter ist ein wesentliches Ziel einer Dosierung. Mit den auf der Norm basierenden Werkzeugen können die zu erwartenden Effekte jedoch nicht ausreichend gut abgebildet werden.

Eine Möglichkeit für die Messung der Auswirkung der Dosierungsstelle auf die Zuverlässigkeit ist die Auswertung der Schwankungen in der Reisezeit in einer Verkehrsflusssimulation. Mögliche Masse für die Zuverlässigkeit sind die Standardabweichung oder die Differenz zwischen dem Median und dem 90% Perzentil.

Es besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich des Einflusses von Knotenauslastungsgraden und -leistungsfähigkeiten auf die Zuverlässigkeit.

4) Unfallraten

Ergebnisse der Recherche

Es wird angenommen, dass eine Dosierung aufgrund der geringeren Verkehrsstärke und Auslastung in der Spitzenstunde zu einer Abnahme der Anzahl der Unfälle führt. In der Norm SN 641 824 sind Unfallraten in Abhängigkeit der Fahrleistung (für Strecken) und der Fahrzeugbelastungen (für Knoten) pro Jahr angegeben. Es wird jedoch kein Bezug zum Verkehrszustand bzw. der Auslastung von Netzteilen hergestellt. Die Unfallraten nach [26] nehmen ebenfalls keinen Bezug auf die Auslastung. Dort wird zudem festgestellt, dass ein Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallraten sowie Unfallschwere nicht nachgewiesen werden konnte. [34] gibt dagegen Hinweise, dass die Unfallrate ab einem Grenzwert der Auslastung der Streckenkapazität deutlich zunimmt. Die Auswertungen beruhen allerdings auf Daten für HLS in den USA, es stellt sich daher die Frage, ob und wie die dort beobachteten Zusammenhänge auf Schweizer HVS übertragbar sind.

In dem Projekt [52] wurde für verschiedene Strecken- und Knotentypen eine grossflächige Auswertung des Einflusses verschiedener Grössen auf Unfallaufkommen durchgeführt. Grundlage sind die polizeilich erhobenen Unfalldaten aus dem Strassenverkehrsunfallregister (VU), welche mit Netz- und Strukturdaten verschnitten wurden. Dazu gehört auch die Variable «Verkehrsbedingungen» mit den Ausprägungen «schwach», «rege», «stark», «stockende Kolonne», «stehende Kolonne» und «andere». Besonders relevant für das Fallbeispiel sind Erkenntnisse zu Unfällen auf Strecken und Knoten innerorts. Die wesentlichen Unfallarten auf Strecken innerorts sind Schleuder- und Selbstunfälle, Auffahrunfälle und Fussgängerunfälle. Schleuder- und Selbstunfälle zeigten keine Korrelation mit den Verkehrsbedingungen. Auffahrunfälle zeigten Auffälligkeiten bei allen Verkehrsbedingungen ausser «schwach» und «andere», und Fussgängerunfälle passierten häufiger bei regen Verkehrsbedingungen, nicht aber bei starkem Verkehr oder gar Kolonnen. Auch an den Knoten treten Unfälle vor allem bei regem bis starkem Verkehr auf. Dies würde eher darauf schliessen lassen, dass mit einer Dosierung die Unfallraten zunehmen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer Dosierung

Das Vorgehen zur Berechnung der Unfallraten gemäss SN 641 824 ist für die Ermittlung der Auswirkungen einer Dosierung nur eingeschränkt geeignet, da es auf Jahreswerte abstützt, die nur bedingt einen Zusammenhang mit der Situation in den Spitzenstunden, wenn die Dosierung primär wirksam ist, haben.

Es fehlen derzeit jedoch die Grundlagen für eine andere Berechnungsmethode. Hier besteht Forschungsbedarf.

5) Aufenthaltsqualität im Perimeter**Ergebnisse der Recherche**

Ein wesentliches Ziel der Dosierungsmassnahme ist eine Steigerung der Aufenthaltsqualität im Perimeter. Diese Zielgrössen sind jedoch schwierig zu quantifizieren und gemäss SN 641 820 ist eine Bewertung dieser Wirkungen nicht Teil einer Kosten-Nutzen-Analyse. Sie wurden allenfalls in Nutzwertanalysen berücksichtigt (vgl. Anhang I).

In den deutschen «Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen» (EWS) [26] wird die Trennwirkung von Strassen hinsichtlich Fussgängerquerungen aufgrund von Wartezeiten und Umwegen bestimmt. Die Wartezeit der Fussgänger ist abhängig von der Anzahl Anwohner, Annahmen zur Anzahl Querungen und Art der Querungen (Direktquerer vs. Umwegläufer), dem Strassentyp und der Verkehrsstärke. Der Zusammenhang zwischen der Wartezeit und der Verkehrsstärke wurde für verschiedene Strassentypen empirisch erhoben. Die Gesamtwartezeit in Personenstunden pro Jahr W wird mittels der folgenden Formel ermittelt:

$$W = \frac{365 \cdot \ddot{U}}{3600 \cdot 2100} \cdot \sum_i \sum_f \left(\sum_{t=1}^4 tw_{i,t} \cdot B_{i,R} \cdot T_t + \sum_{t=6}^9 tw_{i,t} \cdot B_{i,R} \cdot T_t + \sum_{t=11}^{14} tw_{i,t} \cdot B_{i,R} \cdot T_t \right)$$

Mit

- \ddot{U} Anzahl durch die Trennwirkung betroffenen Überquerungen (Annahme EWS $\ddot{U} = 3$)
- i Netzabschnitt
- f Fahrbahnseite
- t Index der Stundengruppe in der Dauerlinie. Es werden in den drei Termen die jeweils die vier höchstbelasteten Stundengruppen t der Dauerlinie für Normalwerktags-, Ferienwerktags-, und Sonn- und Feiertagsverkehr betrachtet.
- $tw_{i,t}$ Fussgängerwartezeit in Netzabschnitt i in Abhängigkeit von Strassentyp ST und stündlicher Verkehrsstärke Q für die Stundengruppe der Dauerlinie gemäss *Tab. 44*
- $B_{i,R}$ Anzahl betroffener Anwohner der Richtung R im Netzabschnitt i
- T_t Stundenanzahl in der Stundengruppe t der Dauerlinie

Der Faktor 365 steht dabei für Tage / Jahr, der Faktor 3600 für Sekunden / Stunde und der Faktor 2100 für die Anzahl Stunden / Jahr, welche aus der Dauerlinie herangezogen werden.

Tab. 44 Wartezeiten in Abhängigkeit des Strassentyps

Strassentyp ST	Wartezeit t_w [s/Ü]	
Vorfahrtsberechtigige Innerortsstrassen 1 Fahrstreifen mit Mittelinseln oder Mittelstreifen	$t_w = t_{w1}(R=1) + t_{w1}(R=2)$	mit Q_R
Vorfahrtsberechtigige Innerortsstrassen 1 Fahrstreifen ohne Mittelinseln oder Mittelstreifen	$t_w = t_{w1}$	mit Q_{Ges}
Vorfahrtsberechtigige Innerortsstrassen 2 Fahrstreifen mit Mittelstreifen als Einbahn	$t_w = t_{w1}$	mit $Q_{Ges} = Q_R$
Vorfahrtsberechtigige Innerortsstrassen 2 Fahrstreifen mit Mittelstreifen querbar	$t_w = 0.8 \cdot [t_{w1}(R=1) + t_{w1}(R=2)] + 0.2 \cdot t_{w2}$	mit Q_R
Vorfahrtsberechtigige Innerortsstrassen 2 Fahrstreifen ohne Mittelstreifen	$t_w = 0.8 \cdot t_{w1} + 0.2 \cdot t_{w2}$	mit Q_{Ges}
Stadtautobahnen oder Strassen mit mehr als 2 Fahrstreifen	$t_w = t_{w3}$	

mit Q_R = Verkehrsstärke pro Fahrtrichtung R [Fz/h], Q_{Ges} = Verkehrsstärke des Querschnitts [Fz/h]
Verlustzeiten: $t_{w1} = 8.31 \cdot \ln(Q) - 53$ [s/Ü]; $t_{w2} = 62$ [s/Ü] (mit 50m Umweg, 20s Wartezeit an LSA; $t_{w3} = 268$ [s/Ü]
(mit 300m Umweg, 18s Steigungszuschlag)

Quelle: [26]

Anschliessend werden die so ermittelten Wartezeiten mit dem Zeitkostensatz für Fussgänger bewertet.

Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass es einen direkten quantitativen Zusammenhang gibt zwischen der Reduktion der stündlichen Verkehrsstärke im Wirkperimeter aufgrund der Dosierung und einer Verbesserung der Attraktivität für den Fussgängerverkehr. So können aufgrund der geringeren Verkehrsstärke innerhalb des Wirkperimeters beispielsweise die Signalprogramme der Lichtsignalanlagen so angepasst werden, dass Fussgänger mehr Grünzeiten erhalten. Es wird dabei angenommen, dass die längeren Rückstaus am Siedlungsrand nur wenige Fussgänger beeinträchtigen.

Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass mit dem Mass der Trennwirkung nur ein Aspekt der Auswirkungen auf die Aufenthaltsqualität abgebildet wird. Eine umfassendere Betrachtung der Aufenthaltsqualität wurde in der Forschungsarbeit [35] vorgenommen, wo die Aufenthaltsqualität in öffentlichen Räumen und damit die Möglichkeiten der sozialen Kontakte als «Befinden» aufgeführt wird. Mögliche Indikatoren für das Befinden sind die Anzahl Personen und deren Aufenthaltsdauer im Perimeter sowie eine subjektive Bewertung der Aufenthaltsqualität. Gemäss [35] ist eine Quantifizierung dieser Indikatoren anhand von Zählungen respektive Beobachtungen grundsätzlich möglich und eine Monetarisierung könnte über die Abfrage von Zahlungsbereitschaften erfolgen. Das Forschungsprojekt war jedoch nur eine Vorstudie mit dem Ziel, die relevanten Forschungsfragen zur Messung des Nutzens von Langsamverkehrsmassnahmen zu identifizieren. Hinsichtlich der Aufenthaltsqualität sind dies insbesondere a) die Bestimmung der Qualitätsmerkmale, welche die Aufenthaltsqualität und die Aufenthaltsdauer massgebend beeinflussen, b) Ansätze zur Monetarisierung des Nutzens mittels Zeitkosten, c) die Bewertung konkreter Umgestaltungsmassnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Trennwirkungen, Lärm- und Schadstoffbelastungen und d) eine Einschätzung des Nutzens der Aufenthaltsqualität für Dritte (z.B. Gewerbe- und Gaststättenbetriebe, Immobilienbesitzer). Bisher liegen jedoch keine Forschungsberichte vor, welche diese Forschungsfragen beantworten.

3.3.4 Wertgerüste und Bewertung

Grundsätzlich können für die Bewertung einer Dosierung die Wertgerüste der Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie in den Schweizer Normen SN 641 820ff. definiert sind, verwendet werden. Dazu gehören auch die neu vorgeschlagenen Masse für Zuverlässigkeit, Reisezeiten und die Trennwirkung. Diese Masse werden alle in der Form von Differenzen in der Reisezeit ermittelt und können mit dem Kostensatz für Reisezeitgewinn gemäss SN 641 822a bewertet werden. Für den Fussverkehr ist in der SN 641 822a kein

Zeitkostensatz vorhanden. Wir empfehlen, daher den Zeitkostensatz für die Zu- und Abgangszeit im ÖV für Fahrten von 5 km Länge zu verwenden.

3.4 Hinweise zur Bewertung von Verkehrsmanagement-Massnahmen mittels Kosten-Nutzen-Analyse

In diesem Kapitel wurde im Rahmen einer Abbildungsanalyse überprüft, inwiefern die angestrebten Wirkungen verschiedener Massnahmenarten des Verkehrsmanagements in einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Es ist festzustellen, dass für fast alle Massnahmenarten grundsätzlich die Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Ausnahmen stellen die Komfortsteigerungen im MIV durch die Koordination von Lichtsignalanlagen und die Steigerung der Aufenthaltsqualität und der Attraktivität für Fuss- und Velofahrer durch eine Pfortnerung dar. Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Mengen- und Wertgerüste.

Anschliessend wurden zwei Massnahmenarten – Pannenstreifenumnutzung und Allgemeine Dosierung – vertiefter analysiert. Die Analyse ergab die folgenden Erkenntnisse:

- Vorgehen, Referenzfall und Systemabgrenzung:
 - Das Vorgehen zur Ermittlung der Mengengerüste und die Definition des Referenzfalls für Verkehrsmanagementmassnahmen entspricht grundsätzlich dem für Aus- und Neubauprojekte.
 - Verkehrsmanagementmassnahmen haben eine vergleichsweise kurze Lebensdauer. Aufgrund des technischen Fortschritts und sich verändernden Verkehrsprobleme ist sicher davon auszugehen, dass diese nicht identisch wiederholt werden. Der Betrachtungszeitraum für die Kosten-Nutzen-Analyse sollte deshalb nur die Bauphase und einen Lebenszyklus beinhalten. Falls die Verkehrsmanagementmassnahme mit einem Neubauprojekt verglichen werden soll, sollte für beide Massnahmen der kürzere Lebenszyklus als Nutzungsdauer verwendet und Restwerte berücksichtigt werden.
- Kosten:
 - Die Bau- und Landkosten sind an sich projektspezifisch zu ermitteln. Liegen keine Kosten vor, sind für Dosierungen im Bericht Kostensätze je Steuerungsanlage angegeben. Für Pannenstreifenumnutzungen variieren die recherchierten Kosten sehr stark, weshalb hier keine Angabe zu Einheitskostensätzen gemacht werden kann.
 - Kosten für Ersatzinvestitionen sollten nicht berücksichtigt werden (siehe oben).
 - Unterhaltskosten für Fahrbahnen können gemäss SN 641 826 abgeschätzt werden. Für Steuerungsanlagen sollte eine Kostenschätzung anhand eines konkreten Projektes vorgenommen werden. Ist dies nicht möglich, können für die Berechnung der gesamten Unterhaltskosten die in Herrmann et al. (2018) beschriebenen Kostensätze sowie Zu- und Abschlagsfaktoren verwendet werden.
- Verkehrliche Mengengerüste:
 - Für die Ermittlung der verkehrlichen Auswirkungen von Verkehrsmanagementmassnahmen ist eine statische Umlegung im Rahmen eines makroskopischen Modells nicht ausreichend. Es ist mindestens eine dynamische Umlegung, idealerweise sogar Verkehrsflusssimulation, notwendig.
 - Die Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl müssen in der Regel mit modelliert werden. Eine gute Alternative zur Berechnung mit dem Verkehrsmodell ist der Pivot-Point-Ansatz.
- Zuverlässigkeit: Für Verkehrsmanagementmassnahmen auf HLS, welche wie eine Pannenstreifenumnutzung ganze Streckenabschnitte betreffen, kann die Zuverlässigkeit gemäss SN 641 825 bestimmt werden. Für Verkehrsmanagementmassnahmen im städtischen Raum, die wie Dosierungen weitreichende Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit haben, ist diese Methoden jedoch nicht geeignet. Für diese Fälle können fundierte Aussagen zur Zuverlässigkeit nur mithilfe einer Verkehrsflusssimulation getroffen werden. Es besteht jedoch noch

Forschungsbedarf hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit auf dieser Grundlage.

- Unfallraten und Unfallkosten: Für beide vertieft untersuchten Verkehrsmanagementmassnahmen sind die Auswirkungen auf Unfallraten und Unfallkosten unklar. Hier besteht Forschungsbedarf. Für PUN werden basierend auf den bisherigen Studien zwei mögliche Ansätze vorgeschlagen.
- Aufenthaltsqualität: Im Rahmen des Fallbeispiels Dosierung wurde auch geprüft, inwiefern die Aufenthaltsqualität im Perimeter ermittelt werden kann. Bisher existiert kein zufriedenstellender Ansatz für die Quantifizierung dieses Aspekts, welcher der Vielzahl von beeinflussenden Faktoren gerecht wird. Hier besteht Forschungsbedarf. Für Dosierungen wurde als erster Ansatz eine Messung der Trennwirkung einer Strasse nach EWS vorgeschlagen. Eine Anwendung auf Schweizer Fallbeispiele steht jedoch noch aus.
- Fahrkomfort: Eine weitere mögliche Auswirkung von Verkehrsmanagementmassnahmen, die in der Kosten-Nutzen-Analyse bisher nicht abgebildet wird, ist die Steigerung des Fahrkomforts durch eine Reduktion der Anzahl Anfahr- und Bremsvorgänge, z.B. bei einer Koordination von Lichtsignalanlagen. Bisher fehlen Ansätze, um diese Komfortsteigerung zu quantifizieren und allfällige Auswirkungen auf die Routenwahl aufzuzeigen. Hier besteht Forschungsbedarf.

4 Erhaltungsmassnahmen

In der politischen und öffentlichen Auseinandersetzung um die Verwendung öffentlicher Gelder stellt sich zunehmend die Frage, ob die vorhandenen knappen finanziellen Ressourcen für Neu- und Ausbauprojekte oder für Erhaltungsmassnahmen eingesetzt werden sollen. Eine mögliche Grundlage für diese Abwägung ist eine vergleichbare Bewertung der verschiedenen Massnahmen mittels Kosten-Nutzen-Analyse. Aufgrund fehlender Grundlagen zur Ermittlung der Mengengerüste und Schwierigkeiten bei der Abbildung der zu erwartenden Wirkungen werden für Erhaltungsmassnahmen bis anhin selten Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt. Dabei zeigen langjährige Diskussionen um die Notwendigkeit von Erhaltungsmassnahmen wie z.B. beim Ausbau Härkingen-Wiggertal, wie wichtig es ist, die Ziele eines Projektes klar zu definieren und diese Ziele in der Kosten-Nutzen-Analyse gut abbilden zu können.

Erste Versuche zur Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse bzw. von NISTRA auf Erhaltungsprojekte gab es bereits 2003 und 2004 (vgl. [19], [25]). Im VSS-Projekt „Gesamtnutzen – Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen“ [30] wurde diese Betrachtung vertieft. Ein Anschlussprojekt zur Validierung des Bewertungsmodells aus [31] anhand von Fallbeispielen hat weitere Erkenntnisse gewonnen. Parallel dazu wurden Untersuchungen zum optimalen Zeitpunkt bzw. der optimalen Kombination von Massnahmen angestellt (vgl. [28], [50], [49]). Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt vor allem bei der Ausgestaltung der Erhaltungsmassnahmen und den unterschiedlich hohen Baukosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Das in den USA eingesetzte Werkzeug Highway Economic Requirements Systems – State version (HERS-ST) (vgl. [44], [41]) für die Kosten-Nutzen-Analyse von Infrastrukturmassnahmen ist explizit auch für die Bewertung von Erhaltungsmassnahmen einsetzbar. Erwartungsgemäss sind die darin berücksichtigten Indikatoren Fahrzeugbetriebskosten, Reisezeitkosten, Sicherheitskosten, Betriebskosten, Investitionskosten, Wartungskosten, Emissionskosten und Restwerte ähnlich zu denen der Schweizer Kosten-Nutzen-Analyse. Leider steht das Werkzeug einschliesslich Dokumentation für eine detaillierte Analyse zum Zeitpunkt der Forschungsarbeit nicht zur Verfügung, da es gerade grundsätzlich überarbeitet wird.

Für Erhaltungsmassnahmen wird in dieser Forschungsarbeit vor allem geprüft, inwieweit in den bestehenden Grundlagen die Anforderungen der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigt wurden. Eine Herausforderung für die Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse bei Erhaltungsmassnahmen liegt vor allem in der Festlegung des Referenzfalls, den Strassenkosten vor nach der Erhaltungsmassnahme und dem Vorgehen bei kleinräumigen Massnahmen. Die für Erhaltungsmassnahmen besonders wichtige Betrachtung des Lebenszyklus' von Infrastrukturen ist hingegen aufgrund der dynamischen Betrachtungsmöglichkeiten im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse gut abbildbar.

In dieser Forschungsarbeit erfolgt nun zunächst eine systematische Analyse, inwiefern die Wirkungen der verschiedenen Erhaltungsmassnahmen im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Anschliessend werden zwei ausgewählte Massnahmenarten, «Verzögerte Erhaltung» und «Etappierte Erhaltung», vertiefter analysiert und die Möglichkeiten und Grenzen zur Ermittlung der benötigten Mengen- und Wertgerüste aufgezeigt. Abschliessend wird diskutiert, wie die so gewonnen Erkenntnisse auf andere Erhaltungsmassnahmen übertragen werden können.

4.1 Massnahmenarten und Abbildbarkeit der Wirkungen Kosten-Nutzen-Analyse

4.1.1 Übersicht

Erhaltungsmassnahmen sind Massnahmen des baulichen Unterhalts, die der Instandsetzung, d.h. Substanzerhaltung bzw. der Wiederherstellung des Sollzustands dienen. Erhaltungsmassnahmen betreffen in der Regel grössere Flächen und sind im Gegensatz zu Reparaturen meist im Voraus planbar. (Vgl. [30]).

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, Erhaltungsmassnahmen zu differenzieren, zum Beispiel im Hinblick auf

- den Umfang der Massnahmen,
- die Koordination mit anderen Massnahmen am gleichen Objekt,
- die Länge der Baustellen (räumlich und zeitlich),
- die Koordination im Netz: Reihenfolge von verschiedenen Strassen und Objekten,
- das Sanierungsobjekt.
- die zugrundliegende Erhaltungsstrategie oder
- die Verkehrsbeeinträchtigung durch Baustelle.

Der Schwerpunkt dieses Forschungsprojektes liegt auf der Unterstützung von politischen Entscheiden zum bestmöglichen Einsatz öffentlicher Gelder. Es wird daher eine Differenzierung verwendet, welche sich an möglichen Stellschrauben für eine Erhaltungsstrategie orientiert. Wie in *Abb.11* dargestellt sind dies der Zeitpunkt einer Massnahme, der Umfang einer Massnahme und mögliche Synergien mit anderen Projekten.

Zeitpunkt	EM-1: Massnahme in t_0 oder in t_0+x im gleichen Umfang durchführen
Umfang	EM-2: Massnahme in t_0 oder in t_0+x in unterschiedlichem Umfang durchführen EM-3: Etappierung einer Massnahme EM-4: Räumlich längere Baustelle
Synergie	EM-5: Koordination von Gewerken/Abteilungen EM-6: Erhalt und Ausbau kombinieren EM-7: Reihenfolge (verschiedener Netzteile)

Abb.11 Übersicht zum Vorgehen mit Arbeitsschritten

4.1.2 Verschiebung des Zeitpunkts

Die erste Massnahme des Erhaltungsmanagements ist eine Verschiebung des Zeitpunktes einer Erhaltungsmassnahme bei gleichem Umfang. Das bedeutet, die gleiche Massnahme wird zum Zeitpunkt t_0+x statt zum Zeitpunkt t_0 durchgeführt. In der Zwischenzeit wird im Rahmen von Unterhaltsarbeiten die Betriebssicherheit der Strasse sichergestellt. Das Ziel einer solchen Verschiebung ist kurzfristig Baukosten zu sparen. Dafür werden zusätzliche Kosten für Reparaturarbeiten in Kauf genommen.

Tab. 45 Massnahmenbeschreibung EM-1 «Verschiebung des Zeitpunkts»

EM-1	Massnahme in t_0 oder in t_0+x im gleichen Umfang durchführen	Zeitpunkt
Definition	Eine Erhaltungsmassnahme zeitlich später (t_0+x) durchführen als normalerweise vorgesehen (t_0). Zwischenzeitlich die Strasse mit Reparaturen in fahrbarem Zustand halten.	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Kurzfristig Kosten sparen durch zeitliches verschieben der Massnahme; Reparaturkosten • Nutzerkosten: - 	
Beispiele	Erneuerung Deckbelag in t_0 oder in t_0+X	

Die wesentlichen Wirkungen einer Verschiebung der Erhaltungsmassnahme sind:

- Kurzfristige Kosteneinsparung, Fallunterscheidung mit (a) / ohne (b) Reparaturkosten für Minimalzustand.
- (b) Veränderung Nutzerkosten durch schlechten Strassenzustand, Einschränkungen evtl. bzgl. Höchstgeschwindigkeit, zulässiges Gewicht, Anzahl Fahrreifen, je nach Massnahme evtl. Routenverlagerungen
- Der Zeitpunkt einer Massnahme kann das Ausmass/Dauer der Baustelle beeinflussen. Damit sind auch Wirkungen in der Bauphase abzubilden.

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in Tab. 46 dargestellt abgebildet werden.

Tab. 46 Abbildungsanalyse EM-1 «Verschiebung des Zeitpunkts»

Indikator gemäss SN 641 820		EM-1	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Baukosten in der Zukunft
W112	Ersatzinvestitionen	(x)	
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	x	a) Kosten von kleineren Reparaturen um Strasse noch im Minimalzustand zu behalten
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	b) Länge, Intensität und Zeitpunkt der Geschwindigkeits-einschränkungen
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	b) Verfügbare Fahrspuren und Auswirkung auf Zuverlässigkeit
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	b) Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit und Route
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	b) Emissionen nach Geschwindigkeit und Route
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	(x)	
U211	Klimaeffekt	x	b) Emissionen nach Geschwindigkeit und Route
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	0	
G211	Unfälle	(x)	

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

4.1.3 Variation des Umfangs von Massnahmen

Hinsichtlich der Variation des Umfangs von Erhaltungsmassnahmen lassen sich drei Strategien unterscheiden. Eine Erhaltungsmassnahme kann zu einem anderen Zeitpunkt in unterschiedlichem Umfang, etappiert oder mit unterschiedlicher räumlicher Länge durchgeführt werden.

Ausgangspunkt für die Durchführung mit unterschiedlichem Umfang ist in der Regel die Überlegung, eine Massnahme zeitlich zu verschieben, wodurch zum späteren Zeitpunkt der Umfang des Projektes grösser wird. Das Ziel ist wie bei der zeitlichen Verschiebung die kurzfristige Einsparung von Baukosten.

Tab. 47 Massnahmenbeschreibung EM-2 «Unterschiedlicher Umfang»

EM-2	Massnahme in t0 oder in t0+x in unterschiedlichem Umfang durchführen	Umfang
Definition	Eine Erhaltungsmassnahme zeitlich später (t0+x) durchführen als normalerweise vorgesehen (t0), wodurch der Umfang des Projekts grösser wird.	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Kurzfristig Kosten sparen durch zeitliches Verschieben der Massnahme, Inkaufnahme höherer Kosten für umfangreichere Arbeiten nachher • Nutzerkosten: - 	
Beispiele	Erneuerung Deck- und Binderschicht in t0+X statt Erneuerung Deckschicht in t0	

Bei der Etappierung von Erhaltungsmassnahmen geht es in der Regel um die Abwägung, ob zum Zeitpunkt t eine (etappierte) Teilerhaltung oder gleich eine Vollerhaltung durchgeführt werden soll. Das Ziel dieser Abwägung ist in der Regel eine Optimierung der Baukosten über den gesamten Lebenszyklus des Erhaltungsobjektes. Ein weiteres Ziel kann das Vermeiden der Totalsperrung wichtiger Netzelemente und damit starker Beeinträchtigungen der Strassennutzer sein.

Tab. 48 Massnahmenbeschreibung EM-3 «Etappierung einer Massnahme»

EM-3	Etappierung einer Massnahme	Umfang
Definition	Statt einer Vollerhaltung Durchführung einer (etappierten) Teilerhaltung oder umgekehrt	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Kosten sparen durch langfristiges Planen (Life-Cycle-Management) • Nutzerkosten: Seltenerere Verkehrsbehinderungen 	
Beispiele	Sanierung Gotthard-Strassentunnel: Vollsperrung für kurze Zeit oder Teilöffnungen, vollständig unter Betrieb -> Unterschiedliche Kosten -> Verkehrsbeeinflussung Fzkm und Fzh	

Die Ziele räumlich längerer Baustellen sind einerseits die Realisierung von Skaleneffekten und andererseits die Minimierung der Behinderungen für die Verkehrsteilnehmer durch eine einmalige Sanierung eines längeren Abschnitts anstelle mehrerer kürzerer Bauprojekte.

Tab. 49 Massnahmenbeschreibung EM-4 «Unterschiedliche räumliche Länge»

EM-4	Räumlich längere Baustelle	Umfang
Definition	Eine Massnahme auf einem längeren Abschnitt durchführen statt auf kürzeren Abschnitten nacheinander	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Kosten einsparen durch eine Massnahme auf einem längeren Abschnitt (Skaleneffekt) • Nutzerkosten: Verkehrsbehinderung minimieren: einmal eine zeitlich und räumlich längere Verkehrsbehinderung statt mehrmals eine kurze 	
Beispiele	Instandsetzung A51	

Die Wirkungen der drei Massnahmenarten zum Umfang des Erhaltungsprojektes ähneln sich und werden daher gemeinsam betrachtet:

- Skaleneffekte: Veränderte (reduzierte) Baukosten (ausser EM-2)
- Jeweils während der Bauphasen: Unterschiedliches Ausmass an Verkehrsbehinderungen: Bei einmaligen, grösserem Umfang grössere Behinderungen als bei kleinerem, aber häufigerem Umfang.

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in *Tab. 50* dargestellt abgebildet werden.

Tab. 50 Abbildungsanalyse EM-2/EM-3/EM-4 «Variation des Umfangs»

Indikator gemäss SN 641 820		EM-2-4	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Vorteile aus Skaleneffekt / Zusatzarbeiten und -Kosten durch Aufschub
W112	Ersatzinvestitionen	(x)	
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	(x)	
W115	Auswirkungen auf den ÖV	0	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Länge (zeitlich und räumlich), Intensität und Zeitpunkt der Geschwindigkeits-einschränkungen Fahrzeiten nach Routen
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Verfügbare Fahrspuren und Auswirkung auf Zuverlässigkeit; Einbezug Alternativrouten
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit und Route
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Emissionen nach Geschwindigkeit und Route
U121	Lärmbelastete Personen	0	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	0	
U211	Klimaeffekt	x	Wie 111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	0	
G211	Unfälle	(x)	

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

4.1.4 Synergien

Synergien in der Erhaltung können sich durch die Koordination mit anderen Gewerken, die Kombination von Erhaltungs- und Ausbaumassnahmen und die Abstimmung der zeitlichen Reihenfolge verschiedener Erhaltungsprojekte ergeben.

Das Hauptziel einer Koordination von verschiedenen Gewerken ist eine Reduktion der Baukosten dadurch, dass nur einmal eine Baustelle eingerichtet und der Deckbelag einer Strasse aufgebrochen werden muss. Zudem können sich für die Strassennutzer ergeben, da sie nicht mehrmals am gleichen Ort Beeinträchtigungen durch eine Baustelle in Kauf nehmen müssen.

Tab. 51 Massnahmenbeschreibung EM-5 «Koordination von Gewerken»

EM-5	Koordination von Gewerken/Abteilungen	Synergie
Definition	Koordination zwischen den verschiedenen Gewerken und Abteilungen im Strassenraum	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Nur einmalig Baustellen einrichten und Strassen aufbrechen. • Nutzerkosten: Nachteile für Strassenbenutzer minimieren durch zeitliche Abstimmung mehrerer Arbeiten am gleichen Ort. 	
Beispiele	Erneuerungen von Leitungen und Kanalisation im städtischen Raum kombinieren mit Strassenarbeiten	

Das Ziel einer Kombination von Erhaltungs- und Aus- oder Umbaumasnahmen ist ebenfalls eine Reduktion der Baukosten sowie der Behinderung der Verkehrsteilnehmer. In der Realität ist es normalerweise so, dass bei der Planung einer Ausbaumasnahme erwogen wird, diese mit einer ohnehin bald anstehenden Erhaltungsmassnahme zu kombinieren. Es gibt aber auch Fälle, in denen die Notwendigkeit einer Erhaltung auch den Anstoss für eine Umgestaltung des Strassenraums gibt. Dieser Aspekt geht jedoch über das Forschungsprojekt hinaus und wird daher nicht vertieft betrachtet.

Tab. 52 Massnahmenbeschreibung EM-6 «Kombination von Erhalt und Ausbau»

EM-6	Erhalt und Ausbau kombinieren	Synergie
Definition	Erhaltungsmassnahmen und Ausbaumasnahmen kombinieren	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> • Baukosten: Kosten reduzieren durch Synergien • Nutzerkosten: Strassensperrungen reduzieren (Reduktion Verkehrsbehinderung) 	
Beispiele	Ausbau der Anzahl Fahrspuren eines Streckenabschnitts kombinieren mit Erhaltungsmassnahme der bestehenden Strasse.	

Anders als bei den übrigen Massnahmenarten mit Synergieeffekten steht bei der Koordination der Reihenfolge von Baumassnahmen an verschiedenen Netzteilen nicht die Reduktion der Baukosten, sondern die Reduktion der Nutzerkosten im Vordergrund. Das heisst, verschiedene Erhaltungsprojekte werden so abgestimmt, dass für die Strassennutzer immer ausreichende Kapazitäten auf Ausweichrouten zur Verfügung stehen.

Tab. 53 Massnahmenbeschreibung EM-7 «Reihenfolge (verschiedener Netzteile)»

EM-7	Reihenfolge (verschiedener Netzteile)	Synergie
Definition	Die Reihenfolge der Erhaltungsmassnahmen verschiedener Netzteile so auswählen, dass Synergien bestehen.	
Hauptziel	<ul style="list-style-type: none"> Nutzerkosten: Folgewirkungen aller Massnahmen in Summe optimieren 	
Beispiele	Erhaltungsmassnahmen verschiedener Netzteile von z.B. zwei parallelen Achsen zwischen A und B korridormässig abstimmen, um die Verbindungsqualität zwischen A und B zu gewährleisten	

Die wesentlichen Wirkungen der Nutzung von Synergien bei Erhaltungsmassnahme sind:

- Jeweils während der Bauphasen: Nachteile für Strassenbenutzer werden minimiert durch Abstimmung von Massnahmen
- Baukosten werden reduziert

Diese Wirkungen können im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse wie in *Tab. 54* dargestellt abgebildet werden.

Tab. 54 Abbildungsanalyse EM-5/EM-6/EM-7 «Synergien»

Indikator gemäss SN 641 820		EM-4-7	Herausforderung Datengrundlage
W111	Baukosten	x	Kosteneinsparpotenzial aus Synergien
W112	Ersatzinvestitionen	0	
W113	Landkosten	0	
W114	Betriebs- und Unterhaltskosten Strasse	(x)	
W115	Auswirkungen auf den ÖV	(x)	
W121	Reisezeitveränderungen Stammverkehr	x	Länge (zeitlich und räumlich), Intensität und Zeitpunkt der Geschwin- digkeitseinschränkungen und Sperrung
W122	Veränderung der Zuverlässigkeit	x	Verfügbare Fahrspuren und Auswirkung auf Zuverlässigkeit
W123	Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr	x	Treibstoffverbrauch nach Geschwindigkeit und Route
W124	Nettonutzen Mehrverkehr	0	
W125	Veränderung MWST-Einnahmen ÖV	0	
W127	Einnahmen Steuer und Maut Mehrverkehr	0	
U111	Luftbelastung	x	Emissionen nach Geschwindigkeit und Route
U121	Lärmbelastete Personen	(x)	
U131	Bodenversiegelung	0	
U142	Landschafts- und Ortsbild	(x)	
U211	Klimaeffekt	x	Wie U111
U311	Externe Kosten Energie Infrastrukturbetrieb	0	
G211	Unfälle	(x)	

Erläuterung Wirkungsmatrix:

- x: Indikator durch beschriebene Wirkungen betroffen
(x): Indikator kann in gewissen Umsetzungen betroffen sein
0: Indikator nicht betroffen

4.1.5 Fazit und Festlegung der Vertiefungsfälle

Das Ergebnis der Abbildungsanalyse für die verschiedenen Massnahmenarten des Erhaltungsmanagements ist in *Tab. 55* zusammengefasst. Es ist festzustellen, dass für die vorgestellten Massnahmenarten grundsätzlich die Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können.

Tab. 55 Ergebnis Abbildungsprüfung Erhaltung

Massnahme	Abbildbarkeit bzw. Relevanz
EM-1 Massnahme in t0 oder in t0+x im gleichen Umfang durchführen	Wirkungen abgebildet
EM-2 Massnahme in t0 oder in t0+x in unterschiedlichem Umfang durchführen	Wirkungen abgebildet
EM-3 Tiefgang einer Massnahme	Wirkungen abgebildet
EM-4 Räumlich längere Baustelle	Wirkungen abgebildet
EM-5 Koordination von Gewerken/Abteilungen	Wirkungen abgebildet
EM-6 Erhalt und Ausbau kombinieren	Wirkungen abgebildet
EM-7 Reihenfolge (verschiedener Netzteile)	Wirkungen abgebildet

Für die nachfolgenden zwei Fallbeispiele werden jeweils zwei der oben beschriebenen Massnahmenarten kombiniert betrachtet. Für das erste Fallbeispiel werden die Massnahmenarten EM-1 und EM-2 kombiniert. Es wird untersucht, welche in der Kosten-Nutzen-Analyse abbildbare Auswirkungen es hat, wenn eine Erhaltungsmassnahme um einen Zeitraum x verschoben wird und entweder Überbrückungsmassnahmen durchgeführt werden, so dass anschliessend die Erhaltungsmassnahme im gleichen Umfang durchgeführt werden kann oder die Strasse im Rahmen des betrieblichen Unterhalts nur so weit repariert wird, dass die Betriebssicherheit gewährleistet ist. Im Zentrum steht die Frage, was passiert, wenn man (vorerst) nichts unternimmt. Dieses Fallbeispiel wird im Folgenden als «Verzögerte Erhaltung» bezeichnet.

Das zweite Fallbeispiel ist eine Kombination aus den Erhaltungsmassnahmen EM-3 und EM-7. Der Fokus liegt auf der räumlich-zeitlichen Baustellenplanung, z.B. unter Beachtung der Nachfrageganglinie im Jahresverlauf. Diese wird bisher ohne KNA erstellt, eine Untersuchung könnte für die Planung unterstützend wirken. Dieses Fallbeispiel wird im Folgenden als «Etappierte Erhaltung» bezeichnet.

Im nächsten Schritt werden die Möglichkeiten und Grenzen zur Ermittlung der benötigten Mengen- und Wertgerüste für diese beiden Massnahmenarten aufgezeigt. Eine besondere Herausforderung stellt dabei jeweils die Definition des Referenzfalls dar. Dieser wird daher detailliert beschrieben und die Diskussion zu den Mengen- und Wertgerüsten fokussiert sich auf die Variablen, bei denen Differenzen zwischen den beiden Fällen ermittelbar sind.

4.2 Vertiefungsfall 1: «Verzögerte Erhaltung»

4.2.1 Festlegung Referenzfall und Planfall

Beschreibung (abstrahiert) Die Erhaltungsarbeiten (z.B. die Gesamterneuerung nach 40 Jahren) erfolgt gegenüber dem Referenzfall um einige Jahre verzögert. Dadurch können Reparaturarbeiten nach Ablauf der ordentlichen Lebensdauer von Bauteilen nötig werden, oder die Eingriffstiefe der Gesamterneuerung nimmt infolge des schlechteren Zustands der Infrastruktur zu.

In der Folge werden diese beiden Formen des Umgangs mit der verzögerten Erhaltung unterschieden:

Fall 1a: mit Überbrückungsmassnahmen

Fall 1b: ohne Überbrückungsmassnahmen

Fallbeispiel Die Gesamterneuerung eines Nationalstrassenabschnitts steht an. Die Erhaltungsarbeiten werden aber erst um 5 Jahre verzögert durchgeführt werden können. Neben dem Referenzfall stehen 2 Varianten zur Diskussion, in der ersten Variante wird der Erhaltungsbedarf durch gezielte Einzelmassnahmen des baulichen Unterhalts überbrückt. In der zweiten Variante ist nur kleiner baulicher Unterhalt vorgesehen. Es werden nur Reparaturen im Sinne von Sofortmassnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses sowie der Betriebssicherheit der Anlagen ohne lebensverlängernden Charakter durchgeführt. Dadurch verschlechtert sich im Laufe der Zeit der Zustand der Bausubstanz.

Im Fallbeispiel wird nach Grundbauwerk, Elektromechanik und Belag unterschieden. Zur Vereinfachung (Erklärung des Prinzips) werden keine weiteren Bauteile/Anlagegruppen aufgeführt. Die Belagserneuerung erfolgt alle 20 Jahre und beinhaltet auch die Erneuerung der Elektromechanik

Referenzfall Die Gesamterneuerung des Nationalstrassenabschnitts erfolgt wie geplant am Ende des Erhaltungszyklus nach 40 Jahren. Der «ordentlichen» Erhaltungszyklus im Referenzfall stellt eine zu jedem Zeitpunkt vollkommen gebrauchstaugliche Infrastruktur sicher.

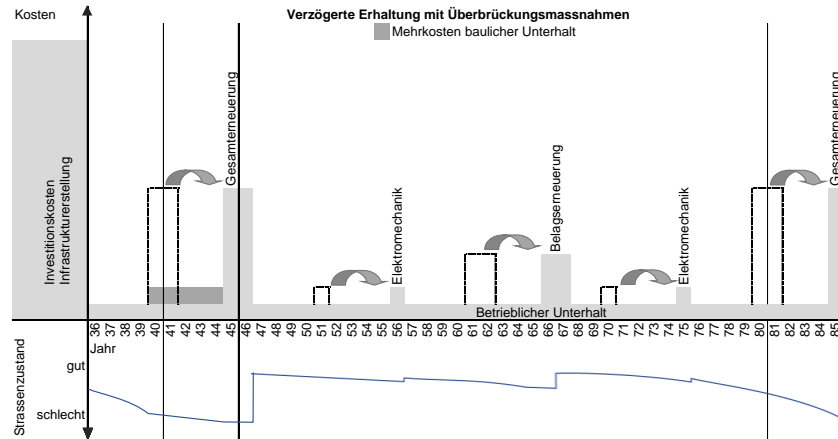
Während der Ausführung der Erhaltungsmassnahmen verursachen die Baustellen Behinderungen des Verkehrs. Diese können zu Effekten wie Zeitverlusten, höheren Emissionen und einem grösseren Unfallrisiko führen. Damit stellt der Referenzfall keinen «Null-Fall» dar.

Planfall 1a Verzögerte Erhaltung mit Überbrückungsmassnahmen

Die Gesamterneuerung wird um 5 Jahre verzögert. Nach Ablauf der Dauer des «ordentlichen» Erhaltungszyklus verschlechtert sich der Zustand des Strassenabschnitts zunehmend. Es werden daher gezielt Einzelmassnahmen eingesetzt, um den Erhaltungsbedarf zu überbrücken. Es wird einmalig zum regulären Erhaltungszeitpunkt ein Dünnschichtbelag mit einer Lebensdauer von etwa 5 Jahren

aufgetragen. Dazu muss eine Baustelle von 2 Tagen eingerichtet werden.

Es ergeben sich für den Planfall die in der folgenden Abbildung dargestellten Verschiebungen im Erhaltungszyklus.



Der Erhaltungsfall wird durch die folgenden Abweichungen vom Referenzfall beschrieben:

t_{En+x} Zeitpunkt, zu welchem die Erhaltungsmassnahme n um 5 Jahre verzögert umgesetzt wird.

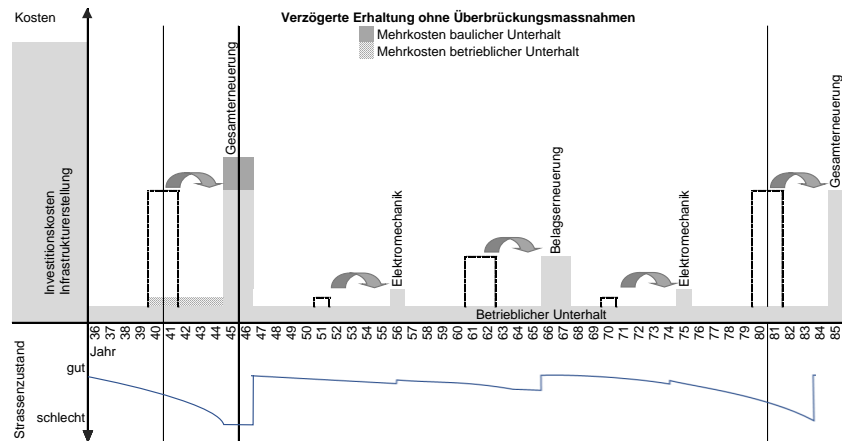
Δ_{kEn} Abweichung der Kosten der Erhaltungsmassnahme n (vermehrte Reparaturarbeiten)

Planfall 1b

Verzögerte Erhaltung ohne Überbrückungsmassnahmen

Die Gesamterneuerung wird um 5 Jahre verzögert. Nach Ablauf der Dauer des «ordentlichen» Erhaltungszyklus verschlechtert sich der Zustand des Strassenabschnitts zunehmend. Um die Betriebs- und Verkehrssicherheit der Anlagen zu gewährleisten, werden im Rahmen des betrieblichen Unterhalts Reparaturen ohne lebensverlängernden Charakter durchgeführt. Die Reparaturen erfolgen wie der reguläre betriebliche Unterhalt im Rahmen von 1 Tagesbaustelle pro Jahr. Die anschliessenden Erhaltungsarbeiten müssen mit einer grösseren Eingriffstiefe durchgeführt werden, da sie zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Es entstehen daher Mehrkosten von 20% und eine entsprechend längere Bauzeit.

Es ergeben sich für den Planfall die in der folgenden Abbildung dargestellten Verschiebungen im Erhaltungszyklus.



Der Erhaltungsfall wird durch die folgenden Abweichungen vom Referenzfall beschrieben:

$t_{E_{n+x}}$ Zeitpunkt, zu welchem die Erhaltungsmassnahme n um 5 Jahre verzögert umgesetzt wird.

Δk_{E_n} Abweichung der Kosten der Erhaltungsmassnahme n (grössere Eingriffstiefe)

4.2.2 Systemabgrenzung

Die Systemabgrenzung für den Planfall verzögerte Erhaltung ist unabhängig davon, ob Überbrückungsmassnahmen vorgesehen werden oder nicht. Es gilt daher für beide Planfälle die gleiche zeitliche räumliche und sachliche Systemabgrenzung.

Zeitlich	Es wird der Zeitraum eines Erhaltungszyklus plus die Anzahl Jahre, um die die Gesamterneuerung verzögert wird, betrachtet. ² Gemäss den gemachten Annahmen wären dies also mindestens 45 Jahre.
Räumlich	Das Erhaltungsobjekt bleibt unverändert. Der Beobachtungssperimeter wird identisch wie im Referenzfall definiert. Er umfasst das ganze Gebiet, in welchem sich verkehrliche Auswirkungen der Verkehrsbehinderung aufgrund der Baustelle ergeben. Die Gesamterneuerung des Nationalstrassenabschnitts kann in einem gewissen Ausmass zu Verlagerungen auf das untergeordnete Netz führen, die im Beobachtungssperimeter erfasst sein müssen.
Sachlich:	Betrachtet wird der MIV (PW, Lieferwagen, Schwerverkehr, Car, Motorrad) und der ÖV. Der Fuss- und Veloverkehr ist zu berücksichtigen, falls eine grosse Interaktion zwischen der HLS und dem untergeordneten Netz besteht. Andernfalls kann er vernachlässigt werden.

² Falls zu erwarten ist, dass sich das Verkehrsaufkommen ändert, muss der gesamte Erhaltungszyklus betrachtet werden, da die Baustellen zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu unterschiedlichen Nutzerkosten führen. Ist dies nicht der Fall kann eine Abschätzung über Restwerte erfolgen

4.2.3 Ermittlung der Auswirkungen

Gemäss der Abbildungsanalyse sind im wesentlichen Auswirkungen auf die nachfolgenden Grössen zu erwarten:

- 1) Kosten gemäss SN 641 820, insbesondere NISTRA Indikatoren W111, W112 und W114
- 2) Verkehrliches Mengengerüst mit Auswirkungen auf die NISTRA Indikatoren W121, W122, W123, U111, U211 und G211
- 3) Zuverlässigkeit (NISTRA Indikator W122)
- 4) Unfallraten (NISTRA Indikator G211)

Für jede dieser Grössen wird im Folgenden erläutert, welche Auswirkungen jeweils zu erwarten sind und wie diese quantifiziert werden können.

1) **Kosten gemäss SN 641 820**

Ergebnisse der Recherche

Für die Kosten-Nutzen-Analyse einer verzögerten Erhaltung sind vor allem die folgenden Kostenindikatoren relevant:

- Baukosten
- Ersatzinvestitionen
- Betriebs- und Unterhaltskosten

Landerwerbskosten spielen bei einer Erhaltungsmassnahme eine eher untergeordnete Rolle, da allfälliger zusätzlicher Landbedarf in der Regel nur vorübergehend besteht.

Für sämtliche Kosten ist für alle Jahre des Erhaltungszyklus die Abweichung zwischen dem Referenzfall und dem Planfall anzugeben, um Diskontierungseffekte abzubilden.

Baukosten

Unterschiede in den Baukosten zwischen einer verzögerten Erhaltung und einer regulären Erhaltung können sich – neben dem späteren Zeitpunkt – im Planfall 1b aus einer grösseren Massnahmentiefe aufgrund des schlechteren Strassenzustands ergeben.

Die Berechnung der Zusatzkosten aufgrund der grösseren Massnahmentiefe muss spezifisch für das konkrete Projekt ermittelt werden. Als Grundlage können dazu die Kostenansätze aus [29] verwendet werden.

Ersatzinvestitionen

Neben der Verschiebung des Zeitpunktes für die Ersatzinvestitionen können im Planfall 1b aufgrund der grösseren Massnahmentiefe die Baukosten entsprechend höher ausfallen als im Referenzfall. Dies ist jedoch spezifisch für das konkrete Projekt zu bestimmen.

Ebenfalls für das konkrete Projekt zu prüfen ist, ob durch die Verschiebung bereits vor der Erhaltungsmassnahme Ersatzinvestition in die elektromechanischen Anlagen getätigt werden müssen, um einen sicheren Verkehrsablauf zu gewährleisten. *Tab. 56* weist durchschnittliche Lebensdauern für einzelne Komponenten aus. Darin ist zu sehen, dass einige Komponenten, wie Überkopf- oder Bodensensoren, nur eine Lebensdauer von 5 bis 10 Jahren haben. Bei einer Verschiebung der Erhaltung um 5 Jahre kann es daher notwendig sein, diese bereits vor der Erhaltungsmassnahme zu ersetzen. Je nachdem ob bei der Erhaltungsmassnahme die gleichen Komponenten verwendet werden, kann dies zu Unterschieden in den Ersatzinvestitionskosten führen. Dies ist konkret für das betrachtete Projekt zu ermitteln.

Tab. 56 Lebensdauer der Komponenten einer Verkehrsbeeinflussungsanlage

Komponente	Durchschnittliche Lebensdauer
Verkehrszeichenbrücke	20 Jahre
Gabelständer	15 – 20 Jahre
Lichtfaser-Wechselverkehrszeichen	10 – 15 Jahre
LED-Wechselverkehrszeichen	10 – 15 Jahre
Induktionsschleifen	5 – 10 Jahre
Überkopfsensoren	5 Jahre
Bodensensoren	5 – 10 Jahre
Luftsensoren	10 Jahre
Rechner Unterzentrale	10 Jahre

Quelle: [17]

Betriebs- und Unterhaltskosten

Inwiefern sich die Betriebs- und Unterhaltskosten vor der Erhaltungsmassnahme zwischen dem Referenzfall und dem Planfall unterscheiden, hängt vom jeweiligen Fallbeispiel ab. Im hier beschriebenen Planfall 1a mit Überbrückungsmassnahmen sind auf jeden Fall die Kosten für den Dünnschichtbelag einzurechnen. Sollten andere Überbrückungsmassnahmen wie ein Flächenflick anstatt der regulären Rissinstandsetzung vorgesehen sein, muss dies ebenfalls berücksichtigt werden. Kostensätze für diese Massnahmen wurden in [29] zusammengestellt.

Im Planfall 1b ohne Überbrückungsmassnahmen kann es aufgrund eines schlechteren Strassenzustands zu höheren Kosten des betrieblichen Unterhalts kommen. [30] haben diesen Zusammenhang untersucht und festgestellt, dass für die Schweiz bisher keine verlässlichen Daten für den Zusammenhang zwischen Unterhaltsaufwand und Strassenzustand existieren. Dies kann auch darauf zurückzuführen sein, dass in der Schweiz generell ein sehr guter Strassenzustand unterhalten wird. Die Autoren haben basierend auf verschiedenen Quellen das folgend Kostenmodell hergeleitet, das die Kosten des betrieblichen Unterhalts $K_{\text{Unterhalt}}$ in Abhängigkeit von Strassenzustand abschätzt:

$$K_{\text{Unterhalt}} = s \cdot (NK(I_1) \cdot K_{\text{StrKat}} + K_{\text{Wert}})$$

Mit

- s = Länge der Strecke
 I_1 = Zustandsindex für Oberflächenschäden mit Spurrinntiefe gemäss SN 640 925b³
 $NK(I_1)$ = normalisierte Kosten in Abhängigkeit von Strassenzustandsindex I_1
 K_{StrKat} = durchschnittliche Unterhaltskosten gemäss Strassenkategorie
 K_{Wert} = zusätzliche Kosten zum Entgegenwirken des Wertverzehr

und

$$NK(I_1) = \begin{cases} 1/3 & \text{für } I_1 \in [0,1) \\ 1/2 \cdot I_1 & \text{für } I_1 \in [1,3) \\ 25/12 \cdot I_1^2 - 73/6 \cdot I_1 + 75/4 & \text{für } I_1 \in [3,5] \end{cases}$$

³ Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 0 bis 5, wobei 0 eine Strasse in hervorragendem Zustand und 5 eine Strasse in sehr schlechtem Zustand beschreibt.

und

$$K_{Wert} = \begin{cases} 185'400 \text{ CHF/km} & \text{für HLS, falls } I_1 \geq 4.5 \\ 92'700 \text{ CHF/km} & \text{für HVS, falls } I_1 \geq 4.5 \\ 57'680 \text{ CHF/km} & \text{für VS, falls } I_1 \geq 4.5 \\ 30'900 \text{ CHF/km} & \text{für ES und SS, falls } I_1 \geq 4.5 \\ 0 \text{ CHF/km} & \text{sonst} \end{cases}$$

sowie $K_{StrKat} = 3'500 \text{ CHF/km}$ für HLS und $K_{StrKat} = 4'640 \text{ CHF/km}$ für übrige Strassen. Alle Kosten beziehen sich auf das Basisjahr 2007.

Nach der Erhaltungsmassnahme sind die Betriebs- und Unterhaltskosten – abgesehen vom Diskontierungseffekt – gleich.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer verzögerten Erhaltung

Für sämtliche Kosten ist für alle Jahre des Erhaltungszyklus die Abweichung zwischen dem Referenzfall und dem Planfall anzugeben, um Diskontierungseffekte abzubilden.

Für eine Bestimmung der Unterschiede in den Baukosten ist eine genaue Spezifikation der Einzelmassnahmen notwendig, welche aufgrund der Verzögerung der Erhaltungsmassnahme zusätzlich anfallen. Für die Kostenschätzung können dann die Ansätze aus [29] verwendet werden.

Hinsichtlich der Ersatzinvestitionen ist für das Projekt zu prüfen, ob diese aufgrund der grösseren Massnahmentiefe höher ausfallen und ob durch die Verschiebung bereits vor der Erhaltungsmassnahme Ersatzinvestition in die elektromechanischen Anlagen getätigt werden müssen.

Inwiefern sich die Betriebs- und Unterhaltskosten vor der Erhaltungsmassnahme zwischen dem Referenzfall und dem Planfall unterscheiden, hängt vom jeweiligen Fallbeispiel ab. Gründe für höhere Kosten können Überbrückungsmassnahmen oder Zusatzkosten beim betrieblichen Unterhalt aufgrund eines schlechteren Fahrbahnzustands sein. Diese können mit dem oben dargestellten Verfahren nach [30] berechnet werden.

2) Verkehrliches Mengengerüst

Ergebnisse der Recherche

Das verkehrliche Mengengerüst dient als Eingangsgrösse für eine Reihe von Indikatoren. Die gemäss Abbildungsanalyse relevanten Indikatoren im Fall einer verzögerten Erhaltung sind:

- Reisezeitveränderungen Stammverkehr (NISTRA Indikator W121)
- Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr (NISTRA Indikator W123)
- Luftbelastung (NISTRA Indikator U111)
- Klimaeffekt (NISTRA Indikator U211)
- Unfälle (NISTRA Indikator G211)

Es sind daher die Veränderungen folgender Grössen zu bestimmen:

- Reisezeiten im Stammverkehr auf der Strasse nach Verkehrsmittel für Indikator W121
- Fahrleistungen der Fahrten im Stammverkehr auf der Strasse für den Indikator W123
- Fahrleistungen auf der Strasse (Gesamtverkehr) differenziert nach Ortslage und Fahrzeugkategorie für die Indikatoren G211, U111 und U211

Diese Grössen können mit Hilfe eines Verkehrsmodells oder einer Simulation des Verkehrsablaufs bestimmt werden. Im Folgenden wird erläutert, was dabei zu beachten ist.

Im ersten Schritt müssen die relevanten Verkehrsaufkommen für den Untersuchungszeitraum bestimmt werden. Es ist dabei zunächst zu prüfen, ob für den Betrachtungszeitraum im Untersuchungsraum eine massgebliche Erhöhung des Verkehrsaufkommens zu erwarten ist. Grundlage für diese Abschätzung kann der Prognosezustand eines Verkehrsmodells sein. Falls kein solcher Prognosezustand zur Verfügung steht, kann eine Prognose auf Grundlage von Prognosen zur Arbeitsplatz- und Einwohnerentwicklung, geplanten Entwicklungsgebieten, dem Auslastungszustand des Netzes und der Entwicklung des Verkehrsaufkommens in den letzten Jahren erstellt werden. Diese Datenquellen können auch dazu genutzt werden, um die Prognose des Verkehrsmodells spezifisch für den Untersuchungsperimeter zu plausibilisieren. Falls aufgrund der Prognose von einer linearen Entwicklung ausgegangen werden kann, so kann für jeden Zeitraum ein mittleres Verkehrsaufkommen bestimmt und dann hochgerechnet werden. Falls die erwartete Entwicklung nicht linear ist, müssen die resultierenden Reisezeiten für entsprechend viele Zeitzustände, ggf. sogar für jedes Jahr einzeln, bestimmt werden.

Anschliessend erfolgt die Ermittlung der verkehrlichen Auswirkungen einer verzögerten Erhaltung separat für drei Zeiträume:

- Vor der Erhaltungsmassnahme
- Während der Erhaltungsmassnahme
- Nach der Erhaltungsmassnahme

Vor der Erhaltungsmassnahme

Vor der Bauphase ist die von den Verkehrsteilnehmern realisierbare Reisegeschwindigkeit abhängig vom Verkehrsaufkommen und vom Strassenzustand. Zudem kann es zu Verkehrsbehinderungen durch Baustellen aufgrund des betrieblichen Unterhalts oder der Überbrückungsmassnahmen kommen.

Eine mögliche Auswirkung des Strassenzustands auf die Reisezeiten ist eine Reduktion der Geschwindigkeit aufgrund des schlechten Strassenzustands oder Verlagerung eines Teils des Verkehrs auf Alternativrouten aufgrund des geringen Fahrkomforts. Mit der derzeitigen Erhaltungs- und Unterhaltspraxis wurde ein so hochwertiger Strassenzustand erhalten, dass solche Effekte bisher nicht denkbar sind. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass mittels Überbrückungsmassnahmen (Planfall 1a) und des betrieblichen Unterhalts (Planfälle 1a und 1b) sichergestellt wird, dass dies auch im Rahmen der zu bewertenden verzögerten Erhaltung nicht der Fall sein wird.

Damit ist ein der Unterschied in den Reisezeiten zwischen dem Referenzfall und den Planfällen vor allem auf die Häufigkeit und Dauer der Reparaturbaustellen zurück zu führen. Es ist daher im Rahmen der Erarbeitung der Kosten-Nutzen-Analyse zu recherchieren, an wie vielen Tagen im Jahr es im Referenzfall und in den Planfällen zu Reduktionen der Geschwindigkeit oder Reduktionen in der Kapazität aufgrund von Reparaturbaustellen kommt. In diesem Fallbeispiel wird im Planfall mit Überbrückungsmassnahmen zusätzlich zum regulären betrieblichen Unterhalt einmalig zum Zeitpunkt der regulären Erhaltung für zwei Tage die betroffene Strecke jeweils in eine Richtung gesperrt, um einen Dünnschichtbelag aufzutragen. Im Planfall ohne Überbrückungsmassnahmen sind hingegen die gleichen Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer zu erwarten wie im Referenzfall. Allfällige Verlagerungseffekte können mit der gleichen Methodik berechnet werden wie die Verlagerungseffekte während der Bauphase.

Während der Erhaltungsmassnahme

In den bisherigen Arbeiten erfolgte die Abschätzung von Verlagerungseffekten aufgrund einer (verzögerten) Erhaltungsmassnahme oft mit einem vereinfachten Verfahren. In [30] wird zusätzlich zur Hauptstrecke eine Alternativroute definiert. Die Reisezeit dieser Alternativroute ergibt sich aus der Länge und einer mittleren Geschwindigkeit. Es wird

angenommen, dass Reisezeit auf der Alternativroute unabhängig von Verlagerungseffekten konstant bleibt und dass sich nur so viel Verkehr verlagert, bis ein Gleichgewichtszustand im Hinblick auf die Reisezeiten eintritt.

Bei dieser vereinfachten Betrachtung wird eine Reihe wesentlicher Faktoren nicht berücksichtigt, wie Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl oder die Auswirkungen des Zusatzverkehrs auf Ausweichrouten und die Reisezeitverzögerungen, die dadurch für Verkehrsteilnehmer entstehen, die nicht die Hauptstrecke benutzen. Falls für das Untersuchungsgebiet ein Verkehrsmodell zur Verfügung steht, sollte dieses für die Abschätzung der Reisezeitveränderungen verwendet werden. Ausser bei sehr komplexen Baustellenführungen sollte dabei ein makroskopisches Modell mit einer statischen Umlegung ausreichend sein. Es ist aber zu beachten, dass das Modell ausreichende räumliche Auflösung hat und neben der betroffenen Strecke auch die relevanten Alternativrouten beinhaltet. Falls dies nicht der Fall ist, muss der betroffene Netzausschnitt verfeinert und neu kalibriert werden.

Sind aufgrund einer langen Dauer der Umleitung oder einer starken Veränderung der Reisezeiten Verkehrsmittelwahlveränderungen zu erwarten, können diese entweder mit einem Verkehrsmodell oder mittels einer vereinfachten Abschätzung mittels Pivot-Point Ansatz (siehe Kapitel 3.2.3) berechnet werden. Bei grösseren Veränderungen des Modal Shift sollte zudem mehrmals eine Rückkoppelung zwischen der Umlegung und der Verkehrsmittelwahl gerechnet werden.

Falls kein Verkehrsmodell vorliegt, können die wesentlichen Veränderungen auch mittels Handumlegungen ermittelt werden. Dazu sollte das Vorgehen gemäss [30] so erweitert werden, dass es nicht nur eine, sondern alle relevanten Alternativrouten umfasst. Zudem muss der Einfluss der zusätzlichen Verkehrsbelastung auf die Reisezeit auf den Alternativrouten berücksichtigt werden. Dies kann beispielsweise über das hinterlegen von sogenannten Capacity-Restraint-Funktionen erfolgen, welche für verschiedene Strassentypen den Zusammenhang zwischen der Auslastung einer Strecke und der Reisezeit darstellen. Die entsprechenden Capacity-Restraint-Funktionen werden derzeit im Projekt [61] hergeleitet. Weitere Hinweise zu diesem Thema werden zudem im Rahmen des Forschungsprojektes [57] erarbeitet.

Der Unterschied zwischen den Planfällen 1a und 1b liegt vor allen in der verlängerten Dauer der Bauarbeiten in Planfall 1b aufgrund der grösseren Eingriffstiefe. Zudem kann es zu einem abweichenden Bauablauf und damit anderen Verkehrsbehinderungen kommen. Dies ist bei der Ermittlung der Auswirkungen zu berücksichtigen.

Nach der Erhaltungsmassnahme

Nach der Bauphase kann davon ausgegangen werden, dass es keine Unterschiede zwischen dem Referenzfall und den Planfällen hinsichtlich der Geschwindigkeit, der Kapazität und dem Fahrkomfort auf der Strecke gibt. Die Unterschiede in den Reisezeiten ergeben sich daher rein aus der Anzahl Jahre nach der Massnahme im Untersuchungszeitraum und dem zu erwartenden Verkehrsaufkommen. Im Falle einer Veränderung des Verkehrsaufkommens gegenüber dem Zeitraum vor der Bauphase ist es jedoch notwendig, die Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Routen entweder mittels Umlegung im Verkehrsmodell oder mittels Handumlegung zu bestimmen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer verzögerten Erhaltung

Die Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen erfolgt getrennt für die Zeit vor, während und nach der Bauphase.

Falls ein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte dies verwendet werden, ggf. muss es jedoch verfeinert und neu kalibriert werden. Ein makroskopisches Modell ist in der Regel ausreichend. Die Abschätzung der Verkehrsmittelwahleffekte kann mittels Pivot-Point-Ansatz erfolgen.

Falls kein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte mittels Handumlegungen die Verteilung der Nachfrage auf die betroffene Route und alle relevanten Alternativrouten erfolgen.

3) Zuverlässigkeit**Ergebnisse der Recherche**

Baustellen können insbesondere aufgrund der durch sie verursachte Reduktion der Kapazität, aber auch durch Baustellenverkehr und kurzfristige baubedingte Einschränkungen grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit haben. Diese Effekte abzubilden, ist komplex und bisher nicht ausreichend erforscht. Bei bisherigen Arbeiten zu Kosten-Nutzen-Analysen von Erhaltungsmassnahmen wurde dieser Effekt entsprechend meist vernachlässigt (vgl. [49], [30], [31]).

Vergleicht man den Planfall einer verzögerten Erhaltung mit dem Referenzfall einer regulären Erhaltung, sind die Unterschiede vor allem aufgrund unterschiedlicher Verkehrsaufkommen zu erwarten. Ein grösseres Verkehrsaufkommen kann dabei zu überproportional grösseren Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit führen. Es ist fraglich, ob eine Abbildung mit dem Ansatz gemäss SN 641 825 diese Dynamik abbilden kann, insbesondere da dort nur ein Abschnitt mit einer homogenen Kapazität modelliert wird und nicht die dynamischen Effekte eines Abschnitts mit geringerer Kapazität zwischen anderen Abschnitten mit der Ausgangskapazität.

Dies kann nur mit Hilfe einer Simulation des Verkehrsablaufes abgebildet werden. Wie bei der Dosierung (vgl. Kapitel 3.3.3) besteht hier jedoch noch Forschungsbedarf insbesondere hinsichtlich der Frage, welche Kennzahlen der Simulation am besten für ein Mass der Zuverlässigkeit geeignet sind.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Ermittlung allfälliger Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz. Die aktuelle SN 641 825 stellt nur eine Methode für Hochleistungsstrassen zur Verfügung. Grundsätzlich können auch die Auswirkungen im untergeordneten Netz mittels Simulation ermittelt werden. Die Abbildung des gesamten betroffenen Netzausschnittes ist allerdings sehr aufwändig. Es ist daher fraglich, ob der Aufwand dafür im Verhältnis zu den erwarteten Auswirkungen auf den Nutzen in der KNA steht. Wünschenswert wäre daher ein vereinfachtes Verfahren für eine Abschätzung analog zu dem für Hochleistungsstrassen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer verzögerten Erhaltung

Baustellen haben grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit. Führt die Verzögerung einer Erhaltungsmassnahme zu einem grösseren Verkehrsaufkommen während der Bauphase, kann dies zu überproportional grösseren Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit führen.

Diese Effekte abzubilden, ist komplex und erfordert eine dynamische Simulation des Verkehrsflusses. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit.

Allfällige Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz ebenfalls nur mittels Simulation ermittelt werden. Es ist fraglich, ob der damit verbundene Aufwand im Verhältnis zu den erwarteten Auswirkungen auf den Nutzen in der KNA steht. Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Methoden für eine einfachere Abschätzung.

4) Unfallraten**Ergebnisse der Recherche**

Hinsichtlich der Abschätzung der Unfallkosten ist wiederum zwischen dem Zeitraum vor der Erhaltungsmassnahme, während der Erhaltungsmassnahme und nach der Erhaltungsmassnahme zu differenzieren.

Vor der Erhaltungsmassnahme

Unterschiede zwischen Referenz- und Planfall bezüglich der Unfallkosten können im Zeitraum vor der Massnahme verursacht werden durch

- Unterschiedliche Verkehrsaufkommen
- Mehr Reparaturbaustellen
- Veränderte Unfallraten aufgrund des Strassenzustands

Die Unterschiede im Verkehrsaufkommen ergeben sich aus dem verkehrlichen Mengengerüst, das wie oben beschrieben ermittelt wird. Hinsichtlich der Reparaturbaustellen wird in diesem Fallbeispiel angenommen, dass sich der Planfall 1b in Bezug auf die Zahl und Dauer der Baustellen nicht vom Referenzfall unterscheidet. Im Planfall 1a kommt einmalig eine 2-tägige Baustelle zum Auftragen eines Dünnschichtbelags hinzu. Aufgrund der Kürze der Bauzeit empfehlen wir in Anlehnung an das Handbuch zu eNISTRA, allfällige Veränderungen nur bei starken Veränderungen auszuweisen.

Der Zusammenhang zwischen Unfallraten und Strassenzustand ist empirisch schwer nachzuweisen, wie [30] in einer ausführlichen Zusammenstellung der verfügbaren Literatur aufgezeigt haben. Der Grund ist, dass neben dem Fahrbahnzustand noch viele weitere Faktoren wie Nässe, Fahrverhalten, Geschwindigkeiten, etc. die Unfallrate beeinflussen. Vor allem das Fahrverhalten spielt eine wichtige Rolle. Bei schlechterem Strassenzustand fahren Autofahrer langsamer und vorsichtiger, was zu weniger Unfällen führt. Die wesentliche Einflussgrösse des Fahrbahnzustands ist die Griffigkeit der Strasse. Nimmt diese ab, kommt es vor allem bei nasser Fahrbahn zu mehr Unfällen. Basierend auf ihrer Literaturdurchsicht leiten [30] von der Griffigkeit I_4 abhängige Unfallraten $\theta(I_4)$ für Autobahnen, Strassen innerorts und Strassen ausserorts ab. Diese sind in Anhang II dargestellt.

Bei der Anwendung dieser Zusammenhänge auf konkrete Fallbeispiele stellten [31] fest, dass mit diesem Ansatz die Unfallkosten tendenziell überschätzt werden. Zum einen wird der potentiellen Anpassung des Fahrverhaltes, insbesondere der Geschwindigkeit, bei

schlechtem Fahrbahnzustand nicht Rechnung getragen. Zum anderen ist der wichtigste Einflussfaktor bei den Berechnungen der Ausgangszustand des Indikators I_4 im Referenzfall. Ist der Fahrbahnzustand im Referenzfall sehr gut, sind die Differenzen zum Planfall klein, da es lange dauert bis die Strasse einen schlechten Zustand erreicht. Ist hingegen der Ausgangszustand schlecht, ergeben sich grosse Unterschiede zwischen den Unfallkosten zwischen dem Referenz- und Planzustand. Geht man davon aus, dass mit der derzeitigen Erhaltungs- und Unterhaltungspraxis ein sehr hochwertiger Strassenzustand erhalten wird, stellt sich die Frage, ob eine Abschätzung der Unfallzahlen von der Griffigkeit zweckdienlich ist. Es besteht weiterer Forschungsbedarf.

Während der Erhaltungsmassnahme

Während der Erhaltungsmassnahme sind einerseits die Unfälle im direkten Zusammenhang mit der Baustelle und andererseits die Unfälle auf den Alternativrouten zu betrachten. Die Unfälle auf den Alternativrouten können auf Grundlage des verkehrlichen Mengengerüsts streckenspezifisch gemäss SN 641 824 ermittelt werden. Erfolgt hier eine grosse Verlagerung in das untergeordnete Netz, ist aufgrund der höheren Unfallraten mit einer deutlichen Zunahme der Unfallkosten zu rechnen.

Die Unfallraten im direkten Zusammenhang mit der Baustelle unterscheiden sich grundsätzlich nicht zwischen Referenz- und Planfall. Es kann aber zu Abweichungen aufgrund des unterschiedlichen Verkehrsaufkommens und im Planfall 1b der längeren Dauer der Baustelle kommen. Es stellt sich jedoch die Frage, welche Unfallraten im Zusammenhang mit der Baustelle zu verwenden sind, da die SN 641 824 Baustellen nicht explizit berücksichtigt.

Betrachtet man die Unfallraten an Baustellen, so ist hinsichtlich der Auswirkungen zwischen den Überführungs- und Verschwenkungsbereichen und dem Baustellenbereich zu unterscheiden. In den Überführungs- und Verschwenkungsbereichen bzw. dem Beginn und Ende der Baustelle sind insbesondere auf Autobahnen mehr Unfälle als auf einer Strecke ohne Baustelle zu verzeichnen (vgl. [54], [19], [16], [49]). Mögliche Gründe hierfür sind inhomogene Geschwindigkeiten, Veränderungen in der Anzahl Fahrstreifen, Veränderungen der räumlichen Linienführungen und häufige Fahrstreifenwechsel. Allerdings beobachteten [16] auf deutschen Autobahnen, dass in diesem Bereich zwar die Unfallrate insgesamt höher ist, allerdings nahm aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten die Unfallschwere ab und es gab weniger Unfälle mit Personenschaden.

Im Baustellenbereich treten gegenläufige Effekte auf. Auf der einen Seite führen die homogenen Geschwindigkeiten zu weniger Unfällen. Dem entgegen wirken fehlende Pannestreifen, der Wegfall von Fahrspuren, verringerte Fahrbahnbreiten und Veränderungen der räumlichen Linienführung, welche tendenziell zu mehr Unfällen führen. Dies führt gemäss [19] und [16] dazu, sich die Unfallraten im Baustellenbereich selber kaum von denen auf der freien Strecke unterscheiden. Damit ist die räumliche Länge einer Baustelle für die Berechnung der Unfallraten weniger relevant.

Hinsichtlich der Quantifizierung dieser Effekte für Schweizer Strassen besteht jedoch noch Forschungsbedarf. [16] weisen für deutsche Autobahnen differenzierte Unfallraten für Baustellen aus. Allerdings sind bereits auf Strecken ohne Baustellen die Unfallzahlen in Deutschland nicht direkt mit denen in der Schweiz vergleichbar, so dass diese Ergebnisse nicht direkt übertragen werden können. Die zitierten Studien arbeiten bisher mit Annahmen, die zwischen 50% (vgl. [19]) und 300% (vgl. [49]) mehr Unfällen als auf Strecken ohne Baustellen liegen. Was fehlt ist eine systematische Analyse von Unfällen in Baustellenbereichen unter Berücksichtigung der Lage im Baustellenbereich und der umgesetzten Verkehrsführung.

Nach der Erhaltungsmassnahme:

Die Unfallraten nach der Bauphase im Planfall entsprechen denen im Referenzfall. Unterschiede in den Baukosten ergeben sich allenfalls aus dem Verkehrsaufkommen. Hier kann die Berechnung gemäss SN 641 824 vorgenommen werden.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer verzögerten Erhaltung

Bei der Ermittlung der Unfallkosten ist zwischen dem Zeitraum vor der Erhaltungsmassnahme, während der Erhaltungsmassnahme und nach der Erhaltungsmassnahme zu differenzieren.

Vor der Erhaltungsmassnahme können Unterschiede zwischen Referenz- und Planfall durch unterschiedliche Verkehrsaufkommen, mehr Reparaturbaustellen und veränderte Unfallraten aufgrund des Strassenzustands verursacht werden. Der Zusammenhang zwischen Unfallraten und Strassenzustand ist empirisch schwer nachzuweisen, da neben dem Fahrbahnzustand noch viele weitere Faktoren die Unfallrate beeinflussen. Bisherige Studien haben diesem Umstand noch zu wenig Rechnung getragen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf.

Während der Erhaltungsmassnahme sind einerseits die Unfälle im direkten Zusammenhang mit der Baustelle und andererseits die Unfälle auf den Alternativrouten zu betrachten. Die Unfälle auf den Alternativrouten können auf Grundlage des verkehrlichen Mengengerüsts streckenspezifisch gemäss SN 641 824 ermittelt werden.

Die Unfallraten im direkten Zusammenhang mit der Baustelle unterscheiden sich grundsätzlich nicht zwischen Referenz- und Planfall. Es kann aber zu Abweichungen aufgrund des unterschiedlichen Verkehrsaufkommens und im Planfall 1b der längeren Dauer der Baustelle kommen. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf um verlässliche Unfallraten für Baustellen in der Schweiz zu ermitteln.

Nach der Erhaltungsmassnahme kann für die unterschiedlichen Verkehrsaufkommen im Referenz- und Planfall jeweils eine Berechnung gemäss SN 641 824 vorgenommen werden.

4.2.4 Wertgerüste und Bewertung

Für die Bewertung einer verzögerten Erhaltung können die Wertgerüste der Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie in den Schweizer Normen SN 641 820ff. definiert sind, verwendet werden. Es besteht kein Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf.

4.3 Vertiefungsfall 2: «Etappierte Erhaltung»

4.3.1 Festlegung Referenzfall und Planfall

Beschreibung (abstrahiert)

Die Erhaltungsarbeiten (z.B. die Gesamterneuerung nach 40 Jahren) erfolgen etappiert. Die Dauer der Gesamterneuerung verlängert sich dadurch um 2 Jahre. Ein Grund dafür kann sein, dass der Verkehr so wenig wie möglich beeinträchtigt werden soll (z.B. etappiertes Arbeiten während der Nacht oder ausserhalb der Hauptreisezeit). Weitere mögliche Gründe für eine Etappierung sind Abhängigkeiten von anderen Projekten.

Durch die Etappierung können sich die Arbeiten weniger effizient gestalten und bedürfen nicht nur mehr Zeit, sondern verursachen auch höhere Kosten. Sollte die Etappierung durch Abhängigkeiten von anderen Projekten verursacht werden, müssen die daraus entstehenden Wechselwirkungen in die Bewertung einbezogen werden.

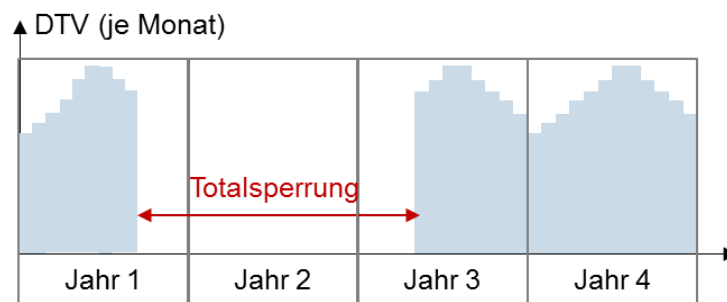
Der Zustand des Objekts wird durch die umgesetzten Massnahmen im selben Umfang hergestellt wie im Referenzfall, und die Gebrauchstauglichkeit ist zu keinem Zeitpunkt eingeschränkt. Durch die längere Bauphase weicht der Erhaltungsfall jedoch vom «ordentlichen» Erhaltungszyklus ab.

Fallbeispiel

Die Gesamterneuerung eines einröhrigen Strassentunnels von 2 km Länge in einer Agglomeration auf einer Tourismusroute (z.B. Agglomerationen wie Chur, Interlaken, Chablais, Bellinzona oder Luzern) steht an. Aufgrund der zu befürchtenden Verkehrsbehinderungen und der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten werden verschiedene Varianten erwogen. Die Grundfrage lautet dabei: Lohnt sich der Mehraufwand eines etappierten Bauvorgangs, wenn dadurch die Verkehrsbehinderungen reduziert werden können? Neben dem Referenzfall stehen 2 Varianten zur Diskussion.

Referenzfall

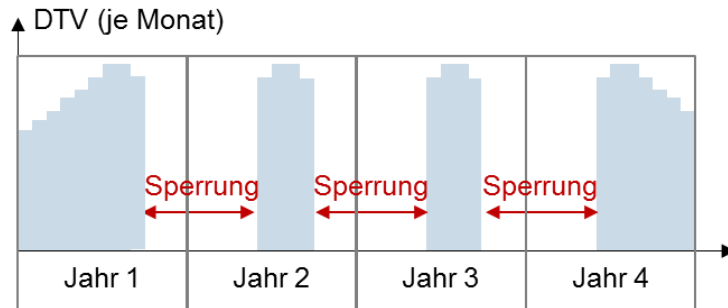
Totalsperrung während 20 Monaten. Die Totalsperrung verursacht grössere Verkehrsbehinderung. Auf den Ausweichrouten ist mit erheblichem Mehrverkehr zu rechnen.



Planfall 2a

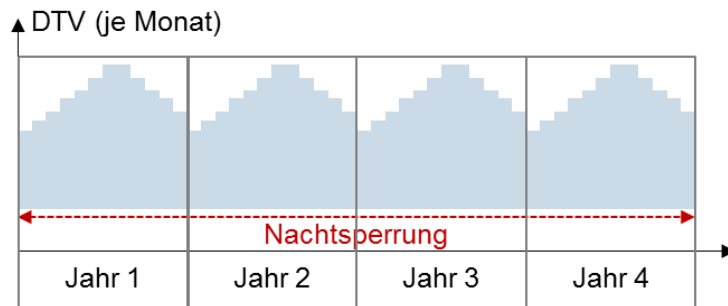
Sperrung (während 3 x 8 Monate) mit Öffnung während der Hauptreisezeit: Die Erhaltungsarbeiten werden für die Hauptreisezeit

unterbrochen, womit die grössten Verkehrsbehinderungen vermieden werden können. Der Ausweichverkehr auf alternative Routen ist entsprechend geringer.

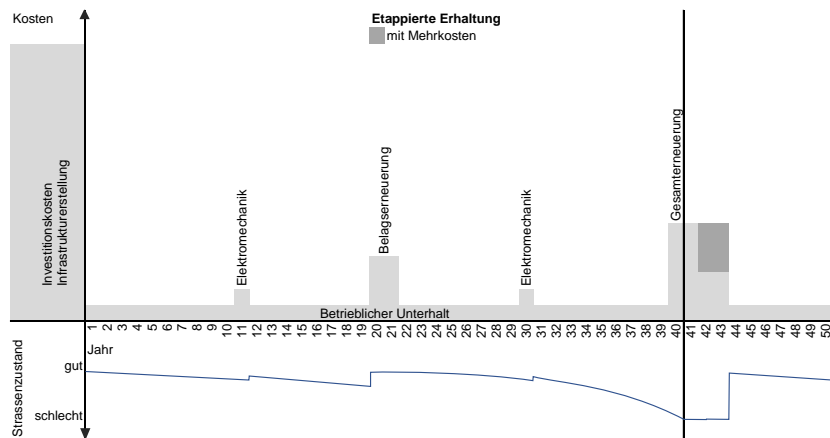


Planfall 2b

Nachtsperrung (während 48 Monaten): Die Erhaltungsarbeiten werden so organisiert, dass sie nur nachts stattfinden und der Tunnel von 06.00 – 20.00 Uhr dem Verkehr zur Verfügung steht.



Beispielschema Das Schema zu diesem Erhaltungsfall zeigt die längere Dauer der **Erhaltungszyklus** Gesamterneuerungsarbeiten (Varianten 2 und 3) und weist auf die erhöhten Kosten hin. Ansonsten weicht das Schema nicht von jenem des «ordentlichen» Erhaltungszyklus gemäss Referenzfall (Variante 1) ab.



Der Erhaltungsfall wird durch die folgenden Abweichungen vom Referenzfall beschrieben:

- d_{En+y} Dauer der Umsetzung der Erhaltungsmassnahme n (in Jahren), Veränderung um y Jahre
- ΔK_{En} Abweichung der Kosten der Erhaltungsmassnahme n (veränderter Aufwand infolge Etappierung)

4.3.2 Systemabgrenzung

Zeitlich	Es wird der Zeitraum eines Erhaltungszyklus plus die Anzahl Jahre, um die Gesamterneuerung verlängert wird, betrachtet. Gemäss den gemachten Annahmen wären dies also mindestens 43 Jahre.
Räumlich	Das Erhaltungsobjekt bleibt unverändert. Der Beobachtungssperimeter wird identisch wie im Referenzfall definiert. Er umfasst das ganze Gebiet, in welchem sich verkehrliche Auswirkungen der Verkehrsbehinderung aufgrund der Baustelle ergeben. Die Gesamterneuerung des Nationalstrassenabschnitts kann in einem gewissen Ausmass zu Verlagerungen auf das untergeordnete Netz führen, die im Beobachtungssperimeter erfasst sein müssen
Sachlich	Betrachtet wird der MIV (PW, Lieferwagen, Schwerverkehr, Car, Motorrad) und der ÖV. Fuss- und Veloverkehr wird vernachlässigt, da diese Verkehrsmittel auf dem HLS-Netz nicht zulässig sind und die Auswirkungen vernachlässigbar sein dürften.

4.3.3 Ermittlung der Auswirkungen

Entsprechend der Abbildungsanalyse sind im wesentlichen Auswirkungen auf die nachfolgenden Grössen zu erwarten:

- 1) Kosten gemäss SN 641 820, insbesondere NISTRA Indikator W111
- 2) Verkehrliches Mengengerüst mit Auswirkungen auf die NISTRA Indikatoren W121, W122, W123, U111, U211 und G211
- 3) Zuverlässigkeit (NISTRA Indikator W122)
- 4) Unfallraten (NISTRA Indikator G211)

Für jede dieser Grössen wird im Folgenden erläutert, welche Auswirkungen jeweils zu erwarten sind und wie diese quantifiziert werden können.

1) *Kosten gemäss SN 641 820*

Ergebnisse der Recherche

Für die Kosten-Nutzen-Analyse einer etappierten Erhaltung sind vor allem die Baukosten relevant. Landerwerbskosten spielen bei einer Erhaltungsmassnahme eine eher untergeordnete Rolle, da allfälliger zusätzlicher Landbedarf in der Regel nur vorübergehend besteht. Bei den Kosten für Ersatzinvestition sind aufgrund der Etappierung in der Regel keine Unterschiede zwischen Plan- und Referenzfall zu erwarten. Sollte dies aufgrund der speziellen Projektgegebenheiten doch der Fall sein, ist dies entsprechend zu berücksichtigen. Ebenso sind in der Regel keine Unterschiede bei den Betriebs- und Unterhaltskosten zu erwarten. Allenfalls kann es zu Kostenunterschieden bei der polizeilichen Verkehrsregelung und Überwachung aufgrund anderer Fahrleistungen kommen. Diese können gemäss SN 641 826 ermittelt werden.

Die Baukosten umfassen die Kosten für die Einrichtung und das Auflösen der Baustelle, die temporäre Verkehrsführung und die Massnahmenkosten am Objekt. Die genaue Höhe

dieser Kosten muss im Rahmen der Planungen des konkreten Erhaltungsprojekts ermittelt werden. Einheitskostensätze liegen für die Schweiz bisher keine vor.

Unterschiede zwischen dem Referenzfall und dem Planfall ergeben sich vor allem aus Mehrkosten für das mehrmalige Einrichten und Auflösen der Baustelle und die wiederholte Anpassung der Verkehrsführung (z.B. Anpassen der Sicherheitseinrichtungen und der Signalisation). Zudem sind die Unterhaltskosten für die Verkehrsführung aufgrund der längeren Bauzeit höher.

Bei den Kosten für die Massnahme am Objekt können sich durch die etappierte Erhaltung ebenfalls Unterschiede ergeben, falls die einzelnen Arbeitsschritte anders strukturiert werden müssen.

Für den Planfall 2b sind zudem zusätzliche Kosten aufgrund der Nachtarbeit zu erwarten. Gemäss Erfahrungswerten sind Nachtbaustellen rund 20% teurer als Tagesbaustellen. Ein weiteres Thema im Zusammenhang mit Nachtbaustellen sind die gesundheitlichen Folgen für Arbeitende aufgrund der Nachtarbeit. Die volkswirtschaftlichen Folgekosten durch Ausfälle können signifikant ausfallen. Die Berücksichtigung dieses Aspekts stellt jedoch eine grosse Herausforderung dar und wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht weiterverfolgt.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer etappierten Erhaltung

Die Etappierung einer Erhaltungsmassnahme hat vor allen Dingen Auswirkungen auf die Baukosten. Durch das mehrfache Einrichten und Auflösen der Baustelle sowie die wiederholten Anpassungen der Verkehrsführung sind Mehrkosten zu erwarten. Diese müssen projektspezifisch ermittelt werden. Einheitskosten liegen für die Schweiz bisher nicht vor.

Im Planfall 2b ist zudem aufgrund der Nachtarbeit erfahrungsgemäss mit etwa 20% höheren Kosten zu rechnen.

2) Verkehrliches Mengengerüst

Ergebnisse der Recherche

Das verkehrliche Mengengerüst dient als Eingangsgrösse für eine Reihe von Indikatoren. Die gemäss Abbildungsanalyse relevanten Indikatoren im Fall einer etappierten Erhaltung sind:

- Reisezeitveränderungen Stammverkehr (NISTRA Indikator W121)
-
- Betriebskosten Fahrzeuge Stammverkehr (NISTRA Indikator W123)
- Luftbelastung (NISTRA Indikator U111)
- Klimaeffekt (NISTRA Indikator U211)
- Unfälle (NISTRA Indikator G211)

Es sind daher die Veränderungen folgender Grössen zu bestimmen:

- Reisezeiten im Stammverkehr auf der Strasse nach Verkehrsmittel für Indikator W121
- Fahrleistungen der Fahrten im Stammverkehr auf der Strasse für den Indikator W123
-
- Fahrleistungen auf der Strasse (Gesamtverkehr) differenziert nach Ortslage, und Fahrzeugkategorie für die Indikatoren U111, U211 und G211
-

Diese Grössen können mit Hilfe eines Verkehrsmodells oder einer Simulation des Verkehrsablaufs bestimmt werden. Im Folgenden wird erläutert, was dabei zu beachten ist.

Wie im Fall einer verzögerten Erhaltung müssen zunächst die relevanten Verkehrsaufkommen für den Untersuchungszeitraum bestimmt werden. Das Vorgehen dazu entspricht demjenigen in Kapitel 0. Die Ermittlung der verkehrlichen Auswirkungen einer etappierten Erhaltung erfolgt separat für:

- den Zeitraum während der Erhaltungsmassnahme
- im Planfall 2a: die Zeiträume zwischen den Bauphasen der Erhaltungsmassnahme
- den Zeitraum nach der Erhaltungsmassnahme

Eine Betrachtung des Zeitraums vor der Bauphase wie im Fall der verzögerten Erhaltung ist nicht notwendig, da sich dieser zwischen Referenz- und Planfall nicht unterscheidet.

Während der Erhaltungsmassnahme

Das Vorgehen zur Berechnung der Reisezeiten während den Bauphasen erfolgt analog zum Vorgehen in Kapitel 0. Im Fall von mehreren Bauphasen (Planfall 2a) ist zu beachten, dass sich einerseits die Verkehrsaufkommen und andererseits die betroffenen Strassenabschnitte zwischen den Bauphasen unterscheiden können. Falls dies der Fall ist, muss die Bestimmung der Reisezeiten für jede einzeln erfolgen.

Zwischen den Bauphasen

Für die Zeit zwischen den Bauphasen ist auf Grundlage des Projektes zu prüfen, ob während dieser Zeit hinsichtlich Geschwindigkeit und Kapazität der Grundzustand wiederhergestellt werden kann oder ob es Einschränkungen geben wird. Ist dies der Fall, dann ist es auch bei gleichbleibendem Verkehrsaufkommen notwendig, Umlegungen oder Handumlegungen durchzuführen, um die Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Routen zu ermitteln. Ebenso sind neue Umlegungen notwendig, falls sich das Verkehrsaufkommen in diesem Zeitraum verändert.

Nach der Erhaltungsmassnahme

Für den Zeitraum nach der Bauphase gelten die gleichen Ausführungen wie für die verzögerte Erhaltung (vgl. Kapitel 0).

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer etappierten Erhaltung

Das Vorgehen zur Ermittlung der verkehrlichen Auswirkungen einer etappierten Erhaltung entspricht grundsätzlich dem bei der verzögerten Erhaltung.

Allerdings kann auf eine gesonderte Betrachtung des Zeitraums vor der Erhaltungsmassnahme verzichtet werden, da sich Referenz- und Planfall nicht unterscheiden. Stattdessen muss im Fall einer etappierten Erhaltung mit Unterbrüchen (Planfall 2a) die Zeit zwischen den einzelnen Bauphasen separat betrachtet werden.

3) Zuverlässigkeit

Ergebnisse der Recherche

Baustellen können insbesondere aufgrund der durch sie verursachten Reduktion der Kapazität, aber auch durch Baustellenverkehr und kurzfristige baubedingte Einschränkungen grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit haben. Bei bisherigen

Arbeiten zu Kosten-Nutzen-Analysen von Erhaltungsmassnahmen wurde dieser Effekt jedoch meist vernachlässigt (vgl. [49], [30], [31]).

Vergleicht man den Planfall einer etappierten Erhaltung mit dem Referenzfall einer regulären Erhaltung, kann es zu Unterschieden hinsichtlich der Zuverlässigkeit kommen. Bei einer Erhaltung sind diese Beeinträchtigungen unter Umständen geringer als ohne Etappierung, allerdings treten sie über einen längeren Zeitraum auf. Diese Effekte abzubilden, ist komplex und bisher nicht ausreichend erforscht.

Eine Abbildung gemäss den Methoden der SN 641 825 ist nicht zweckdienlich. Neben den in Abschnitt 3.3.3 diskutierten Einschränkungen für das untergeordnete Netz, können auch die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im Hochleistungsnetz damit nicht abgebildet werden, da dort nur ein Abschnitt mit einer homogenen Kapazität modelliert wird und nicht die dynamischen Effekte eines Abschnitts mit geringerer Kapazität zwischen anderen Abschnitten mit der Ausgangskapazität. Dies kann nur mit Hilfe einer Simulation des Verkehrsablaufes abgebildet werden. Wie bei der Dosierung (vgl. Kapitel 3.3.3) besteht hier jedoch noch Forschungsbedarf insbesondere hinsichtlich der Frage, welche Kennzahlen der Simulation am besten für ein Mass der Zuverlässigkeit geeignet sind.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Ermittlung allfälliger Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz. Die aktuelle SN 641 825 stellt nur eine Methode für Hochleistungsstrassen zur Verfügung. Grundsätzlich können auch die Auswirkungen im untergeordneten Netz mittels Simulation ermittelt werden. Die Abbildung des gesamten betroffenen Netzausschnittes ist allerdings sehr aufwändig. Es ist daher fraglich, ob der Aufwand dafür im Verhältnis zu den erwarteten Auswirkungen auf den Nutzen in der KNA steht. Wünschenswert wäre daher ein vereinfachtes Verfahren für eine Abschätzung analog zu dem für Hochleistungsstrassen.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer etappierten Erhaltung

Baustellen haben grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit. Durch eine Etappierung einer Erhaltungsmassnahme können diese unter Umständen geringer ausfallen, dafür aber über einen längeren Zeitraum.

Diese Effekte abzubilden, ist komplex und erfordert eine dynamische Simulation des Verkehrsflusses auf dem Hochleistungsnetz und dem betroffenen untergeordneten Netz. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit.

Allfällige Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz ebenfalls nur mittels Simulation ermittelt werden. Es ist fraglich, ob der damit verbundene Aufwand im Verhältnis zu den erwarteten Auswirkungen auf den Nutzen in der KNA steht. Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Methoden für eine einfachere Abschätzung.

4) Unfallraten

Ergebnisse der Recherche

Wie im Fall einer verzögerten Erhaltung müssen die Unfallkosten für die folgenden Zeiträume ermittelt werden.

- den Zeitraum während der Erhaltungsmassnahme
- im Planfall 2a: die Zeiträume zwischen den Bauphasen der Erhaltungsmassnahme
- den Zeitraum nach der Erhaltungsmassnahme

Während der Erhaltungsmassnahme

Während der Erhaltungsmassnahme sind wie bei der verzögerten Erhaltung die Unfälle im direkten Zusammenhang mit der Baustelle und die Unfälle auf den Alternativrouten zu betrachten. Die Unfälle auf den Alternativrouten können auf Grundlage des verkehrlichen Mengengerüstes streckenspezifisch gemäss SN 641 824 ermittelt werden. Erfolgt hier eine Verlagerung vom Hochleistungsnetz in das untergeordnete Netz, ist aufgrund der höheren Unfallraten mit einer deutlichen Zunahme der Unfallkosten zu rechnen.

Die Unfallraten im direkten Zusammenhang mit der Baustelle unterscheiden sich grundsätzlich nicht zwischen Referenz- und Planfall. Es kann aber zu Abweichungen aufgrund des unterschiedlichen Verkehrsaufkommens und der Dauer der Baustelle kommen. Hinsichtlich der Frage, welche Unfallraten im Zusammenhang mit der Baustelle zu verwenden sind, gelten die gleichen Überlegungen wie in Kapitel 0.

Zwischen den Bauphasen

Für den Zeitraum zwischen den Bauphasen kann eine Berechnung der Unfallraten gemäss SN 641 824 unter Berücksichtigung des ermittelten verkehrlichen Mengengerüstes vorgenommen werden.

Nach der Erhaltungsmassnahme

Die Unfallraten nach der Bauphase im Planfall entsprechen denen im Referenzfall. Unterschiede in den Baukosten ergeben sich allenfalls aus dem Verkehrsaufkommen. Hier kann die Berechnung gemäss SN 641 824 vorgenommen werden.

Fazit: Empfehlung zu Vorgehen/Verwendung bei Bewertung einer etappierten Erhaltung

Bei der Berechnung der Unfallkosten müssen der Zeitraum während der Erhaltungsmassnahme, der Zeitraum zwischen den Bauphasen (Planfall 2a) und der Zeitraum nach der Erhaltungsmassnahme einzeln betrachtet werden.

Für den Zeitraum während der Erhaltungsmassnahme können die Unfallkosten auf den Alternativrouten gemäss SN 641 824 ermittelt werden. Für die Ermittlung der Unfallkosten auf der Hauptroute besteht jedoch noch Forschungsbedarf um verlässliche Unfallraten für Baustellen in der Schweiz zu ermitteln.

Für den Zeitraum nach der Erhaltung können die Unfallkosten gemäss SN 641 824 ermittelt werden.

4.3.4 Wertgerüste und Bewertung

Für die Bewertung einer etappierten Erhaltung können die Wertgerüste der Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie in den Schweizer Normen SN 641 820ff. definiert sind, verwendet werden. Es besteht kein Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf.

4.4 Hinweise zur Bewertung von Erhaltungsmassnahmen mittels Kosten-Nutzen-Analyse

In diesem Kapitel wurde im Rahmen einer Abbildungsanalyse überprüft, inwiefern die angestrebten Wirkungen verschiedener Massnahmenarten der Erhaltung in einer Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können. Es ist festzustellen, dass für die relevanten Massnahmenarten grundsätzlich die Wirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse abgebildet werden können.

Anschliessend wurden zwei Massnahmenarten – verzögerte Erhaltung und etappierte Erhaltung – vertieft analysiert. Die Analyse ergab die folgenden Erkenntnisse:

- Vorgehen, Referenzfall und Systemabgrenzung: Bei der Kosten-Nutzen-Analyse von Erhaltungsmassnahmen kommt der Definition des Referenzfalles eine besondere Bedeutung zu. Der Referenzfall entspricht jeweils einem «ordentlichen» Erhaltungszyklus. Dieser muss hinsichtlich Kosten und Wirkungen gleich detailliert beschrieben werden wie der zu prüfende Planfall.
- Kosten:
 - Die Unterschiede in den Baukosten von Erhaltungsprojekten hängen stark von der Spezifizierung des Referenz- und Planfalls ab. Im Fall einer verzögerten Erhaltung ist es essentiell, dass für sämtliche Kosten die Abweichung zwischen dem Referenzfall und dem Planfall für jedes Jahr des Erhaltungszyklus angegeben wird, um Diskontierungseffekte abzubilden.
 - Zusatzkosten entstehen bei der verzögerten Erhaltung vor allem durch Mehraufwand beim betrieblichen Unterhalt, und bei der etappierten Erhaltung durch das mehrmalige Einrichten und Auflösen der Baustelle bzw. Nacharbeitszuschläge.
- Verkehrliche Mengengerüste:
 - Die Berechnung der verkehrlichen Auswirkungen erfolgt getrennt für die Zeit vor, während und nach der Bauphase und im Fall der etappierten Erhaltung zwischen den Bauphasen. Falls ein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte dies verwendet werden, ggf. muss es jedoch verfeinert und neu kalibriert werden. Ein makroskopisches Modell ist in der Regel ausreichend. Falls kein Verkehrsmodell vorhanden ist, sollte mittels Handumlegungen die Verteilung der Nachfrage auf die betroffene Route und alle relevanten Alternativrouten erfolgen. Der Bericht enthält konkrete Hinweise zum Vorgehen für Handumlegungen, die im Einzelfall angewendet werden können.
- Zuverlässigkeit: Baustellen haben grosse Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit. Diese Effekte abzubilden, ist komplex und erfordert eine dynamische Simulation des Verkehrsflusses. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich eines geeigneten Masses für die Zuverlässigkeit.
- Unfallraten und Unfallkosten: Es gibt derzeit keine verlässlichen Auswertungen zu Unfallraten und Unfallkosten in Abhängigkeit vom Strassenzustand oder im Zusammenhang mit Baustellen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Auf Ausweichrouten können die Unfallkosten gemäss SN 641 824 bestimmt werden.

5 Fazit und weitergehender Forschungsbedarf

Das Ziel des Forschungsvorhabens war zu prüfen, inwieweit die Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641820 ff. auch für die Bewertung von Massnahmen aus weiteren Kategorien für vergleichende Bewertungen geeignet ist. Diese Analyse wurde am Beispiel vom Massnahmen des Verkehrsmanagements und der Erhaltung durchgeführt.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen und verweist auf die Kapitel im Bericht, wo entsprechende Grundlagen für Anwender dokumentiert sind.

Tab. 57 Anwendbarkeit der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse bei Verkehrsmanagement und Erhaltungsmassnahmen

	Verkehrsmanagement		Erhaltungsmassnahmen	
	Nationalstrasse	Untergeordnetes Netz	Verzögerung	Etappierung
Verkehrliche Mengengerüste	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Dynamisch Umlegung - Verkehrsmittelwahl mit Pivot Point	Ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Simulation - Verkehrsmittelwahl mit Pivot Point	Ermittelbar (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - getrennte Berechnung vor, während und nach der Erhaltung - statische Umlegung oder Handumlegungen	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - getrennte Berechnung vor, während und nach der Erhaltung - statische Umlegung oder Handumlegungen
Zuverlässigkeit	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - SN 641 825 mit Anpassungen	Nicht nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation	Teilweise nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation	Teilweise nach Norm ermittelbar. (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf für Zuverlässigkeitsmasse auf Basis Simulation
Unfälle	Ermittelbar (s. Kap. 3.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Unfallkostenraten der SN 641 824	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Unfallkostenraten der SN 641 824 nur teilweise geeignet	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.2.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf zu Auswirkung von Baustellen und Strassenzustand - Ausweichrouten: SN 641 824	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 4.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf zu Auswirkung von Baustellen und Strassenzustand - Ausweichrouten: SN 641 824
Aufenthaltsqualität	Nicht relevant	Teilweise ermittelbar (s. Kap. 3.3.3) <u>Empfehlungen:</u> - Forschungsbedarf - Ermittlung der Trennwirkung gemäss EWS 1997 [26]	Nicht relevant	Nicht relevant
Fazit: Normen anwendbar?	Problemlos mit beschriebenen Verfahren	Zu empfehlen mit beschriebenen Verfahren und Hinweisen	Eingeschränkt mit Bezug auf Unfälle und Zuverlässigkeit während Bauphase	Eingeschränkt mit Bezug auf Unfälle und Zuverlässigkeit während Bauphase

Die Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse ist auf Nationalstrassen sowohl für Verkehrsmanagementmassnahmen als auch für Erhaltungsmassnahmen gut möglich.

Hier sind prinzipiell auch die Grundlagen für die Anwendung vorhanden. Im untergeordneten Netz bestehen Herausforderungen vor allem hinsichtlich der Verkehrsmodelldaten, der Aufenthaltsqualität und der Abbildung der Unfälle. Hier wird der Stand des Wissens dargestellt, Anwendungshinweise gegeben und der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Weitergehender Forschungsbedarf

Im Rahmen der Bearbeitung ergab sich weiterer Forschungsbedarf zu den folgenden Punkten:

- **Aufenthaltsqualität im Perimeter:** Ein wesentliches Ziel von Verkehrsmanagementmassnahmen kann die Steigerung der Aufenthaltsqualität respektive der Attraktivität für den Fuss- und Veloverkehr im Perimeter sein. Wie im Rahmen des Fallbeispiels Dosierung diskutiert, existiert bisher kein zufriedenstellender Ansatz für die Quantifizierung dieses Aspekts, welcher der Vielzahl von beeinflussenden Faktoren gerecht wird. Für Dosierungen wurde als erster Ansatz eine Messung der Trennwirkung einer Strasse nach EWS vorgeschlagen. Diese deckt jedoch nur einen Teil der angestrebten Effekte und nur den Fussverkehr ab. Es besteht daher weiterer Forschungsbedarf.
- **Komfortsteigerungen im MIV:** Durch eine Koordination von Lichtsignalanlagen kann die Anzahl Anfahr- und Bremsvorgänge für PW-Fahrer reduziert werden, was zu einer Steigerung des Fahrkomforts führt. Bisher fehlen jedoch Ansätze, diese Komfortsteigerung zu quantifizieren und allfällige Auswirkungen auf die Routenwahl aufzuzeigen.
- **Zuverlässigkeit:**
 - Die Erhöhung der Zuverlässigkeit kann ein wesentliches Ziel von Verkehrsmanagementmassnahmen wie Dosierungen sein. In komplexen urbanen Verkehrssystemen ist diese jedoch neben dem täglichen Verkehrsaufkommen von vielen weiteren Faktoren abhängig, welche mit den derzeitigen statischen Ansätzen nicht abgebildet werden.
 - Dies gilt ebenso für Baustellen, wo die Art der Verkehrsführung und die Verflechtungsvorgänge am Beginn einer Baustelle einen grösseren Einfluss auf die Zuverlässigkeit haben als die reine Kapazitätsreduktion. In beiden Fällen können die Auswirkungen nur mit Hilfe einer Verkehrsflusssimulation abgebildet werden. Es fehlen jedoch noch geeignete Kennzahlen und Masse für die Verwendung in Kosten-Nutzen-Analysen.
 - Da die bestehende SN 641 825 ausschliesslich für Hochleistungsstrassen gilt, können damit keine Auswirkungen von Massnahmen auf die Zuverlässigkeit im untergeordneten Netz untersucht werden. In vielen Fällen ist jedoch der Aufwand für die Erstellung einer Verkehrsflusssimulation zu gross. Hier besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Methoden für eine einfachere Abschätzung.
- **Unfälle:**
 - Für Dosierungen wird angenommen, dass die Verstetigung des Verkehrsflusses zu geringeren Unfallraten führt. In neuen empirischen Auswertungen der Schweizer Unfallstatistik zeigt sich jedoch, dass die Unfallraten innerorts bei regen Verkehrsbedingungen⁴ sogar höher sind als bei starkem Verkehr oder gar Kolonnen. Es fehlt bisher jedoch eine Erklärung dieser Beobachtungen und damit die Möglichkeit daraus die Effekte einer Dosierung oder ähnlicher Verkehrsmanagementmassnahmen abzuleiten.
 - Betrachtet man die Unfallraten an Baustellen, so ist hinsichtlich der Auswirkungen zwischen den Überführungs- und Verschwenkungsbereichen und dem Baustellenbereich zu unterscheiden. In den Überführungs- und Verschwenkungsbereichen sind insbesondere auf Autobahnen mehr Unfälle als auf einer Strecke ohne Baustelle zu verzeichnen. Im Baustellenbereich treten gegenläufige Effekte auf. Hinsichtlich der Quantifizierung dieser Effekte für

⁴ In den polizeilich erhobenen Unfalldaten wird zwischen folgenden Verkehrsbedingungen unterschieden: «schwach», «rege», «stark», «stockende Kolonne», «stehende Kolonne» und «andere».

Schweizer Strassen besteht jedoch noch Forschungsbedarf. Die bisherigen Studien arbeiten mit Annahmen, die zwischen 50% und 300% mehr Unfällen als auf Strecken ohne Baustellen liegen. Es fehlt eine systematische Analyse von Unfällen in Baustellenbereichen unter Berücksichtigung der Lage im Baustellenbereich und der umgesetzten Verkehrsführung.

Anhänge

I	Darstellung der Nutzen für den Fuss- und Veloverkehr in Nutzwertanalysen	129
II	Unfallraten in Abhängigkeit von der Griffigkeit	131

I Darstellung der Nutzen für den Fuss- und Veloverkehr in Nutzwertanalysen

Im Rahmen von NISTRA ist derzeit im Rahmen der Indikatoren G121 und G122 eine qualitative Einschätzung der Auswirkungen auf die Attraktivität auf den Fuss- und Veloverkehr für jeden Streckenabschnitt auf einer 7-stufigen Skala vorgesehen. Anschliessend werden die relative Qualitätsveränderung mit der Streckenlänge und dem DTV Fuss- und Veloverkehrsaufkommen und der Streckenlänge gewichtet. Zwei wesentliche Schwierigkeiten im Umgang mit diesen Indikatoren ist jedoch doch, dass einerseits die qualitative Einschätzung stark subjektiv ist und dass andererseits häufig keine Grundlagen für die Bestimmung der DTV Aufkommen im Fuss- und Veloverkehr vorliegen.

In der Forschungsarbeit [59] zur Nutzenermittlung von Dosierungen werden die Auswirkungen auf die Attraktivität für den Fuss- und Veloverkehr ebenfalls basierend auf der Verkehrsstärke bestimmt. Anders als in [26] wurde dabei nicht der Zusammenhang mit einer konkreten Kenngrösse abgebildet, welcher empirisch herleitbar wäre. Es wurde vielmehr angenommen, dass die Verkehrsstärke ganz allgemein Auswirkungen auf den Komfort und die Wartezeiten von Fuss- und Velofahrern hat. Massgebend ist dabei die relative Differenz zwischen der Verkehrsstärke im Plan- und Referenzzustand. Diese wird klassifiziert und in Anlehnung an die NISTRA Indikatoren G121 und G122 auf einer 7-stufigen Skala bewertet. Anschliessend wird ein längengewichteter Mittelwert berechnet. In der Forschungsarbeit wird jedoch nicht beschrieben, auf welcher Grundlage die Klassifizierung der Verkehrsstärkendifferenzen vorgenommen wurde oder welche Auswirkungen mit dieser Bewertung genau beschrieben werden. Zudem scheinen die Klassengrenzen angesichts der zu erwartenden Auswirkungen einer Verkehrsdosierung auf die stündliche Verkehrsstärke hoch gewählt.

Differenz der Belastung [Fz/h]	Note
kleiner -50%	3
- 25% bis - 50%	2
- 10% bis -25%	1
10% bis - 10%	0
10% bis 25%	-1
25% bis 50%	-2
grösser 50%	-3

Abb.12 Auswirkungen von Veränderungen der Verkehrsstärke auf die Attraktivität des Fuss- und Veloverkehrs; Quelle: [59], S. 67

II Unfallraten in Abhängigkeit von der Griffigkeit

Basierend auf ihrer Literaturdurchsicht leiten [30] von der Griffigkeit I_4^5 abhängige Unfallraten $\theta(I_4)$ für Autobahnen, Strassen innerorts und Strassen ausserorts ab. Für die Unfallraten auf Autobahnen wurden die Erkenntnisse von [56] auf schweizerische Verhältnisse adaptiert. Die Basis für die Unfallraten auf Innerorts- und Ausserortsstrassen war [60]. Die Ergebnisse sind in Tab. 58, Tab. 59 und Tab. 60 dargestellt.

Tab. 58 Unfallraten in Abhängigkeit von der Griffigkeit auf Autobahnen

Unfallrate	$\theta(I_4) = 0.4 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.0098I_4^2 + 0.1081I_4 + 0.5966)}$
Verletztenrate	$\theta(I_4) = 0.16 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.0098I_4^2 + 0.1081I_4 + 0.5966)}$
Getötetenrate	$\theta(I_4) = 0.003 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.0098I_4^2 + 0.1081I_4 + 0.5966)}$
Quelle [30], S. 77	

Tab. 59 Unfallraten in Abhängigkeit von der Griffigkeit auf Strassen innerorts

I_4	$\theta(I_4)$		
	Sachschäden	Verletzte	Getötete
0 – 1.5	2.2	0.92	0.0098
1.5 – 3.0	2.75	1.15	0.0123
3.0 – 4.0	5.5	2.30	0.0246
4.0 – 5.0	8.8	3.68	0.0392
Quelle [30], S. 78			

Tab. 60 Unfallraten in Abhängigkeit von der Griffigkeit auf Strassen ausserorts

I_4	$\theta(I_4)$		
	Sachschäden	Verletzte	Getötete
0 – 1.5	0.7	0.41	0.0138
1.5 – 3.0	1.05	0.5125	0.0173
3.0 – 4.0	2.1	1.025	0.0346
4.0 – 5.0	2.8	1.64	0.0552
Quelle [30], S. 78			

⁵ Zustandsindex für die Griffigkeit gemäss SN 640 925b, Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 0 bis 5, wobei 0 eine Strasse in hervorragendem Zustand und 5 eine Strasse in sehr schlechtem Zustand beschreibt.

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA (2013), „Richtlinie Pannestreifenumnutzung“.

Normen

- [2] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Grundnorm**“, SN 641 820.
- [3] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Diskontsatz**“, SN 641 821.
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2007), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Zeitkosten im Personenverkehr**“, SN 641 822.
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2009), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Zeitkosten im Personenverkehr**“, SN 641 822a.
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Unfallraten und Unfallkostensätze**“, SN 641 824.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2009), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Bewertung und Abschätzung der Zuverlässigkeit**“, SN 641 825.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2017), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Bewertung und Abschätzung der Zuverlässigkeit**“, SN 641 825.
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Betrieblicher Unterhalt von Strassen**“, SN 641 826.
- [10] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2009), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Externe Kosten**“, SN 641 828.
- [11] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Verkehrsmanagement; Begriffssystematik**“, SN 640 781.
- [12] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung**“, SN 640 925b.
- [13] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1998), „**Baustellen auf Strassen unter Verkehr - Verkürzung der Bauzeit und Verminderung von Verkehrsbehinderungen aufgrund finanzieller Anreize**“, SN 641 505.

Dokumentation

- [14] Abay, G., Meier-Eisenmann, E. (2001) **Zweckmässigkeitskriterien für Infrastruktureinrichtungen von Strassenverkehrstelematik-Systemen**, VSS 1999/257.
- [15] Axhausen, K.W., Jäggi, B., Dobler, C. (2015): **Bemessungsverkehrsstärken: Ein neuer Ansatz**, VSS 2011/103.
- [16] Bakaba, J. E. (2012): **Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen**, Studie im Auftrag des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
- [17] Balmerberger, M., Maibach, W., Schüller, H., Dahl, A., Schäfer, T. (2014): **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus**, Studie im Auftrag der Bundesanstalt für Strassenwesen.
- [18] Bernard, M. (2008): **Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für Autobahnabschnitte unter Berücksichtigung der Zufallsgrössen Verkehrsnachfrage und Kapazität in der Risikoanalyse**, Dissertation, ETH Zürich.
- [19] Bruns, F., Riedi, M., Frankhauser, S., Baud, O. (2003): **Volkswirtschaftlicher Nutzen und Kosten einer beschleunigten Realisierung von Autobahnbaustellen mittels Anreizsystemen**, VSS 2001/101.
- [20] Bundesamt für Raumentwicklung (2014a): **Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2010 und Entwicklungen seit 2005**, Bern.
- [21] Bundesamt für Raumentwicklung (2014b): **Nationales Personenverkehrsmodell UVEK, Aktualisierung auf den Basiszustand 2010**, Bern.
- [22] Bundesamt für Statistik (2015): **Kosten und Finanzierung des Verkehrs, Jahr 2010**, Neuchâtel.

- [23] Bundesamt für Strassen (2008): **Faktenblatt 3 - Verkehrsmanagement Schweiz (VM-CH)**, Bern.
- [24] Carsten, O.M.J., Tate, F.N. (2005): **Intelligent speed adaptation: accident savings and cost-benefit analysis**, *Accident Analysis and Prevention*, 37, p 407–416.
- [25] Ecoplan (2004): Endura - **Nachhaltigkeitscheckliste für Erhaltungsprojekte. Anpassung der NISTRA-Methodik für die Substanzerhaltung der Nationalstrassen**. Studie im Auftrag des ASTRA.
- [26] EWS (1997): **Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen**, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln.
- [27] Geistefeldt/Glatz. (2010): **Temporäre Seitenstreifenfreigabe, Beispiel Hessen in Deutschland**, *Strasse und Verkehr*, S. 24-27.
- [28] Girmscheid, G., Fastrich, A.: **Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen – Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen**, *VSS 2004/715*.
- [29] Gnehm, V. (2008): **Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen**, *VSS 2004/711*.
- [30] Herrmann, T., Lüking, J., Schindele, N., Adey, B., Hajdin, R. (2008): **Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen**, *VSS 2004/714*.
- [31] Herrmann, T., Lüking, J., Schneider, A., Fastrich, A., Hajdin, R., Adey, B., Mirzaei, Z. (2012): **Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahnerhaltungsmassnahmen**, *VSS 2009/707*.
- [32] Herrmann, T., Kessler C., Lüking J. (2018): **Aktualisierung SN 641 826, Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen**, *VSS 2015/112*.
- [33] its-ch (2007): **Verkehrstelematik Glossar und Stichworte**.
- [34] Kononov, J. H., Hersey, S., Reeves, D., Allery, B. (2012): **Relationship Between Freeway Flow Parameters and Safety and Its Implications for Hard Shoulder Running**, *Transportation Research Record*, 2280.
- [35] Kritzinger, S., Rikus, S., auf der Maur, A., Schad, H., Lutzenberger, M., Axhausen, K.W., Weis, C. (2013): **Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr, Vorstudie**, *SVI 2010/004*.
- [36] Laube, M. (2001): **Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen**, *Swiss Transport Research Conference (STRC)*, Ascona.
- [37] Maillard, P. (2010): **Chronique d'un essai polite entre Morges et Ecublens**, *Strasse und Verkehr*, Nr. 12, 10-16.
- [38] Maillard, P. (2016): **PUN- Ein System zur Verbesserung der Sicherheit, auch bei Unterhaltsarbeiten**, *SISTRA Fachtagung*, Sursee.
- [39] Middelham, F. (2003): **State of Practice in Dynamic Traffic Management in the Netherlands**, *IFAC Proceedings Volumes*, Tokyo.
- [40] Nebel, W., Gessenhardt, J. (2014) **Kosten-Nutzen-Untersuchungen kooperativer Verkehrstelematik**, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaften*, 2014 / 3, S. 214 – 232.
- [41] Oregon Department of Transportation (2016): **Reliability Performance Analyses Using HERS-ST Phase II - Delay**.
- [42] Ortúzar J. de D., Willumsen L.G. (2011): **Modelling Transport**, Fourth Edition, *John Wiley & Sons Ltd*, Chichester, UK.
- [43] Peer, S., Link, C., Deußner, R., Kaucic, J., Grebe, S., de Jong, G., Kouwenhoven, M., Koster, P. (2016): **Mobilität der Zukunft - Ergebnisbericht Projekt RELAUT – Unzuverlässige Reisezeiten in Österreich: Ausmaß, Kosten und Wirkung**, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.
- [44] Prozzi, J. (2012): **Calibration of HERS-ST for Estimating Traffic impact on Pavement Deterioration in Texas**, Report 169205. Southwest Region University Transportation Center.
- [45] Rahimian, S., McNeil, S. (2011): **Assessing and Interpreting the Benefits Derived from Implementing and Using Asset Management Systems - Step by Step Manual Developed for HERS-ST as an Asset**, University of Delaware.
- [46] Rapp, M., Engdahl, J., Felix, A., Nikles, P. (2002): **Voraussetzungen für die dynamische Umwidmung von Standstreifen zu Fahrstreifen**, *VSS 1999/218*.
- [47] Riegelhut, G. P. (2007): **Temporary Hard Shoulder Use in Hessen - Experiences and Strategic Planning**, *i2tern conference*, Aalborg.
- [48] Röhling, W., Burg, R., Schäfer, T., Walther, C. (2008): **Kosten-Nutzen-Analyse: Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen**, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

- [49] Schiffmann, F. (2014): **Entscheidungsmodell zur Ermittlung optimaler Baustellenabschnitte an Autobahnen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht**, Dissertation, ETH Zürich.
-
- [50] Schiffmann, F., Lindenmann, H.P., Hajdin, R., Botzen, M., Girmscheid, G. (2013), **Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen**. Studie im Auftrag des ASTRA.
-
- [51] Schnabel/Lohse. (2011): **Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung**. Beuth, Berlin.
-
- [52] Schüller, H., Fehren-Schmitz, K., Rühle, A., Deublein, M., Straumann, R., Ulmer, M. (2016): **Forschungspaket VeSPA, Teilprojekt 2-M: Massnahmen und Potentiale im Bereich Infrastruktur, SVI 2014/009**.
-
- [53] Schwietering, C., Neumann, T., Volkenhoff, T., Fazekas, A., Jakobs, E., Oeser, M. (2017) **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**, Studie im Auftrag der Bundesanstalt für Strassenwesen.
-
- [54] Spacek, P., Laube, M., Santel, G. (2005): **Baustellen an Hochleistungsstrassen, Verkehrstechnische Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses, VSS 1999/127**.
-
- [55] Stadt Zürich (2015): **Konzept Verkehrsmanagement**, Arbeitsgruppe Integriertes Verkehrsmanagement (AG IVM).
-
- [56] Stütze, T. (2004): **Volkswirtschaftlich gerechtfertigte Interventionswerte für die Erhaltung von Bundesautobahnen**, Dissertation, TU Berlin.
-
- [57] Transoptima und IMC (laufend): **Routenwahlverhalten durch baustellenbedingte Reisezeitveränderungen infolge geplanter Erhaltungsprojekte (RobaRE)**, VSS 2015/413.
-
- [58] Weis, C., Axhausen, K.W. (2011): **Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs**, SVI 2004/012.
-
- [59] Widmer P., Buhl, T., Aemisegger, P., Hackney, J. Rieser, M., Bernhard, J. (2014): **Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen**, SVI 2007/020.
-
- [60] Vegdirektoratet. (1997). **Veg-gepsprojektet**. Statens Vegvesen Vegdirektoratet.
-
- [61] Vrtic, M., C. Weis, G. Rindsfuser und W. Matthews (2018): **Kalibrierung von Capacity-Restraint-Funktionen**, VSS 2015/113.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 9. Mai 2018

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2013/104

Projekttitel: Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse für neue Massnahmenarten

Enddatum: 9. Mai 2018

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das Ziel des Forschungsvorhabens war zu prüfen, inwieweit die Kosten-Nutzen-Analyse gemäss SN 641820 ff. für Neu- und Ausbaumassnahmen auch für die vergleichende Bewertung von anderen Massnahmenarten geeignet ist. Diese Analyse wurde am Beispiel von Verkehrsmanagement und Erhaltung durchgeführt.

Der Bericht zeigt auf, welche Besonderheiten bei der Bewertung von Massnahmen des Verkehrsmanagements und der Erhaltung hinsichtlich Vorgehen, Definition des Referenzfalls und zur Systemabgrenzung zu beachten sind. Für die Ermittlung von Kosten, verkehrlichen Mengengerüsten, Zuverlässigkeit, Unfälle und der Aufenthaltsqualität (Trennwirkung) werden Grundlagen für eine Anwendung der Normen bereitgestellt.

Fazit ist, dass die Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse auf Nationalstrassen sowohl für Verkehrsmanagementmassnahmen als auch für Erhaltungsmassnahmen gut möglich ist. Hier sind prinzipiell auch die Grundlagen für die Anwendung vorhanden. Im untergeordneten Netz bestehen Herausforderungen vor allem hinsichtlich der Ermittlung der benötigten Verkehrsdaten, der Zuverlässigkeit, der Aufenthaltsqualität und der Abbildung der Unfälle. Hier werden der Stand des Wissens dargestellt, Anwendungshinweise gegeben und der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Zielerreichung:

Die Ziele der Forschungsarbeit wurden erreicht: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse auf Nationalstrassen und im untergeordneten Netz wurden sowohl für Verkehrsmanagementmassnahmen als auch für Erhaltungsmassnahmen aufgezeigt. Für das untergeordnete Netz werden der Stand des Wissens dargestellt, Anwendungshinweise gegeben und der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Normen zur Kosten-Nutzen-Analyse auf Nationalstrassen sollten zukünftig vermehrt auch für Verkehrsmanagementmassnahmen und Erhaltungsmassnahmen angewendet werden. Der weitere Forschungsbedarf zur Ermittlung von Auswirkungen und ihrer Bewertung sollte angegangen werden.

Publikationen:

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bruns

Vorname: Frank

Amt, Firma, Institut: EBP Schweiz AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Zürich, 19.06.18 



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Forschungsarbeit zeigt der Person, die ein Projekt für eine Verkehrsmanagement- oder eine Erhaltungsmassnahme bewerten soll, Schritt für Schritt auf, welche Fragen zu stellen und zu beantworten sind. Im Gegensatz zu Neu- und Ausbauprojekten, auf die sich das Normenwerk der Kosten-Nutzen-Analyse typischerweise richtet, stehen weniger die Projektkosten als vielmehr die treffsichere Prognose des verkehrlichen Mengengerüsts im überlasteten Strassennetz bzw. die Prognose der Betriebs- und Erhaltungskosten in Abhängigkeit vom Zustand der Infrastruktur im Vordergrund. Wesentlich für eine klare Bewertung von solchen Projekten ist auch die Festlegung eines plausiblen Referenzfalls. Der Forschungsbericht bietet den bewertenden Personen eine systematische Hilfestellung.

Umsetzung:

Der Forschungsbericht lässt sich als Handbuch zur Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse gemäss schweizerischen Normen für spezielle Projekte verwenden. Er demonstriert, worauf bei der Anwendung der KNA-Normen zu achten ist, und schlägt mögliche Lösungen für spezielle Herausforderungen vor.

weitergehender Forschungsbedarf:

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich Verkehrsprognosen im überlasteten Strassennetz, die mit vertretbarem Aufwand tragfähige Grundlagen für die Projektbewertung liefern. Bezüglich Erhaltungsmassnahmen besteht Forschungsbedarf hinsichtlich den Betriebs- und Erhaltungskosten in Abhängigkeit vom Strassenzustand.

Einfluss auf Normenwerk:

Das Normenwerk muss aufgrund der neuen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt nicht angepasst werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Lüking

Vorname: Dr. Jost

Amt, Firma, Institut: R+R Burger und Partner AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Digital unterschrieben von Jost
Lüking
OLE cn=Dimit Lüking, o=R+R, ou,
email=lueking@r+R.ch, c=CH
Date: 2018.08.17 09:16:09 +0200'

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.