

Forschungsauftrag VSS 2003/302

## **Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung**

Bearbeitung:

R. Richterich, dipl. Ing. ETH  
T. Koy, dipl. Ing. ETH  
J. Korn, Dr.-Ing. TU  
R. Laube, dipl. Ing. ETH

Rapp Trans  
Rapp Trans  
SNZ Ingenieure und Planer  
SNZ Ingenieure und Planer

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Teil A: Einführung</b>	<b>1</b>
<b>1 Ausgangslage</b>	<b>1</b>
<b>2 Forschungsziele und Vorgehen</b>	<b>3</b>
<b>Teil B: Analyse realisierter Rampenbewirtschaftungen</b>	<b>5</b>
<b>3 Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>4 N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal-Gubrist</b>	<b>6</b>
4.1 Allgemeine Informationen	6
4.2 Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung	7
4.3 Langzeitauswirkungen der Rampenbewirtschaftung	9
4.4 Rampenbewirtschaftungstypen	10
4.5 Einsatzmöglichkeiten	11
<b>5 A1/A3 Bereich Baregg tunnel</b>	<b>12</b>
5.1 Anschluss Baden-West	12
5.2 Anschluss Neuenhof	15
<b>6 Erkenntnisse aus der Grundlagenanalyse</b>	<b>15</b>
<b>Teil C: Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz</b>	<b>17</b>
<b>7 Methodik</b>	<b>17</b>
7.1 Wirkungszusammenhänge	17
7.2 Vorgehen	18
7.3 Methode	19
<b>8 Kriterien des Verlagerungsverkehrs</b>	<b>21</b>
8.1 Alternativroute im HVS-Netz	22
8.2 Verlustzeit durch die Rampenbewirtschaftung	23
8.3 Auslastung des HVS-Netzes	24
8.4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	24
8.5 Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz	25
8.6 Länge des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung	26
8.7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	27
8.8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	27
8.9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	28
8.10 Lage des Stauraums	29
8.11 Führung des ÖV im HVS-Netz	29
8.12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	30

---

<b>9</b>	<b>Massnahme und Wirkung</b>	<b>31</b>
9.1	Alternativroute im HVS-Netz	31
9.2	Verlustzeit durch die Rampenbewirtschaftung	31
9.3	Auslastung des HVS-Netzes	32
9.4	Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	33
9.5	Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz	33
9.6	Länge des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung	34
9.7	Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	34
9.8	Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	35
9.9	Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	36
9.10	Lage des Stauraums	36
9.11	Führung des ÖV im HVS-Netz	37
9.12	Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	37
<b>10</b>	<b>Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs</b>	<b>39</b>
10.1	Einführung	39
10.2	Ansatz	39
10.3	Analyseergebnisse	41
<b>11</b>	<b>Fazit betreffend Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz</b>	<b>45</b>
<b>Teil D: Anwendungsbeispiel</b>		<b>50</b>
<b>12</b>	<b>Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung</b>	<b>50</b>
12.1	Ausgangslage	50
12.2	Verkehrsablauf in der Rampe	51
12.3	Ermittlung der Verlagerung auf das HVS-Netz	52
12.4	Analyse der Auswirkungen auf HVS und Festlegung von Massnahmen	53
12.5	Wirkungsanalyse der Massnahmen	54
12.6	Iteration	55
<b>Teil E: Fazit</b>		<b>57</b>
<b>13</b>	<b>Handlungsgrundsätze</b>	<b>58</b>
<b>14</b>	<b>Normierungspotenzial</b>	<b>59</b>
<b>15</b>	<b>Ausblick</b>	<b>60</b>

---

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Rampenbewirtschaftungstypen [1]	10
Tabelle 2:	Verkehrsablauf auf der HLS und in der Rampe bei Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung	51
Tabelle 3:	Verkehrsablauf auf der HLS und in der Rampe bei Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung bei einem Verlagerungsanteil von 4%	56

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipieller Zusammenhang zwischen dem Nutzen einer Rampenbewirtschaftung und deren Verträglichkeit mit dem untergeordneten HVS-Netz	1
Abbildung 2:	Wechselwirkungen zwischen der Massnahme der Rampenbewirtschaftung und den Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz	2
Abbildung 3:	Untersuchungsvorgehen	3
Abbildung 4:	Untersuchungssperimeter Wirkungskontrolle Limmat- und Furttal [1]	7
Abbildung 5:	Durch die Rampenbewirtschaftungen bedingter Ausweichverkehr [1]	8
Abbildung 6:	Signifikante Änderungen des Verkehrsaufkommens [3]	14
Abbildung 7:	Ablaufschema zur Ermittlung der Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung	18
Abbildung 8:	Prinzipieller Aufbau des morphologischen Kastens	19
Abbildung 9:	Prinzipieller Inhalt des morphologischen Kastens	22
Abbildung 10:	Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 5 km	42
Abbildung 11:	Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 20 km	42
Abbildung 12:	Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 50 km	43
Abbildung 13:	Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 75 km	43
Abbildung 14:	Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 100 km	44
Abbildung 15:	Prinzipielle Anordnung der Kriterien und Ausprägungen im morphologischen Kasten	45
Abbildung 16:	Teil 1 des morphologischen Kastens zum Umfang des Verlagerungsverkehrs	46
Abbildung 17:	Teil 2 des morphologischen Kastens zu den Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	47

---

Abbildung 18: Umfang des Verlagerungsverkehrs in Teil 1 des morphologischen Kastens	48
Abbildung 19: Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs in Teil 2 des morphologischen Kastens	49
Abbildung 20: Diagramm zur Abschätzung des Verlagerungsverkehrs infolge Rampenbewirtschaftung	52
Abbildung 21: Morphologischer Kasten - 1. Teil	53
Abbildung 22: Morphologischer Kasten - 2. Teil	54
Abbildung 23: Quantifizierung der Massnahmenwirkung	55

---

## Zusammenfassung

Mit dem Ziel, den Verkehr auf den Hochleistungsstrassen (HLS) flüssig und sicher zu betreiben, wird zunehmend auch die Möglichkeit der Dosierung des zufahrenden Verkehrs bei den Einfahrtsrampen (Rampenbewirtschaftung) in Betracht gezogen. Dabei steht der Nutzen für das HLS-Netz im Vordergrund. Eine starke Dosierung des einfahrenden Verkehrs kann jedoch zu Ausweichverkehr in das untergeordnete Netz der Hauptverkehrsstrassen (HVS) führen. Es sollte daher angestrebt werden, die Massnahmen der Rampenbewirtschaftung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz umzusetzen, um die Verträglichkeit für das HVS-Netz gewährleisten zu können.

Die Forschungsarbeit unterteilt die Vielfalt der Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz in einzelne Kriterien und quantifiziert diese oder beschreibt zumindest die Auswirkungen qualitativ. Das vordergründige Ziel bestand darin, ein Planungsinstrument zu entwickeln, mit welchem sich die Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete HVS-Netz frühzeitig erkennen lassen. Zu diesem Zweck wurden Kriterien definiert, welche es erlauben, die Verträglichkeit einer Rampenbewirtschaftung mit dem HVS-Netz aufzuzeigen.

Erfahrungen mit realisierten Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz haben gezeigt, dass die Umsetzung von Dosierungsmassnahmen in den Zufahrten von HLS generell zu Ausweichverkehr an nicht bewirtschaftete Anschlüsse oder auf Alternativrouten und damit zu Verlagerungsverkehr auf das untergeordnete HVS-Netz in der Grössenordnung von 15 bis 20% führt. Umfang und Ausmass des Verlagerungsverkehrs sind dabei stark von den örtlichen Gegebenheiten (Distanz zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss, Vorhandensein einer Alternativroute im HVS-Netz, Reisezeitverlust) und vom Typ der Rampenbewirtschaftung (Aufstückelung von Fahrzeugpulk oder gezieltes Zurückhalten von Fahrzeugen zur Stauverlagerung von der HLS in die Einfahrt) abhängig. Zur Abklärung der Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz wurde ein iteratives Ablaufschema entwickelt.

Mit Hilfe eines morphologischen Kastens wurden die wesentlichen Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz sowie allfällige Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der unerwünschten Auswirkungen auf der Basis von zwölf Kriterien zusammengestellt und beschrieben. Während sich einige Kriterien quantifizieren liessen, war bei den meisten Kriterien lediglich eine qualitative Abschätzung möglich. Zwischen den Kriterien bestehen zahlreiche Wechselwirkungen und Abhängigkeiten. Der morphologische Kasten soll die Erkenntnisse der Forschungsarbeit zusammenfassen und ein Planungsinstrument darstellen.

Das aufgezeigte Verfahren zur Bestimmung des Verlagerungsverkehrs und den damit verbundenen Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung stellt ein pragmatisches und zweckmässiges Instrument zur Bedarfsabklärung und Wahl der Massnahmen sowie zur Bestimmung der Auswirkungen dar. Für die Planung und Umsetzung künftiger Rampenbewirtschaftungen konnten nachfolgende Handlungsgrundsätze angegeben werden:

- Die Planung künftiger Rampenbewirtschaftungen darf nicht ausschliesslich aus Sicht der HLS erfolgen, sondern es müssen frühzeitig die Aspekte des untergeordneten HVS-Netzes berücksichtigt werden, insbesondere im Zusammenhang mit dem Verlagerungsverkehr.
- Bei Zweckmässigkeitsbeurteilungen von Rampenbewirtschaftungen sind künftig auch die Anforderungen des untergeordneten HVS-Netzes einzubeziehen.

- Bereits in der Planungsphase sind sämtliche betroffenen Gemeinden und Institutionen frühzeitig einzubeziehen.
- Eine breite Information und Öffentlichkeitsarbeit über die geplante Rampenbewirtschaftung fördert bei den betroffenen Fahrzeugkernern das Verständnis für diese Massnahme zur Verkehrsbeeinflussung.
- Zur gezielten Beeinflussung der Verkehrsströme sowohl in Richtung bewirtschafteter Rampe als auch in Richtung allfälliger Alternativrouten ist der vorgelagerte Sekundärknoten mit einer verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage auszustatten.
- Die Attraktivität allfälliger Alternativrouten lässt sich nur beeinflussen, wenn sämtliche massgebenden Knoten im HVS-Netz mit einer Lichtsignalanlage ausgestattet sind.
- Wenn sich der erforderliche Stauraum nicht in der Rampe realisieren lässt, empfiehlt sich zum Schutz des untergeordneten Netzes und aus Emissionsgründen eine Anordnung parallel zu den durchgehenden Fahrstreifen der HLS durch eine Verlängerung des Beschleunigungsstreifens bzw. die Umnutzung des Standstreifens, wobei auch die Bedürfnisse der Ereignisdienste zu berücksichtigen sind.
- Die beiden Einsatzmöglichkeiten für Rampenbewirtschaftungen sind Einzelfahrzeugsteuerung und Dosierung. Weil bei der Einzelfahrzeugsteuerung die Pulkauflösung im Vordergrund steht, ist durch die niedrige Wartezeit für die Verkehrsteilnehmer die Akzeptanz dieser Massnahme höher und es entsteht nur wenig Verlagerungsverkehr. Durch das gezielte Zurückhalten von Fahrzeugen bei der Dosierung entstehen längere Wartezeiten für die Verkehrsteilnehmer, so dass die Akzeptanz dieser Massnahme sinkt und der Anteil des Verlagerungsverkehrs ansteigt.

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten die komplexen Zusammenhänge zwischen der Verkehrsbeeinflussungsmassnahme „Rampenbewirtschaftung“ und den Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz umfassend aufgezeigt werden. Die Quantifizierung sämtlicher definierter Kriterien hätte jedoch den Rahmen der vereinbarten Bearbeitungstiefe gesprengt. Eine weiterführende Vertiefung und Konkretisierung der qualitativen Kriterien obliegt daher der weiteren Forschung zu dieser Thematik.

## RÉSUMÉ

### Répercussions et mesures sur le réseau des routes principales en présence d'une gestion des rampes

Afin d'exploiter le trafic sur les routes à grand débit (RGD) de manière fluide et sûre, on considère de plus en plus la possibilité de doser le débit entrant sur les rampes d'accès (gestion des rampes). En premier lieu, on considère le bénéfice pour le réseau des RGD. Cependant un dosage fort du débit entrant peut mener à un report du trafic sur le réseau subordonné des routes principales (RP). C'est pourquoi il faudrait viser à ce que la mise en œuvre de la gestion des rampes tienne compte des répercussions sur le réseau subordonné des routes principales, pour que la compatibilité avec le réseau des routes principales soit garantie.

Par ce travail de recherche on a subdivisé la diversité des répercussions de la gestion des rampes sur le réseau des RP en plusieurs critères, qui peuvent être quantifiés ou, au moins, décrits de façon qualitative. Le but prédominant a consisté à développer un instrument pour l'élaboration du projet, qui permette d'identifier à temps les répercussions de la gestion des rampes sur le réseau subordonné des routes principales. Dans ce but, on a défini des critères permettant de mettre en évidence la compatibilité de la gestion des rampes avec le réseau des routes principales.

Le retour d'expérience des installations de gestion des rampes réalisées en Suisse a montré que la mise en œuvre des mesures de dosage sur les rampes d'accès aux RGD mène à un report du trafic vers les jonctions dépourvus de gestion des rampes ou vers des itinéraires alternatifs, et entraîne par conséquence un report de trafic de l'ordre de 15 à 20% sur le réseau subordonné des routes principales. Le volume et la proportion du report dépendent fortement de la situation locale (distance à la prochaine jonction sans gestion des rampes, existence d'un itinéraire alternatif sur le réseau des RP, perte de temps de trajet) et du type de la gestion des rampes (dissolution des paquets de véhicules ou rétention ciblée des véhicules afin de déplacer le bouchon de la RGD vers la rampe d'accès). Pour l'analyse des répercussions de la gestion des rampes sur le réseau des RP, on a développé une procédure itérative.

A l'aide d'une boîte morphologique, on a assemblé sur la base de douze critères les répercussions essentielles de la gestion des rampes sur le réseau des RP, et on a décrit des mesures à prendre pour diminuer ou compenser les répercussions indésirables. Si quelques critères ont pu être quantifiés, la plupart des critères n'ont permis qu'une estimation qualitative. Il existe de nombreuses interactions et interdépendances entre les critères. La boîte morphologique résume les résultats du travail de recherche et représente un instrument pour l'élaboration du projet.

La procédure élaborée pour déterminer le report de trafic et les répercussions accompagnant une gestion des rampes représentent un instrument pragmatique et adéquat pour clarifier le besoin et le choix des mesures ainsi que pour identifier les répercussions. Pour la mise en œuvre future de la gestion des rampes, on a formulé les principes d'action suivants.

- A l'avenir, un projet de gestion des rampes ne doit pas se limiter au point de vue de la RGD, mais doit prendre en compte les aspects du réseau subordonné des routes principales à temps. Cela concerne en particulier le risque de report de trafic.

- L'étude d'opportunité d'une gestion de rampes doit inclure, à l'avenir, les exigences du réseau subordonné des routes principales.
- Dès la phase de projet, il faut impliquer l'ensemble des communes et institutions concernées.
- Une campagne de sensibilisation avec des informations détaillées sur la gestion des rampes envisagée, encourage la compréhension des automobilistes concernés pour cette mesure de gestion de trafic.
- Pour la gestion ciblée des courants de circulation, soit en direction de la rampe d'accès faisant l'objet du dosage soit en direction des itinéraires alternatifs éventuels, il faut équiper le carrefour secondaire avec une régulation des feux de circulation dépendante du trafic.
- L'attrait des itinéraires alternatifs éventuels ne peut être influencé que si tous les carrefours pertinents sur le réseau des RP sont équipés de feux de circulation.
- Si la zone de stockage nécessaire ne peut pas être aménagée sur la rampe d'accès, la disposition parallèle aux voies de circulation de la RGD est recommandée parce qu'elle protège le réseau subordonné et en raison des émissions. Cette disposition qui implique la prolongation de la voie d'accélération ou l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence, doit tenir compte des exigences des services d'intervention.
- Pour la gestion des rampes, les deux mises en œuvre possibles sont la régulation unitaire des véhicules et la régulation par paquet de véhicules. Comme à la régulation unitaire des véhicules, la dissolution des paquets des véhicules prévaut, les automobilistes acceptent plus facilement cette mesure qui cause peu de temps d'attente, de sorte qu'il en résulte un report de trafic faible. Si le dosage consiste en une rétention ciblée des véhicules, les temps d'attente s'allongent pour les automobilistes, en sorte que l'attrait de cette mesure diminue et la part du report augmente.

Par le présent travail de recherche, on a pu mettre en évidence globalement les rapports complexes entre la gestion des rampes et les répercussions sur le réseau subordonné des routes principales. Cependant la quantification de tous les critères définis aurait dépassé le cadre convenu. L'approfondissement et la concrétisation des critères qualitatifs doivent faire l'objet des recherches ultérieures dans ce domaine.

**ABSTRACT****Effects and measures in the primary distributor network with ramp metering**

With the objective of managing traffic on motorways efficiently and safely, the possibility of traffic metering in the entries (ramp metering) is taken more and more into account. Therefore the main focus is on the benefit of the motorway network. However a strong metering of entering traffic may lead to a shift of traffic into the primary distributor network. Thus the implementation of ramp metering measures should be carried out in consideration of the effects on the primary distributor network to grant the compatibility with the primary distributor network.

This research work breaks down the diversity of effects on the primary distributor network with ramp metering into single criteria and quantifies them or at least describes the effects qualitatively. The main objective is to develop a planning tool to recognize the effects on the primary distributor network with ramp metering at an early stage. Therefore a set of criteria have been defined which enable to point out the compatibility with the primary distributor network.

Experiences in Switzerland with ramp metering have shown that the implementation of metering measures in motorway entries generally causes a shift of traffic between 15 to 20% to non-managed junctions or to alternative routes in the primary distributor network. Size and dimension of the shift depend strongly on local conditions (distance to the next non-managed junction, existing alternative routes in the primary distributor network, travel time loss) and on the types of ramp metering (splitting groups of vehicles or a systematic retention of vehicles to shift congestion from motorway to the entry ramp). To clarify the effects on the primary distributor network with ramp metering an iterative procedure has been developed.

By means of a morphological box and based on twelve criteria, the essential effects on the primary distributor network with ramp metering as well as possible measures to reduce or compensate undesired effects have been composed and described. While some of these criteria could be quantified, most of them could only be rated qualitatively. Numerous interactions and connections exist between the criteria. The morphological box pools the results of the research work and represents a planning tool.

The developed procedure to determine the shift of traffic and the linked effects of ramp metering represents a pragmatic and useful instrument to clarify the need and choice of measures as well as to determine its effects. For planning and implementation of future ramp metering, the following operational principles could be listed:

- The planning of future ramp metering may not only happen exclusively from the angle of the motorway, but also the aspects of the primary distributor network have to be taken into account at an early stage, particularly with regard to the shift of traffic.
- Future feasibility studies for ramp metering must also include the requirements of the primary distributor network.
- All affected communities and institutions already have to be included during the planning phase.

- Wide information and public relations campaign concerning the planned ramp metering increases the understanding for this measure of traffic management by the affected road users.
- For specific control of traffic flows both towards metered entry ramp and towards possible alternative routes, the secondary up-stream junction has to be equipped with vehicle actuated traffic lights.
- The attraction of possible alternative routes can only be influenced if all relevant junctions in the primary distributor network are signal-controlled.
- If the required stacking area cannot be realized in the ramp, a disposal parallel to the persistent lanes of the motorway is recommended for the protection of the primary distributor network and for reasons of emission. This can be achieved by an extension of the acceleration lane, respectively by the use of the hard shoulder, whereas the requirements of emergency services have to be taken into account as well.
- The two possible fields of application for ramp metering are single vehicle control and dosage. The main focus with single vehicle control is to split groups of vehicles. The acceptance of this measure is therefore higher due to the low waiting time and only little traffic is shifted. With specific retention of vehicles by dosage, the waiting time for road users increases so that the acceptance of this measure decreases and the part of shifting traffic rises.

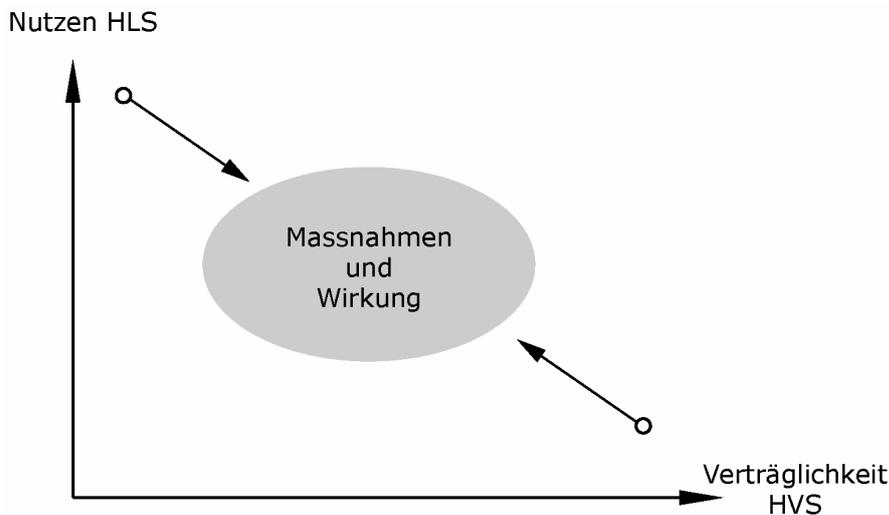
With the present research work, the complex relations between ramp metering and effects on the primary distributor network could be extensively illustrated. But the quantification of all defined criteria would have gone beyond the scope of this paper. An on-going consolidation and concretion of qualitative criteria is therefore subject of further research in this topic.

## Teil A: Einführung

### 1 Ausgangslage

Mit dem Ziel, den Verkehr auf den Hochleistungsstrassen (HLS) flüssig und sicher zu betreiben, wird zunehmend auch die Möglichkeit der Dosierung des zufahrenden Verkehrs bei den Einfahrtsrampen in Betracht gezogen. In den letzten Jahren wurden in der Schweiz bereits mehrere solcher Rampenbewirtschaftungen realisiert.

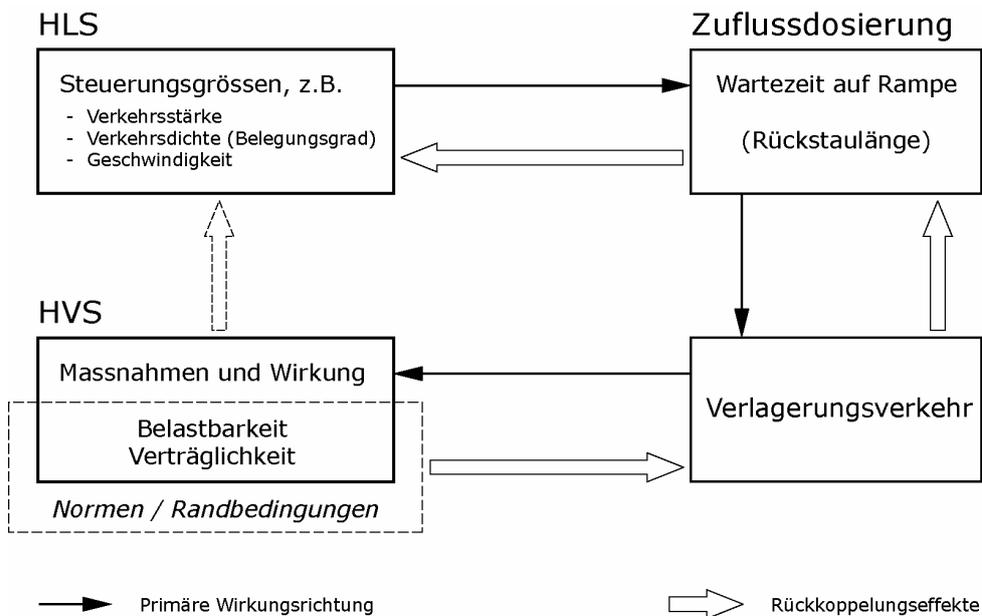
Bei der Umsetzung von Massnahmen zur Dosierung des einfahrenden Verkehrs steht in erster Linie der Nutzen für das Hochleistungsstrassennetz im Vordergrund. Je grösser jedoch der angestrebte Nutzen dieser Verkehrsbeeinflussungsmassnahme für die HLS ausfällt (hohe Drosselung einer stark belasteten Einfahrt), desto wahrscheinlicher weicht der Verkehr an benachbarte Anschlüsse und in das untergeordnete Netz der Hauptverkehrsstrassen (HVS) aus. Dieser Mehrverkehr steht der Verträglichkeit des HVS-Netzes entgegen. Deshalb sollte angestrebt werden, die Massnahme der Rampenbewirtschaftung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz umzusetzen, um die Verträglichkeit für das HVS-Netz gewährleisten zu können. Dies kann unter Umständen bedeuten, dass an die Steuerung der Rampenbewirtschaftung Bedingungen geknüpft werden, die dem Schutz des untergeordneten Netzes dienen. Dieser prinzipielle Zusammenhang ist in Abbildung 1 veranschaulicht.



**Abbildung 1: Prinzipieller Zusammenhang zwischen dem Nutzen einer Rampenbewirtschaftung und deren Verträglichkeit mit dem untergeordneten HVS-Netz**

In der Planungsphase können die Auswirkungen auf das untergeordnete Strassennetz örtlich jedoch nur sehr begrenzt aufgezeigt werden. Im Allgemeinen beschränkt sich die Abschätzung auf die Beurteilung der Funktionsfähigkeit des zur Einfahrt vorgelagerten Sekundärknotens. Die vielfältigen und grossräumigen Wechselwirkungen zwischen den Elementen des Verkehrssystems, die sich aus der Umsetzung von Bewirtschaftungsmassnahmen ergeben, lassen sich nur schwer im Voraus quantifizieren.

ren. Eine klare Zuordnung von Massnahme und Auswirkung konnte bisher auf Grund komplexer Überlagerungseffekte nicht angegeben werden. Mit der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Vielfalt der Auswirkungen in einzelne Kriterien zu unterteilen und diese zu quantifizieren. Wo dies nicht möglich ist, wird zumindest eine qualitative Beschreibung der Auswirkungen angestrebt. In der folgenden Abbildung sind die angesprochenen Wechselwirkungen schematisch veranschaulicht.



**Abbildung 2: Wechselwirkungen zwischen der Massnahme der Rampenbewirtschaftung und den Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz**

Mit der Massnahme der Rampenbewirtschaftung stellt sich auf dem untergeordneten Netz der Hauptverkehrsstrassen eine insofern ungünstige Situation ein, als dass der Verkehr von der Autobahn abgenommen werden muss, andererseits während der Hauptverkehrszeiten aber nur noch beschränkt zufließen darf. Dadurch können erheblich Probleme im rückwärtigen Netz entstehen. So besteht beispielsweise die Gefahr, dass durch den zusätzlich verlagerten Verkehr bereits stark ausgelastete Netzabschnitte ihre Leistungsgrenze erreichen, was unter Umständen zu sekundären Verlagerungen in das siedlungsorientierte Strassennetz, zu Schleichverkehr und damit nicht nur zu erheblichen Behinderungen des strassengebundenen öffentlichen Verkehrs sondern auch zu unerwünschten zusätzlichen Umweltbelastungen sowie zu einer Abnahme der Verkehrssicherheit führen kann. Umgekehrt kann sich ein flüssiger, staufreier Verkehrsablauf auf dem HLS-Netz aber auch positiv auf das untergeordnete Netz auswirken, in dem durch ein stabiles und leistungsfähiges HLS-Netz Schleichverkehr vermieden wird.

Mit der Einführung einer Rampenbewirtschaftung ist deshalb stets der bestmögliche Nutzen im Gesamtnetz anzustreben, d.h. nebst der Wirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf die HLS sind auch die Auswirkungen auf die HVS zu berücksichtigen. Hierfür muss der durch die Rampenbewirtschaftung entstehende Verlagerungsverkehr abgeschätzt werden, damit basierend auf diesen Erkenntnissen spezifische Massnahmen zur Minimierung der negativen Auswirkungen festgelegt werden können. Die Optimierung des Gesamtnetzes ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

## 2 Forschungsziele und Vorgehen

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, eine Methodik zu entwickeln, mit welcher sich die Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete HVS-Netz bereits in der Planungsphase abschätzen lassen. Zu diesem Zweck werden Kriterien definiert, welche es erlauben, die Verträglichkeit einer Rampenbewirtschaftung mit dem HVS-Netz aufzuzeigen. Anhand der ermittelten Auswirkungen werden in Form einer Auslegeordnung mögliche als zweckmässig erscheinende Massnahmen abgeleitet, um allfällige negative Begleiterscheinungen auf ein Minimum zu reduzieren.

In der folgenden Abbildung ist das Untersuchungsvorgehen dargestellt. In Anbetracht der Komplexität der Auswirkungen und der vielfältigen Wechselwirkungen, die sich bei der Anordnung einer Rampenbewirtschaftung ergeben, wurde als Lösungsansatz ein morphologisches Vorgehen gewählt (vgl. Kapitel 7.3).

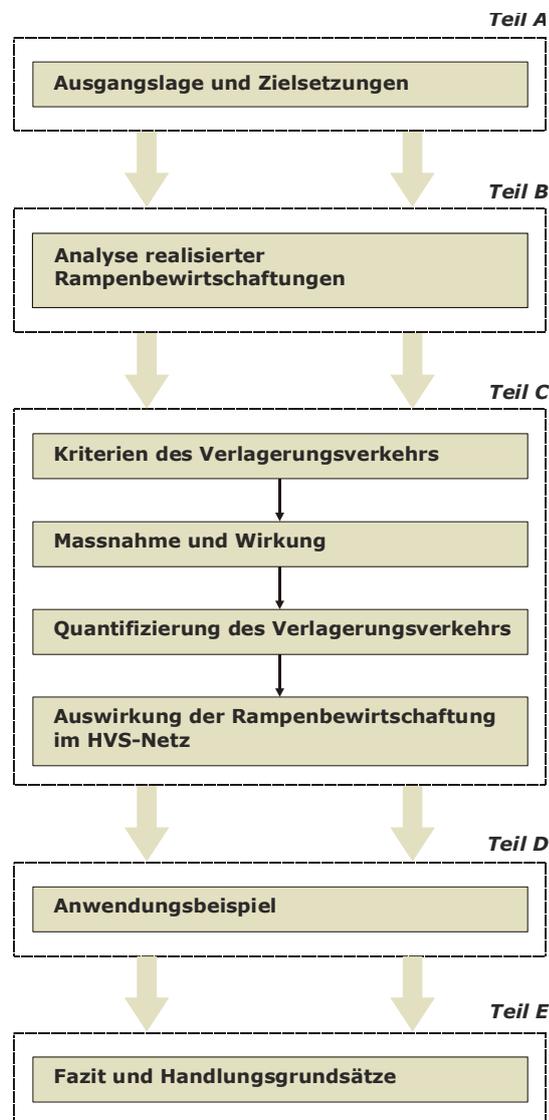


Abbildung 3: Untersuchungsvorgehen

Die einzelnen Arbeitsschritte lassen sich wie folgt umschreiben:

In **Teil B** (Kapitel 3 bis 6) erfolgt eine Analyse und Beurteilung von in der Schweiz realisierten Rampenbewirtschaftungen und deren spezifischer Auswirkungen auf das HVS-Netz. Die Erkenntnisse aus diesem Literaturstudium dienen als wichtige Grundlage für die folgenden Arbeitsschritte.

Den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildet **Teil C** (Kapitel 7 bis 11). Im Arbeitsschritt „Kriterien des Verlagerungsverkehrs“ werden, basierend auf den Erkenntnissen der Analyse bestehender Rampenbewirtschaftungen, in Form einer Auslegeordnung mögliche Auswirkungen auf das HVS-Netz festgelegt. Dabei werden verschiedene Ausgangslagen und Kriterien berücksichtigt. Im Arbeitsschritt „Massnahme und Wirkung“ werden den dargelegten Auswirkungen spezifische Massnahmen zugewiesen und deren Nutzen und Wirkung analysiert. Auch in diesem Arbeitsschritt dienen die in Teil B gewonnenen Erkenntnisse als wichtige Grundlage. Der Arbeitsschritt „Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs“ untersucht quantitativ, wie viel Verlagerungsverkehr durch eine Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete Hauptverkehrsstrassennetz in Abhängigkeit der Faktoren Widerstand (Wartezeit auf der Rampe), Reisezeit auf der alternativen Reiseroute und Distanzklasse (Länge der zurückzulegenden Route) entsteht. Im letzten Arbeitsschritt von Teil C „Auswirkung der Rampenbewirtschaftung im HVS-Netz“ erfolgt die Konsolidierung der Erkenntnisse der vorherigen Schritte in Form eines morphologischen Kastens.

**Teil D** (Kapitel 12) „Anwendungsbeispiel“ zeigt anhand eines theoretischen Beispiels, wie sich die gewonnenen Erkenntnisse umsetzen lassen.

Den Abschluss der Arbeiten bildet **Teil E** (Kapitel 13 bis 15) in Form eines Fazits sowie der Angabe von Handlungsgrundsätzen, die bei der Planung künftiger Rampenbewirtschaftungen zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus erfolgt auch eine Abschätzung des Normierungspotenzials.

## Teil B: Analyse realisierter Rampenbewirtschaftungen

Die Zuflussregelung an Hochleistungsstrassen als Massnahme zur Aufrechterhaltung eines flüssigen Verkehrsablaufs wurde bereits Ende der 1960er Jahre in den USA und Kanada eingesetzt. Erste Versuche wurden in Deutschland Ende der 1970er Jahre unternommen, die sich jedoch nicht bewährt haben. Erst seit 1990 hat sich dieses Beeinflussungsmittel auch in Europa verbreitet. In der Schweiz wurde eine erste Pilotanlage 1997 in Betrieb genommen (A1, Einfahrt Schwamendingen in Zürich).

Aktuellste Beispiele von realisierten Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz finden sich im Raum Baden auf der A1/A3 im Bereich des Baregg隧nels sowie auf der N1/N20 Limmattal-Gubristtunnel (Nordumfahrung von Zürich). Zu diesen Anlagen wurden umfangreiche Vorher-Nachher Untersuchungen durchgeführt, in welchen unter anderem auch die Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz analysiert wurden. Die Erkenntnisse wurden in Form von Wirkungskontrollen und Bilanzen ausführlich dokumentiert und dienten in der vorliegenden Arbeit als wichtige Grundlage.

Auf die Erkenntnisse ausländischer Untersuchungen wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen. Auf Grund der für die Schweiz typischen kleinräumlichen Gegebenheiten in Bezug auf das HLS-Netz im Agglomerationsbereich (hohe Anschlussdichte, keine oder nur selten gleichwertige Alternativrouten) lassen sich ausländische Erfahrungen nur bedingt auf die Schweiz übertragen.

### 3 Grundlagen

Für die Analyse realisierter Rampenbewirtschaftungen und deren Auswirkungen wurden die nachfolgend aufgelisteten Unterlagen beigezogen:

#### Bereich N1/N20 Nordumfahrung Zürich

- [1] Baudirektion des Kantons Zürich, Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann; **N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal - Gubrist, Sofortmassnahmen Verkehrslenkung, Wirkungskontrolle Limmat- und Furttal**; Hauptbericht August 2005

#### Bereich A1/A3 Bareggtunnel

- [2] Baudepartement des Kantons Aargau, Jenni + Gottardi AG, Peter Pitzinger; **A1/A3 Anschluss Baden-West, Bedarfsgerechte Steuerung Fahrtrichtung Zürich**; September 2000
- [3] Baudepartement des Kantons Aargau, Jenni + Gottardi AG, Peter Pitzinger; **A1/A3 Anschluss Baden-West, Bedarfsgerechte Steuerung Fahrtrichtung Zürich, Erhebung 2001/Bilanz erstes Betriebsjahr**; Oktober 2001
- [4] Baudepartement des Kantons Aargau, Erb + Partner; **N1/K272 Baden, Rampenbewirtschaftung Anschluss Baden-West, Technische Unterlagen**; Dezember 2000

- [5] Baudepartement des Kantons Aargau, Peter Pitzinger; **A1/A3 Baregg Tunnel, Bedarfsgerechte Steuerung des Anschlusses Baden-West, Unterlage für die Besprechung vom 18.01.2000**; Januar 2000, revidiert im Februar 2000
- [6] Baudepartement des Kantons Aargau, Erb + Partner; **A1/A3/K119 Neuenhof, Rampenbewirtschaftung Anschluss Neuenhof, Technische Unterlagen**; September 2001, 1. Änderung Januar 2002
- [7] Baudepartement des Kantons Aargau, Jenni + Gottardi; **A1/A3 Neuenhof, Störungsanalyse und Sofortmassnahmen Abschnitt N1/05**; September 2001

## 4 N1/N20 Nordumfahrung Zürich, Abschnitt Limmattal-Gubrist

### 4.1 Allgemeine Informationen

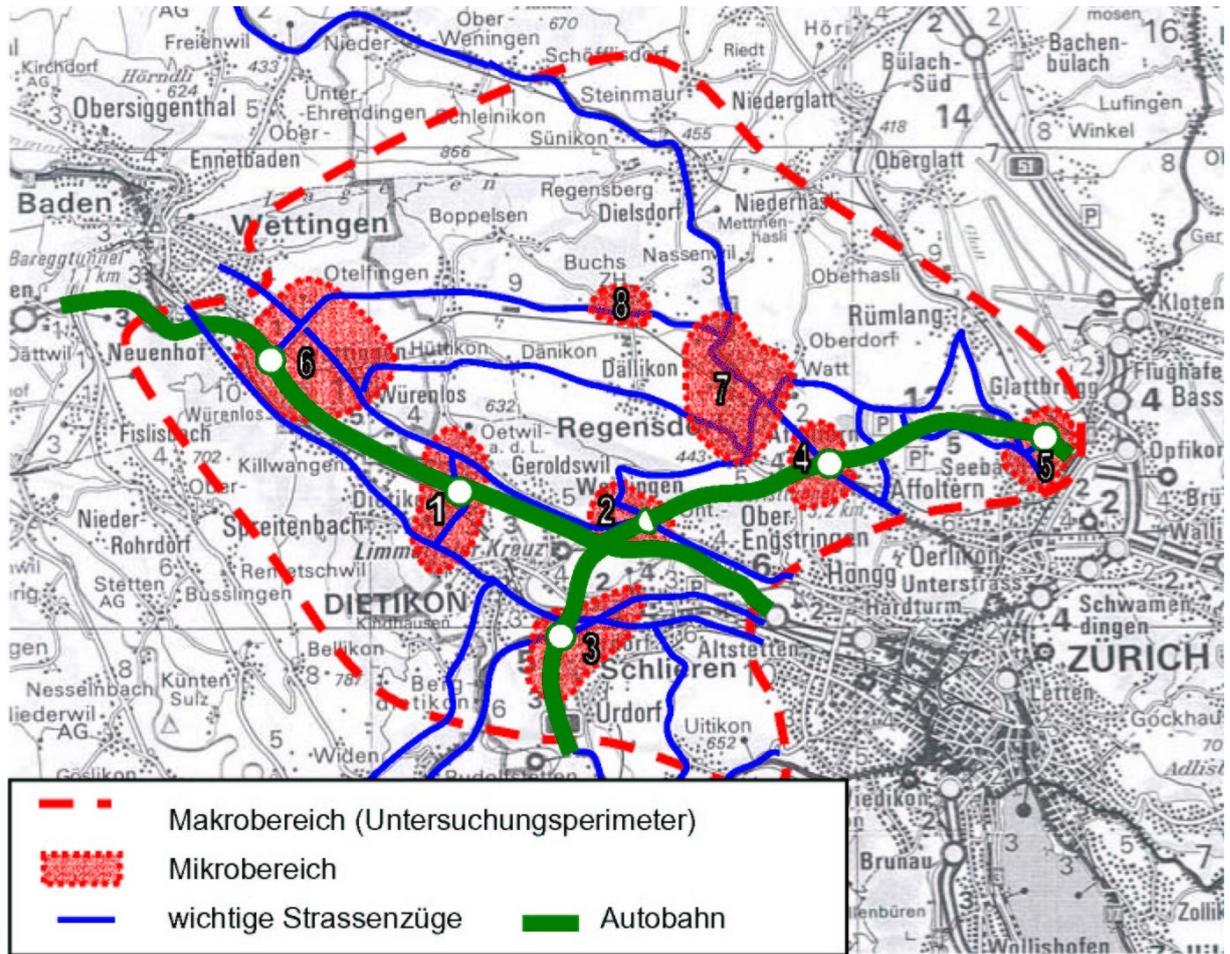
Seit der Inbetriebnahme des auf drei Röhren erweiterten Bareggtunnels (A1/A3 bei Baden) und der damit einhergehenden Engpassbeseitigung von Baden/Dättwil nach Zürich wird das Verkehrsgeschehen auf der N1/N20 im Raum Gubrist gezielt beeinflusst. Die eingesetzten Sofortmassnahmen (SoMa) basieren auf der Kombination von Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf der Autobahn und Rampenbewirtschaftungen an den Autobahnanschlüssen. Mit Erhebungen vor und nach Eröffnung der dritten Tunnelröhre am Baregg sowie vor und nach Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen wurden die Auswirkungen der SoMa auf das Hochleistungs- und Hauptstrassennetz ermittelt und dokumentiert [1]. Die Untersuchungen gliederten sich dabei in drei Erhebungszeiträume:

- Vorher-Erhebung (zwei Fahrstreifen in Richtung Zürich, keine SoMa)
- Zwischen-Erhebung (vier Fahrstreifen in Richtung Zürich, keine SoMa)
- Nachher-Erhebung (vier Fahrstreifen in Richtung Zürich, mit SoMa)

Im Zusammenhang mit der Frage nach den Auswirkungen der Rampenbewirtschaftungen auf das HVS-Netz ist insbesondere die Gegenüberstellung von Zwischen- und Nachher-Erhebung von Bedeutung. Der Untersuchungssperimeter der Wirkungskontrolle Sofortmassnahmen Verkehrslenkung Limmattal- und Furttal [1] ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Rampenbewirtschaftungen befinden sich bei den Autobahnanschlüssen Dietikon, Weiningen, Urdorf-Nord, Affoltern und Seebach.

Rund sechs Monate nach Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen wurden mit einer weiteren Erhebung die Langzeitauswirkungen vertieft untersucht. Dabei wurden die Betriebsdauer und der Verkehrsablauf an den Rampenbewirtschaftungen der Anschlüsse Dietikon, Weiningen sowie Urdorf-Nord erfasst und analysiert. Daraus sollten einerseits Erkenntnisse über den Betriebsablauf gewonnen und andererseits der Steuerungsablauf überprüft sowie die Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer aufgezeigt werden.

Vor Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen als Sofortmassnahme wurde infolge von Reisezeitverlusten an den Autobahnanschlüssen Ausweichverkehr von der Autobahn auf das untergeordnete HVS-Netz erwartet. Mit der Rampenbewirtschaftung sollte der Verkehrsablauf auf der Autobahn verflüssigt und der Rückstau von der Autobahn auf die Einfahrtsrampen verlagert werden. Tatsächlich waren nach Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen hohe Zeitverluste auf den Rampen der Autobahnanschlüsse Weiningen, Dietikon und Urdorf-Nord festzustellen.



Mikrobereiche:

1 Anschluss Dietikon  
2 Anschluss Weiningen  
3 Anschluss Urdorf-Nord

4 Anschluss Affoltern  
5 Anschluss Seebach  
6 Wettingen

7 Regensdorf  
8 Buchs

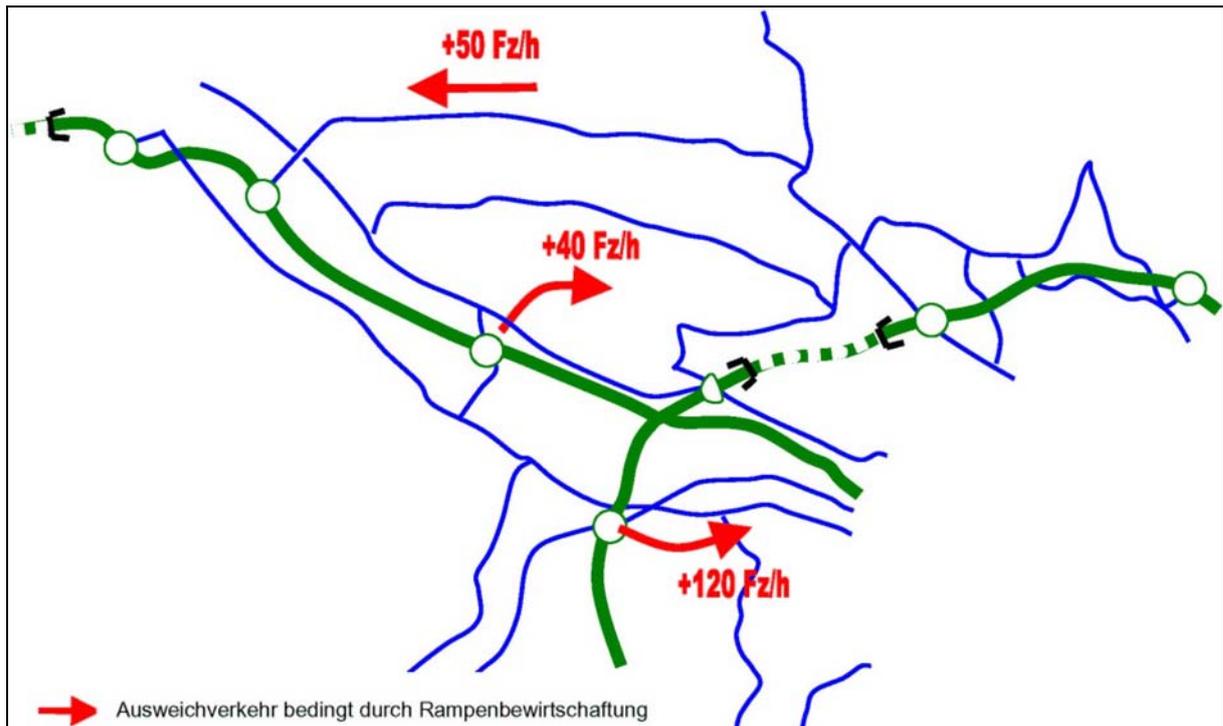
**Abbildung 4: Untersuchungsperimeter Wirkungskontrolle Limmat- und Furtal [1]**

#### 4.2 Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung

Während der Nachher-Erhebung waren überwiegend die Rampenbewirtschaftungen an den Autobahnanschlüssen Dietikon, Weiningen und Urdorf-Nord in Betrieb. Die Rampenbewirtschaftungen an den Autobahnanschlüssen Affoltern und Seebach wurden auf Grund geringerer Einfahrtsbelastungen nur selten in Betrieb genommen, so dass an diesen Anschlüssen die Auswirkungen der Rampenbewirtschaftung auf die Verkehrsströme nicht oder nur bedingt analysiert werden konnten.

Mit der Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen verlagerte sich signifikant mehr Verkehr auf das untergeordnete HVS-Netz (siehe Abbildung 5). Die Erhebungen haben gezeigt, dass die Rampenbewirtschaftungen an den Anschlussknoten signifikante Änderungen der Knotenströme verursachen können. Als Folge der Rampenbewirtschaftung wurden die Einfahrten zur Autobahn vermehrt gemieden und es wurde auf Routen durch das HVS-Netz ausgewichen. Bei attraktiven Verbindungen über das HVS-Netz mieden zu den Hauptverkehrszeiten 15 bis 30% der Verkehrsteilnehmer die Autobahn-

einfahrten. Insbesondere während der Spitzenstunden wurde auf den Strassenachsen parallel zur Autobahn ein erhöhtes Verkehrsaufkommen registriert. Der durch die Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete Netz verdrängte Verkehr führte während der Morgenspitze zu einer Zunahme von über 10% bzw. über 110 Fz/h auf einzelnen Verkehrsbeziehungen im HVS-Netz. In einem bereits hoch belasteten Netz kann dieser Mehrverkehr zu Rückstaus und zusätzlichen Reisezeitverlusten führen, was unter Umständen auch Auswirkungen auf den strassengebundenen öffentlichen Verkehr mit sich bringt.



**Abbildung 5: Durch die Rampenbewirtschaftungen bedingter Ausweichverkehr [1]**

An den einzelnen Autobahnanschlüssen führte die Wirkungskontrolle Sofortmassnahmen [1] nach Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftungen und der damit gegebenen Vergleichsmöglichkeit der Langzeitauswirkungen im Wesentlichen zu den nachfolgend zusammengestellten Erkenntnissen.

### **Anschluss Dietikon**

Durch die Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung führen am Anschluss Dietikon rund 160 Fz/h weniger auf die Autobahn ein. Dies entsprach einer Reduktion um über 20%. Am Anschlussknoten veränderten sich die Belastungen und die einzelnen Knotenströme signifikant. Neben Entlastungen um bis zu 40% bzw. 95 Fz/h wurden einzelne Zufahrten um bis zu 20% bzw. 190 Fz/h zusätzlich belastet. Eine Rückverlagerung des Verkehrs auf die Autobahn konnte trotz Anpassungen bei der Steuerung der Rampenbewirtschaftung durch Reduktion der maximalen Wartezeit nicht erreicht werden. Die Akzeptanz dieser Rampenbewirtschaftung ist auf Grund der weiterhin hohen Wartezeiten und der Tatsache, dass nicht alle einfahrenden Fahrzeuge Richtung Stauwurzel Gubristtunnel unterwegs sind, vermutlich nicht bei allen Verkehrsteilnehmern gegeben.

### **Anschluss Weiningen**

Durch die Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung führen am Anschluss Weiningen rund 125 Fz/h weniger auf die Autobahn ein. Dies entsprach einer Reduktion um 17%. Die Verlagerungen waren auch bei den angrenzenden Knoten messbar, schwächten sich jedoch mit zunehmender Distanz zum Anschluss ab. Die Langzeitauswirkungen zeigten keine signifikanten Verlagerungen auf dem untergeordneten Netz. Die Verkehrsteilnehmer, welche nicht mehr auf die Autobahn einfuhren, änderten grossräumig ihre Route und führen auch nicht über den Anschlussknoten. Eine Rückverlagerung des Verkehrs auf die Autobahn konnte auch am Anschluss Weiningen trotz Anpassungen bei der Steuerung der Rampenbewirtschaftung durch Reduktion der maximalen Wartezeit nicht erreicht werden.

### **Anschluss Urdorf-Nord**

Die Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung Urdorf-Nord führte in den Hauptverkehrszeiten zu einer signifikanten Abnahme der auf die Autobahn einfahrenden Fahrzeuge. In der Morgenspitze betrug die Abnahme 130 Fz/h bzw. 15%. Gleichzeitig konnte eine signifikante Zunahme der Verkehrsbelastung einzelner Ströme auf dem untergeordneten Netz festgestellt werden. Diese Zunahme lag in der Morgenspitze bei 120 Fz/h bzw. 15%. Viele Verkehrsteilnehmer entschieden sich erst unmittelbar vor dem Anschluss über die Einfahrt auf die Autobahn. Verschiedentlich wurden kurzfristige Fahrstreifenwechsel oder sogar Wendemanöver beobachtet. Die Verkehrsteilnehmer benutzten vermehrt das untergeordnete Strassennetz, um zu ihrem Ziel oder zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss zu gelangen. Die Akzeptanz der Rampenbewirtschaftung ist auf Grund hoher Wartezeiten nicht bei allen Verkehrsteilnehmern gegeben.

### **Anschluss Zürich-Affoltern**

Da die Rampenbewirtschaftung am Anschluss Zürich-Affoltern in den Hauptverkehrszeiten nur in Ausnahmesituationen und während kurzer Zeitspannen in Betrieb war, wirkte sich die Steuerung nicht auf den Verkehrsablauf am Anschlussknoten aus. Aus demselben Grund war auch zwischen Kurzzeit- und Langzeitauswirkungen kein aussagekräftiger Vergleich möglich.

### **Anschluss Zürich-Seebach**

Am Anschluss Zürich-Seebach führte insbesondere der lange Beschleunigungsstreifen und die damit verbundenen hohen Wartezeiten zu mehr Ausweichverkehr. Die Rampenbewirtschaftung war jedoch nur äusserst selten in Betrieb. Die Steuerung der Rampenbewirtschaftung sollte auf die lokale Verkehrssituation auf der Autobahn am Anschluss Seebach abgestützt werden. Da jedoch nur geringe Datenmengen vorlagen und kaum Auswirkungen auf den Verkehrsablauf zu verzeichnen waren, konnte der Anschluss Seebach nicht in die Erhebung der Langzeitauswirkungen einbezogen werden.

## **4.3 Langzeitauswirkungen der Rampenbewirtschaftung**

Die Rampenbewirtschaftung am Anschluss Weiningen unmittelbar vor dem Südportal des Gubristtunnels erzielt den grössten Nutzen. Durch das Aufteilen der Fahrzeugpakete mittels Einzelfahrzeugdosierung wird der Verkehrsablauf auf der HLS durch die einzeln einfahrenden Fahrzeuge nur marginal beeinträchtigt und die vorhandene Kapazität des Engpasses Gubristtunnel kann besser ausgenutzt werden. Zudem wird der Anschlussknoten nicht überstaut.

Die Rampenbewirtschaftung am Anschluss Urdorf-Nord bewirkt hingegen keine Verbesserung im Verkehrsablauf im Bereich Limmattalerkreuz. Durch das Dosieren lässt sich der Rückstau am Limmattalerkreuz nicht verhindern, sondern nur verkürzen. Durch die Rampenbewirtschaftung sind zudem viele Fahrzeuge betroffen, die gar nicht in Richtung Gubristtunnel fahren wollen.

Eine ähnliche Aussage gilt für den Anschluss Dietikon. Das Überstauen des Limmattalerkreuzes kann mit der Zufahrtdosierung nur bedingt während einer kurzen Zeitspanne verhindert werden. Auch hier sind viele Fahrzeuge betroffen, die nicht in Richtung Stauwurzel Gubristtunnel unterwegs sind. Auf Grund von Anpassungen am Steuerungsablauf wurde die maximale Wartezeit reduziert, jedoch mit der Folge, dass der vorhandene Stauraum nicht mehr ausgenutzt wird. Insgesamt ergeben sich bei diesem Anschluss durch die Rampenbewirtschaftung nur leichte Verbesserungen des Verkehrsablaufes. Ferner führt der kurze Abstand zwischen Einfahrt und der anschliessenden Verflechtungsstrecke bei hohen Verkehrsbelastungen teilweise zu riskanten Fahrmanövern bei Spurwechseln.

Trotz der geschilderten positiven Auswirkungen auf den Verkehrsablauf auf der HLS haben die untersuchten Rampenbewirtschaftungen unerwünschten Ausweichverkehr auf das untergeordnete Netz zur Folge.

#### 4.4 Rampenbewirtschaftungstypen

Die in der Wirkungskontrolle Sofortmassnahmen Verkehrslenkung Limmat- und Furttal [1] untersuchten Rampenbewirtschaftungen lassen sich hinsichtlich ihrer Lage, ihres Zwecks und ihrer Wirkung in drei bzw. vier Typen unterteilen:

Typ	Beschreibung	Zweck	Auswirkung	Wirkung	Anschluss
1	Anschluss unmittelbar vor oder im Bereich der Stauwurzel	Einzelfahrzeugsteuerung gewährleistet stabilen Verkehrsablauf	Keine oder nur geringe Beeinflussung der Leistungsfähigkeit der Rampe	Nutzen gross, Verlagerung klein	Weiningen Affoltern
2	Keine Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	Reduziert gezielt Leistungsfähigkeit auf der Rampe	Nutzen gering, Verlagerung mittel	Seebach
3a	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; Rückstau über Verflechtungsstrecke	Kann Blockieren der Verflechtungsstrecken verhindern oder verzögern	Bewirtschaftung auf Rückstau in Verzweigung ausgerichtet	Nutzen gross, Verlagerung mittel	Dietikon
3b	Verzweigung zwischen Anschluss und Stauwurzel; kein Rückstau über Verflechtungsstrecke	Zurückhalten von Fahrzeugen zum Reduzieren des Rückstaus auf HLS	Bevorzugung der Fahrzeuge auf der Autobahn ohne Nutzen für Verkehrsablauf	Nutzen gering, Verlagerung gross	Urdorf-Nord

**Tabelle 1: Übersicht der Rampenbewirtschaftungstypen [1]**

#### 4.5 Einsatzmöglichkeiten

Gemäss den aus der Wirkungskontrolle Sofortmassnahmen Verkehrslenkung Limmat- und Furttal [1] abgeleiteten Empfehlungen muss bei den Rampenbewirtschaftungen zwischen zwei Einsatzmöglichkeiten unterschieden werden:

**1) Gewährleistung eines stabilen und staufreien Verkehrsablaufes durch Vermeidung von einfahrenden Fahrzeugpulkts mittels Einzelfahrzeugsteuerung**

In diesem Fall wird die Leistungsfähigkeit der Zufahrt nicht oder nur gering beeinflusst. Die Verlustzeiten für die Verkehrsteilnehmer sind kalkulierbar. Der Zweck der Rampenbewirtschaftung wird von den Autofahrern mehrheitlich eingesehen und die Rampenbewirtschaftung wird akzeptiert. Insgesamt sind nur geringe Verkehrsverlagerungen zu erwarten.

**2) Zurückhalten von Fahrzeugen, um den Rückstau auf der Autobahn zu reduzieren (Stauverlagerung von der Autobahn in die Rampe)**

In diesem Fall führt die Reduzierung der Leistungsfähigkeit zu hohen Zeitverlusten und somit zu einer starken Abnahme der Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmern bzw. zu grossen Verkehrsverlagerungen am Anschlussknoten. Da sich auf der Autobahn auch mit aktivierter Rampenbewirtschaftung die Fahrzeuge stauen, werden Nutzen und Wirkung von den einfahrenden Verkehrsteilnehmern in Frage gestellt. Einerseits ist die Wartezeit auf der Rampe nicht kalkulierbar und andererseits werden die Fahrzeuge auf der Autobahn klar bevorzugt. Ein Teil des Rückstaus wird auf die Rampe verlagert, der Rückstau auf der Autobahn kann jedoch nicht verhindert werden.

Während des Betriebs der Rampenbewirtschaftung sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf der Autobahn auf 80 km/h reduziert werden. Diese Massnahme verspricht folgende Vorteile:

- leicht erhöhte Gesamtleistungsfähigkeit
- erleichtertes Einfädeln bei den Autobahnanschlüssen
- erhöhte Verkehrssicherheit
- homogenere Geschwindigkeitsverteilung
- „Opfersymmetrie“ (auch die Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn tragen zur Erhöhung der Gesamtleistungsfähigkeit bei).

## 5 A1/A3 Bereich Baregg tunnel

Um die Verkehrssituation auf der A1/A3 im Bereich Baregg tunnel bis zur Inbetriebnahme der dritten Tunnelröhre im Herbst 2003 zu verbessern, wurden an den Einfahrten Baden-West in Fahrtrichtung Zürich sowie Neuenhof in Fahrtrichtung Bern/Basel ab Juni 2000 Rampenbewirtschaftungen realisiert. Nach Eröffnung der dritten Tunnelröhre und der damit verbundenen Kapazitätserhöhung wurden beide Anlagen ausser Betrieb genommen.

### 5.1 Anschluss Baden-West

#### 5.1.1 Allgemeine Informationen

Die Dosierung des auf die HLS einfahrenden Verkehrs erfolgte im vorliegenden Fall nicht auf der Zufahrtsrampe sondern am vorgelagerten Knoten Kantonsspital, weil hier der Abstand zwischen Knoten und Einfahrt als Stauraum zu kurz war. Dieser Knoten wurde im Hinblick auf die Einführung der Rampenbewirtschaftung mit neuen Steuergeräten ausgerüstet, welche den Verkehr situations- resp. verkehrsabhängig regelten. Als Randbedingung mussten der öffentliche Verkehr sowie Ambulanzfahrzeuge in der Knotenzufahrt aus Richtung Kantonsspital gegenüber dem MIV prioritär behandelt werden. Zusätzlich wurden Detektoren zur Stauerkennung installiert, damit die Steuerung spezifisch auf übermässige Rückstau im umliegenden HVS-Netz reagieren konnte. Ein detaillierter Übersichtsplan über die Ausrüstung des Knotens befindet sich in [2] und [3], jeweils im Anhang 1.

Bei der Bewirtschaftung der Zufahrt auf die A1/A3 mussten nachfolgende übergeordnete Vorgaben zwingend berücksichtigt werden:

- „Die vordefinierte maximale Stauräumlänge darf nicht überschritten werden. Diese Länge wurde aufgrund von Vorgaben der umliegenden Gemeinden festgelegt. Sobald auf einer der drei Zufahrten der Rückstau diesen Maximalwert erreicht hat, wird dieser Fahrstreifen nicht mehr dosiert. Die übrigen Fahrstreifen werden jedoch unabhängig weiter bewirtschaftet. Wird auf allen drei Zufahrten die maximal zulässige Staulänge erreicht, so kann – unabhängig vom Verkehrszustand auf der A1 – nicht mehr dosiert werden. Sobald der Rückstau auf einer der Zufahrten die zulässige Staulänge unterschreitet, wird wieder dosiert“ [2], [3].
- „Der öffentliche Verkehr darf nicht benachteiligt werden“ [2], [3].
- „Unerwünschter Ausweichverkehr ist zu unterbinden“ [2], [3].
- „Es werden Abbruchkriterien definiert, die festlegen, unter welchen Bedingungen der Versuch mit der bedarfsgerechten Steuerung abgebrochen wird“ [2], [3].
- „Die Zufahrtsbeschränkung läuft nur, wenn sich auf der A1/A3 erheblicher Stau abzeichnet“ [2], [3].
- „Die Grünzeiten am Knoten Mellingerstrasse dürfen nicht verändert werden“ [2], [3].

### 5.1.2 Steuerungsalgorithmus

Zur Erfassung des Verkehrszustandes auf der A1/A3 wurde eine automatische Verkehrszählstelle installiert, welche je Fahrstreifen in 30"-Intervallen die Fahrzeugmengen, die Geschwindigkeiten und den Belegungsgrad erhob. Zur Analyse des Verkehrsflusses wurde das McMaster-Modell angewendet (siehe auch SN 640 807 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen; Rampenbewirtschaftung, Grundlagen“), wobei zwischen den beiden Zuständen „Stau“ und „staufrei“ unterschieden wurde. Hierfür diente ein auf die vorliegenden Verhältnisse justierter Algorithmus [4].

Sobald auf der HLS der Zustand „Stau“ erkannt wurde, erfolgte ein Steuerbefehl zur Umschaltung vom Normalbetrieb auf die maximale Drosselung an das benachbarte Steuergerät der LSA Kantonsspital. Erst wenn der Verkehrszustand „staufrei“ auf der A1/A3 erkannt wurde, verringerte sich die Drosselung stufenweise. Für diesen Übergang wurden zwei Dosierungsstufen (maximal und reduziert) definiert. Für die Steuerung standen entsprechend vier Steuerungsstufen zur Verfügung:

- Maximale Dosierung
  - Alle Fahrstreifen gedrosselt
  - Zwei Fahrstreifen gedrosselt
  - Ein Fahrstreifen gedrosselt
- Reduzierte Dosierung A
- Reduzierte Dosierung B
- Normalbetrieb

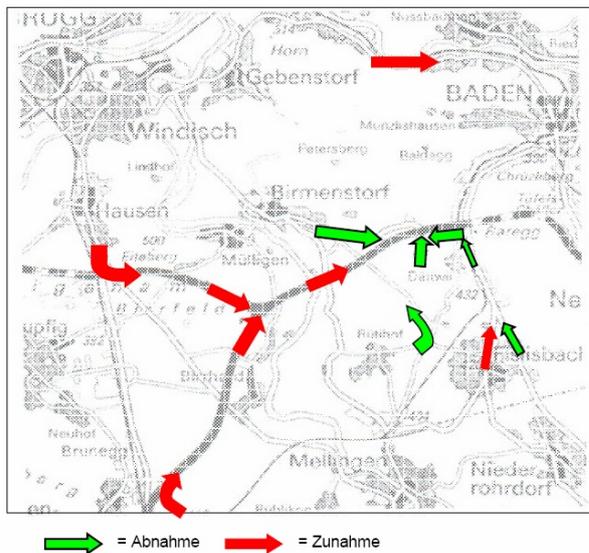
Im vorliegenden Fall handelte es sich um eine so genannte Pulksteuerung (siehe auch SN 640 807). Zur Pulkerzeugung wurden die Grünzeiten der betreffenden Ströme, wie sie für den Zustand ohne Dosierung vorgesehen waren, bei maximaler Drosselung in Segmente mit einer minimalen Grünzeit von 6 s zerlegt (Pulks von 3 bis 4 PWE), wobei dazwischen eine minimale Rotzeit geschaltet wurde. Nach einer Erholung des Verkehrsablaufs auf der HLS wurden die Grünzeitsegmente wieder schrittweise erhöht.

### 5.1.3 Auswirkungen der Dosierung auf das HVS-Netz

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Dosierung bei der HLS-Einfahrt Baden-West in Fahrtrichtung Zürich wurden vom Ingenieurbüro Jenni + Gottardi eine Vorher- und zwei Nachher-Erhebungen durchgeführt [2], [3]:

- Vorher-Erhebung: 22.05.2000 – 25.05.2000
- Nachher-Erhebung I: 26.06.2000 – 29.06.2000
- Nachher-Erhebung II: 25.06.2001 – 28.06.2001

Die nachfolgende Abbildung fasst die wichtigsten Erkenntnisse bezüglich Änderungen des Verkehrsaufkommens zusammen:



**Abbildung 6: Signifikante Änderungen des Verkehrsaufkommens [3]**

- Im Bereich des Anschlusses Baden-West sind während der werktäglichen Morgenspitze gegenüber dem Zustand vor Inbetriebnahme der Dosierungsmassnahmen die stündlichen Frequenzen in der Einfahrt um rund 300 Fz/h gesunken, was einem prozentualen Rückgang von rund 30% entspricht. Diese Fahrzeuge verteilen sich einerseits auf die Anschlüsse Lupfig (60 Fz/h), Mägenwil (20 Fz/h) und andere Anschlüsse (140 Fz/h). Andererseits weichen rund 70 Fz/h über Gebenstorf-Baden aus.
- Der Zufluss aus Birmensdorf in Richtung A1/A3 wurde mehr als halbiert.

Im Weiteren stellten Jenni + Gottardi in ihren Berichten fest, dass Interpretationen bezüglich des grossräumigen Ausweichverkehrs auf Grund der begrenzten Datengrundlagen nur bedingt möglich sind, und die Veränderungen teilweise im Bereich normaler Schwankungen liegen.

#### 5.1.4 Schlussfolgerungen

Auch wenn die vorliegenden Unterlagen keine Interpretationen bezüglich des grossräumigen Ausweichverkehrs zulassen, stellen sie eine wichtige Grundlage für die vorliegende Forschungsarbeit dar. Dabei sind insbesondere folgende Erkenntnisse relevant:

- Mit der Festlegung der maximal zulässigen Staulängen und einer verkehrsabhängigen Steuerung am Knoten Kantonsspital konnten negative Auswirkungen auf das HVS-Netz (Behinderungen für den ÖV, Zeitverluste im regionalen Netz) im unmittelbaren Bereich des Anschlusses grösstenteils vermieden werden, womit die Wirksamkeit dieser Verkehrsbeeinflussungsmassnahme für die HLS teilweise reduziert werden musste. Dies war eine Hauptvoraussetzung, dass die betroffenen Gemeinden überhaupt ihre Zustimmung zur Umsetzung der Dosierungsmassnahmen erteilten.
- Die bewirtschaftete Einfahrt befand sich unmittelbar vor der Stauwurzel, dadurch war die Wirkung der bedarfsgerechten Steuerung auf die HLS äusserst positiv (Reduktion der Zeitverluste um mehr als 7 Minuten bzw. 65%, Abnahme der vom Stau betroffenen Fahrzeuge um ca. 390 bzw. 65%).

## 5.2 Anschluss Neuenhof

Im Gegensatz zur Einfahrt Baden-West wurden bei dieser Einfahrt keine Untersuchungen zu den verkehrlichen Auswirkungen auf das HVS-Netz in Folge der bedarfsgerechten Steuerung angestellt. Die vorhandenen Unterlagen beschränken sich auf den Beschrieb der Algorithmen zur Stauerkennung auf der A1/A3 und zur Steuerung der Rampenbewirtschaftung.

Mit Ausnahme der Tatsache, dass bei dieser Rampenbewirtschaftung im Gegensatz zum Anschluss Baden-West drei Dosierungsstufen (und nicht zwei) zur Verfügung standen, gelten die gleichen Aussagen wie für die Rampenbewirtschaftung Baden-West.

Aufgrund der nur spärlich vorhandenen Grundlagen lassen sich für die vorliegende Arbeit daher keine relevanten Erkenntnisse ableiten.

## 6 Erkenntnisse aus der Grundlagenanalyse

Auf Grund der Analyse realisierter Rampenbewirtschaftungen können folgende Aussagen bzgl. der Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz abgeleitet werden:

- Die Umsetzung von Dosierungsmassnahmen in den Zufahrten von HLS führt generell zu Ausweichverkehr an nicht bewirtschaftete Anschlüsse oder auf Alternativrouten und damit zu Verlagerungsverkehr auf das untergeordnete HVS-Netz in der Grössenordnung von 15 bis 20%. Umfang und Ausmass des Verlagerungsverkehrs sind stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig (Distanz zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss, Vorhandensein einer Alternativroute im HVS-Netz, Reisezeitverlust).
- Beim Einsatz einer Rampenbewirtschaftung mit Einzelfahrzeugsteuerung zur Aufstückelung von Fahrzeugpulk ist der Anteil des Verlagerungsverkehrs geringer als beim gezielten Zurückhalten von Fahrzeugen zur Stauverlagerung in die Einfahrtsrampe.
- Aussagen zur grundsätzlichen Akzeptanz von Dosierungsmassnahmen bei den Verkehrsteilnehmern und betroffenen Gemeinden lassen sich aus den vorliegenden Unterlagen nicht ableiten. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die folgenden Faktoren eine wesentliche Rolle spielen:
  - Je grösser die maximalen Wartezeiten auf der Rampe ausfallen, desto weniger wird die Dosierungsmassnahme von den Verkehrsteilnehmern akzeptiert. Festlegungen einer maximal tolerierbaren Wartezeit, die sich auf Basis einer maximal zulässigen Rückstaulänge ergibt, basieren in erster Linie auf Entscheiden auf politischer Ebene und erst in zweiter Linie auf verkehrstechnischen Überlegungen.
  - Die Akzeptanz für die Dosierungsmassnahme ist nicht gegeben, wenn in unmittelbarer Nähe andere HLS-Anschlüsse nicht bewirtschaftet werden. Dieser Umstand kann durch eine integrierte Regelung (Einbezug von stromaufwärts vom Engpass liegenden Einfahrten) verbessert werden.
  - Bei der integrierten Regelung steigt die Zahl der durch die Rampenbewirtschaftung betroffenen Verkehrsteilnehmer, die nicht durch die Stauwurzel fahren und entsprechend nicht zum Stau auf der HLS beitragen, mit zunehmender Entfernung zum Engpass. Dementsprechend gering dürfte bei diesen die Akzeptanz für die Dosierungsmassnahmen ausfallen.

- Die Akzeptanz für die Umsetzung von Dosierungsmassnahmen bei den betroffenen Gemeinden dürfte sich erhöhen, wenn diese frühzeitig in die Planung miteinbezogen und ihre Anliegen berücksichtigt werden (z.B. keine Stauräume in bewohnten Gebieten, maximal tolerierbare Staulängen etc.). Generell sollte der Nutzen der Massnahme die dadurch entstehenden Nachteile klar überwiegen.
- Aus regelungstechnischer Sicht ist es im Hinblick auf eine Rampenbewirtschaftung von Vorteil, wenn im rückwärtigen HVS-Netz eigene Fahrwege für den öffentlichen Verkehr bestehen und die umliegenden Knoten mit einer LSA ausgerüstet sind.

## Teil C: Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz

### 7 Methodik

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, besteht das Ziel dieser Arbeit darin, ein Planungsinstrument zu entwickeln, mit welchem sich die Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete HVS-Netz abschätzen lassen.

Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass die Notwendigkeit einer Rampenbewirtschaftung aus Sicht der Verbesserung des Verkehrsflusses und der damit verbundenen Erhöhung der Verkehrssicherheit auf der HLS gegeben ist. Die VSS-Norm SN 640 807 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen; Rampenbewirtschaftung, Grundlagen“ macht dazu folgende Angaben: „Die Zweckmässigkeit einer Rampenbewirtschaftung ist gegeben, wenn die (auf der HLS) festgestellte Störanfälligkeit und die Zahl der Unfälle deutlich reduziert werden und der vorhandene Rückstauraum durch die Steuerung nicht überschritten wird, damit keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrsverhältnisse auf dem untergeordneten Netz entstehen“. Mit den negativen Auswirkungen wird vor allem die Beeinträchtigung des der Rampe vorgelagerten Sekundärknotens angesprochen, wenn der vorhandene Stauraum in der Rampe überschritten wird. Auf die Problematik des Verlagerungsverkehrs im Zusammenhang mit dem HVS-Netz wird in der Norm jedoch nicht hingewiesen.

#### 7.1 Wirkungszusammenhänge

Aus der Grundlagenanalyse hat sich ergeben, dass die Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das untergeordnete HVS-Netz direkt abhängig sind von der Grösse des vorhandenen Stauraums und der durch den Steuerungsalgorithmus bedingten mittleren Wartezeit in der Rampe. Je mehr Stauraum in der Rampe angeboten wird, desto restriktiver und länger lässt sich eine Einfahrt bis zum Erreichen der Stauraumgrenze in Abhängigkeit der Verkehrsbelastungen auf der HLS theoretisch bewirtschaften, d.h. die mittleren Wartezeiten werden umso grösser, je mehr Angebot an Stauraum in der Rampe vorhanden ist. Je grösser aber die mittlere Wartezeit auf der Rampe infolge der Bewirtschaftung für den einzelnen Verkehrsteilnehmer ausfällt, desto wahrscheinlicher wird es, dass sich ein Teil des auf die HLS einfahrenden Verkehrs beim nächsten Mal für eine Alternativroute entscheidet. Vereinfachend wird angenommen, dass das Ausmass und der Umfang des Verlagerungsverkehrs nur von den Reisezeiten über die Original- bzw. Alternativroute und deren Weglängen abhängen. Weitere Entscheidungsfaktoren, welche die Routenwahl mitbeeinflussen können, wie z.B. die persönlichen Vorlieben des Verkehrsteilnehmers, waren nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Zwischen der Wartezeit auf der Rampe und der zusätzlichen Reisezeit über eine Alternativroute besteht eine gegenseitige Abhängigkeit. Zu Beginn der Betrachtung wird von einer vorgegebenen Einfahrtsbelastung ausgegangen und die Reisezeit über eine Alternativroute wird als konstant angenommen. Je nach Grösse der mittleren Wartezeit in der Rampe kann sich ein Teil des einfahrenden Verkehrs auf die Alternativroute verlagern. Während dadurch die Belastungen in der Einfahrt und in der Folge auch die mittleren Wartezeiten abnehmen, kann sich durch den Verlagerungsverkehr die Reisezeit auf der Alternativroute je nach Auslastungsgrad (bereits ohne flankierende Massnahmen) erhöhen. In der Folge wird eine teilweise Rückverlagerung stattfinden und die Betrachtung muss theoretisch solange wiederholt werden (Iteration), bis sich ein „stabiles“ Gleichgewicht einstellt.

## 7.2 Vorgehen

Unter Berücksichtigung der geschilderten Wechselwirkungen und Abhängigkeiten wurde eine iterative Vorgehensweise entwickelt, welche bei der Abklärung der Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz angewendet werden kann.

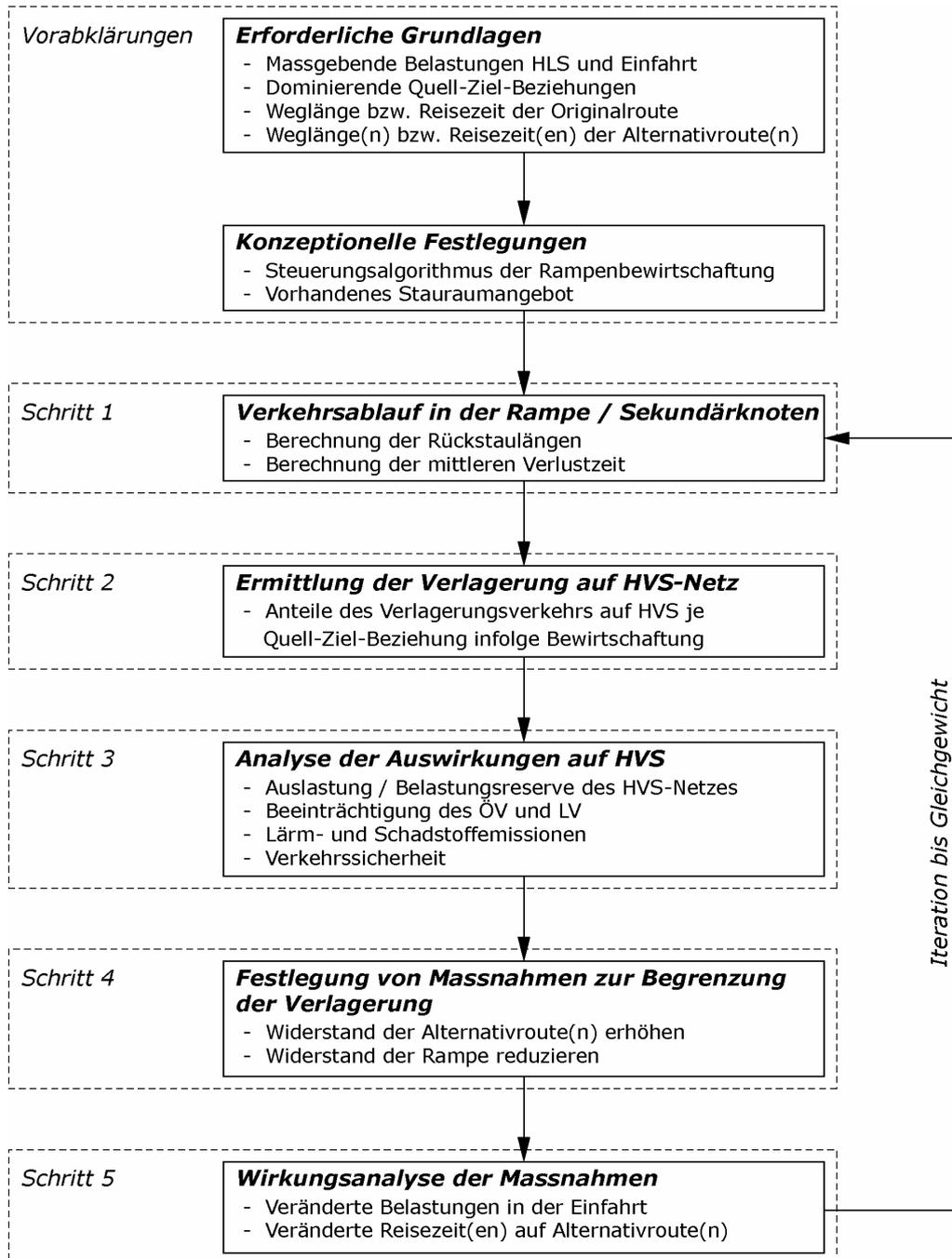


Abbildung 7: Ablaufschema zur Ermittlung der Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

Die in den folgenden Abschnitten beschriebene Methodik ermöglicht die systematische Ermittlung der Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz sowie die Festlegung der gegebenenfalls erforderlichen Massnahmen. Die Anwendung der vorgeschlagenen Methode liefert insbesondere Hinweise zu folgenden Aspekten:

- **Verlagerungsverkehr**  
Angaben über den zu erwartenden Verlagerungsverkehr im HVS-Netz auf Grund der geplanten Rampenbewirtschaftung mit Hilfe eines Quantifizierungswerkzeugs
- **Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs**  
Informationen über die möglichen Auswirkungen des Verlagerungsverkehr und deren Ausprägungen (Beeinträchtigung des ÖV und LV, Lärm- und Schadstoffbelastung)
- **Spezifische Massnahmen**  
Darlegung und Erläuterung spezifischer Massnahmen zur zielgerichteten Bekämpfung der unerwünschten Auswirkungen und deren Ausprägungen
- **Auswirkungen der Massnahmen**  
Qualitative Angaben zur Wirksamkeit der vorgängig festgelegten Massnahmen

### 7.3 Methode

Mit Hilfe eines morphologischen Kastens<sup>1</sup> werden die wesentlichen Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung an HLS-Einfahrten auf das HVS-Netz sowie allfällige Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der unerwünschten Auswirkungen zusammengestellt und beschrieben. Die wesentlichen Vorteile des morphologischen Kastens bzw. der morphologischen Analyse sind die übersichtliche und vollständige Darstellung des Lösungsraumes sowie die wertfreie Gegenüberstellung aller Kriterien und Ausprägungen. Die folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau des verwendeten morphologischen Kastens.

Kriterien	Ausprägungen	
	A	X
1	Ausprägung	...
	Auswirkungen	...
	Massnahmen	...
	Massnahmenwirkung	...
k	...	...
	...	...
	...	...
	...	...

Abbildung 8: Prinzipieller Aufbau des morphologischen Kastens

<sup>1</sup> Ein morphologischer Kasten ist als mehrdimensionale Matrix das Kernstück der morphologischen Analyse, welche eine kreative analytische Methode zur vollständigen Erfassung komplexer Problembereiche und zur vorurteilsfreien Betrachtung aller möglichen Lösungen darstellt.

In den Zeilen des morphologischen Kastens befinden sich die verschiedenen Kriterien und in den Spalten die jeweils möglichen Ausprägungen dieser Kriterien. Ein Beispiel für ein Kriterium einer Rampenbewirtschaftung ist die Lage des Stauraums, welcher sich in einem Wohngebiet, Mischgebiet, Industriegebiet oder ausserhalb eines Siedlungsgebietes befinden kann. Insgesamt wurden zwölf Kriterien mit jeweils bis zu vier Ausprägungen entwickelt.

Der morphologische Kasten hat verschiedene Aufgaben zu erfüllen, welche sich aus den zu untersuchenden Punkten dieser Forschungsarbeit (vgl. Abbildung 3) ableiten lassen:

- Zuordnung der möglichen Ausprägungen zu den Kriterien (weisse Felder bzw. 1. Zeile)
- Beschreibung der Auswirkungen hinsichtlich Verlagerungsverkehr und Stauraumbelegung (hellgraue Felder bzw. 2. Zeile)
- Empfehlung von Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen (graue Felder bzw. 3. Zeile)
- Beschreibung der Wirkung der Massnahmen (dunkelgraue Felder bzw. 4. Zeile).

Während sich einige dieser Kriterien quantifizieren lassen, ist bei den meisten Kriterien jedoch lediglich eine qualitative Abschätzung möglich. Der morphologische Kasten soll die Erkenntnisse der Forschungsarbeit zusammenfassen und ein Planungsinstrument darstellen. Insbesondere dient dieses Instrument zur Festlegung der spezifischen Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung auf das HVS-Netz sowie der dadurch notwendigen Massnahmen.

## 8 Kriterien des Verlagerungsverkehrs

Die Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung hinsichtlich des Verlagerungsverkehrs müssen unter zwei Aspekten differenziert betrachtet werden:

- Umfang des Verlagerungsverkehrs
- Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs.

Die Fragen bzw. Kriterien, welche das Ausmass des Verlagerungsverkehrs beeinflussen, sind wie folgt:

1. Existiert alternativ zur Verbindung über die HLS eine Route im untergeordneten HVS-Netz und wie hoch wäre der zu erwartende Reisezeitverlust?
2. Entstehen durch die Rampenbewirtschaftung hohe Verlust- bzw. Wartezeiten für die betroffenen Verkehrsteilnehmer?
3. Wie hoch ist die Auslastung des HVS-Netzes ohne Verlagerungsverkehr?
4. Existieren alternative Anschlüsse an das HLS-Netz in geringer Entfernung zur betrachteten Rampenbewirtschaftung und werden diese Anschlüsse ebenfalls bewirtschaftet oder nicht?
5. Befindet sich nach der Rampenbewirtschaftung stromabwärts vor der Stauwurzel eine Verzweigung oder eine relevante Ausfahrt im HLS-Netz (Mass der Betroffenheit)?
6. Genügt der verfügbare Stauraum für die Anordnung und Funktionalität einer Rampenbewirtschaftung?

Die Fragen bzw. Kriterien, welche sich mit den Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs beschäftigen, sind:

7. Wie erfolgt die Verkehrsregelung am zur Rampenbewirtschaftung vorgelagerten Sekundärknoten?
8. Wie gross ist die Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz?
9. Ist der Verkehrsstrom zur Rampe am Anschlussknoten gegenüber den anderen Verkehrsströmen über- oder untergeordnet?
10. In welchem Umfeld befindet sich der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung?
11. Verfügt der strassengebundene öffentliche Verkehr im von der Rampenbewirtschaftung betroffenen HVS-Netz über eigene Fahrwege?
12. Sind die Wege des Langsamverkehrs im HVS-Netz vom motorisierten Individualverkehr und somit von der Rampenbewirtschaftung betroffen?

In den Spalten des morphologischen Kastens werden diesen zwölf Kriterien jeweils zwei bis vier Ausprägungen zugewiesen. Einige Ausprägungen zu den Kriterien lassen sich quantifizieren, mehrheitlich ist jedoch lediglich eine qualitative Abschätzung möglich.

Zwischen den Kriterien bestehen zahlreiche Wechselwirkungen und Abhängigkeiten, die im Einzelfall zu prüfen und zu berücksichtigen wären. Beispielsweise besteht insbesondere zwischen der zusätzlichen Reisezeit über eine Alternativroute (Kriterium 1) und der Verlustzeit durch die Rampenbewirtschaftung (Kriterium 2) ein enger Zusammenhang. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf eine kombinierte Betrachtung dieser beiden Kriterien innerhalb des morphologischen Kastens verzichtet und auf die Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs im Kapitel 10 verwiesen. Die Wirkungszusammenhänge bei einer Rampenbewirtschaftung hinsichtlich Wartezeit auf der Rampe und Reisezeit über die Alternativroute wurden bereits im Kapitel 7.1 beschrieben.

Kriterien	Ausprägungen				Kriterien	Ausprägungen			
	A	B	C	D		A	B	C	D
1 Alternativroute im HVS-Netz	Ausprägungen				7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlusskn.	Ausprägungen			
	Auswirkungen					Auswirkungen			
	Massnahmen					Massnahmen			
	Massnahmenwirkung					Massnahmenwirkung			
2 Verlustzeit durch die RB					8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz				
3 Auslastung des HVS-Netzes	Umfang des Verlagerungsverkehrs				9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs			
5 Verzweigung/Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts					10 Lage des Stauraums				
6 Länge des Stauraums für die RB					11 Führung des ÖV im HVS-Netz				
					12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz				

Abbildung 9: Prinzipieller Inhalt des morphologischen Kastens

In den folgenden Abschnitten werden die Ausprägungen der oben genannten Kriterien und deren Auswirkungen hinsichtlich des Umfangs des Verlagerungsverkehrs sowie der Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs näher beschrieben.

### 8.1 Alternativroute im HVS-Netz

Entscheidend für die Entstehung von Verlagerungsverkehr an einer Rampenbewirtschaftung ist die Frage, ob überhaupt eine geeignete Alternativroute im HVS-Netz besteht. Wenn im HVS-Netz keine Alternativroute existiert, kann natürlich auch kein Verlagerungsverkehr im HVS-Netz entstehen. Ist jedoch eine Alternativroute vorhanden, dann beeinflusst die Höhe des Reisezeitverlustes den Umfang des Verlagerungsverkehrs. Der Reisezeitverlust entspricht der Reisezeit, die der Verkehrsteilnehmer bei Benutzung der Alternativroute im HVS-Netz im Vergleich zur Originalroute im HLS-Netz zusätzlich benötigt. In diesem Zusammenhang wird natürlich davon ausgegangen, dass der Reisezeitverlust immer positiv ist bzw. die Fahrt über die Alternativroute länger dauern würde als über die Originalroute. Wenn dies nicht der Fall wäre, dann würden nach den üblichen Routenwahlentscheidungen nahezu alle Fahrzeuge auf die Alternativroute ausweichen.

Bezüglich der Höhe des Reisezeitverlustes über die Alternativroute werden drei Kategorien unterschieden:

- Geringer Reisezeitverlust: bis zu 5 Minuten
- Mittlerer Reisezeitverlust: zwischen 5 und 10 Minuten
- Grosser Reisezeitverlust: mehr als 10 Minuten

Ein geringer Reisezeitverlust trägt schon bei kleinen Widerständen bzw. kurzen Wartezeiten durch die Rampenbewirtschaftung stark zu einer Erhöhung des Verlagerungsverkehrs bei (siehe Kapitel 10.3). Bei einem mittleren Reisezeitverlust fällt der Anteil des verlagerten Verkehrs bereits sehr viel geringer aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein grosser Reisezeitverlust nicht speziell zu einer

Erhöhung des Verlagerungsverkehrs führt. Bei kurzen Distanzen ist die Abhängigkeit des Anteils des Verlagerungsverkehrs vom Reisezeitverlust auf der Alternativroute und von der Wartezeit durch die Rampenbewirtschaftung stärker ausgeprägt als bei langen Distanzen (siehe Kapitel 10.3).

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
1 Alternativroute im HVS-Netz	geringer Reisezeitverlust (< 5 Min.)	mittlerer Reisezeitverlust (5-10 Min.)	grosser Reisezeitverlust (> 10 Min.)	nicht vorhanden
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	VV nicht möglich


Ausprägung des Kriteriums  
 Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs  
 Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs  
 Wirkung der Massnahmen

Abkürzungen:  
 RB = Rampenbewirtschaftung  
 VV = Verlagerungsverkehr

### 8.2 Verlustzeit durch die Rampenbewirtschaftung

Bei einer Rampenbewirtschaftung wird der Zufluss zur HLS temporär gedrosselt. Die dadurch entstehende Verlust- bzw. Wartezeit für die betroffenen Fahrzeuge wird in drei Kategorien eingeteilt:

- Lange Verlustzeit:                      mehr als 7 Minuten
- Mittlere Verlustzeit:                    zwischen 2 und 7 Minuten
- Kurze Verlustzeit:                        bis zu 2 Minuten

Die Verlust- bzw. Wartezeit entsteht durch die Reisezeitdifferenz gegenüber einer behinderungsfreien Einfahrt in die HLS. Je länger die durch die Rampenbewirtschaftung bedingte Wartezeit ist, desto höher ist der Anteil des auf die HVS ausweichenden Verkehrs (vgl. auch Kapitel 10.3). Bei kurzen Wartezeiten bis zu zwei Minuten kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil des Verlagerungsverkehrs durch dieses Kriterium nicht speziell erhöht wird. An Knoten mit Lichtsignalanlage nimmt erfahrungsgemäss die Ungeduld der Automobilisten ab mittleren Wartezeiten von zwei Minuten und länger deutlich zu. Die Festlegung von 7 Minuten als untere Grenze für eine lange Verlustzeit lehnt sich an Erfahrungen aus der Praxis an.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
2 Verlustzeit durch die RB	lang (> 7 Min.)	mittel (2-7 Min.)	kurz (< 2 Min.)	
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	


Ausprägung des Kriteriums  
 Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs  
 Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs  
 Wirkung der Massnahmen

Abkürzungen:  
 RB = Rampenbewirtschaftung  
 VV = Verlagerungsverkehr

### 8.3 Auslastung des HVS-Netzes

Verlagerungsverkehr kann infolge einer Rampenbewirtschaftung nur dann im grösseren Ausmass entstehen, wenn die mögliche Alternativroute im HVS-Netz eine Leistungsreserve aufweist. Ein ausgelastetes oder sogar überlastetes HVS-Netz ist nicht in der Lage, den zusätzlichen Verlagerungsverkehr von der Rampenbewirtschaftung zu verarbeiten. Aus diesem Grunde werden für die Auslastung des HVS-Netzes drei Kategorien vorgesehen:

- Leistungsreserve im HVS-Netz vorhanden
- HVS ausgelastet
- HVS überlastet.

Grundsätzlich erhöht allfälliger Verlagerungsverkehr die Auslastung des HVS-Netzes. Bei einem ausgelasteten HVS-Netz wird der Verlagerungsverkehr zur Überlastung führen und bei einem überlasteten HVS-Netz – sofern überhaupt Verlagerungsverkehr entstehen kann – die Überlastung erhöhen.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
3 Auslastung des HVS-Netzes	Reserve HVS vorhanden	HVS ausgelastet	HVS überlastet	
	allfälliger VV erhöht die Auslastung des HVS-Netzes	allfälliger VV führt zur Überlastung des HVS-Netzes	allfälliger VV vergrössert die Überlastung des HVS-Netzes	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 8.4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz

Für den potenziellen Verlagerungsverkehr ist auch von Bedeutung, ob das Ziel über die Alternativroute im HVS-Netz erreicht werden kann oder ob ein erneuter Zugang zum HLS-Netz erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund kann ein zur betrachteten Rampenbewirtschaftung benachbarter Anschluss an das HLS-Netz zu einer Erhöhung des Verlagerungsverkehrsanteils führen. Dies wird noch erheblich verstärkt, wenn der benachbarte HLS-Anschluss nicht ebenfalls über eine Rampenbewirtschaftung verfügt oder wenn die durch eine vorhandene Rampenbewirtschaftung verursachte Verlustzeit nur sehr kurz ist.

Die drei Kategorien bezüglich benachbarter Anschlüsse an das HLS-Netz sind:

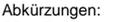
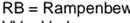
- Benachbarter HLS-Anschluss ohne Rampenbewirtschaftung vorhanden
- Benachbarter HLS-Anschluss mit Rampenbewirtschaftung vorhanden
- Kein benachbarter HLS-Anschluss vorhanden.

Wenn kein benachbarter Anschluss an das HLS-Netz vorhanden oder bei einem benachbarten HLS-Anschluss mit Rampenbewirtschaftung die Verlustzeit sehr hoch ist, dann wirkt sich dies nicht speziell erhöhend auf den Verlagerungsverkehrsanteil aus.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	ohne Rampenbewirtschaftung	mit Rampenbewirtschaftung	nicht vorhanden	
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	keine Erhöhung des VV	

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 8.5 Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz

Wenn sich hinter der betrachteten Rampenbewirtschaftung stromabwärts vor der Stauwurzel eine Verzweigung im HLS-Netz befindet, dann sind von der Rampenbewirtschaftung auch Fahrzeuge betroffen, die nicht zur Stauursache auf der HLS beitragen. In der Folge sinkt sowohl die Effizienz als auch das Verständnis für die Notwendigkeit der Rampenbewirtschaftung und der Ausweichverkehr auf dem HVS-Netz nimmt zu. Dasselbe gilt für eine wichtige Ausfahrt aus dem HLS-Netz vor der Stauwurzel, über welche ein Teil der Fahrzeuge die HLS bereits wieder verlassen.

Wenn sich hinter der betrachteten Rampenbewirtschaftung stromabwärts vor der Stauwurzel keine Verzweigung im HLS-Netz und auch keine wichtige Ausfahrt aus dem HLS-Netz befinden, dann sind von der Rampenbewirtschaftung nur stauauslösende Fahrzeuge betroffen. Das Verständnis für die Notwendigkeit der Rampenbewirtschaftung ist entsprechend höher.

Die Ausprägungen, welche das Kriterium Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz näher beschreiben, sind:

- Verzweigung/Ausfahrt stromabwärts vor der Stauwurzel
- Verzweigung/Ausfahrt stromabwärts hinter der Stauwurzel
- Verzweigung/Ausfahrt stromabwärts nicht vorhanden.

Die Bedeutung des Kriteriums „Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz“ steigt bei der ersten Ausprägung „Verzweigung/Ausfahrt stromabwärts vor der Stauwurzel“ mit der Zunahme des Anteils der Fahrzeuge an, die zwar von der Rampenbewirtschaftung betroffen sind, aber dennoch nicht durch die Stauwurzel fahren.

Wenn (fast) alle von der Rampenbewirtschaftung betroffenen Fahrzeuge auch durch die Stauwurzel fahren, dann wirkt sich dies positiv auf die Effizienz und das Verständnis für die Notwendigkeit der Rampenbewirtschaftung aus. Wenn hingegen die (überwiegende) Mehrheit der durch die Rampenbewirtschaftung betroffenen Fahrzeuge nicht durch die Stauwurzel fahren, dann wirkt sich dies nicht nur negativ auf die Effizienz, sondern auch negativ auf das Verständnis für die Notwendigkeit der Rampenbewirtschaftung aus, was eine Erhöhung des Verlagerungsverkehrsanteils zur Folge hat.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
5 Verzweigung/ Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts	vor der Stauwurzel verzögerte und ineffektive Wirkung der RB, Erhöhung des VV	hinter der Stauwurzel normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	nicht vorhanden normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 8.6 Länge des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung

Beim Kriterium Länge des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung gibt es zwei Ausprägungen:

- der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung ist lang
- der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung ist kurz.

Bei einem langen Stauraum für die Rampenbewirtschaftung besteht die Möglichkeit für eine starke Dosierung des auf die HLS einfahrenden Verkehrsstroms. Dies sorgt zwar für eine deutliche Wirkung der Rampenbewirtschaftung, gleichzeitig steigt aber auch die Wartezeit für die zurück gehaltenen Fahrzeuge stark an. In der Folge kommt es zu einer starken Erhöhung des Verlagerungsverkehrs.

Bei einem kurzen Stauraum ist hingegen die Wirkung der Rampenbewirtschaftung für die HLS unter Umständen nicht mehr gewährleistet. Wenn der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung nicht ausreicht bzw. überlastet ist, dann stauen sich die Fahrzeuge in das HVS-Netz zurück, welches nicht für die Bewirtschaftung bzw. Dosierung vorgesehen ist. In der Folge können sich Behinderungen für andere Verkehrsströme und den ÖV ergeben. Wenn hingegen der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung ausreichend dimensioniert ist, dann stauen sich die Fahrzeuge nicht in das übrige für die Bewirtschaftung bzw. Dosierung nicht vorgesehene HVS-Netz zurück. Häufig existieren jedoch Vorgaben, dass bei einem Rückstau in das untergeordnete HVS-Netz die Rampenbewirtschaftung kurzzeitig abzuschalten ist. Dies führt allerdings zu einem spontanen Zufluss einer grösseren Fahrzeugmenge auf die bereits hoch belastete HLS, was in der Regel einen Zusammenbruch des Verkehrsflusses zur Folge hat. Vor diesem Hintergrund ergibt sich durch einen kurzen Stauraum insbesondere in Verbindung mit der Option des kurzzeitigen Abschaltens der Rampenbewirtschaftung eine kürzere Wartezeit für die einfahrenden Fahrzeuge, was nur eine geringe Erhöhung des Verlagerungsverkehrs zur Folge hat.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
6 Länge des Stauraums für die RB	lang starke Erhöhung des VV	kurz keine/geringe Erhöhung des VV		

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 8.7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens

Für die Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens bestehen drei Möglichkeiten:

- Kreisel
- Knoten mit Vortrittsregelung
- Knoten mit Lichtsignalanlage.

Bei einer allfälligen Überstauung der Rampe ist ein Kreisel als Anschlussknoten besonders problematisch. Eine Überstauung eines Kreisels führt im Allgemeinen zur Blockierung des Knotens in allen Richtungen. Bei einem Knoten mit Vortrittsregelung hat eine Überstauung der Rampenbewirtschaftung ebenfalls eine Behinderung einzelner oder aller Verkehrsströme zur Folge.

Wenn die zur Rampenbewirtschaftung vorgelagerten Knoten im HVS-Netz mit einer Lichtsignalanlage ausgestattet sind, dann besteht die Möglichkeit einer weiträumigeren Dosierung der auf die Rampe zufließenden Verkehrsströme. Gleichzeitig stellt dies die Voraussetzung für eine Priorisierung des ÖV dar. Wenn hingegen die zur Rampenbewirtschaftung vorgelagerten Knoten im HVS-Netz nicht mit Lichtsignalanlage ausgestattet sind, dann fließen die Fahrzeuge aus dem HVS-Netz ungesteuert auf die Rampe zu.

Die Ausstattung der Knoten im HVS-Netz mit Lichtsignalanlage stellt neben der Einrichtung von eigenen Fahrwegen (auch temporär bzw. virtuell) für den ÖV eine wichtige Voraussetzung für eine Priorisierung des ÖV dar. Ferner kann eine grossräumigere Dosierung der Verkehrsströme die unerwünschten Folgen einer Überlastung der vorgesehenen Stauräume mindern.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	Kreisel	Vortrittsregelung	Lichtsignalanlage	
	Überstauung der RB führt zur Blockade des Anschlussknotens	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung des Knotens kann verhindert werden	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 8.8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz

Während sich die Auslastung des HVS-Netzes bzw. der Alternativroute auf den Umfang des Verlagerungsverkehrs auswirkt, beeinflusst die Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz die Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs. Die Belastbarkeit wird durch übergeordnete verkehrliche und ökologische Randbedingungen definiert und ist der Regel geringer als die Leistungsfähigkeit. Die Belastbarkeitsreserve wird dabei wie folgt eingeteilt:

- Geringe Belastbarkeitsreserve
- Mittlere Belastbarkeitsreserve
- Hohe Belastbarkeitsreserve.

Bei einer geringen Belastbarkeitsreserve ist eine verträgliche Aufnahme des Verlagerungsverkehrs im HVS-Netz grundsätzlich nicht möglich. Eine mittlere Belastbarkeitsreserve ermöglicht zumindest noch eine Aufnahme des Verlagerungsverkehrs im HVS-Netz bis zum Erreichen der Belastbarkeitsgrenze. Nur eine hohe Belastbarkeitsreserve kann eine verträgliche Aufnahme des Verlagerungsverkehrs im HVS-Netz gewährleisten.

Die Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz kann auch beispielsweise durch eine Lichtsignalsteuerung absichtlich vermindert werden. Auf diese Weise lässt sich der Verlagerungsverkehr reduzieren.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	gering	mittel	hoch	
	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz nicht möglich	Aufnahme des VV im HVS-Netz bis Belastbarkeitsgrenze möglich	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz möglich	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 8.9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten

Am Anschlussknoten der Rampenbewirtschaftung bestehen für den Rang des Verkehrsstroms zur Rampe genau zwei Möglichkeiten:

- Verkehrsstrom zur Rampe ist am Anschlussknoten übergeordnet
- Verkehrsstrom zur Rampe ist am Anschlussknoten untergeordnet.

Am Anschlussknoten führt zwar bei einer Überstauung der Rampenbewirtschaftung sowohl ein übergeordneter als auch ein untergeordneter Verkehrsstrom zur Rampe zu Behinderungen der anderen Verkehrsströme an diesem Knoten. Allerdings unterscheiden sich die Massnahmen zur Reduzierung der Auswirkungen dieses Kriteriums (siehe Kapitel 9.9).

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	übergeordnet	untergeordnet		
	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme		

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

**8.10 Lage des Stauraums**

Die Aufgabe einer Rampenbewirtschaftung besteht im Wesentlichen darin, die auf die HLS zufließenden Fahrzeuge am HLS-Anschluss zu dosieren. Für diesen Zweck wird ein entsprechender Stauraum benötigt. In diesem Zusammenhang ist die Lage des Stauraums von Bedeutung. Vier Möglichkeiten werden unterschieden:

- in einem Wohngebiet
- in einem Mischgebiet
- in einem Industriegebiet
- ausserhalb von Siedlungsgebieten.

Wenn sich der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung in einem Wohn- oder Mischgebiet befindet, dann werden die Anwohner unter Umständen erhöhten Emissionen hinsichtlich Lärm und Schadstoffen ausgesetzt. Darüber hinaus würde sich eine allfällige Überlastung des Stauraums noch ungünstiger auswirken. Befindet sich der Stauraum hingegen in einem Industriegebiet oder ausserhalb von Siedlungsgebieten, dann ist die Staurraumnutzung hinsichtlich Emissionsbelastungen unkritisch.

Der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung kann sich auch auf der HLS parallel zu den durchgehenden Fahrstreifen befinden, in dem der Beschleunigungsstreifen durch Umwidmung des Standstreifens verlängert wird. In diesem Fall ist die Staurraumnutzung hinsichtlich Emissionsbelastungen meistens unproblematisch wie bei der Lage des Stauraums ausserhalb von Siedlungsgebieten.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
10 Lage des Stauraums	Wohngebiet	Mischgebiet	Industriegebiet	ausserhalb
	Staurraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Staurraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Staurraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	Staurraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen der Staurraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

**8.11 Führung des ÖV im HVS-Netz**

Eigene Fahrwege für den ÖV im HVS-Netz (besonderer Bahnkörper, Busstreifen) stellen eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Priorisierung des ÖV dar. Wenn der ÖV im HVS-Netz nicht über eigene Fahrwege verfügt, dann werden die Fahrtabläufe der ÖV-Fahrzeuge vom Verkehrsablauf im MIV beeinträchtigt und eine allfällige Überlastung des Stauraums oder allfälliger Verlagerungsverkehr kann sich besonders nachteilig auf die Fahrtabläufe der ÖV-Fahrzeuge auswirken. Die Merkmale für das Kriterium Führung des ÖV im HVS-Netz sind:

- ohne eigene Fahrwege und/oder ohne Priorisierung
- mit eigenen Fahrwegen und/oder mit Priorisierung
- ÖV nicht vorhanden oder nicht von Belang.

Falls für den ÖV im HVS-Netz eigene Fahrwege bzw. Priorität im Verkehrsablauf gegeben sind, dann hat die Rampenbewirtschaftung keinen oder einen vernachlässigbaren Einfluss auf den ÖV.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
11 Führung des ÖV im HVS-Netz	ohne eigene Fahrwege/Priorität	mit eigenen Fahrwegen/Priorität	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 8.12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz

Die Problematik der Führung des Langsamverkehrs (Velo und Fussgänger) im HVS-Netz ist ähnlich gelagert wie das Kriterium Führung des ÖV im HVS-Netz (siehe 8.11). Die möglichen Ausprägungen dieses Kriteriums sind:

- Führung des LV im HVS-Netz vom MIV betroffen
- Führung des LV im HVS-Netz unabhängig vom MIV
- LV im HVS-Netz nicht vorhanden oder ohne Belang.

Wenn die Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz vom MIV betroffen ist, dann beeinträchtigt eine allfällige Stauraumüberlastung in der HLS-Zufahrt oder allfälliger Verlagerungsverkehr nicht nur die Verkehrsabläufe des MIV im HVS-Netz, sondern auch die Verkehrsqualität des Langsamverkehrs. Verlaufen die Verkehrswege für den Langsamverkehr hingegen unabhängig vom MIV, dann hat eine Rampenbewirtschaftung keinen Einfluss auf die Verkehrsqualität im Langsamverkehr.

Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	vom MIV betroffen	unabhängig vom MIV	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen Langsamverk.	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

## 9 Massnahme und Wirkung

Während im voran gegangenen Kapitel die Kriterien des Verlagerungsverkehrs vorgestellt wurden, welche das Ausmass beeinflussen und sich mit den Auswirkungen beschäftigen, werden in diesem Kapitel die Massnahmen und deren Wirkung erläutert, welche einerseits den Umfang des Verlagerungsverkehrs reduzieren (Rückverlagerung) und andererseits die negativen Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs und der Stauraumnutzung abmindern sollen.

### 9.1 Alternativroute im HVS-Netz

Je kürzer der Reisezeitverlust der Alternativroute im HVS-Netz gegenüber der Fahrt über die HLS ist, desto stärker ist der erhöhende Einfluss auf die Bildung von Verlagerungsverkehr im HVS-Netz. Die entsprechende Massnahme zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs ist eine Erhöhung des Widerstandes bzw. der Reisezeit auf der Alternativroute im HVS-Netz, um den Reisezeitgewinn gegenüber der Originalroute im HLS-Netz zu minimieren. Dies kann beispielsweise durch Dosierungs-, Geschwindigkeitsbegrenzungs- oder Verkehrsberuhigungsmassnahmen erfolgen, wobei davon Dosierungsmassnahmen mit Lichtsignalanlage am effektivsten sind. Die Wirkung dieser Massnahmen lässt sich mit der im Teil D (Anwendungsbeispiel) vorgestellten Methodik abschätzen. Wenn die Fahrt über die Alternativroute bereits einen grossen Reisezeitverlust aufweist, müssen Massnahmen im Einzelfall geprüft werden. Alternativ könnte auch eine Reduktion des Widerstands bzw. eine Verringerung der Wartezeit in Erwägung gezogen werden, was jedoch die Wirkung der Rampenbewirtschaftung beeinträchtigt.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
1 Alternativroute im HVS-Netz	geringer Reisezeitverlust (< 5 Min.)	mittlerer Reisezeitverlust (5-10 Min.)	grosser Reisezeitverlust (> 10 Min.)	nicht vorhanden
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	VV nicht möglich
	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.2 Verlustzeit durch die Rampenbewirtschaftung

Je länger die Verlust- bzw. Wartezeit durch die Rampenbewirtschaftung ausfällt, desto stärker ist der erhöhende Einfluss auf die Bildung von Verlagerungsverkehr im HVS-Netz. Es liegt auf der Hand, dass die Wartezeit durch die Rampenbewirtschaftung auf einen allgemein akzeptierten Maximalwert begrenzt werden sollte. Darüber hinaus sollte der Stauraum ausreichend dimensioniert werden. Bei einem zu kurzen Stauraum stauen sich die Fahrzeuge in das untergeordnete HVS-Netz zurück, wodurch eine kurzzeitige Abschaltung der Rampenbewirtschaftung notwendig werden kann. Dadurch wird zwar die Wartezeit für die Fahrzeuge auf der Rampe reduziert, gleichzeitig wird aber auch die Wirkung der Rampenbewirtschaftung beeinträchtigt. Die Wirkung dieser Massnahme lässt sich ebenfalls mit der im Teil D (Anwendungsbeispiel) vorgestellten Methodik abschätzen.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
2 Verlustzeit durch die RB	lang (> 7 Min.)	mittel (2-7 Min.)	kurz (< 2 Min.)	
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	
	Stauraum ausreichend dimensionieren	Stauraum ausreichend dimensionieren	keine Massnahme erforderlich	
	ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 9.3 Auslastung des HVS-Netzes

Nur wenn im HVS-Netz eine Leistungsreserve vorhanden ist, kann allfälliger Verlagerungsverkehr einer Rampenbewirtschaftung vom HVS-Netz aufgenommen werden. Der Verlagerungsverkehr erhöht allerdings die Auslastung des HVS-Netzes. Um den Verlagerungsverkehr zu minimieren, sollte daher der Widerstand auf der Alternativroute erhöht werden. Dies kann beispielsweise durch Dosierungs-, Geschwindigkeitsbegrenzungs- oder Verkehrsberuhigungsmassnahmen erfolgen, wobei davon Dosierungsmassnahmen mit Lichtsignalanlage am effektivsten sind. Durch die Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute wird der Verlagerungsverkehr vermindert. Ist hingegen das HVS-Netz bereits ohne Verlagerungsverkehr ausgelastet oder sogar überlastet, dann wird allfälliger Verlagerungsverkehr zur Überlastung des HVS-Netzes führen bzw. die Überlastung vergrössern. Gleichzeitig kann ein ausgelastetes oder überlastetes HVS-Netz einen reduzierenden Einfluss auf die Bildung von Verlagerungsverkehr haben (Rückverlagerung). Aus diesem Grund sollten bei ausgelastetem oder überlastetem HVS-Netz am Entscheidungspunkt HLS-Anschluss mit Rampenbewirtschaftung über die Auslastung des HVS-Netzes z.B. mit Wechseltextanzeigen informiert werden.

Durch eine allfällige Aus- bzw. Überlastung des HVS-Netzes, welche durch den Verlagerungsverkehr verursacht wurde, entsteht im Allgemeinen eine Einsatzgrenze für die Rampenbewirtschaftung. Bei einer drohenden Überlastung des HVS-Netzes bedingt durch den Verlagerungsverkehr verlangen die Behörden üblicherweise eine Abschaltung der Rampenbewirtschaftung. Durch eine plötzliche Abschaltung der Rampenbewirtschaftung kommt es allerdings zu einem spontanen Zufluss einer grösseren Fahrzeugmenge auf die bereits hoch belastete HLS, was unweigerlich einen Zusammenbruch des Verkehrsflusses zur Folge hat.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
3 Auslastung des HVS-Netzes	Reserve HVS vorhanden	HVS ausgelastet	HVS überlastet	
	allfälliger VV erhöht die Auslastung des HVS-Netzes	allfälliger VV führt zur Überlastung des HVS-Netzes	allfälliger VV vergrössert die Überlastung des HVS-Netzes	
	Widerstand der Alternativroute erhöhen	über Auslastung der Alternativroute informieren	über Auslastung der Alternativroute informieren	
	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	ausgelastetes HVS-Netz vermindert den VV	überlastetes HVS-Netz vermindert den VV	

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 9.4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz

Im Zusammenhang mit benachbarten Anschlüssen an das HLS-Netz stellt sich die Frage, ob die Alternativroute im HVS-Netz über einen benachbarten Anschluss zurück auf die HLS führt oder ob die Alternativroute nur im HVS-Netz verläuft. Sind keine zur Rampenbewirtschaftung benachbarten Anschlüsse vorhanden, dann leistet dieses Kriterium keinen erhöhenden Beitrag zur Bildung von Verlagerungsverkehr und Massnahmen sind daher nicht erforderlich. Falls sich jedoch benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz zur Benutzung anbieten, ist von Bedeutung, ob diese Anschlüsse ebenfalls bewirtschaftet sind. Ist dies der Fall, sind keine weiteren Massnahmen erforderlich. Andernfalls sollte die Ausstattung der betroffenen Anschlüsse mit Rampenbewirtschaftung in Erwägung gezogen werden. Eine koordinierte (integrierte) Anwendung der Rampenbewirtschaftung an benachbarten HLS-Anschlüssen hat einen reduzierenden Einfluss auf die Bildung von Verlagerungsverkehr.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	ohne Rampenbewirtschaftung	mit Rampenbewirtschaftung	nicht vorhanden	
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	keine Erhöhung des VV	
	benachbarte Anschlüsse mit RB ausstatten	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	koordinierte Anwendung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.5 Verzweigung bzw. Ausfahrt stromabwärts im HLS-Netz

Wenn nicht alle durch eine Rampenbewirtschaftung dosierten Fahrzeuge auch durch den Engpass bzw. die Stauwurzel fahren, dann sinkt die Effizienz und Akzeptanz dieser Rampenbewirtschaftung. In der Folge steigt der Anteil des Verlagerungsverkehrs an. Dieser Effekt tritt nur ein, wenn sich stromabwärts vor der Stauwurzel eine Verzweigung oder wichtige Ausfahrt befindet. Wenn beispielsweise von zwei Fahrzeugen nur eines durch die Stauwurzel fährt und das andere die HLS bereits vor der Stauwurzel wieder verlässt, dann muss der Stauraum die doppelte Länge aufweisen, um alle beteiligten Fahrzeuge dosieren zu können. Generell gilt, dass eine verbesserte Wirkung der Rampenbewirtschaftung einen mindernden Einfluss auf die Entstehung von Verlagerungsverkehr hat. Für den Fall, dass sich eine allfällige Verzweigung oder wichtige Ausfahrt erst hinter der Stauwurzel befindet oder gar nicht vorhanden ist, kann von einer normalen Wirkung der Rampenbewirtschaftung ohne Erhöhung des Verlagerungsverkehrs ausgegangen werden. Die Dimensionierung des Stauraums kann wie üblich ohne Zuschlag erfolgen und weitere Massnahmen sind nicht erforderlich.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
5 Verzweigung/ Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts	vor der Stauwurzel	hinter der Stauwurzel	nicht vorhanden	
	verzögerte und ineffektive Wirkung der RB, Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	
	Stauraum zur Aufnahme der zusätzlichen Fahrzeuge verlängern	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	
	verbesserte Wirkung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.6 Länge des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung

Die Ausnutzung der Kapazität eines langen Stauraums hat eine lange Wartezeit für die Fahrzeuge auf der Rampe zur Folge, was den Verlagerungsverkehr stark erhöht. Eine reduzierte Drosselung durch die Rampenbewirtschaftung vermindert die Wartezeit und somit den Verlagerungsverkehr. Bei einem kurzen Stauraum besteht die Gefahr eines Rückstaus in das untergeordnete HVS-Netz. In diesem Fall besteht oftmals die Vorgabe zur Abschaltung der Rampenbewirtschaftung mit der Folge, dass der Verkehrsfluss auf der hoch belasteten HLS durch den spontanen Zufluss einer grösseren Fahrzeugmenge in der Einfahrt zusammenbricht. Die Wirkung der Rampenbewirtschaftung ist dann nicht mehr gewährleistet. Aus diesem Grund sollte stets eine ausreichende Stauraumlänge gewährleistet werden, damit der durch dieses Kriterium hervorgerufene Verlagerungsverkehr und die Abschaltwahrscheinlichkeit minimiert wird. Der Stauraum für die Rampenbewirtschaftung und die Durchlassfähigkeit bzw. die Steuerung der Rampenbewirtschaftung sollten stets aufeinander abgestimmt werden. Sollte es nicht möglich sein, den Stauraum auf der HLS (Standstreifen und Rampe) zur Verfügung zu stellen, dann müssten die Fahrzeuge auf dem Weg zum HLS-Anschluss bereits im HVS-Netz vordosiert werden.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
6 Länge des Stauraums für die RB	lang	kurz		
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV		
	Drosselung reduzieren	keine Massnahme erforderlich		
	reduzierte Drosselung vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich		

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens

Der Idealfall bezüglich Verkehrsregelung am vorgelagerten Anschlussknoten einer Rampenbewirtschaftung ist die Steuerung mit Lichtsignalanlage und separaten Aufstellbereichen für die Knotenströme zum HLS-Anschluss. Insbesondere bei Abstimmung der Stauraumdimensionierung auf die Rampenbewirtschaftung kann ein Anschlussknoten mit Lichtsignalanlage zur Wirkung der Rampenbewirtschaftung beitragen. Bei einem vorgelagerten Anschlussknoten mit Vortrittsregelung führt eine Über-

stauung der Rampenbewirtschaftung zu Behinderungen der anderen Knotenströme. Es bietet sich eine Umgestaltung des Knotens mit Vortrittsregelung in einen Knoten mit Lichtsignalanlage an, so dass der Anschlussknoten mit Lichtsignalanlage zur Wirkung der Rampenbewirtschaftung beitragen kann. Bei einem vorgelagerten Anschlussknoten als Kreiselpunkt kann eine Überstauung der Rampenbewirtschaftung schnell zu einer Blockierung des Anschlussknotens führen. Hier bietet sich die Anordnung einer Lichtsignalanlage als Dosierstelle an, so dass der Kreiselpunkt mit Dosierstelle zur Wirkung der Rampenbewirtschaftung beitragen kann. Bei einem Kreiselpunkt mit Lichtsignalanlage zur Dosierung ausgewählter Verkehrsströme werden allerdings stets auch Knotenströme beeinträchtigt, welche nicht dosiert werden müssten. In den meisten Fällen kann eine Ausstattung der zur Rampenbewirtschaftung umliegenden Knoten mit Lichtsignalanlage empfohlen werden.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	Kreiselpunkt	Vortrittsregelung	Lichtsignalanlage	
	Überstauung der RB führt zur Blockade des Anschlussknotens	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung des Knotens kann verhindert werden	
	LSA als Dosierstelle anordnen	Umgestaltung als LSA-Knoten	Stauraumdimensionierung auf RB abstimmen	
	Dosierstelle mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz

Die Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz ergibt sich in erster Linie aus der zumutbaren Belastung der Anwohner hinsichtlich Lärm und Schadstoffen. Bei einer hohen Belastbarkeitsreserve kann das HVS-Netz den durch die Rampenbewirtschaftung verursachten Verlagerungsverkehr aus Sicht dieses Kriteriums im Normalfall aufnehmen und es sind keine Massnahmen erforderlich. Wenn jedoch die Belastbarkeitsreserve niedriger ausfällt, dann ist eine verträgliche Aufnahme des Verlagerungsverkehrs entweder nur geringfügig bis zum Erreichen der Belastbarkeitsgrenze oder aber überhaupt nicht möglich. In beiden Fällen könnten unter Berücksichtigung übergeordneter Randbedingungen Massnahmen zur Erhöhung der Belastbarkeit des HVS-Netzes in Erwägung gezogen werden. Es darf jedoch nicht das Ziel sein, mit der Massnahme der Rampenbewirtschaftung bewusst Verlagerungsverkehr zu erzeugen und diesen über das HVS-Netz abzuwickeln. Eine erhöhte Belastbarkeit des HVS-Netzes hilft hingegen, die Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs zu reduzieren.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	gering	mittel	hoch	
	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz nicht möglich	Aufnahme des VV im HVS-Netz bis Belastbarkeitsgrenze möglich	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz möglich	
	nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	allenfalls nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	keine Massnahme erforderlich	
	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	keine Massnahme erforderlich	

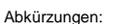
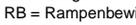
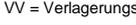
	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten

Der Verkehrsstrom zur Rampe bzw. zum HLS-Anschluss mit Rampenbewirtschaftung wird am Anschlussknoten gegenüber den anderen Verkehrsströmen übergeordnet oder untergeordnet sein. In beiden Fällen führt eine Überstauung der Rampenbewirtschaftung zu Behinderungen der Verkehrsströme. Unterschiedlich sind die Massnahmen, die ergriffen werden können. Im Fall übergeordneter Verkehrsströme zur Rampe sollten die Anschlussknoten mit verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen ausgestattet werden. Im Fall untergeordneter Verkehrsströme zur Rampe sollte durch Signalisation oder Verkehrsregelung die Freihaltung des Anschlussknotens gewährleistet bzw. unterstützt werden. Durch diese Massnahmen können Behinderungen der übrigen Verkehrsströme minimiert oder sogar verhindert werden.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	übergeordnet	untergeordnet		
	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme		
	Knoten mit verkehrsabhängig gesteuerter LSA ausstatten	Freihaltung des Knotens gewährleisten bzw. unterstützen		
	Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden	Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden		

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

### 9.10 Lage des Stauraums

Das Kriterium Lage des Stauraums ist im Zusammenhang mit dem Kriterium Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz zu sehen. Wenn sich der Stauraum der Rampenbewirtschaftung in einem Industriegebiet oder ausserhalb von Siedlungsgebieten befindet, dann ist die Stauraumnutzung hinsichtlich Lärm und Schadstoffen im Allgemeinen hinnehmbar. In diesem Fall sind keine Massnahmen zur Kompensation der Auswirkungen der Stauraumnutzung erforderlich. Wenn allerdings der Stauraum in einem Wohngebiet oder in einem Mischgebiet liegt, dann wirkt sich die Stauraumnutzung hinsichtlich Lärm und Schadstoffen im Allgemeinen negativ auf die Anwohner aus. In diesem Fall sind Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich. Zu den Möglichkeiten gehören die üblichen verkehrsökologischen Massnahmen wie z. B. Schallschutzfenster oder Lärmschutzwände. Die Wirkung der Massnahmen entspricht der generellen Wirkung von passiven Schutzmassnahmen wie z. B. Schallschutz. Einen Sonderfall stellt die Lage des Stauraums für die Rampenbewirtschaftung auf der HLS parallel zur durchgehenden Fahrbahn dar, da in diesem Fall die Lage innerhalb eines Wohn- oder Mischgebietes weniger von Bedeutung ist.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
10 Lage des Stauraums	Wohngebiet	Mischgebiet	Industriegebiet	ausserhalb
	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)
	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich
	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen: RB = Rampenbewirtschaftung VV = Verlagerungsverkehr
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.11 Führung des ÖV im HVS-Netz

Wenn der ÖV im HVS-Netz nicht über eigene Fahrwege und nicht über Priorität bei der Verkehrsregelung verfügt, dann kann sich eine allfällige Überlastung des Stauraums oder allfälliger Verlagerungsverkehr besonders nachteilig auf die Fahrtabläufe der ÖV-Fahrzeuge auswirken. Aus diesem Grund sollte der ÖV im HVS-Netz möglichst beschleunigt werden. Dies kann durch die üblichen Massnahmen wie eigene Fahrwege (z.B. Busspuren oder besondere Bahnkörper) oder Priorität bei der Verkehrsregelung (z.B. Bevorzugung bei der Lichtsignalsteuerung) erfolgen. Die Wirkung dieser Massnahme entspricht der generellen Wirkung einer ÖV-Beschleunigung. Wenn hingegen der ÖV über eigene Fahrwege und Priorität bei der Verkehrsregelung verfügt oder gar nicht vorhanden bzw. aus anderen Gründen nicht von Belang ist, hat der Betrieb der Rampenbewirtschaftung keinen Einfluss auf die Fahrtabläufe der ÖV-Fahrzeuge. Massnahmen sind in diesem Fall nicht erforderlich.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
11 Führung des ÖV im HVS-Netz	ohne eigene Fahrwege/Priorität	mit eigenen Fahrwegen/Priorität	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	
	ÖV möglichst beschleunigen (eigene Fahrwege/Priorität)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	Wirkung der ÖV-Beschleunigung	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	

	Ausprägung des Kriteriums	Abkürzungen: RB = Rampenbewirtschaftung VV = Verlagerungsverkehr
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen	
	Wirkung der Massnahmen	

### 9.12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz

Das Kriterium Führung des Langsamverkehrs (Velo und Fussgänger) im HVS-Netz verhält sich ähnlich wie das Kriterium Führung des ÖV im HVS-Netz (siehe 9.11). Wenn die Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz gemeinsam mit dem MIV erfolgt, dann wird eine Stauraumüberlastung oder der Verlagerungsverkehr der Rampenbewirtschaftung die Verkehrsqualität im Langsamverkehr beeinträchtigen. Aus diesem Grund sollte im Zusammenhang mit Rampenbewirtschaftungen generell eine Trennung der Verkehrswege des MIV und des Langsamverkehrs angestrebt werden. Eine Trennung der Verkehrswege vermeidet gegenseitige Behinderungen. Bei einer Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz mit

eigenen Verkehrswegen unabhängig vom MIV hat der Betrieb der Rampenbewirtschaftung keinen Einfluss auf die Verkehrsabläufe im Langsamverkehr. Gleiches gilt, wenn der Langsamverkehr im HVS-Netz ohne Belang oder gar nicht vorhanden ist.

Fortgeführte Zusammenfassung der obigen Erkenntnisse im morphologischen Kasten (Ausschnitt):

Kriterium	Ausprägungen			
	A	B	C	D
12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	vom MIV betroffen	unabhängig vom MIV	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen Langsamverk.	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	
	möglichst Trennung der Verkehrswege anstreben	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	Trennung der Verkehrswege vermeidet Behinderungen	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	


Ausprägung des Kriteriums  
 Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs  
 Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen  
 Wirkung der Massnahmen

Abkürzungen:  
 RB = Rampenbewirtschaftung  
 VV = Verlagerungsverkehr

## 10 Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs

### 10.1 Einführung

Gemäss Ablaufschema zur Ermittlung der Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung (vgl. Kapitel 7.2) muss im zweiten Schritt der durch eine geplante Rampenbewirtschaftung zu erwartende Verlagerungsverkehr auf das HVS-Netz abgeschätzt werden. Prinzipiell kann diese Abschätzung mit zwei verschiedenen Methoden erfolgen:

- Aufbau eines mikro- oder makroskopischen Verkehrsmodells mit dynamischer Routenwahl
- Verkehrsplanerische Berechnungsverfahren zur Verkehrsstromaufteilung

Bei der Verwendung eines mikro- oder makroskopischen Verkehrsmodells wird immer eine spezifische Situation abgebildet, für welche das Modell detaillierte Angaben zur voraussichtlichen Mehrbelastung auf den Alternativrouten liefert. Bei der Verwendung eines Modells zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellung müssten jedoch eine Vielzahl von Annahmen und Festlegungen getroffen und in der Folge auch variiert werden, wie z.B. Netztopologie, Verkehrsbelastungen, Steuerungsverfahren etc. Dies würde zu einer unüberschaubaren Fülle von Szenarien führen und wäre im vorliegenden Fall nicht zielführend, da sich diese Ergebnisse nicht vorbehaltlos verallgemeinern lassen. Hingegen kann sich die Anwendung eines Verkehrsmodells in einer späteren Planungsphase durchaus als sinnvoll erweisen, d.h. wenn mit einer Voruntersuchung aufgezeigt werden kann, dass eine geplante Rampenbewirtschaftung auch aus Sicht des untergeordneten Netzes akzeptabel ist und tiefer untersucht werden soll.

In Anbetracht der eingangs erwähnten Gründe und der Tatsache, dass mit dieser Arbeit ein Planungsinstrument zur generellen Grobabschätzung des Ausweichverkehrs auf Grund einer geplanten Rampenbewirtschaftung geschaffen werden soll, wurde in der Folge auf die klassischen Berechnungsverfahren zur Verkehrsstromaufteilung zurückgegriffen<sup>2</sup>. Die Aufteilungsregel geht von der Annahme aus, dass zwischen den Widerständen des Weges (im vorliegenden Fall die Wartezeit auf der Rampe, bzw. der Reisezeitverlust über die Alternativroute) und der Wahrscheinlichkeit ihrer Benutzung ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Der Widerstand der Wege wirkt der Fahrthäufigkeit entgegen, d.h. dass bei zwei oder mehreren alternativen Wegen der optimale Weg mit dem geringsten Widerstand den grössten Verkehrsanteil enthält und alle anderen Wege in Abhängigkeit von der Widerstandsgrösse einen entsprechenden geringeren Verkehrsanteil. Mit der Anwendung der Widerstandsfunktion lassen sich demnach Abschätzungen und Angaben über die Grössenordnung des Verlagerungsverkehrs festlegen, womit die planerischen Bedürfnisse abgedeckt werden können.

### 10.2 Ansatz

Das in dieser Arbeit gewählte Berechnungsverfahren zur Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs basiert auf der deterministischen Aufteilungsregel, welche in Anlehnung an die Kirchhoff'sche Stromverzweigungsregel der Elektrotechnik entstanden ist und ein klassisches Verfahren in der Verkehrsplanung darstellt. Generell wird mit der Aufteilungsregel der Erwartungswert der jeweiligen Teilverkehrsströme berechnet. Der Grundansatz zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten  $P_{st,r}$  (bzw. der prozentualen Verteilung des Verkehrs auf zwei oder mehrere Routen) lautet:

---

<sup>2</sup> Schnabel, W.; Lohse, D.: Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2: Verkehrsplanung. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1997.

$P_{st,r}$	Wahrscheinlichkeit (Anteil) der Route r in der Beziehung s - t
$F(W_{st,r})$	Bewertungsfunktion des Widerstandes
$W_{st,r}$	Widerstand (Aufwand, Nutzen) der Verkehrsbeziehung s - t, der über die Route r führt
r, k	Indizierung der gefundenen sinnvollen Wege der Verkehrsbeziehung s - t (r = 1 - n, k = 1 - n)

Je nach Ausprägung der Bewertungsfunktion  $F(W_{st,r})$  entstehen verschiedene Varianten mit einer unterschiedlichen Qualität der Anpassungsmöglichkeiten an die Realität. Grundlage für die Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs in der vorliegenden Arbeit bildete die „klassische“ Aufteilungsregel der Nachfrage auf zwei alternative Routen (welche eine Analogie zum klassischen Gravitationsansatz der Verkehrsverteilung aufweist) mit der Bewertungsfunktion  $F(W_{st,r}) = W_{st,r}^{-\alpha}$  und dem Bewertungsparameter  $\alpha$  gemäss folgender Formel:

$$P_{st,r} = \frac{\left(\frac{1}{W_{st,r}}\right)^\alpha}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{W_{st,k}}\right)^\alpha}$$

Einen grossen Einfluss auf die Wirkungsweise der Aufteilungsregel übt der Exponent  $\alpha$  aus. Kleine Werte von  $\alpha$  nehmen nur wenig Einfluss auf die Verkehrsverteilung und selbst grosse Widerstandsunterschiede würden von den Verkehrsteilnehmern in Kauf genommen. Beispielsweise würden bei einer doppelten Weglänge und einem Wert  $\alpha = 1$  noch rund 33% der Verkehrsteilnehmer den längeren Weg wählen, was offensichtlich nicht der Realität entspricht.

Empirische Untersuchungen führten zu folgenden Empfehlungen, wobei die Angaben auf Widerstandsgrössen in Form von Reisezeiten beruhen:

- Innerstädtische Strassennetze:  $\alpha = 6$  bis  $8$
- Hauptverkehrsstrassennetze:  $\alpha = 12$  bis  $16$

In der vorliegenden Arbeit wurde dem Bewertungsparameter  $\alpha$  ein Wert von 12 zugewiesen, welcher als typisch für Hauptverkehrsstrassen an der Schnittstelle zu Agglomerationen bezeichnet werden kann. Die Widerstandsfunktion wurde als Wartezeit auf der Rampe ( $w_{\text{Rampe}}$ ) bzw. als Reisezeitverlust über die Alternativroute ( $t_{\text{AR}}$ ) implementiert. Zur Berechnung der Verkehrsanteile über die HLS bzw. über die Alternativroute wurde die klassische Aufteilungsregel wie folgt modifiziert:

$$P_{\text{HLS}} = \frac{\left(\frac{1}{t_{\text{HLS}} + w_{\text{Rampe}}}\right)^\alpha}{\left(\frac{1}{t_{\text{HLS}} + w_{\text{Rampe}}}\right)^\alpha + \left(\frac{1}{t_{\text{HLS}} + t_{\text{AR}}}\right)^\alpha} [\%]$$

$P_{\text{HLS}}$	Verkehrsanteil über HLS [%]
$P_{\text{AR}}$	Verkehrsanteil über Alternativroute [%]
$\alpha$	Bewertungsparameter = 12
$t_{\text{HLS}}$	Reisezeit über HLS [min]
$t_{\text{AR}}$	Zusätzliche Reisezeit über Alternativroute [min]
$w_{\text{Rampe}}$	Wartezeit auf der Rampe [min]

bzw.

$$P_{AR} = \frac{\left(\frac{1}{t_{HLS} + t_{AR}}\right)^\alpha}{\left(\frac{1}{t_{HLS} + w_{Rampe}}\right)^\alpha + \left(\frac{1}{t_{HLS} + t_{AR}}\right)^\alpha} = 1 - P_{HLS} [\%]$$

Mit dieser Formel lässt sich nun der Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit auf der Rampe generell wie folgt berechnen:

$$P_{Verlagerung} = 1 - \left(\frac{P_{HLS} = f(t_{HLS} + w_{Rampe})}{P_{HLS} = f(t_{HLS})}\right) [\%]$$

Dabei steht der Zähler im Klammerausdruck für den Verkehrsanteil über die HLS bei einer bestimmten Wartezeit auf der Rampe und der Nenner für den Verkehrsanteil über die HLS, wenn die Rampenbewirtschaftung nicht aktiviert bzw. nicht vorhanden ist und somit keine Wartezeit auf der Rampe entsteht ( $w_{Rampe} = 0$ ).

### 10.3 Analyseergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungen zum Umfang des Verlagerungsverkehrs für ausgewählte Fälle graphisch dargestellt. Der Anteil des Verlagerungsverkehrs wurde dabei in Abhängigkeit folgender Faktoren berechnet:

- Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung ( $w_{Rampe} = 0$  bis 30 min.)
- Zusätzliche Reisezeit über Alternativroute ( $t_{AR} = 3, 5, 10, 20$  min.)
- Reisezeit der Originalroute über HLS, ausgedrückt in fünf Distanzklassen von 5 km / 20 km / 50 km / 75 km / 100 km bei einer angenommenen mittleren Reisegeschwindigkeit von 60 km/h ( $t_{HLS} = 5, 20, 50, 75, 100$  min.)

Die hier aufgeführten Fälle bzgl. zusätzlicher Reisezeit über die Alternativroute sowie Distanzklasse beziehungsweise Reisezeit über die HLS als auch der Bewertungsparameter  $\alpha$  können bei der praktischen Anwendung jeweils den spezifischen Gegebenheiten angepasst werden.

Mit dem Berechnungsverfahren wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie sich der Verlagerungsverkehr generell abschätzen lässt. Die dargestellten Ergebnisse liefern demnach Angaben über die Grössenordnung des Verlagerungsverkehrs. Eine Kalibrierung des Modells, insbesondere des Bewertungsparameters  $\alpha$ , war im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch nicht möglich, da die hierzu erforderlichen Grundlagen nicht vorhanden sind bzw. erst erhoben werden müssten.

Weitere nicht berücksichtigte Faktoren betreffen die Zuverlässigkeit (bzw. Leistungsfähigkeit) des untergeordneten Netzes sowie die generelle Akzeptanz der Verkehrsbeeinflussungsmassnahme Rampenbewirtschaftung. Die Distanz zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss wird hingegen indirekt über die zusätzliche Reisezeit auf der Alternativroute berücksichtigt. Dabei kann eine kleine  $t_{AR}$  mit einer geringen Distanz zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss gleichgesetzt werden.

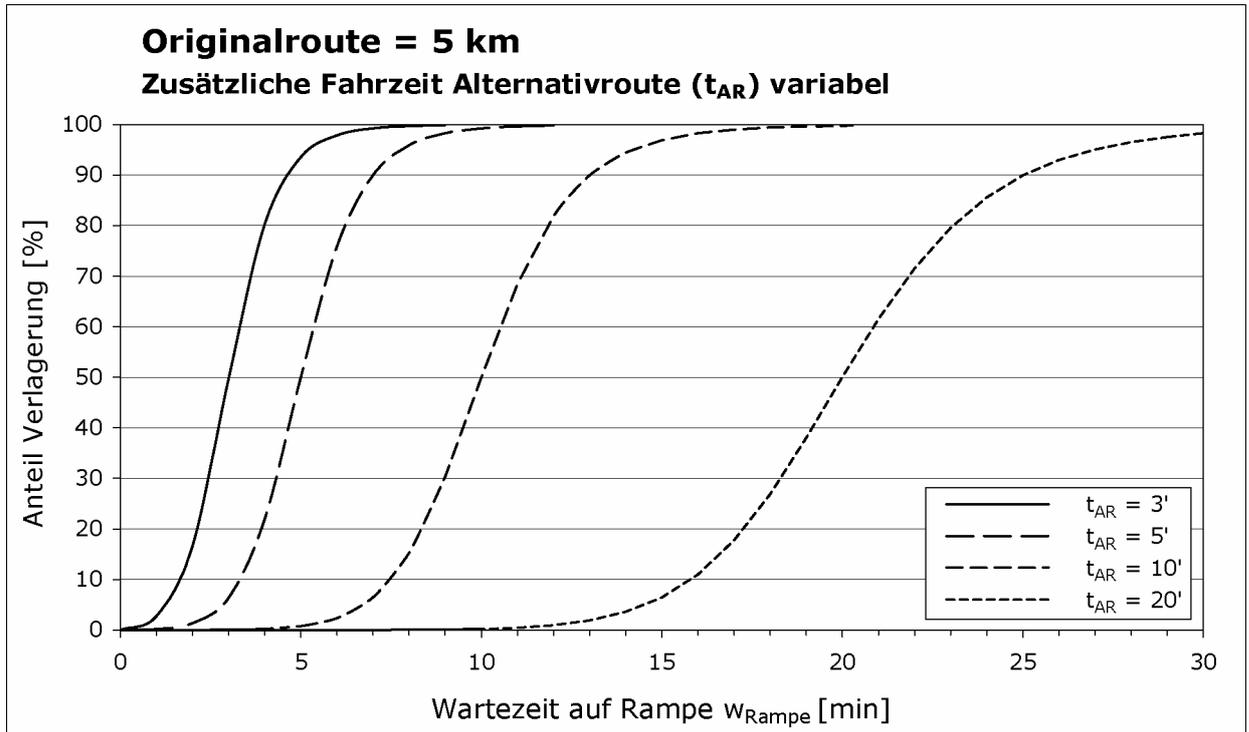


Abbildung 10: Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 5 km

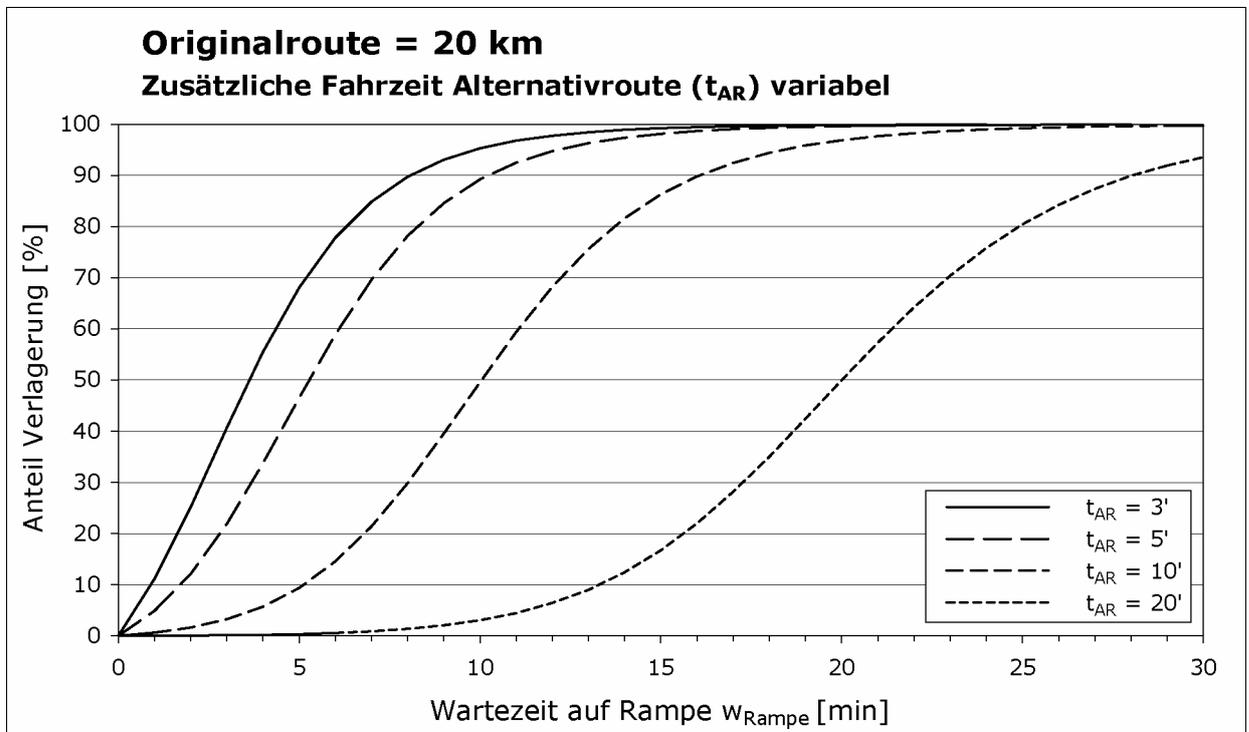


Abbildung 11: Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 20 km

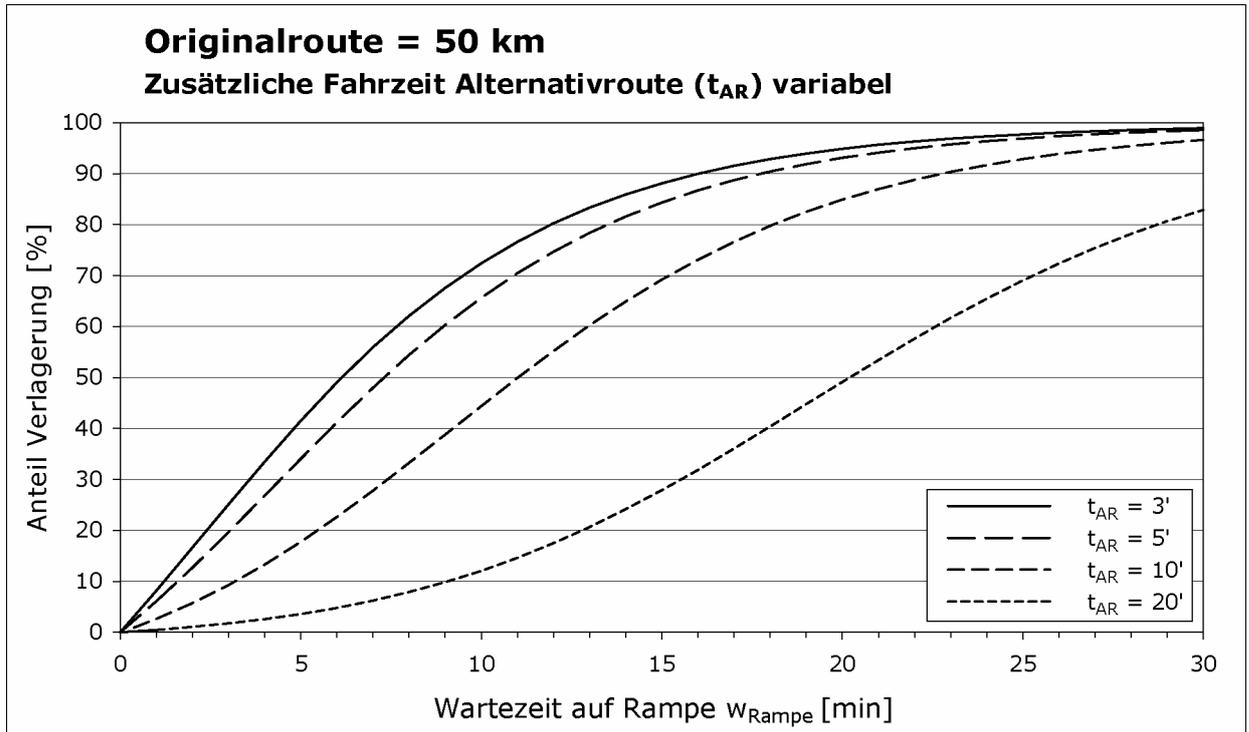


Abbildung 12: Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 50 km

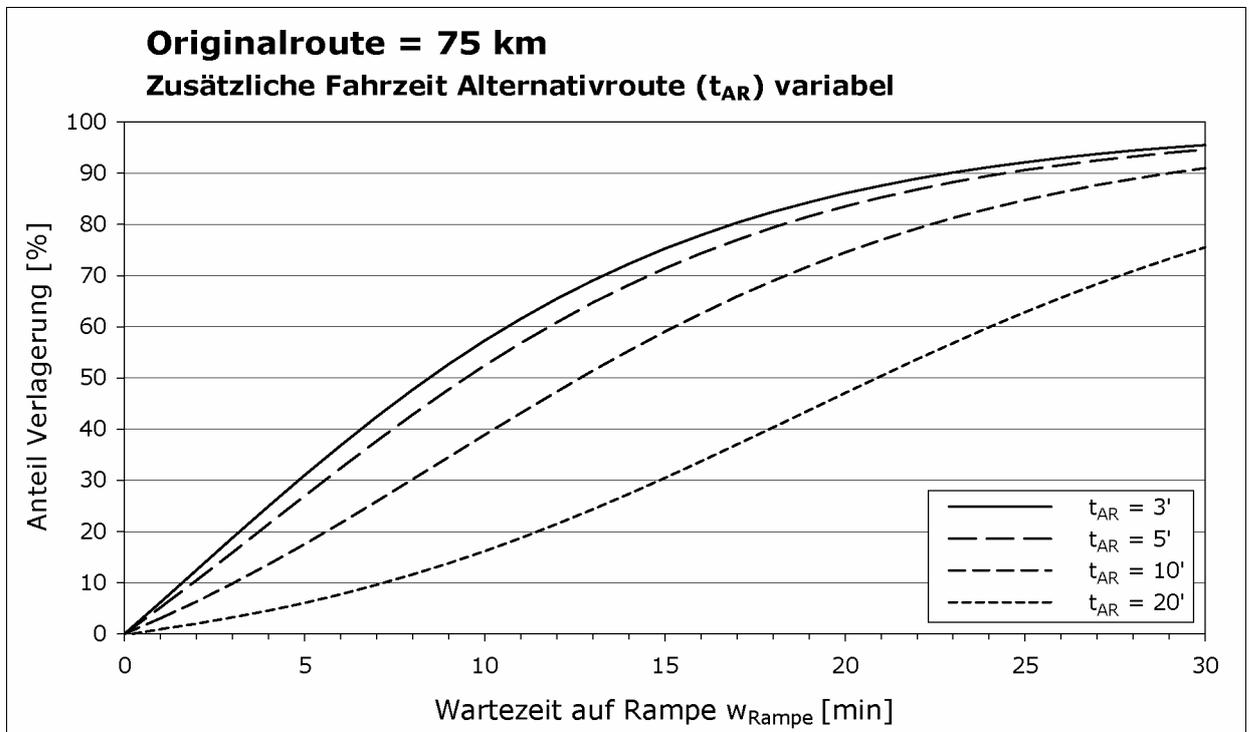
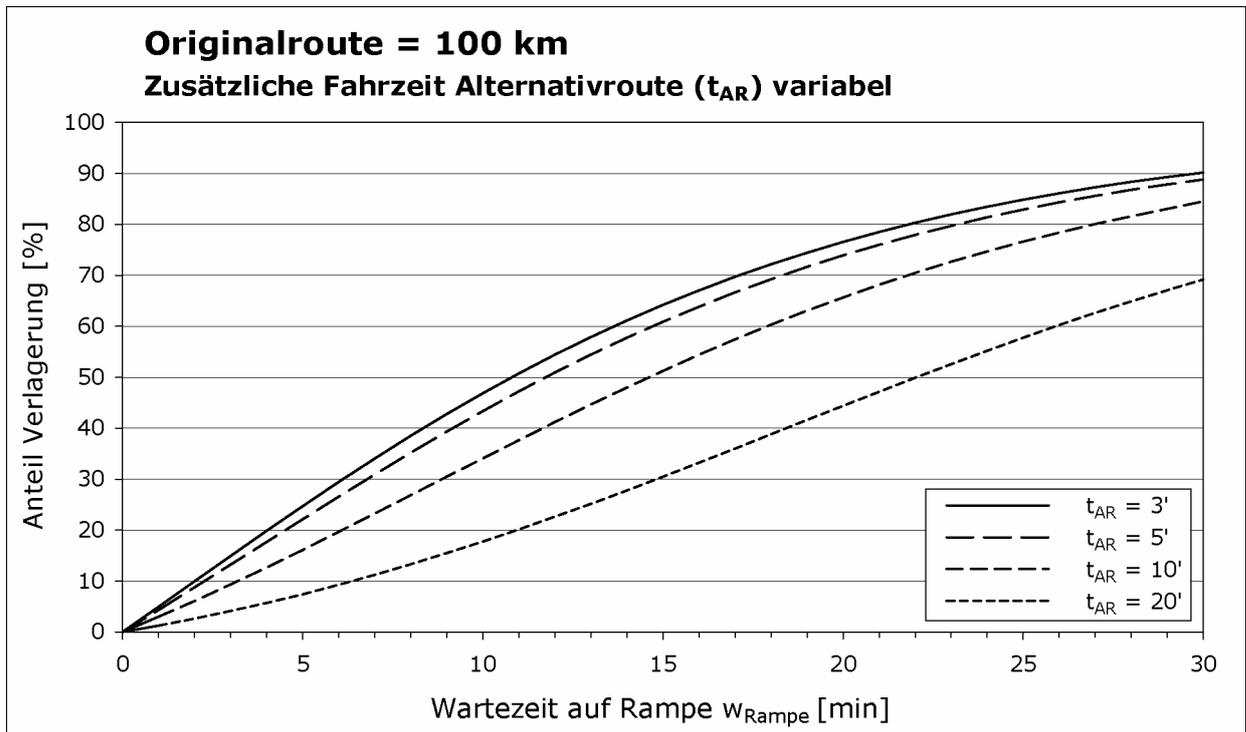


Abbildung 13: Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 75 km



**Abbildung 14: Anteil des Verlagerungsverkehrs in Abhängigkeit der Wartezeit durch Rampenbewirtschaftung für zeitlich variable Alternativrouten bei einer Originalroute von 100 km**

Aus den Abbildungen geht hervor, dass der Anteil des Verlagerungsverkehrs bei gleichbleibender Wartezeit auf der Rampe mit zunehmender Länge der Originalroute abnimmt. Weiter ist ersichtlich, dass sich der Anteil des Verlagerungsverkehrs bei zunehmender Wartezeit auf der Rampe bei kurzen Originalrouten stärker erhöht als bei langen Originalrouten.

Für den planerischen Einsatz des vorgestellten Berechnungsverfahrens ist die Kenntnis über die unterschiedlichen Fahrtenlängen der dominierenden Quell-Ziel-Beziehungen sowie über die Verkehrsverhältnisse (Reisezeiten) auf der oder den Alternativrouten ausschlaggebend, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen. Daher präsentiert sich der Aufwand in der praktischen Anwendung erheblich grösser als hier dargestellt. Dies dürfte in der Praxis dazu führen, zur Abschätzung des Verlagerungsverkehrs auf makroskopische Verkehrsumlegungsmodelle oder Mikrosimulationen mit dynamischer Routenwahl zurück zu greifen, mit welchen sich die gegenseitigen Abhängigkeiten und Auswirkungen detailliert betrachten lassen.

## 11 Fazit betreffend Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz

Im vorliegenden Abschnitt werden die Ergebnisse von Kapitel 8 „Kriterien des Verlagerungsverkehrs“ sowie von Kapitel 9 „Massnahme und Wirkung“ gestützt auf die Erkenntnisse zur Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs (vgl. Kapitel 10) in Form des morphologischen Kastens zusammenfassend dargestellt.

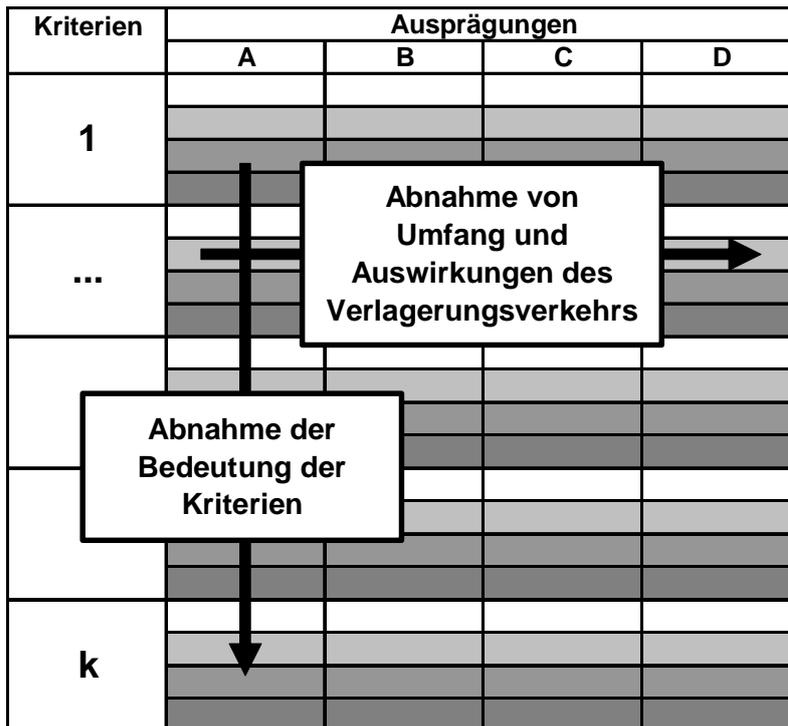


Abbildung 15: Prinzipielle Anordnung der Kriterien und Ausprägungen im morphologischen Kasten

Die obige Abbildung zeigt die prinzipielle Anordnung der Kriterien und Ausprägungen im morphologischen Kasten. Die Bedeutung der Kriterien nimmt in etwa von oben nach unten ab. Die Ausprägungen sind so angeordnet, dass der Umfang und die Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs von links nach rechts abnehmen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und logischen Zuordnung wurde eine Unterteilung des morphologischen Kastens in zwei Tabellen vorgenommen. Abbildung 16 enthält den ersten Teil des morphologischen Kastens zum Umfang des Verlagerungsverkehrs. Die Abbildung 17 zeigt den zweiten Teil zu den Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs.

Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

Beide Tabellen enthalten jeweils sechs Kriterien, wobei den einzelnen Kriterien jeweils zwei bis vier Ausprägungen zugeordnet wurden. Jede Zelle des morphologischen Kastens besteht aus vier Zeilen für die Inhalte „Ausprägung“, „Auswirkungen“, „Massnahmen“ und „Massnahmenwirkung“.

Kriterien	Ausprägungen				
	A	B	C	D	
Umfang des Verlagerungsverkehrs	1 Alternativroute im HVS-Netz	geringer Reisezeitverlust (< 5 Min.)	mittlerer Reisezeitverlust (5-10 Min.)	grosser Reisezeitverlust (> 10 Min.)	nicht vorhanden
		starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	VV nicht möglich
		Widerstand der Alternativroute erhöhen	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
		Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
	2 Verlustzeit durch die RB	lang (> 7 Min.)	mittel (2-7 Min.)	kurz (< 2 Min.)	
		starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	
		Stauraum ausreichend dimensionieren	Stauraum ausreichend dimensionieren	keine Massnahme erforderlich	
		ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	
	3 Auslastung des HVS-Netzes	Reserve HVS vorhanden	HVS ausgelastet	HVS überlastet	
		allfälliger VV erhöht die Auslastung des HVS-Netzes	allfälliger VV führt zur Überlastung des HVS-Netzes	allfälliger VV vergrössert die Überlastung des HVS-Netzes	
		Widerstand der Alternativroute erhöhen	über Auslastung der Alternativroute informieren	über Auslastung der Alternativroute informieren	
		Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	ausgelastetes HVS-Netz vermindert den VV	überlastetes HVS-Netz vermindert den VV	
	4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	ohne Rampenbewirtschaftung	mit Rampenbewirtschaftung	nicht vorhanden	
		starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	keine Erhöhung des VV	
		benachbarte Anschlüsse mit RB ausstatten	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
		koordinierte Anwendung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	5 Verzweigung/Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts	vor der Stauwurzel	hinter der Stauwurzel	nicht vorhanden	
		verzögerte und ineffektive Wirkung der RB, Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	
		Stauraum zur Aufnahme der zusätzlichen Fahrzeuge verlängern	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	
		verbesserte Wirkung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	6 Länge des Stauraums für die RB	lang	kurz		
		starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV		
		Drosselung reduzieren	keine Massnahme erforderlich		
		reduzierte Drosselung vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich		

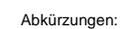
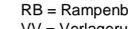
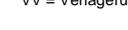
	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

Abbildung 16: Teil 1 des morphologischen Kastens zum Umfang des Verlagerungsverkehrs

Kriterien	Ausprägungen				
	A	B	C	D	
Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	Kreisel	Vortrittsregelung	Lichtsignalanlage	
		Überstauung der RB führt zur Blockade des Anschlussknotens LSA als Dosierstelle anordnen	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme Umgestaltung als LSA-Knoten	Überstauung des Knotens kann verhindert werden Stauraumdimensionierung auf RB abstimmen	
		Dosierstelle mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	
		gering	mittel	hoch	
	8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	vertragliche Aufnahme des VV im HVS-Netz nicht möglich	Aufnahme des VV im HVS-Netz bis Belastbarkeitsgrenze möglich	vertragliche Aufnahme des VV im HVS-Netz möglich	
		nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	allenfalls nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	keine Massnahme erforderlich	
		erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	keine Massnahme erforderlich	
		übergeordnet	untergeordnet		
	9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme		
		Knoten mit verkehrsbahngesteuerter LSA ausstatten	Freihaltung des Knotens gewährleisten bzw. unterstützen		
		Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden	Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden		
		Wohngebiet	Mischgebiet	Industriegebiet	ausserhalb
10 Lage des Stauraums	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	
	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	ohne eigene Fahrwege/Priorität	mit eigenen Fahrwegen/Priorität	nicht vorhanden/ohne Belang		
11 Führung des ÖV im HVS-Netz	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV		
	ÖV möglichst beschleunigen (eigene Fahrwege/Priorität)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	Wirkung der ÖV-Beschleunigung	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	vom MIV betroffen	unabhängig vom MIV	nicht vorhanden/ohne Belang		
12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen Langsamverk.	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr		
	möglichst Trennung der Verkehrswege anstreben	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	Trennung der Verkehrswege vermeidet Behinderungen	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

**Abbildung 17: Teil 2 des morphologischen Kastens zu den Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs**

Neben der Unterscheidung in die beiden Bereiche zum Umfang des Verlagerungsverkehrs bzw. zu den Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs ist der morphologische Kasten – wie bereits eingangs erwähnt – so aufgebaut, dass die Ausprägungen von links nach rechts in der Reihenfolge abnehmender Problematik angeordnet sind. Die erste Spalte enthält demnach diejenigen Ausprägungen, welche eine erhöhende Wirkung auf die Bildung von Verlagerungsverkehr ausüben und damit die Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs bzw. der Stauraumbelegung auf das untergeordnete HVS-Netz vergrössern. Die jeweils letzte Spalte enthält die Ausprägungen, welche keine oder kaum eine Wirkung auf die Bildung von Verlagerungsverkehr ausüben und daher mit keinen negativen Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs bzw. der Stauraumbelegung auf das untergeordnete HVS-Netz zu rechnen ist. Diese Zuordnung der Ausprägungen ist in den beiden nächsten Abbildungen veranschaulicht.

Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

Kriterien	Ausprägungen				
	A	B	C	D	
Umfang des Verlagerungsverkehrs	1 Alternativroute im HVS-Netz	geringer Reisezeitverlust (< 5 Min.)	mittlerer Reisezeitverlust (5-10 Min.)	grosser Reisezeitverlust (> 10 Min.)	nicht vorhanden
		starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	VV nicht möglich
		Widerstand der Alternativroute erhöhen	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
	2 Verlustzeit durch die RB	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Erhöhung der Reisezeit auf der Alternativroute vermindert den VV	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
		lang (> 7 Min.)	mittel (2-7 Min.)	kurz (< 2 Min.)	
		starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	
	3 Auslastung des HVS-Netzes	Stauraum ausreichend dimensionieren	Stauraum ausreichend dimensionieren	keine Massnahme erforderlich	
		ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	ausreichende Stauraumlänge vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	
		Reserve HVS vorhanden	HVS ausgelastet	HVS überlastet	
	4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	allfälliger VV erhöht die Auslastung des HVS-Netzes	allfälliger VV führt zur Überlastung des HVS-Netzes	allfälliger VV vergrössert die Überlastung des HVS-Netzes	
		Widerstand der Alternativroute erhöhen	über Auslastung der Alternativroute informieren	über Auslastung der Alternativroute informieren	
		<b>viel Verlagerungsverkehr</b>	ausgelastetes HVS-Netz vermindert den VV	<b>wenig Verlagerungsverkehr</b>	
5 Verzweigung/Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts	benachbarte Anschlüsse mit RB ausstatten	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	koordinierte Anwendung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	vor der Stauwurzel	hinter der Stauwurzel	nicht vorhanden		
6 Länge des Stauraums für die RB	verzögerte und ineffektive Wirkung der RB, Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV		
	Stauraum zur Aufnahme der zusätzlichen Fahrzeuge verlängern	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung		
	verbesserte Wirkung der RB vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	lang	kurz			
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV			
	Drosselung reduzieren	keine Massnahme erforderlich			
	reduzierte Drosselung vermindert den VV	keine Massnahme erforderlich			

	Ausprägung des Kriteriums			Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs			RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs			VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen			

Abbildung 18: Umfang des Verlagerungsverkehrs in Teil 1 des morphologischen Kastens

Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

Kriterien	Ausprägungen				
	A	B	C	D	
Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs	7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	Kreisel	Vortrittsregelung	Lichtsignalanlage	
		Überstauung der RB führt zur Blockade des Anschlussknotens	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung des Knotens kann verhindert werden	
		LSA als Dosierstelle anordnen	Umgestaltung als LSA-Knoten	Stauraumdimensionierung auf RB abstimmen	
		Dosierstelle mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	
	8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	gering	mittel	hoch	
		vertragliche Aufnahme des VV im HVS-Netz nicht möglich	Aufnahme des VV im HVS-Netz bis Belastbarkeitsgrenze möglich	vertragliche Aufnahme des VV im HVS-Netz möglich	
		nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	allenfalls nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	keine Massnahme erforderlich	
		erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	keine Massnahme erforderlich	
	9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	übergeordnet	untergeordnet		
		Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme		
			Erhaltung des Knotens gewährleisten bzw. unterstützen		
			Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden		
10 Lage des Stauraums		Mischgebiet		Stauraumbelegung	
		Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus		Stauraumnutzung Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	
		Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich		keine Massnahme erforderlich	
		Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
11 Führung des ÖV im HVS-Netz	ohne eigene Fahrwege/Priorität	mit eigenen Fahrwegen/Priorität	nicht vorhanden/ohne Belang		
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV		
	ÖV möglichst beschleunigen (eigene Fahrwege/Priorität)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	Wirkung der ÖV-Beschleunigung	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	vom MIV betroffen	unabhängig vom MIV	nicht vorhanden/ohne Belang		
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen Langsamverk.	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr		
	möglichst Trennung der Verkehrswege anstreben	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		
	Trennung der Verkehrswege vermeidet Behinderungen	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich		

Auswirkungen  
Verlagerungsverkehr/  
Stauraumbelegung  
sehr problematisch

Auswirkungen  
Verlagerungsverkehr/  
Stauraumbelegung  
verträglich

Ausprägung des Kriteriums  
 Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs  
 Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen  
 Wirkung der Massnahmen

Abkürzungen:  
 RB = Rampenbewirtschaftung  
 VV = Verlagerungsverkehr

Abbildung 19: Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs in Teil 2 des morphologischen Kastens

## Teil D: Anwendungsbeispiel

Im vorliegenden Abschnitt werden die in Teil C erarbeiteten Erkenntnisse über die Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz beim Einsatz einer Rampenbewirtschaftung anhand eines theoretischen Anwendungsbeispiels veranschaulicht.

Der Aufbau des Anwendungsbeispiels lehnt sich an das konzeptionelle Beispiel einer Rampenbewirtschaftung an, welches im Rahmen der VSS Forschungsarbeit FA 22/99 „Rampenbewirtschaftung“<sup>3</sup> erarbeitet wurde. In Erweiterung der damaligen Betrachtungsweise, die sich vorwiegend auf den Verkehrsablauf auf der HLS konzentrierte, wird im vorliegenden Anwendungsbeispiel der Schwerpunkt auf den Verkehrsablauf in der Rampe sowie auf die Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz gelegt. Das prinzipielle Vorgehen orientiert sich dabei am Ablaufschema, welches in Kapitel 7.2 dargestellt ist.

Die zu beantwortende Fragestellung lautet demnach, ob der vorhandene Stauraum den Anforderungen der Rampenbewirtschaftung gerecht wird, wie viel Verlagerungsverkehr durch die Rampenbewirtschaftung entsteht und mit welchen Massnahmen den Auswirkungen auf das HVS-Netz begegnet werden kann.

## 12 Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

### 12.1 Ausgangslage

Auf dem betrachteten zweistreifigen HLS Abschnitt kommt es während der Abendspitzen im Bereich einer Einfahrt regelmässig zu Überlastungen und Stauerscheinungen. Die Tabelle 2 zeigt dazu zwischen 17.00 und 18.00 in 5-minütigen Intervallen den Zufluss der HLS und der Einfahrt. Der Abfluss aus dem Engpass liegt im staufreien Zustand bei 4'080 Fz/h bzw. 340 Fz/5', bei Stau etwa bei 3'840 Fz/h bzw. 320 Fz/5'.

Die Voruntersuchungen zum Verkehrsablauf und Unfallgeschehen im vorliegenden Autobahnabschnitt haben ergeben, dass sich mit der Einrichtung einer Rampenbewirtschaftung der Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit verbessern lassen. Die geometrischen Verhältnisse in der Einfahrtsrampe erlauben als Zuflussdosierung die Einzelfahrzeugsteuerung. In der Einfahrtsrampe lässt sich ein Stauraum für maximal 80 Fahrzeuge einrichten. Der zur Rampe vorgelagerte Knoten weist als Regime eine Vortrittsregelung auf. Anhand der zu erwartenden mittleren Wartezeit auf der Rampe werden der Anteil des Verlagerungsverkehrs mit den in Kapitel 10 erarbeiteten Quantifizierungswerkzeugen abgeschätzt und die Auswirkungen auf das HVS-Netz analysiert.

---

<sup>3</sup> Pitzinger P.: „Rampenbewirtschaftung“, Verkehrsingenieurbüro Peter Pitzinger, Zürich, UVEK Forschungsauftrag Nr. 22/99 auf Antrag des VSS, Dezember 2000, Heft 481

## 12.2 Verkehrsablauf in der Rampe

Die Analyse des Verkehrsablaufs in der Rampe (und auf der HLS) basiert im vorliegenden Fall auf einem deterministischen Ansatz. Bei einer deterministischen Betrachtungsweise treten Rückstaus erst auf, wenn in einem Intervall  $T$  der Zufluss  $q(t)$  grösser ist als der Abfluss  $s(t)$ , welcher der Leistungsfähigkeit der Verkehrsanlage entspricht. Die Streuung der Fahrzeugankünfte innerhalb eines Intervalls (stochastischer Anteil) wird im vorliegenden Beispiel vernachlässigt.

Der Rückstau in der Rampe im Intervall  $T_i$  wird aus der Differenz zwischen Zufluss und Abfluss sowie der Addition des Reststaus aus dem vorherigen Intervall  $T_{i-1}$  ermittelt. Der mittlere individuelle Zeitverlust (Wartezeit) in der Rampe in einem Intervall  $T$  kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$\bar{w} = \frac{1}{2} \cdot T \cdot \frac{(q - s)}{q}$$

- $\bar{w}$       mittlerer individueller Zeitverlust  
 $T$       Zeitintervall mit  $q > s$   
 $q$       Zufluss Rampe im Intervall  $T_i$  + Reststau aus Intervall  $T_{i-1}$   
 $s$       Abfluss Rampe im Intervall  $T_i$

Um 17.10 Uhr wird auf der HLS Stau erkannt und der Zufluss in der Einfahrt wird auf durchschnittlich 25 Fz/5' (bzw. 300 Fz/h) gedrosselt. Kurzfristig entsteht auf der HLS ein Stau von 45 Fz. In der Einfahrt bildet sich zwischen 17.10 und 17.40 ein Rückstau von maximal 90 Fahrzeugen, die maximale mittlere Wartezeit in der Einfahrt beträgt bis zu 2 Minuten. Im Mittel liegt der Zeitverlust in der Einfahrt während der Dauer der Bewirtschaftung bei 1.15 Minuten (gewichtetes Mittel aus mittlerer Wartezeit und Anzahl betroffener Fahrzeuge während der Dauer der Bewirtschaftung).

Zeit	Zufluss HLS [Fz/5']	Zufluss Rampe ohne Bewirtschaftung [Fz/5']	Abfluss Rampe mit Bewirtschaftung [Fz/5']	Zuflusssumme mit Rampenbewirtschaftung [Fz]	Abfluss HLS [Fz/5']	Abflusssumme HLS [Fz]	Stau HLS [Fz]	Stau Rampe mit Bewirtschaftung [Fz]	Mittlere Wartezeit in Rampe [min/5']	Anzahl betroffener Fahrzeuge
17:00	0			0		0				
17:05	220	65	65	285	285	285	0	0	0.0	65
17:10	270	70	70	625	340	625	0	0	0.0	70
17:15	340	75	25	990	320	945	45	50	1.7	75
17:20	270	65	25	1285	340	1285	0	90	2.0	115
17:25	265	60	75	1625	340	1625	0	75	1.3	150
17:30	265	55	75	1965	340	1965	0	55	1.1	130
17:35	250	50	75	2290	325	2290	0	30	0.7	105
17:40	235	45	75	2600	310	2600	0	0	0.0	75
17:45	220	45	45	2865	265	2865	0	0	0.0	45
17:50	210	40	40	3115	250	3115	0	0	0.0	40
17:55	200	40	40	3355	240	3355	0	0	0.0	40
18:00	190	35	35	3580	225	3580	0	0	0.0	35
Summe	2935	645	645		3580		45	300		
Mittel									<b>1.15</b>	

**Tabelle 2: Verkehrsablauf auf der HLS und in der Rampe bei Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung**

Im vorliegenden Beispiel lässt sich in der Rampe ein Stauraum für maximal 80 Fahrzeuge einrichten. Aus Tabelle 2 geht hervor, dass der Stauraum unter den gegebenen Belastungsverhältnissen und Drosselungsstufen kurzfristig um 10 Fahrzeuge überschritten würde. Da die Rückstaulänge in der Einfahrtsrampe mittels Detektoren laufend überwacht werden soll, müsste bei einer sich abzeichnenden Überstauung des Stauraums die Abflussmenge kurzfristig erhöht werden. Dadurch würde sich im betreffenden Intervall die mittlere Wartezeit geringfügig reduzieren. Für die weiteren Betrachtungen ist dieser Umstand vorerst vernachlässigbar.

### 12.3 Ermittlung der Verlagerung auf das HVS-Netz

Mit der in Kapitel 12.2 ermittelten mittleren Wartezeit in der Rampe (Widerstand) lässt sich der Anteil des Verlagerungsverkehrs von der Originalroute „HLS mit Rampenbewirtschaftung“ auf die Alternativroute „HVS“ ermitteln. Im vorliegenden Beispiel wird vereinfachend davon ausgegangen, dass auf dem HVS-Netz nur eine echte Alternative zur Fahrt über die HLS besteht. Die Distanz auf der Originalroute beträgt bis zum nächsten unbewirtschafteten Anschluss rund 5 km. Bei einer angenommenen mittleren Reisegeschwindigkeit von 60 km/h entspricht dies einer Reisezeit auf der Originalroute von rund 6 Minuten ( $t_{\text{HLS}} = 5 \text{ min}$ ,  $w_{\text{Rampe}} = 1.15 \text{ min}$ ). Die Reisezeit über die Alternativroute beträgt rund 7 Minuten, und ist damit um 1 Minute länger ( $t_{\text{AR}} = 2 \text{ min}$ ).

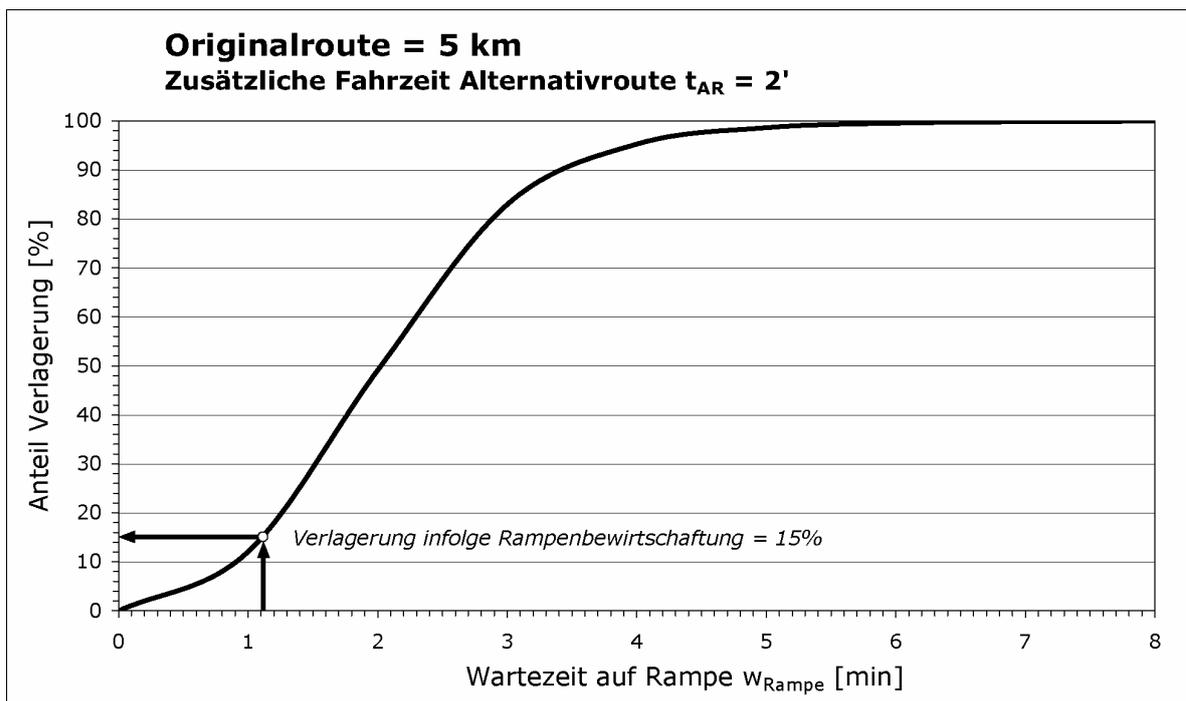


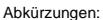
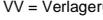
Abbildung 20: Diagramm zur Abschätzung des Verlagerungsverkehrs infolge Rampenbewirtschaftung

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass der Anteil des Verlagerungsverkehrs bei einer mittleren Wartezeit in der Rampe von 1.15 Minuten bei rund 15% liegt. Unter den getroffenen Annahmen bedeutet dies, dass während der Dauer der Bewirtschaftung zwischen 17.10 und 17.40 von den ursprünglich 350 einfahrenden Fahrzeugen rund 53 Fahrzeuge auf die Alternativroute ausweichen würden.

**12.4 Analyse der Auswirkungen auf HVS und Festlegung von Massnahmen**

Mit Hilfe des in Kapitel 11 dargestellten „Morphologischen Kastens“ lassen sich die Auswirkungen des Verlagerungsverkehrs analysieren. Damit können die Ausprägungen der in Kapitel 8 festgehaltenen Kriterien zum Verlagerungsverkehr abgeschätzt und Massnahmen zu dessen Reduktion vorgeschlagen werden.

Kriterien	Ausprägungen			
	A	B	C	D
1 Alternativroute im HVS-Netz	geringer Reisezeitverlust (< 5 Min.)	mittlerer Reisezeitverlust (5-10 Min.)	grosser Reisezeitverlust (> 10 Min.)	nicht vorhanden
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	VV nicht möglich
	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Widerstand der Alternativroute erhöhen	Massnahmen im Einzelfall prüfen	keine Massnahme erforderlich
2 Verlustzeit durch die RB	lang (> 7 Min.)	mittel (2-7 Min.)	kurz (< 2 Min.)	
	starke Erhöhung des VV	Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	
	Stauraum ausreichend dimensionieren	Stauraum ausreichend dimensionieren	keine Massnahme erforderlich	
3 Auslastung des HVS-Netzes	Reserve HVS vorhanden	HVS ausgelastet	HVS überlastet	
	allfälliger VV erhöht die Auslastung des HVS-Netzes	allfälliger VV führt zur Überlastung des HVS-Netzes	allfälliger VV vergrössert die Überlastung des HVS-Netzes	
	Widerstand der Alternativroute erhöhen	über Auslastung der Alternativroute informieren	über Auslastung der Alternativroute informieren	
4 Benachbarte Anschlüsse an das HLS-Netz	ohne Rampenbewirtschaftung	mit Rampenbewirtschaftung	nicht vorhanden	
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV	keine Erhöhung des VV	
	benachbarte Anschlüsse mit RB ausstatten	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
5 Verzweigung/ Ausfahrt im HLS-Netz stromabwärts	vor der Stauwurzel	hinter der Stauwurzel	nicht vorhanden	
	verzögerte und uneffektive Wirkung der RB, Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	normale Wirkung der RB, keine Erhöhung des VV	
	Stauraum zur Aufnahme der zusätzlichen Fahrzeuge verlängern	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	keine Massnahme erforderlich, normale Stauraumdimensionierung	
6 Länge des Stauraums für die RB	lang	kurz		
	starke Erhöhung des VV	keine/geringe Erhöhung des VV		
	Drosselung reduzieren	keine Massnahme erforderlich		

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen hinsichtlich Umfang des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung des Verlagerungsverkehrs		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

**Abbildung 21: Morphologischer Kasten - 1. Teil**

Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung

Kriterien	Ausprägungen			
	A	B	C	D
7 Verkehrsregelung des vorgelagerten Anschlussknotens	Kreisel	Vortrittsregelung	Lichtsignalanlage	
	Überstauung der RB führt zur Blockade des Anschlussknotens	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung des Knotens kann verhindert werden	
	LSA als Dosierstelle anordnen	Umgestaltung als LSA-Knoten	Stauraumdimensionierung auf RB abstimmen	
	Dosierstelle mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	Anschlussknoten mit LSA kann zur Wirkung der RB beitragen	
8 Belastbarkeitsreserve im HVS-Netz	gering	mittel	hoch	
	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz nicht möglich	Aufnahme des VV im HVS-Netz bis Belastbarkeitsgrenze möglich	verträgliche Aufnahme des VV im HVS-Netz möglich	
	nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	allenfalls nach Möglichkeit Belastbarkeit des HVS-Netzes erhöhen	keine Massnahme erforderlich	
	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	erhöhte HVS-Belastbarkeit reduziert Auswirkungen des VV	keine Massnahme erforderlich	
9 Rang des Verkehrsstroms zur Rampe am Anschlussknoten	übergeordnet	untergeordnet		
	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme	Überstauung der RB führt zu Behinderungen der Verkehrsströme		
	Knoten mit verkehrsbahngesteuerter LSA ausstatten	Freihaltung des Knotens gewährleisten bzw. unterstützen		
	Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden	Behinderungen der Verkehrsströme können vermieden werden		
10 Lage des Stauraums	Wohngebiet	Mischgebiet	Industriegebiet	ausserhalb
	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung wirkt sich negativ (Lärm, Schadstoffe) aus	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)	Stauraumnutzung i. Allg. akzeptabel (Lärm, Schadstoffe)
	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	Kompensationsmassnahmen zum Schutz der Anwohner erforderlich	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich
	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	Wirkung der passiven Schutzmassnahmen (z. B. Schallschutz)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich
11 Führung des ÖV im HVS-Netz	ohne eigene Fahrwege/Priorität	mit eigenen Fahrwegen/Priorität	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	RB hat keinen Einfluss auf den ÖV	
	ÖV möglichst beschleunigen (eigene Fahrwege/Priorität)	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	Wirkung der ÖV-Beschleunigung	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
12 Führung des Langsamverkehrs im HVS-Netz	vom MIV betroffen	unabhängig vom MIV	nicht vorhanden/ohne Belang	
	Stauraumüberlastung der RB oder VV beeinträchtigen Langsamverk.	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	RB hat keinen Einfluss auf den Langsamverkehr	
	möglichst Trennung der Verkehrswege anstreben	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	
	Trennung der Verkehrswege vermeidet Behinderungen	keine Massnahme erforderlich	keine Massnahme erforderlich	

	Ausprägung des Kriteriums		Abkürzungen:
	Auswirkungen der Stauraumbelegung und des Verlagerungsverkehrs		RB = Rampenbewirtschaftung
	Massnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkungen		VV = Verlagerungsverkehr
	Wirkung der Massnahmen		

Abbildung 22: Morphologischer Kasten - 2. Teil

Da im untergeordneten HVS-Netz noch Kapazitätsreserven vorhanden sind (Kriterium 3), erhöht der prognostizierte Verlagerungsverkehr von 15% bzw. 53 Fz/h dessen Auslastung. Zur Minimierung des Verlagerungsverkehrs muss der Widerstand bzw. die Reisezeit auf der Alternativroute erhöht werden (Kriterium 1). Dazu ist der zur Rampe vorgelagerte Knoten mit einer verkehrsbahngesteuerten Lichtsignalanlage auszustatten (Kriterium 7). Damit kann einerseits eine Blockierung des Knotens durch eine (allfällige) Überstauung der Rampe vermieden werden, andererseits kann aber auch die Wartezeit derjenigen Ströme in Richtung Alternativroute erhöht (Dosierung) und damit die Attraktivität der Alternativroute verringert werden.

12.5 Wirkungsanalyse der Massnahmen

Aufgrund der gewählten Massnahmen lässt sich die zusätzliche Reisezeit auf der Alternativroute von 2 auf 3 Minuten erhöhen. Die daraus resultierende Reduktion des Verlagerungsverkehrs lässt sich mit Hilfe des nachfolgenden Diagramms abschätzen. Daraus ist ersichtlich, dass auf Grund der verringerten Attraktivität der Alternativroute der Verlagerungsanteil von ursprünglich 15% auf 4% reduziert werden konnte.

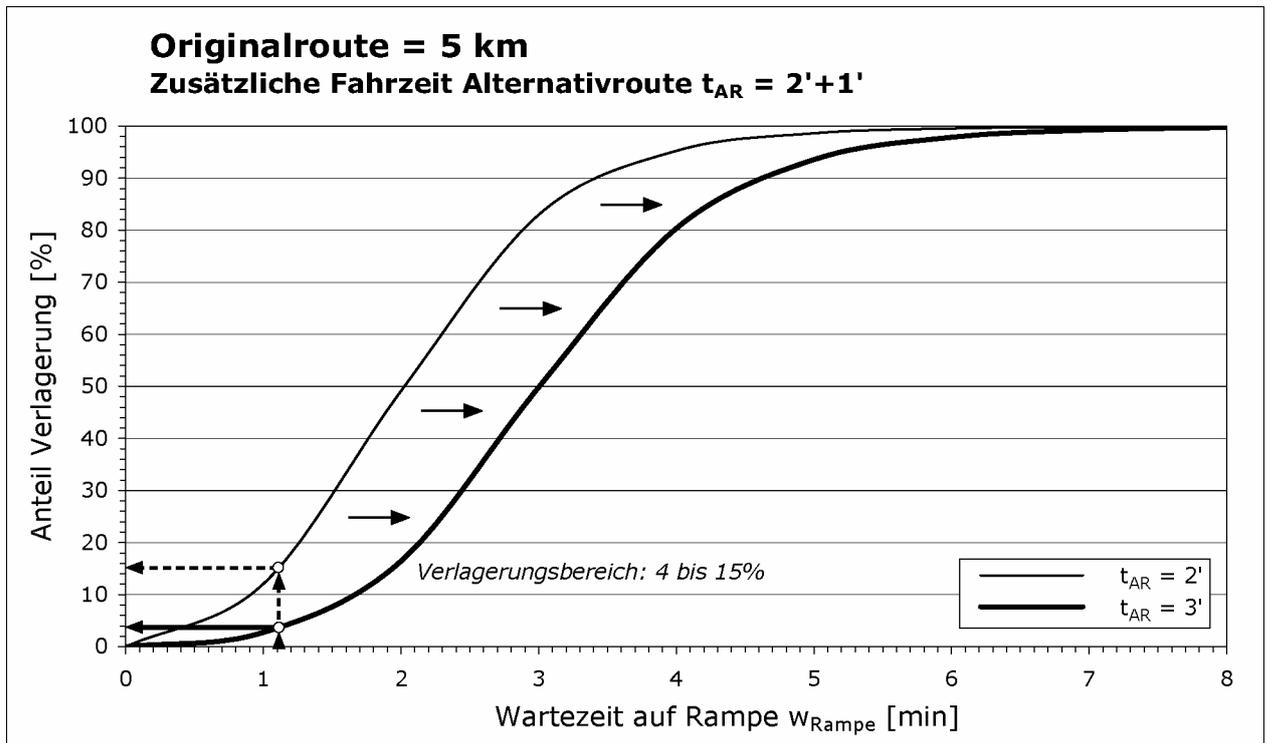


Abbildung 23: Quantifizierung der Massnahmenwirkung

## 12.6 Iteration

Auf Grund der ermittelten Verlagerung von 4% wird mit den reduzierten Belastungen in der Einfahrt die Analyse des Verkehrsablaufs in der Einfahrt wiederholt. Dabei wird angenommen, dass eine Abnahme der Einfahrtsbelastung um 4% nur während der voraussichtlichen Dauer der Bewirtschaftung zwischen 17.10 und 17.40 eintritt.

Die Tabelle 3 zeigt dazu zwischen 17.00 und 18.00 in 5-minütigen Intervallen wiederum den Zufluss der HLS sowie den reduzierten Zufluss der Einfahrt. Der ursprüngliche Rückstau von maximal 90 Fahrzeugen in der Einfahrt reduziert sich auf Grund der Verlagerung auf 84 Fahrzeuge. Gleichzeitig reduziert sich der mittlere Zeitverlust in der Einfahrt während der Dauer der Bewirtschaftung auf 1.09 Minuten. Da sich dieser Wert nur unwesentlich von der ursprünglichen mittleren Wartezeit von 1.15 Minuten unterscheidet, kann angenommen werden, dass sich im vorliegenden Beispiel ein Gleichgewicht eingestellt hat und die prognostizierte Verlagerung von rund 4% als wahrscheinlich zu betrachten ist. Ein weiterer Iterationsschritt ist daher nicht notwendig.

Zeit	Zufluss HLS [Fz/5']	Zufluss Rampe ohne Bewirtschaftung [Fz/5']	Abfluss Rampe mit Bewirtschaftung [Fz/5']	Zuflusssumme mit Rampenbewirtschaftung [Fz]	Abfluss HLS [Fz/5']	Abflusssumme HLS [Fz]	Stau HLS [Fz]	Stau Rampe mit Bewirtschaftung [Fz]	Mittlere Wartezeit in Rampe [min/5']	Anzahl betroffener Fahrzeuge
17:00	0			0		0				
17:05	220	65	65	285	285	285	0	0	0.0	65
17:10	270	70	70	625	340	625	0	0	0.0	70
17:15	340	72	25	990	320	945	45	47	1.6	72
17:20	270	62	25	1285	340	1285	0	<b>84</b>	1.9	109
17:25	265	58	75	1625	340	1625	0	67	1.2	142
17:30	265	53	75	1965	340	1965	0	45	0.9	120
17:35	250	48	75	2290	325	2290	0	18	0.5	93
17:40	235	45	63	2588	298	2588	0	0	0.0	63
17:45	220	45	45	2853	265	2853	0	0	0.0	45
17:50	210	40	40	3103	250	3103	0	0	0.0	40
17:55	200	40	40	3343	240	3343	0	0	0.0	40
18:00	190	35	35	3568	225	3568	0	0	0.0	35
Summe	2935	633	633		3568		45	261		
Mittel									<b>1.09</b>	

**Tabelle 3: Verkehrsablauf auf der HLS und in der Rampe bei Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung bei einem Verlagerungsanteil von 4%**

Aus der Tabelle geht zudem hervor, dass theoretisch der vorhandene Stauraum von 80 Fahrzeugen kurzfristig um 4 Fahrzeuge überschritten wird. Eine Überstauung lässt sich aber durch eine Erhöhung des Abflusses auf 30 Fz/5' im entsprechenden Intervall zu Lasten der HLS vermeiden. Unter diesen Voraussetzungen kann der vorhandene Stauraum in der Einfahrtsrampe als ausreichend erachtet werden und die Funktionalität der Rampenbewirtschaftung ist gewährleistet.

In Fällen, wo der Stauraum in der Rampe nicht ausreicht, könnte z.B. eine Umnutzung des Standstreifens im Bereich des Beschleunigungsstreifens oder eine Vordosierung am vorgelagerten Anschlussknoten in Erwägung gezogen werden.

## Teil E: Fazit

Das aufgezeigte Verfahren zur Bestimmung des Verlagerungsverkehrs und den damit verbundenen Auswirkungen einer Rampenbewirtschaftung stellt ein pragmatisches und zweckmässiges Instrument zur Bedarfsabklärung und Wahl der Massnahmen sowie zur Bestimmung der Auswirkungen dar.

Das angewendete Berechnungsverfahren zur groben Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs kommt ohne den Einsatz eines Verkehrssimulationsmodells aus. Allerdings bedarf es der Kenntnis über die vorhandenen Fahrtenlängen auf der Originalroute sowie über die Verkehrsverhältnisse auf der oder den Alternativrouten. In der Regel befinden sich die für eine Rampenbewirtschaftung in Frage kommenden Autobahnanschlüsse in der Schweiz im Agglomerationsbereich mittlerer und grösserer Städte, für welche mit grosser Wahrscheinlichkeit Verkehrsumlegungsmodelle existieren. Deshalb dürfte der Aufwand zur Beschaffung der benötigten Angaben verhältnismässig gering sein.

Der morphologische Kasten zur Analyse des Umfangs von Verlagerungsverkehr sowie der Auswirkungen von Verlagerungsverkehr und Stauraumbelegung ist ein erweiterbares Werkzeug, das den Bedürfnissen entsprechend angepasst werden kann. Die im Einzelfall notwendigen Massnahmen liessen sich in der vorliegenden Arbeit bestenfalls in Kriteriengruppen und unterschieden nach Ausprägungen normativ beschreiben. In der praktischen Anwendung ist die fallweise Abhandlung unerlässlich.

Mit dem vorgestellten Anwendungsbeispiel konnte das Vorgehen zur Quantifizierung des Verlagerungsverkehrs sowie der Analyse der Auswirkungen und Festlegung entsprechender Massnahmen anschaulich aufgezeigt werden. Infolge der notwendigen Iterationsschritte und der separaten Behandlung der unterschiedlichen Fahrtenlängen der dominierenden Quell-Ziel-Beziehungen präsentiert sich der Aufwand in der praktischen Anwendung jedoch erheblich grösser als im Bericht aufgezeigt.

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten die komplexen Zusammenhänge zwischen der Verkehrsbeeinflussungsmassnahme „Rampenbewirtschaftung“ und dem untergeordneten HVS-Netz umfassend aufgezeigt werden. Die Quantifizierung sämtlicher definierter Kriterien hätte den Rahmen der vereinbarten Bearbeitungstiefe gesprengt. Eine weiterführende Vertiefung und Konkretisierung der qualitativen Kriterien obliegt daher der weiteren Forschung zu dieser Thematik.

## 13 Handlungsgrundsätze

Auf Grund der Analyse der Grundlagen und der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse lassen sich die folgenden Handlungsgrundsätze bei der Planung und Umsetzung von Rampenbewirtschaftungen angeben:

- Die Planung künftiger Rampenbewirtschaftungen darf nicht ausschliesslich aus Sicht der HLS erfolgen, sondern es müssen frühzeitig die Aspekte des untergeordneten HVS-Netzes berücksichtigt werden, insbesondere im Zusammenhang mit dem Verlagerungsverkehr.
- Bei Zweckmässigkeitsbeurteilungen von Rampenbewirtschaftungen sind künftig auch die Anforderungen des untergeordneten HVS-Netzes einzubeziehen.
- Bereits in der Planungsphase sind sämtliche betroffenen Gemeinden und Institutionen frühzeitig einzubeziehen.
- Eine breite Information und Öffentlichkeitsarbeit über die geplante Rampenbewirtschaftung fördert bei den betroffenen Fahrzeugenkern das Verständnis für diese Massnahme zur Verkehrsbeeinflussung.
- Zur gezielten Beeinflussung der Verkehrsströme sowohl in Richtung bewirtschafteter Rampe als auch in Richtung allfälliger Alternativrouten ist der vorgelagerte Sekundärknoten mit einer verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlage auszustatten.
- Die Attraktivität allfälliger Alternativrouten lässt sich nur beeinflussen, wenn sämtliche massgebenden Knoten im HVS-Netz mit einer Lichtsignalanlage ausgestattet sind.
- Wenn sich der erforderliche Stauraum nicht in der Rampe realisieren lässt, empfiehlt sich zum Schutz des untergeordneten Netzes und aus Emissionsgründen eine Anordnung parallel zu den durchgehenden Fahrstreifen der HLS durch eine Verlängerung des Beschleunigungsstreifens bzw. die Umnutzung des Standstreifens, wobei auch die Bedürfnisse der Ereignisdienste zu berücksichtigen sind.
- Die beiden Einsatzmöglichkeiten für Rampenbewirtschaftungen sind Einzelfahrzeugsteuerung und Dosierung. Weil bei der Einzelfahrzeugsteuerung die Pulkauflösung im Vordergrund steht, ist durch die niedrige Wartezeit für die Verkehrsteilnehmer die Akzeptanz dieser Massnahme höher und es entsteht nur wenig Verlagerungsverkehr. Durch das gezielte Zurückhalten von Fahrzeugen bei der Dosierung entstehen längere Wartezeiten für die Verkehrsteilnehmer, so dass die Akzeptanz dieser Massnahme sinkt und der Anteil des Verlagerungsverkehrs ansteigt.

## 14 Normierungspotenzial

Die Analyse der bestehenden VSS-Normen der Normgruppe „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen“ hat ergeben, dass die Problematik des Verlagerungsverkehrs bisher weder erwähnt noch sonst in irgendeiner Weise berücksichtigt worden ist. Die Forschungsstelle ist der Auffassung, dass dieser Aspekt unter dem Gesichtspunkt der gesamthaften Betrachtungsweise bei der nächsten Normrevision zu ergänzen ist. Dies betrifft die folgenden Normen:

- SN 640 800 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen; Kopfnorm“  
→ Ergänzung von Ziffer 11
- SN 640 801 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen; Einsatz und Nutzen von Verkehrsbeeinflussungssystemen“ (in Bearbeitung, noch nicht publiziert)  
→ Hinweis, dass bei Zweckmässigkeitsbeurteilungen von Rampenbewirtschaftungen künftig auch die Anforderungen des untergeordneten HVS-Netzes einzubeziehen sind.
- SN 640 807 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen; Rampenbewirtschaftungen, Grundlagen“  
→ Hinweis auf die Problematik des Verlagerungsverkehrs gemäss den nachfolgend aufgeführten Fragestellungen.

Generell wird empfohlen, in den betroffenen Normen auf folgende Fragestellungen in Zusammenhang mit dem Verlagerungsverkehr näher einzugehen:

- Welche sind die ausschlaggebenden Kriterien für die Entstehung von Verlagerungsverkehr?
- Welche Aspekte erhöhen bzw. reduzieren den Anteil des Verlagerungsverkehrs?
- Welche Massnahmen eignen sich zur Reduktion bzw. Kompensation unerwünschter Auswirkungen?
- Mit welcher Methode lässt sich der Anteil des Verlagerungsverkehrs abschätzen?

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind zwar noch nicht so weit abgesichert, dass sie direkt in eine eigenständige Norm einfliessen können, sie liefern jedoch erste Anhaltspunkte. Eine weiterführende Vertiefung und Konkretisierung der bisher nur qualitativ beschriebenen Kriterien ist Gegenstand der weiteren Forschung.

## 15 Ausblick

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten die komplexen Zusammenhänge zwischen der Verkehrsbeeinflussungsmassnahme „Rampenbewirtschaftung“ und den Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz umfassend aufgezeigt werden. Die Quantifizierung sämtlicher definierter Kriterien hätte jedoch den Rahmen der vereinbarten Bearbeitungstiefe gesprengt. Eine weiterführende Vertiefung und Konkretisierung der qualitativen Kriterien obliegt daher der weiteren Forschung zu dieser Thematik.

Zur Vertiefung und Verifizierung der qualitativ beschriebenen Kriterien könnte sich beispielsweise eine objektbezogene Forschung anbieten. Anhand eines praktischen Beispiels liessen sich die Erkenntnisse dieser Arbeit in Bezug auf die zu treffenden Massnahmen quantifizieren, beispielsweise mittels Zählungen und Reisezeitmessungen aber auch durch direkte Befragungen von Verkehrsteilnehmern. Mit diesen Erhebungen liesse sich auch das theoretische Berechnungsmodell überprüfen und kalibrieren.

Weiterer Forschungsbedarf besteht ferner in den Bereichen Akzeptanz und Nutzen von Rampenbewirtschaftungen. Hinsichtlich der Akzeptanz von Rampenbewirtschaftungen wäre zu untersuchen, ob der Sinn und Zweck dieser Massnahme von den Verkehrsteilnehmern mehrheitlich verstanden wird. Eine geringe Akzeptanz äussert sich nicht nur durch Verlagerungsverkehr, sondern auch durch Rotlichtmissachtungen am Lichtsignalquerschnitt der Rampenbewirtschaftung. In diesem Zusammenhang wäre auch zu untersuchen, welche Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz und Förderung des Verständnisses zur Verfügung stehen und wie effizient diese sind.

Um den Nutzen bzw. die Wirkung von Rampenbewirtschaftungen beurteilen zu können, ist eine grossräumige Betrachtungsweise erforderlich. Den Vorteilen für die Verkehrsteilnehmer auf der HLS sind die Nachteile für die Verkehrsteilnehmer auf den Rampen und im HVS-Netz gegenüber zu stellen. Somit ist eine Gesamtbetrachtung des HLS- und HVS-Netzes erforderlich.

Die Rampenbewirtschaftung als Verkehrsmanagementmassnahme ist ein interessantes und breites Forschungsfeld, dessen Bedeutung und Aktualität vor dem Hintergrund zunehmender Verkehrsbelastungen im motorisierten Individualverkehr eher zu- als abnehmen dürfte. Dadurch ergibt sich schliesslich der Bedarf für eine eigenständige Norm, welche sich mit dem Verlagerungsverkehr einer Rampenbewirtschaftung und dessen Auswirkungen auf das untergeordnete HVS-Netz befasst.