



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

RICHTLINIE

SEKUNDÄRKNOTEN

Verkehrstechnische Anforderungen

Ausgabe 2018 V1.00

ASTRA 15020

Impressum

Autoren / Arbeitsgruppe

Patric Jegge (ASTRA N-VIM, Vorsitz)
Sigrid Pirkelbauer (ASTRA, N-VIM)
Thomas Gasser (Rudolf Keller & Partner, Verkehrsingenieure AG, Muttenz)
Kevin Zacher (Rudolf Keller & Partner, Verkehrsingenieure AG, Muttenz)

Übersetzung (Originalversion in Deutsch)

Herausgeber

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

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

© ASTRA 2018

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

Vorwort

Die Nationalstrassen wurden ursprünglich zur Durchleitung des übergeordneten Verkehrs geplant und gebaut. In den Agglomerationen bewältigen sie heute immer öfter auch einen erheblichen Teil des Ziel-, Quell- und Binnenverkehrs. Sie stellen damit neben der Erreichbarkeit der Wirtschaftszentren auch die Erschliessung ganzer Ortsteile sicher und tragen so zur Entlastung des innerstädtischen Strassennetzes bei.

Mit der überproportionalen Verkehrszunahme auf dem Nationalstrassennetz werden die Anschlussbereiche vermehrt zu Problemstellen. Dabei können sowohl im Einfahrts- als auch im Ausfahrtsbereich Konflikte im Verkehrsablauf auftreten und die Funktionsfähigkeit der Stammstrecke beeinträchtigen. Ausserdem führt der Mehrverkehr auf den Sekundärknoten zu einer Verschärfung der Konflikte mit dem öffentlichen Verkehr und dem Langsamverkehr. Die Gestaltung und die Weiterentwicklung der Verkehrssysteme wird immer mehr zu einer umfassenden Planungs- und Managementaufgabe, bei der sehr unterschiedliche Anforderungen und Prozesse zu berücksichtigen sind.

Mit der Ausgestaltung und der Bewirtschaftung der Anschlussbereiche können die Funktionalität der Nationalstrasse sowie eine sichere und störungsfreie Abwicklung der Verkehrsströme verbessert werden. Die gezielte Beeinflussung der Verkehrsströme in den Anschlussbereichen trägt dazu bei, den Verkehrsfluss auf der Stammstrecke der Nationalstrasse möglichst lange aufrechtzuerhalten und Störungen durch ein- und ausfahrende Fahrzeuge zu minimieren. Die verfügbaren Stauräume im Übergang zwischen dem über- und dem nachgelagerten Strassennetz werden genutzt, um die Leistungsfähigkeit der beiden Netze zu erhalten.

Die vorliegende Richtlinie legt die Ausgestaltung sowie die verkehrstechnischen und betrieblichen Anforderungen für Massnahmen zur Bewirtschaftung der Sekundärknoten fest. Sie soll den Bauherren und den Betreibern der Nationalstrassen sowie deren beauftragten Planern und Lieferanten als Leitfaden dienen.

Bundesamt für Strassen

Jürg Röthlisberger
Direktor

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort.....	3
1	Einleitung	7
1.1	Zweck der Richtlinie	7
1.2	Geltungsbereich	7
1.3	Adressaten	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Abgrenzung	8
3	Ziele	9
4	Grundsätze und Einsatzkriterien	10
5	Knoten ohne Lichtsignalanlage.....	11
5.1	Leistungsfähigkeit	11
5.2	Massnahmen Verkehrsführung	11
5.2.1	Optimalere Fahrstreifenaufteilung.....	11
5.2.2	Entflechtung MIV - ÖV	11
5.2.3	LV-Führung	12
5.3	Signalisation	12
6	Knoten mit Kreisverkehr	13
6.1	Leistungsfähigkeit	13
6.2	Massnahmen Verkehrsführung	13
6.2.1	Optimale Fahrstreifenaufteilung	13
6.2.2	Entflechtung MIV - ÖV	14
6.2.3	LV-Führung	14
6.3	Signalisation	14
7	Knoten mit Lichtsignalanlage	15
7.1	Leistungsfähigkeit	15
7.2	Massnahmen Verkehrsführung	15
7.2.1	Optimale Fahrstreifenaufteilung	15
7.2.2	Entflechtung MIV - ÖV	15
7.2.3	LV-Führung	15
7.3	Aussenanlage.....	16
7.3.1	Signalisation	16
7.3.2	Verkehrserfassung (Detektoren)	16
7.3.3	Steuergerät.....	17
7.4	Steuerungsprinzipien	18
7.4.1	Allgemeine Vorgaben	18
7.4.2	Zwischen-, Übergangs- und Mindestzeiten.....	18
7.4.3	Makroskopische Steuerungsebene.....	18
7.4.4	Mikroskopische Steuerungsebene	19
8	Weitere Massnahmen	20
8.1	Vordosierung Rampenbewirtschaftung	20
8.2	Informationsdisplay	20

9	Monitoring	21
9.1	Grundsätze	21
9.2	Spezifikationen für Sekundärknoten mit LSA	21
	Anhänge	23
	Abkürzungsverzeichnis	39
	Glossar	41
	Literaturverzeichnis	42
	Auflistung der Änderungen	45

1 Einleitung

1.1 Zweck der Richtlinie

Die Richtlinie definiert die Vorgaben für eine einheitliche Ausgestaltung, Bemessung und Bewirtschaftung der bestehenden und neu geplanten Sekundärknoten in den Anschlussbereichen des schweizerischen Nationalstrassennetzes. Sie bildet einen Bestandteil der Richtliniengruppe zum Verkehrsmanagement, präzisiert die Vorgaben der Richtlinie ASTRA 15003 „Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen (Kopfrichtlinie VM-NS)“ [2] und ergänzt die Anforderungen der bestehenden Schweizer Normen.

1.2 Geltungsbereich

Die Richtlinie gilt für die Planung und die Umsetzung von Massnahmen zur verkehrstechnischen Bewirtschaftung der Sekundärknoten. Sie liefert die Vorgaben für eine einheitliche Anwendung von Massnahmen zur betrieblichen Optimierung des Verkehrsablaufs bei überlasteten Sekundärknoten oder zur Minimierung allfälliger bekannter Sicherheitsdefizite.

Die Vorgaben zu den Rampen der Anschlussbereiche werden in der separaten Richtlinie ASTRA 15015 „Rampenbewirtschaftung“ [3] behandelt.

Die technischen Ausführungen (Trasse) und Installationen (BSA) sowie die Programmierungen dynamischer Betriebsmittel sind nicht Gegenstand der Richtlinie.

1.3 Adressaten

Die Richtlinie richtet sich an die Bauherren und Betreiber der Nationalstrassen und des nachgelagerten Strassennetzes sowie an deren beauftragte Planer und Lieferanten. Sie dient Verkehrsexperten als Anweisung für die Evaluation und Projektierung von Massnahmen zur Anschlussbewirtschaftung.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie „Sekundärknoten (Ausgabe 2018)“ tritt am 01.04.2018 in Kraft. Die Auflistung der Änderungen ist auf Seite 45 zu finden.

2 Abgrenzung

Der Sekundärknoten gehört zum Netzelement „Anschlüsse und Sekundärknoten“ der Richtlinie ASTRA 15003 „Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen (Kopfrichtlinie VM-NS)“ [2]. Er ist die Verbindung zwischen den Hauptverkehrstrassen (HVS) des nachgelagerten Strassennetzes sowie den Ein- und Ausfahrten von Hochleistungsstrassen (HLS). Zusätzlich zu den Knoten an den Netzübergängen der Nationalstrassen 1. und 2. Klasse können die Inhalte der Richtlinie auch an Knoten auf den Nationalstrassen 3. Klasse angewendet werden.

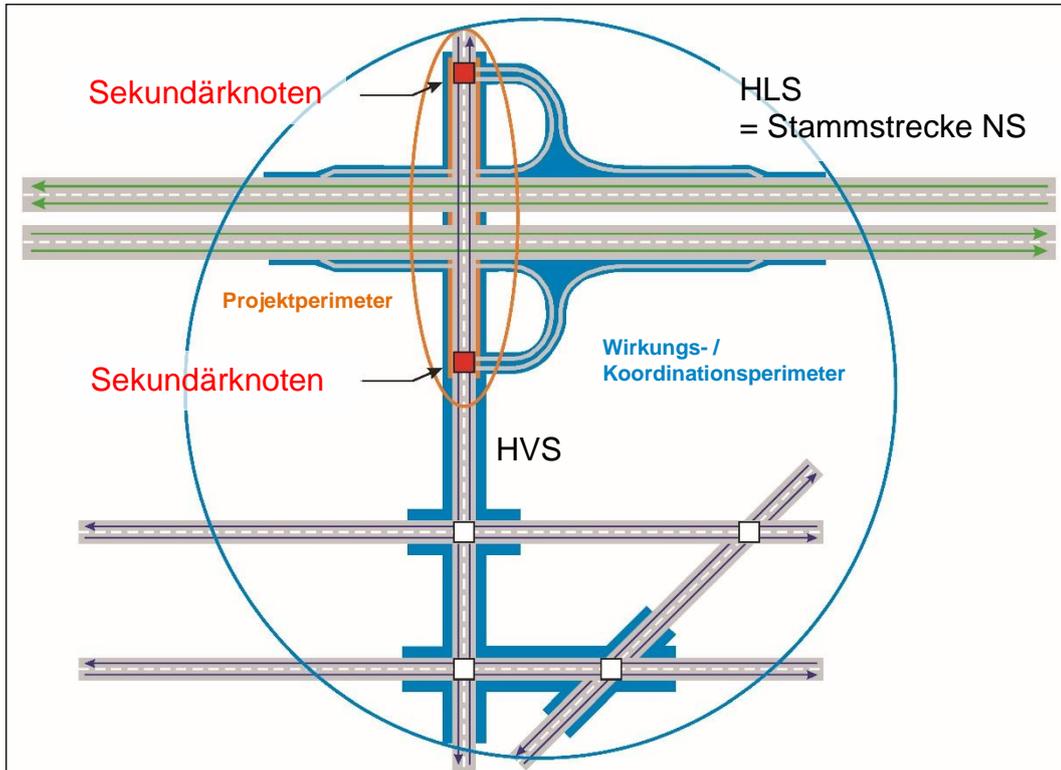


Abb. 2.1 Einflussbereich Sekundärknoten

Die bauliche und betriebliche Hoheit obliegt in der Regel nur im Projektperimeter dem ASTRA. Der Wirkungs- und Koordinationsperimeter umfasst neben dem Projektperimeter alle weiteren Knoten und Strassenverbindungen, die den Verkehrsfluss am Sekundärknoten beeinflussen oder durch diese beeinflusst werden. Der Wirkungs- und Koordinationsperimeter schliesst weitere Strassenbetreiber ein (Kanton, Stadt, Einkaufszentren, Freizeitanlagen).

Die Richtlinie behandelt die Massnahmen am Sekundärknoten (Projektperimeter) unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit den angrenzenden Elementen im Wirkungs- bzw. Koordinationsperimeter. Dazu gehören HVS, Ein- und Ausfahrten der HLS sowie die HLS selber.

3 Ziele

Am Sekundärknoten kann eine ungünstige Abwicklung der Verkehrsströme zu Rückstau im Ausfahrtbereich der HLS führen. Zudem können Interessenskonflikte mit dem Langsamverkehr (LV) sowie mit der notwendigen Priorisierung des öffentlichen Verkehrs (ÖV) und der Blaulichtorganisationen entstehen. Störungen des Verkehrsflusses stellen Sicherheitsrisiken dar und sind deswegen wenn immer möglich zu vermeiden. Hingegen dürfen Verkehrsoptimierungsmassnahmen nicht ein zusätzliches Sicherheitsdefizit erzeugen.

Daraus ergeben sich folgende Ziele:

- Am Sekundärknoten muss ein zuverlässiger Verkehrsfluss für den motorisierter Individualverkehr (MIV) gewährleistet sein:
 - Auf der HLS soll ein flüssiger Verkehrsablauf aus Sicherheits- und Kapazitätsgründen aufrecht erhalten bleiben;
 - Rückstaus auf die Stammstrecke der Nationalstrasse (NS) sind bei Ausfahrten zu vermeiden;
 - Auf der HVS ist ein stabiler Verkehrsfluss anzustreben.
- Für den ÖV sollen minimale, verträgliche Verlustzeiten zur Gewährleistung der Fahrplanstabilität eingehalten werden;
- Für den LV sind möglichst kurze Wartezeiten, wenige Halte und direkte niveaufreie Wege anzustreben:
 - Die Empfehlungen der Velokonferenz „Veloverkehr im Einflussbereich von HLS“ [27] sind zu berücksichtigen;
 - Die Empfehlungen des behinderten-gerechten und hindernisfreien Bauens sind zu berücksichtigen.

Bei Zielkonflikten sind die Ziele wie folgt zu priorisieren:

- Priorität 1: Stabiler Verkehrsfluss auf der Stammstrecke der NS;
- Priorität 2: Minimale, verträgliche Verlustzeiten des ÖV;
- Priorität 3: Alle weiteren Ziele.

4 Grundsätze und Einsatzkriterien

Optimierungsmassnahmen zur Zielerreichung gemäss Kap. 3 sind sowohl bei bestehenden als auch bei neu geplanten Sekundärknoten anzuwenden. Dafür bieten sich je nach Knotenregime unterschiedliche Massnahmen an:

- Kap. 5: Knoten ohne Lichtsignalanlage
- Kap. 6: Knoten mit Kreisverkehr
- Kap. 7: Knoten mit Lichtsignalanlage
- Kap. 8: Weitere Massnahmen

Das Vorgehen zur Prüfung der notwendigen Massnahmen ist unterschiedlich bei neu geplanten und bestehenden Sekundärknoten:

- Bei neu geplanten Sekundärknoten sind alle Massnahmen bzw. Knotenformen zu evaluieren, um die optimalste Variante bestimmt zu können;
- Bei bestehenden Sekundärknoten werden in einem ersten Schritt Optimierungen bei der bestehenden Knotenform untersucht. Falls mit der bestehenden Knotenform keine hinreichende Optimierungen möglich sind, sollen in einem zweiten Schritt alternative Knotenformen in Betracht gezogen werden.

Für die Festlegung der notwendigen Massnahmen gilt unter Berücksichtigung der multimodalen Interessen und der verschiedenen Zielkonflikte sowohl für den IST-Zustand (Z0) als auch für den Prognosezustand (Z0 + 15 Jahre) für alle Fahrstreifen eine Verkehrsqualitätsstufe (VQS) D oder flüssiger. Der Verkehrsfluss muss sowohl auf der Stammstrecke der NS (1. Priorität) als auch im nachgelagerten Strassennetz (2. Priorität) aufrechterhalten werden. Eine Überstauung in den Nachbarknoten und insbesondere auf die Stammstrecke der NS muss vermieden werden. Andernfalls sind bauliche Änderungen oder VM-Massnahmen zur gezielten Schaffung und Nutzung von Rückstauräumen vorzusehen. Des Weiteren sind bei der Beurteilung der Massnahmen die Wartezeiten und die Anzahl der Halte aller Verkehrsteilnehmenden auf ein Minimum zu beschränken.

Besonders zu berücksichtigen ist die Privilegierung von ÖV-Linien und von Einsatzfahrzeugen der Blaulichtorganisationen über definierte Notfallrouten (insbesondere bei LSA). Auf Sekundärknoten mit ÖV-Linien sind zur Gewährleistung der Fahrplanstabilität minimale, verträgliche Verlustzeiten des ÖV vorzusehen.

Des Weiteren soll darauf geachtet werden, dass eine einfache und sichere Abwicklung des LV gemäss den Empfehlungen der Velokonferenz „Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)“ [27] erfolgt.

Neben der Analyse des Verkehrsflusses ist die Sicherheit am Knoten zu gewährleisten. Zur Erkennung und zur Analyse von Unfallschwerpunkten wird die Verwendung der ASTRA Fachapplikation Verkehrsunfälle (VUGIS) empfohlen. In der Projektierung sind die Unfallschwerpunkte und die entsprechenden Massnahmen darzulegen.

Dabei ist neben dem Projektperimeter immer auch der gesamte Wirkungs- bzw. Koordinationsperimeter zu berücksichtigen.

Die Planung von Knotenpunkten erfordert eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen Verkehrsplanung (Problem- und Wirkungsanalyse) und Strassenentwurf.

5 Knoten ohne Lichtsignalanlage

5.1 Leistungsfähigkeit

Für die Beurteilung eines Sekundärknoten ohne LSA ist die geforderte Leistungsfähigkeit mittels einer Berechnung nach SN 640 022 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage“ [6] oder einer Verkehrsflusssimulation nachzuweisen.

5.2 Massnahmen Verkehrsführung

Können die Einsatzkriterien gemäss Kap. 4 und die Leistungsfähigkeit gemäss Kap. 5.1 nicht eingehalten werden, müssen weitere Massnahmen in Betracht gezogen werden:

- Leistungsfähigkeit am Knoten nicht gewährleistet bzw. Rückstau infolge eines vorgelagerten Knotens:
 - Optimalere Fahrstreifenaufteilung (Kap. 5.2.1)
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: Knoten mit Kreisverkehr (Kap. 6) oder mit LSA (Kap. 7)
 - Weiteren Massnahmen im nachgelagerten Netz
- ÖV-Verlustzeiten unverträglich:
 - Bessere Entflechtung MIV - ÖV (Kap. 5.2.2)
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: Knoten mit Kreisverkehr (Kap. 6) oder LSA (Kap. 7)
- Sicherheitsmangel oder hohe Warte- bzw. Querungszeiten für den LV (Kap. 5.2.3):
 - Bessere Entflechtung MIV - LV
 - Klare, einfache Führung des LV
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: Knoten mit Kreisverkehr (Kap. 6) oder mit LSA (Kap. 7)

5.2.1 Optimalere Fahrstreifenaufteilung

Bei ungenügender Leistungsfähigkeit eines Knotens ohne LSA ist in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob der Engpass mit einer optimierten Aufteilung der Fahrstreifen beseitigt werden kann. Dafür bestehen mehrere Möglichkeiten: Einerseits kann die Zuordnung der Fahrstreifen unter Verwendung der vorhandenen Verkehrsfläche geändert werden. In Frage kommt dafür beispielsweise die Anordnung eines separaten Linksabbiegers anstelle eines Mischfahrstreifens. Andererseits kann die Priorisierung der Verkehrsströme am Knoten angepasst werden (z.B. Abfluss aus der Stammstrecke der NS als Hauptrichtung anstatt als Nebenrichtung).

Reichen einfache Massnahmen nicht aus, muss in einem zweiten Schritt eine Vergrösserung des Stauraums geprüft werden. In Frage kommen dafür die Verlängerung einzelner Fahrstreifen oder die Anordnung zusätzlicher Fahrstreifen.

5.2.2 Entflechtung MIV - ÖV

Verursacht ein Sekundärknoten auf ÖV-Linien unverhältnismässig hohe Verlustzeiten, ist eine bessere Entflechtung MIV - ÖV in Betracht zu ziehen. Als Beispiel können folgende Massnahmen untersucht werden:

- Separate Busspur
- Kombinierte Busspur mit Abbiegestreifen
- Bedarfssteuerung mit einer LSA (z.B. Busschleuse)

5.2.3 LV-Führung

An Sekundärknoten kann eine unzweckmässige Führung des LV zu Leistungsfähigkeits- und Sicherheitsproblemen führen. Zur Verbesserung der Situation sind folgende Lösungsansätze möglich:

- Indirektes Linksabbiegen
- Separate Abbiegespuren für den Veloverkehr
- Einfärbung des Fahrbereichs für den Veloverkehr zur besseren Erkennbarkeit der Konfliktstellen und der Veloführung
- Radstreifen, evtl. separate Spurführungen für den Veloverkehr
- Radweg
- Kombinierte ÖV-Radstreifen
- Verschiebung von Fussgänger-Streifen
- Fussgänger-Unterführung

Weitergehende Massnahmen zur Entflechtung MIV - LV sind möglich. Eine vollständige Entflechtung ist hingegen selten wegen der Leistungsfähigkeit des Knotens notwendig. Sie dient vor allem der Sicherheit des LV (siehe auch Empfehlungen der Velokonferenz „Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)“ [27]).

5.3 Signalisation

Grundsätzlich haben die Ausführung, die Anordnung und die Anbringung der Signalisation an Knoten ohne LSA gemäss der SR 741.21 „Signalisationsverordnung (SSV)“ [1] sowie der Schweizer Norm SN 640 846 „Signale; Anordnung an Haupt- und Nebenstrassen“ [19] zu erfolgen. Dabei sind auch kantonale Standards und örtliche Gegebenheiten zu beachten: Ausführung, Anordnung und Anbringung der Signalisation sollen dem kantonalen Erscheinungsbild angeglichen werden.

6 Knoten mit Kreisverkehr

6.1 Leistungsfähigkeit

Für die Beurteilung eines Sekundärknoten mit Kreisverkehr ist die geforderte Leistungsfähigkeit mittels einer Berechnung nach SN 640 024a „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Kreisverkehr“ [8] oder einer Verkehrsflusssimulation nachzuweisen.

6.2 Massnahmen Verkehrsführung

Können die Einsatzkriterien gemäss Kap. 4 und die Leistungsfähigkeit gemäss Kap. 6.1 nicht eingehalten werden, müssen weitere Massnahmen betrachtet werden:

- Leistungsfähigkeit am Knoten nicht gewährleistet bzw. Rückstau infolge eines vorgelagerten Knotens:
 - Optimierte Verkehrsführung z.B. durch Bypässe, Turbokreisel, optimale Vorsortierung durch Wegweisung (Kap. 6.2.1)
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: gesteuerter Kreisel oder LSA (Kap. 7)
 - Weiteren Massnahmen im nachgelagerten Strassennetz
- ÖV-Verlustzeiten unverträglich:
 - Bessere Entflechtung MIV - ÖV (Kap. 6.2.2)
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: gesteuerter Kreisel oder LSA (Kap. 7)
- Sicherheitsmängel oder hohe Wartezeiten für den LV (Kap. 6.2.3):
 - Reduktion der Zufahrtsgeschwindigkeit des MIV
 - Angemessene Breite und Länge der Verengung vor dem Kreisel
 - Breite Kreisfahrbahn, Anordnung eines Innenrings, Ablenkung durch Kreiszentrum
 - Anordnung eines Velo-Bypasses
 - Umgestaltung der Querungen für den Fussverkehr
 - Umbau in ein besser geeignetes Knotenregime: gesteuerter Kreisel oder LSA (Kap. 7)

6.2.1 Optimale Fahrstreifenaufteilung

Bei ungenügender Leistungsfähigkeit eines Sekundärknoten mit Kreisverkehr ist in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob der Engpass mit einfachen Massnahmen beseitigt werden kann. Falls es die Geometrie des bestehenden Knotens mit Kreisverkehr ermöglicht, kann der Kreisel (evtl. mit Anpassung der Inseln) in einen Turbokreisel¹ ummarkiert werden. Dabei muss der Führung des LV besondere Beachtung geschenkt werden. Auf überlasteten Kreiseleinfahrten mit einem hohen Anteil an Rechtsabbiegern ist die Einführung eines Bypasses in Betracht zu ziehen. Im Allgemeinen besteht die Möglichkeit, überlastete Kreiseleinfahrten zweistreifig auszubauen. Zweistreifige Ausfahrten sind hingegen aus Sicherheitsgründen zu vermeiden.

Lässt sich der Kapazitätsengpass mit den aufgeführten Massnahmen nicht beheben, muss eine Anpassung des Knotenregimes geprüft werden.

¹ Kreisel, bei dem die Addition der Fahrstreifen an zweistreifigen Einfahrten stumpf auf der Innenseite des Kreisels erfolgt; ermöglicht das Durchleiten von zweistreifigen Verkehrsströmen ohne Verflechtungsvorgänge auf der Kreisfahrbahn.

6.2.2 Entflechtung MIV - ÖV

Weisen an einem Sekundärknoten eine oder mehrere ÖV-Linien unverhältnismässig hohe Verlustzeiten auf, ist eine bessere Entflechtung MIV - ÖV in Betracht zu ziehen. Folgende Massnahmen können untersucht werden:

- Separate Busspur vor dem Kreisel mit Vorfahrt
- Kombinierte Busspur mit Abbiegestreifen
- Bedarfssteuerung mit einer LSA

6.2.3 LV-Führung

An Sekundärknoten kann eine unzweckmässige Führung des LV zu Leistungsfähigkeits- und Sicherheitsproblemen führen. Zur Verbesserung der Situation sind folgende Lösungsansätze möglich:

- Verschiebung der Fussgängerstreifen
- Niveaufreie Fussgänger-/Radfahrer-Querung

Weitergehende Massnahmen zur Entflechtung MIV - LV sind möglich. Eine vollständige Entflechtung ist hingegen selten wegen der Leistungsfähigkeit notwendig. Sie dient vor allem der Sicherheit des LV (siehe auch Empfehlungen der Velokonferenz „Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)“ [27]).

6.3 Signalisation

Grundsätzlich haben die Ausführung, die Anordnung und die Anbringung der Signalisation an Kreisverkehrsplätzen gemäss der SR 741.21 „Signalisationsverordnung (SSV)“ [1] sowie der Schweizer Norm SN 640 847 „Signale; Anordnung an Kreisverkehrsplätzen“ [20] zu erfolgen. Dabei sind auch kantonale Standards und örtliche Gegebenheiten zu beachten: Ausführung, Anordnung und Anbringung sollen dem kantonalen Erscheinungsbild angeglichen werden.

7 Knoten mit Lichtsignalanlage

7.1 Leistungsfähigkeit

Für die Beurteilung eines Sekundärknoten mit LSA ist die geforderte Leistungsfähigkeit mittels einer Berechnung nach SN 640 023a „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlagen“ [7] oder einer Verkehrsflusssimulation nachzuweisen.

7.2 Massnahmen Verkehrsführung

Können die Einsatzkriterien gemäss Kap. 4 und die Leistungsfähigkeit gemäss Kap. 7.1 nicht eingehalten werden, müssen weitere Massnahmen betrachtet werden:

- Leistungsfähigkeit am Knoten nicht gewährleistet bzw. Rückstau infolge eines vorgelagerten Knotens:
 - Optimalere Fahrstreifenaufteilung (Kap. 7.2.1)
 - Massnahmen im nachgelagerten Netz
- ÖV-Verlustzeiten unverträglich:
 - Bessere Entflechtung MIV - ÖV (Kap. 7.2.2)
- Sicherheitsmangel oder hohe Warte- bzw. Querungszeiten für den LV (Kap. 7.2.3):
 - Bessere Entflechtung MIV / LV
 - Klare und einfache LV-Führung

7.2.1 Optimale Fahrstreifenaufteilung

Bei ungenügender Leistungsfähigkeit an einem Knoten mit LSA ist in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob der Engpass mit einer optimierten Aufteilung der Fahrstreifen beseitigt werden kann. In Frage kommt dafür eine veränderte Zuordnung der Fahrstreifen unter Verwendung der vorhandenen Verkehrsflächen (z.B. separater Linksabbieger anstelle einer Mischspur).

Reichen einfache Massnahmen nicht aus, muss in einem zweiten Schritt eine Vergrösserung des Stauraums geprüft werden. In Frage kommen dafür die Verlängerung einzelner Fahrstreifen oder die Anordnung zusätzlicher Fahrspuren.

7.2.2 Entflechtung MIV - ÖV

Weisen an einem Sekundärknoten eine oder mehrere ÖV-Linien unverhältnismässig hohe Verlustzeiten auf, ist eine bessere Entflechtung MIV - ÖV in Betracht zu ziehen. Folgende Massnahmen können untersucht werden:

- Separate Busspur
- Kombinierte Busspur mit Abbiegestreifen

7.2.3 LV-Führung

An Sekundärknoten kann eine unzweckmässige Führung des LV zu Leistungs- und Sicherheitsproblemen führen. Zur Verbesserung der Situation sind folgende Lösungsansätze möglich:

- Indirektes Linksabbiegen des Veloverkehrs
- Separate Veloführung zur Querung der Einspurstrecke auf die NS
- Vorgezogene Haltebalken zur Verbesserung der Wahrnehmung/Erkennbarkeit
- Veloschleuse: Anordnung vorgelagerter und parallel geschalteter LSA-Reihe (ca. 50. m); diese ermöglicht den Velofahrenden während der Rotphase einen konfliktfreien Spurwechsel über mehrere Fahrspuren
- Einfärbung des Fahrbereichs für den Veloverkehr zur besseren Erkennbarkeit der Konfliktstellen und der Veloführung
- Radstreifen, evtl. separate Spurführungen für Veloverkehr

- Radweg
- Kombinierten ÖV-Radstreifen
- Verschiebung der Fussgängerstreifen
- Niveaufreie Fussgänger-/Radfahrer-Querung

Weitergehende Massnahmen zur Entflechtung MIV - LV sind möglich. Eine umfassende Entflechtung ist hingegen selten wegen der Leistungsfähigkeit notwendig. Sie dient vor allem der Sicherheit für den LV (siehe auch Empfehlungen der Velokonferenz „Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)“ [27]).

7.3 Aussenanlage

7.3.1 Signalisation

Grundsätzlich haben die Ausführung, die Anordnung und die Anbringung der Signalgeber gemäss der SR 741.21 „Signalisationsverordnung (SSV)“ [1] sowie der Schweizer Norm SN 640 836 „Gestaltung der Signalgeber“ [11] zu erfolgen. Dabei sind auch kantonale Standards und örtliche Gegebenheiten zu beachten: Ausführung, Anordnung und Anbringung sollen dem kantonalen Erscheinungsbild angeglichen werden.

Zur Signalisierung des MIV werden Kammersignalgeber mit Leuchtfelddurchmesser von 200 und 300 mm eingesetzt. Grundsätzlich sind alle Fahrzeugsignalgeber über der Fahrbahn und alle Signalgeber neben der Fahrbahn bei einer maximalen Höchstgeschwindigkeit > 50 km/h in 300 mm auszurüsten. Wenn das freizuhaltende Lichtraumprofil keine grösseren Signalgeber zulässt, können seitlich in Ausnahmefällen auch 200 mm Signalgeber eingesetzt werden.

Zur Signalisierung des Veloverkehrs können zudem Signalgeber mit einem Leuchtfelddurchmesser von 100 mm eingesetzt werden. Der Signalgeber wird seitlich angebracht. Das Leuchtfeld des Rotlichts muss hierbei in einer Höhe von 1.80 m über dem Fahrstreifen angebracht werden.

Zur Signalisierung der Freigabezeit für Seh- und Gehbehinderte können zudem akustische sowie taktile Signale zum Einsatz kommen. Die Signalgeber haben der SN 640 836-1 „Lichtsignalanlagen; Zusatzeinrichtungen für Sehbehinderte“ [12] zu entsprechen. Der Einsatz richtet sich nach den lokalen Vorgaben.

Zur Signalisierung des öffentlichen Verkehrs (Bus oder Tram) können Signalgeber mit entsprechenden ÖV-Symbolen eingesetzt werden. Ebenso zulässig sind Spezial-Signalgeber mit 4 oder 5 weissen Signallampen. In der Regel haben die ÖV-Signalgeber einen Leuchtfelddurchmesser von 200 mm.

7.3.2 Verkehrserfassung (Detektoren)

Die einzelnen Gruppen der Verkehrsteilnehmenden werden über unterschiedliche Sensoren erfasst. Die Sensoren dienen primär der Anmeldung von Fahrzeugen und der Bemessung der Grünzeiten bei verkehrsabhängiger Steuerung des Knotenverkehrs. Darüber hinaus werden über Sensoren der Verkehr gezählt, einzelne Fahrzeuge (z.B. ÖV- oder Notfallfahrzeuge) bevorzugt oder Stauräume überwacht.

ÖV-Fahrzeuge melden sich am Knoten aktiv an und ab. Die gleiche Meldetechnik können auch Einsatzfahrzeuge von Blaulichtorganisationen verwenden. Der eingesetzte Sensortyp wird durch die spezifischen Vorgaben der Betreiber und die Ausrüstung der Fahrzeuge bestimmt. Die Sensoren dienen der Privilegierung des ÖV am Knoten und damit der Reduzierung von Verlustzeiten. Jede ÖV-Linie muss zum Eingriff in den zyklischen Signalablauf mindestens über einen Anmeldepunkt (Hauptanmeldung) auf der Knotenzufahrt und einen Abmeldepunkt unmittelbar nach der Haltlinie verfügen. Die Position der Hauptanmeldung auf der Knotenzufahrt muss fahrdynamisch berechnet werden. Sie ist abhängig von der Privilegierungsart in der mikroskopischen Steuerung (siehe Kap. 7.4.4). Damit ÖV-Fahrzeuge die Freigabe am Knoten frühzeitig, punktgenau und priorisiert anmelden können, können weitere Meldepunkte wie Voranmeldungen und Türkontakte erforderlich werden.

Diese dienen zur:

- Schaltung von vorbereiteten Phasen (z. B. Räumung der Zufahrt zum Erreichen der Haltestelle vor dem Knoten)
- Meldung der Abfahrbereitschaft aus Haltestellen
- Meldung von Verspätungen im Fahrplan zur höheren Gewichtung der Privilegierung

Die Fussgänger melden sich über Anforderungstaster an. Seh- und Gehbehinderten sollen sich zur Verlängerung der Grünzeit über einen zusätzlichen Anforderungsknopf anmelden können.

An Nationalstrassen-Knoten sind Detektoren zur Steuerung und zur Zählung des Verkehrs wie folgt einzusetzen und zu positionieren:

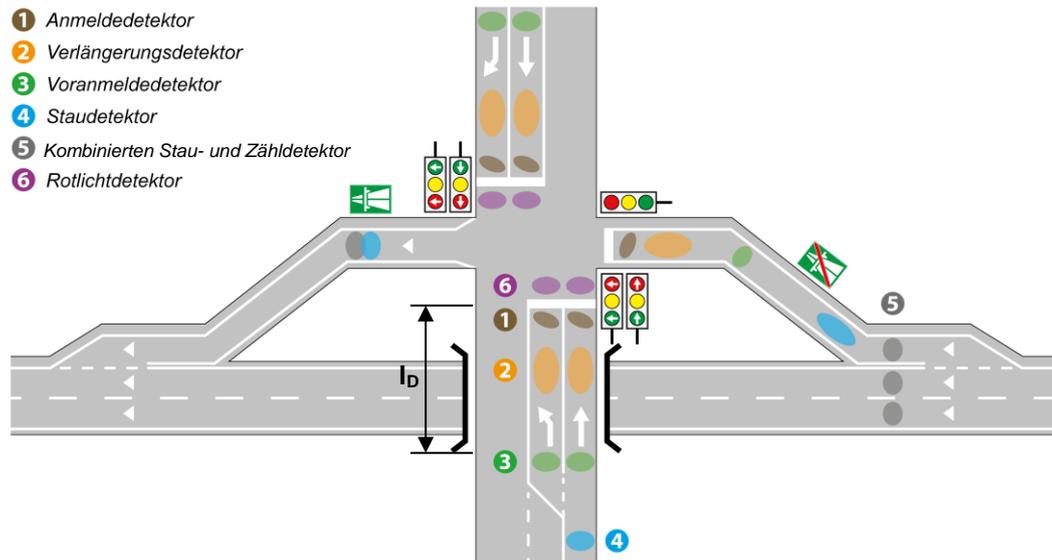


Abb. 7.1 Schematische Übersicht der LSA-Detektoren.

Bezüglich Positionierung und Geometrie von Detektoren (Lage des Erfassungsquerschnittes bzw. -bereichs auf den Zu- und Ausfahrten) gibt das ASTRA lediglich Richtwerte an. Diese Vorgaben können von den kantonalen und städtischen Vorgaben abweichen.

Die vorgegebenen Positionierungen der Messstellen sind unabhängig von der Sensortechnik einzuhalten. In allen Fällen sind die örtlichen Gegebenheiten und die herstellerspezifischen Angaben zu beachten und die Sensoren entsprechend einzurichten.

Im Anhang I werden die Funktionen der Detektoren beschrieben und Anforderungen an die Positionierung gestellt.

7.3.3 Steuergerät

Steuergeräte für LSA an NS müssen modular aufgebaut und erweiterbar sein. Sämtliche Hardwarekomponenten müssen leicht zugänglich und austauschbar sein. Eine einfache Bedienung sowie die entsprechende Betriebssicherheit ist nach den nationalen Vorschriften SN 640 844-3 / EN 12675 „Steuergeräte für LSA; Funktionale Sicherheitsanforderungen“ [18] sowie SN EN 50556 „Strassenverkehrs-Signalanlagen“ [22] zu gewährleisten. Reservesteck- und Einbauplätze für weitere Komponenten zur späteren Erweiterung der Anlage sind im Projekt zu definieren und entsprechend im Steuergerät vorzusehen. Weiter ist bei der Konzipierung des Steuergerätes zu berücksichtigen, dass neue Technologien und Baugruppen (z. B. Car2X-Units) installiert und über den internen Datenbus angesteuert werden können.

Der Einsatz eines synoptischen Tableaus ist vorzusehen. Das synoptische Tableau besteht in der Regel aus einem mit LEDs, Tastern und Kippschaltern bestückten Aluminiumboard, das die Knotensituation und den Status der LSA-Steuerung abbildet.

Die Aufzeichnung der Signal- und der Detektorrohdaten muss über einen Zeitraum von einer Woche sichergestellt werden.

7.4 Steuerungsprinzipien

7.4.1 Allgemeine Vorgaben

Die Vorgaben umfassen Steuerungsprinzipien, die bereits in der Projektierungsphase zu berücksichtigen sind. Sie betreffen sowohl die lokal versorgten Signalprogramme als auch die übergeordneten Steuereinheiten. Des Weiteren sind Leistungsmerkmale definiert, die erst nach Inbetriebnahme der LSA geprüft werden können. Sie sind gleichzeitig Bestandteil des verkehrstechnischen Betriebs und der jährlichen Kontrollen im Rahmen des Qualitätsmanagements (siehe Kap. 9 Monitoring).

Falls im Wirkungspereimeter des Sekundärknotens weitere Systeme wie Verkehrsleitsystem auf der NS, Nachbaranlagen auf dem nachgelagerten Strassennetz, etc. vorhanden sind, ist eine Koordination zwischen den Anlagen zu gewährleisten.

7.4.2 Zwischen-, Übergangs- und Mindestzeiten

Grundsätzlich sind bei jedem Neubau oder Ersatz einer LSA die Zwischenzeiten neu nach SN 640 838 [14] zu berechnen. Das gilt auch bei kleineren Ausbau- oder Optimierungsmassnahmen im Rahmen des Verkehrsmanagements, sobald die Strassenmarkierung (insbesondere die Lage der Haltebalken) geändert wurde. Unabhängig davon müssen Zwischenzeiten im Rahmen einer Massnahme immer dann neu berechnet werden, wenn die Norm seit der letzten Massnahme überarbeitet wurde. Ebenso ist mit den Übergangs- und den Mindestzeiten (siehe SN 640 837 [13]) zu verfahren. Die Zwischenzeitberechnung ist stets durch eine zweite Person prüfen zu lassen. Im Rahmen der Projektierung kann das ASTRA jederzeit die Aushändigung der Berechnung von Zwischenzeiten verlangen.

Die Räum- und die Einfahrwege von ÖV-Fahrzeugen können bei der Zwischenzeitenermittlung nach fahrdynamischen Ansätzen berechnet werden. Je nach Lage der Haltestellen können Einfahrten mit Beschleunigung oder Räumungen mit Bremsvorgängen massgebend werden. Berechnungen dieser fahrdynamischen Vorgänge können beispielsweise den Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr [29] entnommen werden.

7.4.3 Makroskopische Steuerungsebene

Die makroskopische Steuerungsebene wird im Anhang II beschrieben und umfasst folgende Themen:

- Aktivierung der Signalprogramme
- Betriebsarten
- Teilknotensteuerung
- Signalprogramme

7.4.4 Mikroskopische Steuerungsebene

Die mikroskopische Steuerungsebene wird im Anhang III beschrieben und umfasst folgende Themen:

- Steuerungsverfahren
- Phasentrennung
- Minimale Grünzeiten
- Maximale Grünzeiten
- Koordination von Verkehrsströmen und Strassenzügen
- ÖV-Privilegierung
- Ausfahrtsbewirtschaftung
- Berücksichtigung des LV
- Notfallphasen für Blaulichtorganisation

8 Weitere Massnahmen

8.1 Vordosierung Rampenbewirtschaftung

Eine Vordosierung zur Rampenbewirtschaftung kann mit allen Knotentypen erreicht werden. Einzige Voraussetzung ist ein ausreichender Stauraum.

Der Einsatz von Vordosierungen ist dort zu prüfen, wo eine Rampendosierung notwendig ist, auf der Rampe aber kein genügender Stauraum vorhanden ist (siehe Richtlinie ASTRA 15015 „Rampenbewirtschaftung“ [3]).

8.2 Informationsdisplay

Verkehrsinformationsdisplays auf HVS werden zur Verkehrsbeeinflussung- und/oder zur Verkehrsinformation eingesetzt, um auf verkehrsrelevante Ereignisse zeitnah reagieren resp. präventiv Einfluss nehmen zu können. Sie können zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, zur Verstetigung des Verkehrsablaufs und zur Reduktion von Umweltbelastungen beitragen.

Für den Einsatz dynamischer Signalisierungen auf HVS liegen - anders als für HLS - noch keine Normen und Empfehlungen vor. In der Forschungsarbeit „Dynamische Signalisierung auf Hauptverkehrsstrassen“ [26] wurde untersucht, auf welche Weise und unter welchen Bedingungen solche Signalisierungen geplant und umgesetzt werden können.

Die dynamischen Signalisierungen können wie folgt gegliedert werden:

- Dynamische streckenbezogene Signalisierungen
- Dynamische Zielführungen
- Dynamische Informationsanzeigen

Im Zusammenhang mit der Anschlussbewirtschaftung kommen Verkehrsinformationsdisplays (dynamische Zielführung) zusammen mit den Massnahmen „Temporäre Sperrung von Einfahrten“ und „Stauwarnung und Empfehlung andere Ausfahrten“ gemäss der Kopfrichtlinie ASTRA 15003 „Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen“ [2] unterstützend auf dem nachgelagerten Strassennetz zum Einsatz. Verkehrsinformationsdisplays werden eingesetzt, um im Rahmen eines regionalen VM-Konzeptes über Staus auf der NS und Reisezeiten auf Alternativrouten zu informieren.

Die Standorte dieser Informationsdisplays können ausserhalb des NS-Perimeters liegen. Ist dies der Fall, braucht es eine Koordination mit den Eigentümern der betroffenen Strassen.

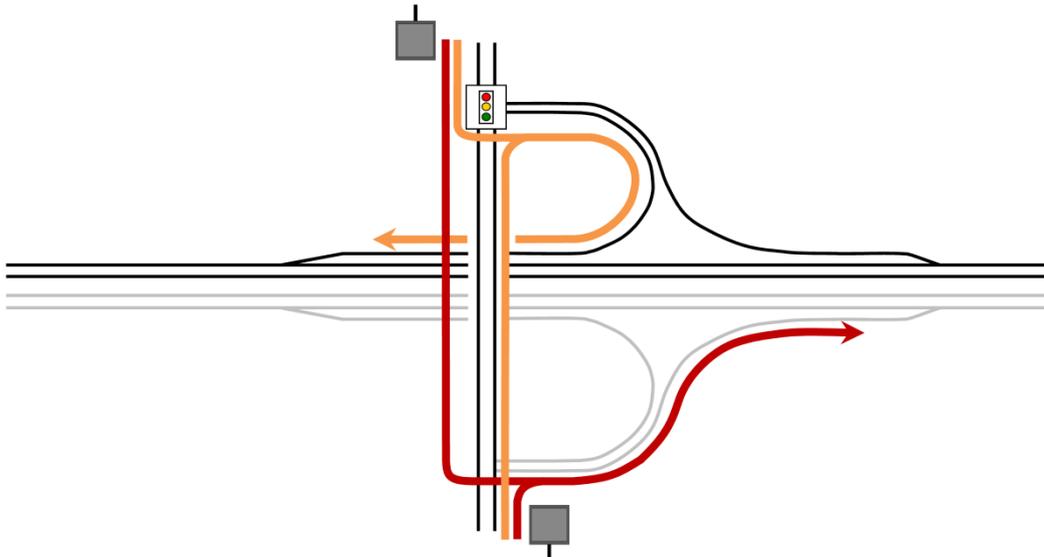


Abb. 8.1 Einsatz von Verkehrsinformationsdisplays im Anschlussbereich; Anwendung für beide Richtungen

9 Monitoring

Ein Monitoring dient der Überprüfung der Verkehrsqualität und der Rückstaulängen am Sekundärknoten im laufenden Betrieb.

9.1 Grundsätze

An jedem Sekundärknoten soll die Überprüfung innerhalb von 6 Monaten nach Inbetriebnahme im Rahmen eines Monitorings durchgeführt werden. Weitere Monitoring können je nach Bedarf wiederholt werden; spätestens wenn Störungen am Knoten entstanden sind.

9.2 Spezifikationen für Sekundärknoten mit LSA

An Sekundärknoten mit LSA liegt ein höherer Monitoring-Bedarf vor als bei Knoten ohne LSA und bei Knoten mit Kreisverkehr. Gleichzeitig verfügen Sekundärknoten mit LSA über eine höhere Ausrüstung mit Betriebsmitteln, die eine automatische Erfassung von Daten ermöglichen.

Es werden zwei Arten von Monitoring unterschieden:

- **Basis-Monitoring:**
Im Basis-Monitoring erfolgt eine Überprüfung der LSA nach verkehrlichen und verkehrstechnischen Aspekten. Beobachtungen aller Verkehrsströme (MIV, ÖV, LV), der Stauhäufigkeit und der Koordination zu den Nachbaranlagen liefern die Grundlagen für die Einschätzung der Qualität des Verkehrsablaufs und für die Entwicklung von Verbesserungsvorschlägen. Massgebende Anpassungen an der Steuerung werden dokumentiert. Weiter werden Unfälle und Anlage-Störungen sowie Beschwerden festgehalten. Die Aufgaben des Basis-Monitorings werden vertraglich mit den Kantonen geregelt (Leistungsvereinbarung LSA).
- **Monitoring bei Bedarf:**
Damit die Qualität des Verkehrsablaufes detailliert beurteilt und allfällige weitere Analysen durchgeführt werden können, sind detaillierte Daten notwendig. Dazu benötigt das ASTRA vor allem Daten der LSA (Prozess-, Betriebs-, Versorgungsdaten, etc.) und bei Bedarf weitere Daten aus dem Wirkungssperimeter. Die Daten werden gemäss bilateraler Absprache zwischen dem ASTRA und dem Kanton übergeben.
Über Art und Umfang der Möglichkeiten, der automatisierten Datenaufbereitung sowie der Finanzierung stimmen sich die Vertragspartner bilateral ab.

Anhänge

I	Verkehrserfassung (Detektoren)	25
I.1	Anmeldedetektor	25
I.2	Verlängerungsdetektor	25
I.3	Voranmeldedetektor	25
I.4	Staudetektoren	26
I.5	Kombinierte Stau- und Zähl-detektoren	29
I.6	Rotlichtdetektor	30
II	Makroskopische Steuerungsebene	31
II.1	Aktivierung der Signalprogramme.....	31
II.2	Betriebsarten	31
II.3	Teilknotensteuerung.....	31
II.4	Signalprogramme	31
III	Mikroskopische Steuerungsebene	33
III.1	Steuerungsverfahren.....	33
III.2	Phasentrennung.....	33
III.3	Minimale Grünzeiten	33
III.4	Maximale Grünzeiten	34
III.5	Koordination von Verkehrsströmen und Strassenzügen	35
III.6	ÖV-Privilegierung	36
III.7	Ausfahrtsbewirtschaftung.....	36
III.8	Berücksichtigung LV	37
III.9	Notfallphasen für Blaulichtorganisation.....	37

I Verkehrserfassung (Detektoren)

Das ASTRA sieht für die Steuerung und Zählung des Verkehrs den Einsatz von Detektoren und deren Positionierung wie folgt vor:

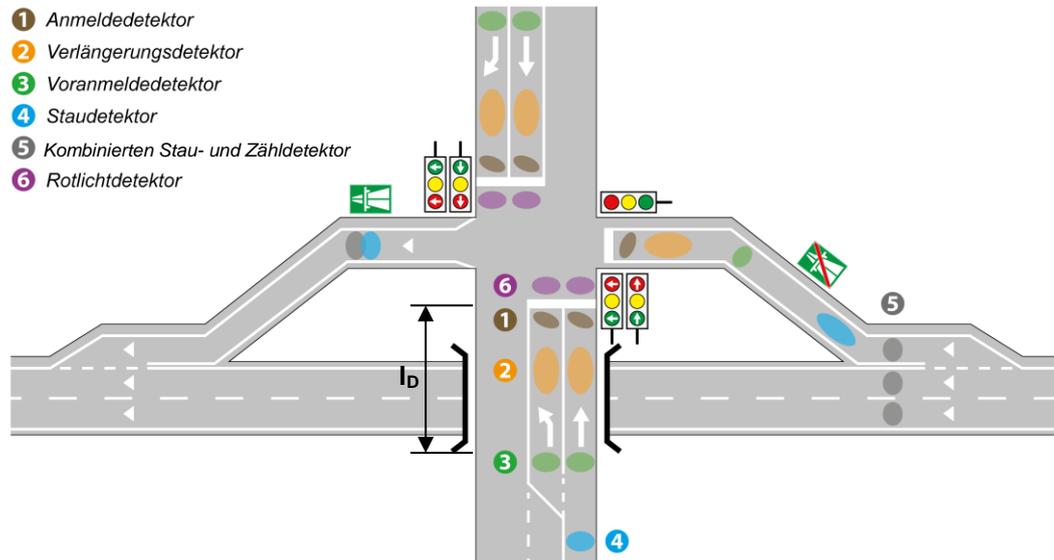


Abb. I.1 Schematische Übersicht der LSA-Detektoren.

In der Folge werden die Funktionen der Detektoren beschrieben, und Anforderungen an die Positionierung werden gestellt.

I.1 Anmeldedetektor

Der **Anmeldedetektor** ❶ dient der Anforderung der Freigabezeit und der Detektion von wartenden Fahrzeugen an der Haltelinie. Ihr Abstand zur Haltelinie beträgt 1 m. Bei Störung des Detektors meldet die Auswerteeinheit eine Dauerbelegung.

I.2 Verlängerungsdetektor

Der **Verlängerungsdetektor** ❷ zur Bemessung der Grünzeit liegt unmittelbar vor dem Anmeldedetektor. Er detektiert die Anwesenheit von Fahrzeugen im vorderen Zufahrtsbereich. Sein Abstand zur Anforderungsdetektor beträgt 1 m. Solange er belegt ist, kann eine Verlängerung der Grünzeit erfolgen. Bei Störung des Detektors darf die Auswerteeinheit keine Dauerbelegung absetzen.

I.3 Voranmeldedetektor

Der **Voranmeldedetektor** ❸ ist im hinteren Zufahrtsbereich in Abhängigkeit der Zeitlückenwerte und der signalisierten Geschwindigkeit einzurichten. Er dient dazu, dass Fahrzeuge den Knoten in Nebenverkehrszeiten ohne Halt und mit gleichmässiger Geschwindigkeit passieren können. Ferner dient er der Bemessung der Grünzeiten (Verlängerung bzw. Abbruch der Grünzeit durch das Zeitlückenverfahren). Er ist somit redundant zum Verlängerungsdetektor. Bei Störung des Detektors darf die Auswerteeinheit keine Dauerbelegung absetzen. Der Abstand des Detektors von der Haltelinie ergibt sich wie folgt:

Tab. I.2 Detektorabstände l_D bei der Bemessung mit Zeitlücken.

V	Detektorabstand bei	
	ZL = 2 s	ZL = 3 s
30 km/h	15 m	25 m
40 km/h	20 m	35 m
50 km/h	30 m	40 m
60 km/h	35 m	50 m
70 km/h	40 m	60 m

I.4 Staudetektoren

Staudetektoren ④ sind grundsätzlich überall dort vorzusehen, wo die 95%-Rückstaulänge bei Rot-Ende das Ende des verfügbaren Stauraums in der Zufahrt erreicht bzw. überschreitet. Dadurch kann ein anwachsender Rückstau auf dem entsprechenden Streifen vermieden werden. Dies kann bei kurzen Abbiegerstreifen oder kurzen Knotenabständen vor allem in den Spitzenstunden der Fall sein. Unerlässlich sind Staudetektoren auf den Ausfahrtsrampen von NS-Anschlüssen. Über sie werden die Belegungsdauer und der Belegungsgrad erfasst. Bei Störung des Detektors darf die Auswerteeinheit keine Dauerbelegung absetzen. Das Absetzen einer Störmeldung ist zwingend. Die Störungsbeseitigung ist mit höchster Priorität durchzuführen.

Rückstaus auf den Ausfahrtsrampen, die sich über die geometrische Nase (siehe SN 640 854a „Markierungen; Anordnung auf Autobahnen und Autostrassen“ [21]) hinaus auf den Verzögerungsstreifen ausweiten, sind zwingend zu vermeiden. Dazu sind zwischen der Haltelinie und der physischen Nase pro Fahrstreifen zwingend Staudetektoren vorzusehen. Die Positionierung der Staudetektoren ist entweder über ein iteratives Berechnungsverfahren zu ermitteln, oder sie richtet sich nach lokal geltenden Standards.

Die Schritte des iterativen Berechnungsverfahrens werden nachfolgend beschrieben. Dabei sind die massgebenden Zielkenngrößen der iterativen Berechnung die Teilstrecken d_1 und d_2 , die wie folgt definiert sind:

- d_1 = Abstand von geometrische Nase bis Staudetektor = Stauraum ST_1
- d_2 = Abstand von Staudetektor bis Haltelinie = Stauraum ST_2

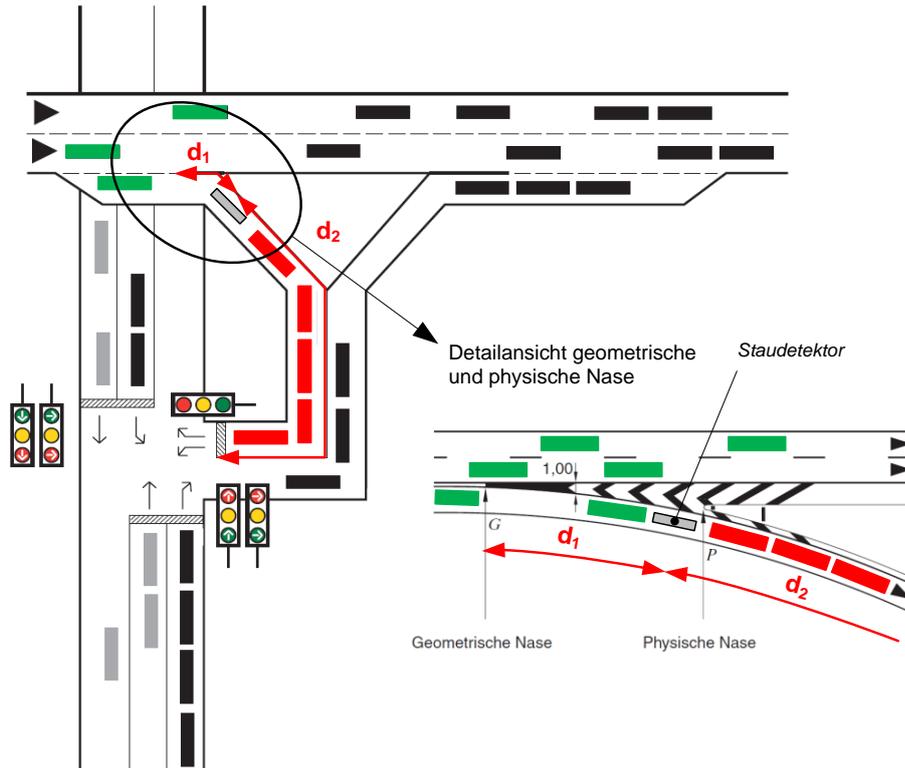


Abb. I.3 Stauräume auf der Ausfahrtsrampe und Positionierung Staudetektoren.

Die Summe der beiden Abstände d_1 und d_2 entspricht dem maximalen Stauraum der Rampe d_{ges} . Die Überstauung von d_{ges} gilt es zu vermeiden. Daraus abgeleitet ergibt sich die Zielbedingung der Iteration:

$$d_{ges} \cong d_1 + d_2 \text{ [m]}$$

Als Eingangsgröße für d_2 empfiehlt sich der Abstand zwischen Haltelinie und physischer Nase. Aus d_2 lässt sich die Anzahl der Fahrzeuge berechnen, die sich im Stauraum befinden. Die Fahrzeuge werden mit Personenwageneinheiten (PWE) mit einer Länge von 6 m gleichgesetzt. Unter der Annahme, dass sich jedes Fahrzeug mit einem Zeitversatz t_v von 0.75 - 1.25 s (Reaktions- und Auswirkdauer) auf das Vorderfahrzeug ab Grünbeginn in Bewegung setzt, kann die Gesamtzeit für das Wirksamwerden des Abflusses am Staudetektor-Querschnitt berechnet werden. Der Zeitversatz t_v kann mit 1 s angenommen werden. Daraus ergibt sich eine Gesamtversatzzeit $t_{2.1}$.

$$t_{2.1} = \text{Anzahl Fahrzeuge} * t_v \text{ [s]}$$

Zu $t_{2.1}$ müssen die Belegungsdauer $t_{2.2}$, die als Schwellenwert zur Erfüllung des Staukriteriums definiert ist, sowie die Zeitspanne $t_{2.3}$, die bis zum Beginn der Phase der Rampenräumung vergeht, addiert werden.

Für $t_{2.2}$ empfiehlt sich folgender Wert anzusetzen:

$$t_{2.2} = 4 \text{ s}$$

Die Belegungsdauer ist die hinreichende Bedingung des Staukriteriums. Als notwendige Bedingung muss ergänzend der Schwellenwert des geglätteten Belegungsgrades (Ermittlung siehe Kap. 7.4.4) erfüllt sein. Dieser muss innerhalb eines parametrierbaren Zeitintervalls erreicht oder überschritten werden. Der Belegungsgrad ist als veränderbarer Parameter in der Steuerung zu hinterlegen.

Für $t_{2.3}$ empfiehlt sich folgender Wert anzusetzen:

$$t_{2.3} = 15 \text{ s}$$

Die 15 s berücksichtigen, dass bei Eintritt des Staus noch zwei Phasenwechsel und der Ablauf der Mindestgrünzeiten erfolgen muss, bevor die Räumphase eingeleitet werden kann.

Somit ergibt sich folgende Gesamtdauer ab Staudetektion bis zum Wirksamwerden des Abflusses am Staudetektor-Querschnitt:

$$t_2 = t_{2.1} + t_{2.2} + t_{2.3} \text{ [s]}$$

Über die Dauer t_2 kann die Stauraumlänge d_1 ermittelt werden. Die Berechnung erfolgt unter der Annahme, dass im gleichen Zeitintervall ($t_1 = t_2$) weitere Fahrzeuge von der NS folgen und den vorgelagerten Stauraum füllen. Unter der Annahme eines gleichmässigen Zuflusses wird der Viertelstundenspitzenwert der Zuflussverkehrsstärke q_{zu} in PWE/s umgerechnet. Liegen keine exakten Daten der Viertelstundenspitze vor, wird die stündliche Bemessungsverkehrsstärke mit dem Faktor 1.2 multipliziert. Die Multiplikation von t_2 und q_{zu} sowie der Fahrzeuglänge (6m) ergibt die Stauraumlänge d_1 bzw. ST_1 .

$$d_1 = t_2 * q_{zu} * 6 \text{ [m]}$$

Die Iterationsschritte sind so lange zu wiederholen, bis die Zielbedingung $d_{ges} \equiv d_1 + d_2$ erfüllt ist. Wenn $d_1 \geq 100$ m ist, muss nach 80 m ein zusätzlicher Staudetektor angebracht werden. Über den Staudetektor kann die maximale Grünzeit stufenweise erhöht werden.

Gemäss SN 640 854a „Markierungen; Anordnung auf Autobahnen und Autostrassen“ [21] ist bei Ausfahrten auf einer Länge von 30 m vor der geometrischen Nase eine Doppelmarkierung angebracht. Diese setzt sich aus einer Sicherheitslinie (SL) und einer Randlinie zusammen. Bei stark belasteten Anschlüssen kann die Doppellinie auf dem Verzögerungstreifen verlängert werden, wobei zusätzlich eine physische Trennung zwischen Stammstrecke und Verzögerungstreifen (z. B. Vario-Guard) einzurichten ist. In diesem Fall ist der Staudetektor fix an die geometrische Nase zu legen. Die weitere Stauerfassung erfolgt über den Zähl-detektor auf dem Verzögerungstreifen.

Ist im Ein- oder Ausfahrtsbereich der NS ein kompletter Querschnitt mit Sensoren (z. B. Rampendosierung, GH-GW-Anlagen, etc.) eingerichtet, so sind deren Impuls- und Belegungswerte parallel und in Echtzeit an das LSA-Steuergerät weiter zu leiten. Alternativ kann auch die Meldung „Stau“ weitergeleitet werden, sofern der Stau über einen entsprechenden Steuerungsalgorithmus im Querschnittssteuerkasten (QSK) oder in der übergeordneten Steuereinheit berechnet wird. In Ausnahmefällen können die Detektoren auf der NS auch direkt an das LSA-Steuergerät angeschlossen und dort ausgewertet werden. Der Stau wird nach den Kriterien gemäss Kap. 7.4.4 ermittelt.

Wird auf der NS Stau detektiert, bevor die geometrische Nase überstaut ist, kann zur Vermeidung von Ausweichverkehr im nachgelagerten Strassennetz der abfliessende Verkehr von der NS am Sekundärknoten gedrosselt werden.

Zur Überwachung des Stauraums im nachgelagerten Strassennetz (insbesondere der Knotenausfahrten in den Hauptrichtungen) sowie auf der Zufahrtsrampe zur NS können auf den kritischen Fahrstreifen mit knapp bemessenen Stauräumen weitere Staudetektoren eingesetzt werden. Die Staudetektoren sind im Rahmen der Projektierung zu definieren. Sie sind in der Knotenausfahrt so zu positionieren, dass ein Rückstau rechtzeitig vor Überstauung des Sekundärknotens erkannt wird.

I.5 Kombinierte Stau- und Zähl-detektoren

Kombinierte Stau- und Zähl-detektoren  sind überall dort vorzusehen, wo neben der Erfassung des Stauendes auch Fahrzeugzählungen durchgeführt werden sollen. Neben einer einfachen Zählung kann im Zusammenhang mit Messstellen der schweizerischen Strassenverkehrs-zählung auch eine Klassifizierung von Fahrzeugen erforderlich werden. Die Staufunktion entspricht jener der Staudetektoren. In der Regel kommt der kombinierte Stau- und Zähl-detektor auf dem Verzögerungsstreifen und zu Beginn der Einfahrtsrampe zum Einsatz. Ihre detaillierte Positionierung ergibt sich wie folgt:

Auf dem Verzögerungsstreifen, der in seiner Länge variabel ist, ist 30 m nach Beginn der Doppellinie ein kombinierter Stau- und Zähl-detektor vorzusehen. Dieser ist so einzurichten, dass die Geschwindigkeit erfasst werden kann. Seine Ausbildung und Geometrie richtet sich nach den Vorgaben der Technischen Merkblätter aus dem ASTRA Fachhandbuch BSA [24].

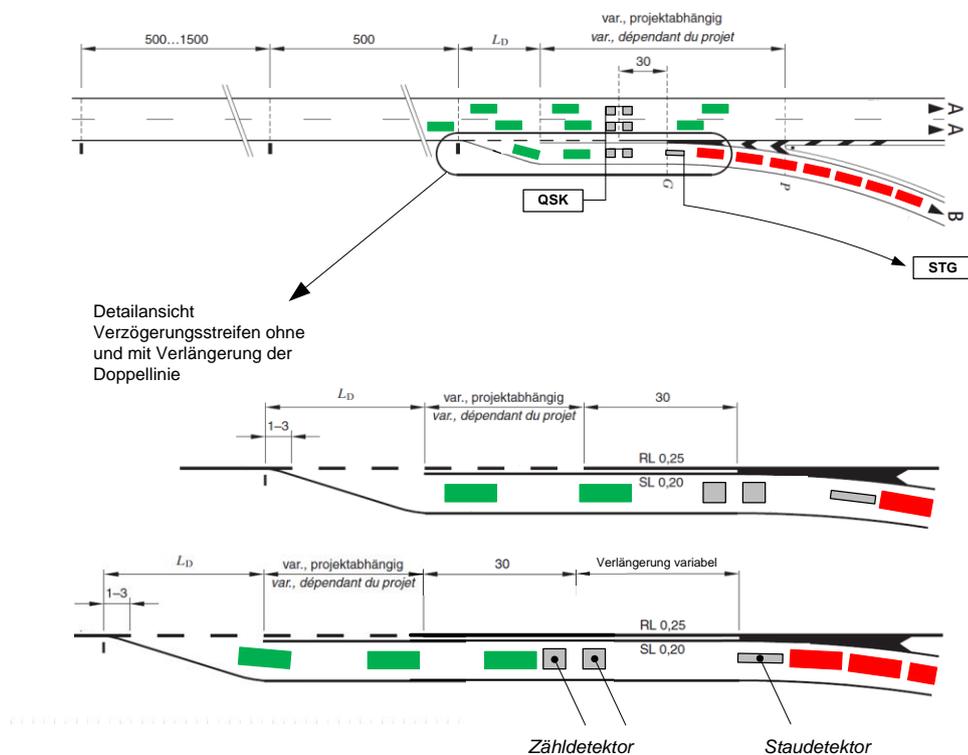


Abb. I.4 Positionierung von Staudetektor und kombiniertem Stau- und Zähl-detektor auf Verzögerungsstreifen.

Die Detektoren sollen sowohl für die Verkehrsdatenerfassung als auch für die Rückstauerfassung des Verkehrs auf die NS eingesetzt werden. Im Rahmen der Verkehrsdatenerfassung werden die Rohdaten online zur weiteren Verwendung an die VMZ-CH weitergeleitet. Für das verkehrstechnische Monitoring sollen die Daten auch für statistische Zwecke verwendet werden können. Die Stauauswertung erfolgt direkt im LSA-Steuergerät.

Bei vorhandenen Zählstellen oder Anlagen wie z. B. Rampenbewirtschaftungen oder GH-GW-Anlagen im Ein- oder Ausfahrtsbereich sind die Rohdaten in Echtzeit zu übertragen.

Auf der Einfahrtsrampe sind kombinierte Stau- und Zähl-detektoren pro Fahrstreifen vorzusehen. Sie sind am Beginn der Einfahrtsrampe an der Stelle des Querschnitts zu positionieren, an der die Regelbreite des durchgängigen Fahrstreifens erreicht wird.

I.6 Rotlichtdetektor

Rotlichtdetektor ⑥: Grundsätzlich sind alle Fahrstreifen nach der Haltelinie mit Rotlichtdetektoren auszustatten. Diese haben zwei Funktionen: Die Erfassung der nach Rotbeginn in den Knoten einfahrenden Fahrzeuge sowie die Erfassung und die Speicherung der Fahrzeuge im Steuergerät oder im Verkehrsrechner (VR) zur Ermittlung der Knotenstrombelastung.

Der Rotlichtdetektor ist im Bereich zwischen Haltelinie und Signalgeber zu positionieren. Der Mindestabstand zur Haltelinie beträgt 1 m. Falls an dieser Position Abmeldedetektoren für Notfallfahrzeuge erforderlich werden, ist der Rotlichtdetektor in Fahrtrichtung unmittelbar hinter dem Abmeldedetektor für Notfallfahrzeuge zu positionieren. Hierbei ist ebenfalls ein Mindestabstand von 1 m einzuhalten. Bei nicht signalisierten Rechtsein- oder -abbiegern ist an adäquater Position ein Detektor in gleicher Ausführung vorzusehen. Die Funktionalitäten des Detektors sind unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten für die Auswerteeinheit zu gewährleisten.

Bei der Positionierung des Rotlichtdetektors ist zu berücksichtigen, dass der Detektor nur die Fahrzeuge des jeweiligen Fahrstreifens erfasst. Sofern ein- und abbiegende Fahrzeuge in tangentialer Fahrbeziehung in das Erfassungsfeld des Detektors einfahren können, ist ein zweiter Rotlichtdetektor zur Richtungserkennung anzubringen. Die Notwendigkeit eines zweiten Rotlichtdetektors ist über eine Schleppkurvenprüfung nachzuweisen. Als Bemessungsfahrzeug ist ein Sattelschlepper zu berücksichtigen.

II Makroskopische Steuerungsebene

II.1 Aktivierung der Signalprogramme

Die Schaltung der lokal versorgten Signalprogramme kann verkehrabhängig oder zeitplanabhängig erfolgen. Bei zeitplanabhängigen Steuerungen sind die Ein- und Umschaltzeiten als Wochen- bzw. Jahresautomatik (JAUT/ WAUT) zu hinterlegen. Bei der verkehrabhängigen Steuerung werden dazu die aktuellen Verkehrsdaten ausgewertet.

II.2 Betriebsarten

Gemäss SN 640 842 „Lichtsignalanlagen – Inbetriebnahme und Betrieb“ [17] muss das Steuergerät die Schaltung folgender drei Betriebsarten ermöglichen: Normalbetrieb, gelbblinkende Lichter und Dunkel. Der Normalbetrieb kennt die automatische oder die manuelle Schaltung von Signalprogrammen. Manuelle Schaltungen müssen lokal oder von fern (Verkehrsrechnerzentrale) getätigt werden können.

Gelbblinkende Lichter können im Normalbetrieb ein gewolltes Ausschalten sein, z. B. bei Wartungsarbeiten oder im Nachtbetrieb. Der Blinkbetrieb kann zudem durch bestimmte Störungsfälle ausgelöst werden.

Dunkel als Betriebszustand kann gewünscht geschaltet oder in Folge einer gravierenden Störung ausgelöst werden. Dabei muss die Spannungsversorgung der Aussenanlage über eine entsprechende Sicherungseinrichtung abgeschaltet werden können.

In Abhängigkeit des Störungsfalles muss das Steuergerät gemäss den Vorgaben der SN 640 844-3 (EN 12675) [18] und SN EN 50556 [22] reagieren. Dies kann eine sofortige Abschaltung, die Überführung in einen sicheren Betriebs- und Signalzustand oder nur das Absetzen einer Störmeldung und Beibehaltung der aktuellen Betriebsart sein.

Beim Betriebsartenwechsel aus dem Normalbetrieb nach Gelbblinken (Ausschaltprogramm) ist zu beachten, dass eine Ausschaltung nur aus der Hauptrichtungsphase² eingeleitet wird. Alle vortrittsbelasteten Verkehrsströme müssen in dieser Phase auf Rot stehen. Nach Ablauf einer Mindestgrünzeit von 10 s beginnt der Übergang über Dunkel nach Gelbblinken.

Im Einschaltprogramm ist zu beachten, dass ab Schaltung der festen Gelbzeiten bis zur Schaltung der frühesten Grünzeit die maximale Zwischenzeit zwischen den feindlichen Verkehrsströmen abgelaufen ist.

II.3 Teilknotensteuerung

Teilknoten sind überall dort sinnvoll, wo die LSA unabhängig von der Störung bzw. des Ausfalls einzelner Teilknoten weiterbetrieben werden kann. Dies trägt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei. Teilknoten können beispielsweise sein:

- Zwei Halbanschlüsse
- Exponiert liegende Einmündungen, Verflechtungsbereiche, Fussgängerüberwege etc.
- Zu- und Abflussdosierung (Rampenbewirtschaftung)

II.4 Signalprogramme

Für jeden Knoten sind Festzeitprogramme und verkehrabhängige Signalprogramme zu planen und anzuwenden. Die Festzeitprogramme sollen als Notprogramm versorgt und beispielsweise bei Störung von Sensoren aktiviert werden können. Für jedes

² Hauptrichtung entsprechend Vortrittsregelung

verkehrsabhängige Programm soll ein Festzeitprogramm im Steuergerät hinterlegt werden, das im Störfall automatisch oder manuell aktiviert werden kann.

Eine Störung der Verkehrsabhängigkeit liegt vor, wenn eine Anforderung innerhalb einer parametrierbaren Zeit (Grundeinstellung: 2x Umlaufzeit) kein Grün erhält. In diesem Fall soll für mindestens 5 Umläufe das entsprechende Festzeitprogramm geschaltet werden können. Anschliessend erfolgt der Wechsel in den verkehrsabhängigen Modus. Tritt in der Umlaufkontrolle der gleiche Fall mehrmals auf, bleibt das Festzeitprogramm bis zur Behebung der Störung aktiv. Der Schwellenwert für diese Zählung muss ebenfalls parametrierbar sein. Er kann zunächst mit dem Wert 3 versorgt werden.

Im Steuergerät sind neben dem fixen Ein- und Ausschaltprogramm mindestens folgende verkehrsabhängigen Signalprogramme zu versorgen:

- Morgenprogramm (Abdeckung der MSP)
- Abendprogramm (Abdeckung der ASP)
- Tagesprogramm (Normalverkehrszeit)
- Nachtprogramm (Schwachverkehrszeit)

Bei aussergewöhnlichen und regelmässig auftretenden Verkehrssituationen mit punktuell starken Verkehrsspitzen (z. B. in der Nähe von Veranstaltungsorten wie Messen, Sportarenen, etc.) können Sonderprogramme mit höheren Umlaufzeiten geschaltet werden. Diese können entweder vollautomatisch oder semiautomatisch durch Verkehrsdienste oder die Polizei zentral oder vor Ort (z. B. manuelle Phasenwahl) geschaltet werden.

Das Nachtprogramm kann vollverkehrsabhängig programmiert sein. Liegt keine Anforderung vor, ist als Ruhebild eine "Alles-Rot"-Phase zu versorgen. Lässt es die Knotenpunktsituation hinsichtlich Verkehrsaufkommen, Sichtfelder sowie Kritikalität und Anzahl der Konflikte vortrittsbelasteter Verkehrsströme zu, kann die Anlage nachts in den Zustand "Aus - Gelbblinken" zu schalten. Eine Dunkelschaltung oder Schaltung in den Standbybetrieb ist für LSA-geregelte Sekundärknoten nicht vorzusehen.

Für die Signalprogramme ausserhalb der Schwachverkehrszeiten wird die Umlaufzeit in Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität (Kriterien sind Wartezeiten und Länge der Stauräume) ermittelt. Die optimale Umlaufzeit für einen koordinierten Strassenzug oder ein Strassennetz kann im Onlinebetrieb auch über einen Verkehrsrechner berechnet und adaptiv im Strassennetz geschaltet werden. Für die netzadaptive Steuerung ist der ideale Auslastungsgrad aller koordinierten Anlagen massgebend. Er soll im Falle koordinierter Anlagen 0.85 nicht überschreiten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Verkehrsqualitätsstufe soll zudem die maximale Umlaufzeit von 120 s nicht überschritten werden.

Als Testumgebung zur Prüfung der Steuerungssoftware bei komplexen und koordinierten Verkehrsknoten ist vorzugsweise ein Modellierungs- und Simulationsprogramm einzusetzen. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit über die Verlust- und die Wartezeiten sind mindestens 10 Simulationsläufe in den Spitzenstunden (MSP und ASP) durchzuführen. Zum Ausgleich der Varianz ist der Mittelwert der Ergebnisse für die Beurteilung des Knotens massgebend. Alle erforderlichen Dateien zur Modellierung und Simulation in diesen Programmen sind dem ASTRA zur Verfügung zu stellen. Die Funktionsfähigkeit und die Qualität der Signalprogramme kann auch im Rahmen der Steuergeräte-Werkprüfung geprüft werden. Dabei sind der Signalzustand und die Detektorbelegung über einen Laptop zu visualisieren. Die Daten müssen aufgezeichnet und abgespeichert werden können. Vor der Werkprüfung sind Testfälle zu definieren, mit denen die Vorgaben der zeitlichen und der logischen Bedingungen (siehe Kap. 7.4.4 Mikroskopische Steuerungsebene) geprüft werden können.

III Mikroskopische Steuerungsebene

III.1 Steuerungsverfahren

Die Neuversorgung von Signalprogrammdateien oder das Anpassen einzelner Signalprogrammparameter muss vor Ort oder über den Verkehrsrechner möglich sein.

III.2 Phasentrennung

Sofern es die Leistungsfähigkeit des Knotens zulässt, ist eine vollständige Phasentrennung nach SN 640 834 [9] für alle Signalprogramme zu planen. Zur Prüfung, ob vortrittsbelastete Verkehrsströme von Linksabbiegern gesichert in einer eigenen Phase geführt werden, sollte eine Berechnung in Anlehnung an Kap. S4.4.4 und S4.4.5 des Handbuches für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2015) [25] durchgeführt werden.

Ist die Anzahl Konfliktfälle vortrittsbelasteter Verkehrsströme gegenüber vortrittsberechtigten Verkehrsströmen > 3 , sind diese zwingend in einer eigenen Phase zu führen. Doppelspurige Abbieger werden immer konfliktfrei signalisiert. Sind aufgrund der erforderlichen Programmstrukturen (z. B. bei ungünstiger Lage des Teilpunktes bei Koordinierung) nicht mehr genügend Grünzeiten für diese Verkehrsströme vorhanden, kann eine temporäre oder dauerhafte Unterbindung von Fahrbeziehungen angeordnet werden.

III.3 Minimale Grünzeiten

Die Mindestgrünzeit von 4 s darf gemäss SN 640 837 „Übergangszeiten und Mindestzeiten“ [13] für alle Verkehrsgruppen nicht unterschritten werden. Sie entsprechen in der Steuerung dem Parameter t_{Gmin1} und sind gleichzeitig in den Sicherheitsdaten im Steuergerät fest versorgt. Ihre Unterschreitung führt zu einer Abschaltung der Anlage, sofern keine Korrektur im laufenden Betrieb herbeigeführt werden kann. Eine zweite Mindestgrünzeit t_{Gmin2} ist als verkehrstechnische Mindestgrünzeit definiert und in Abhängigkeit der vorgeschriebenen Geschwindigkeit wie folgt zu wählen:

Tab. III.1 Verkehrstechnische Mindestgrünzeit t_{Gmin2}

V	t_{Gmin2}
< 50 km/h	4 s
50 – 60 km/h	7 s
> 60 km/h	10 s

III.4 Maximale Grünzeiten

Grundsätzlich wird bei verkehrsabhängigen Signalprogrammen die Anforderung und die Bemessung der Grünzeit aller Verkehrsströme über Detektoren gemäss Kap. 7.3.2 geregelt. Die Grünzeitverlängerung pro Umlauf (Z) kann nach dem Prinzip der Zeitlückenmessung (Wert 2 - 3 s) oder der Belegungsdauer respektive des Belegungsgrades erfolgen. Die Detektorwerte sind als veränderbare Parameter zu versorgen. Die maximal möglichen Verlängerungen sind als maximale Grünzeiten im Projekt zu definieren. Sie werden ebenfalls als Parameter im Steuergerät hinterlegt. Ihre Dauer berechnet sich in Abhängigkeit der Bemessungsstärken der einzelnen Verkehrsströme und den verfügbaren Stauräumen in den Zufahrten. Jede verkehrsabhängige Steuerung muss mindestens über die nachfolgend beschriebenen 3 Maximalgrünzeiten verfügen:

t_{Gmax1}:

Nach dieser Zeit kann trotz bestehendem Verlängerungsanspruch ein Abbruch der Grünzeit erfolgen. Der Abbruch kann durch die Anmeldung eines privilegierten Fahrzeugs (ÖV) oder Verkehrsstroms erfolgen. Die Zeit ist in Abhängigkeit der stündlichen Frequenz von privilegierten Fahrzeugen zu ermitteln. Dabei sind die Zeitverluste und die Zeitgewinne gemäss Leistungsfähigkeitsnachweis SN 640 023a [7] zu ermitteln. Die Grünzeit, mit der gerade noch eine Verkehrsqualitätsstufe (VQS) D erreicht wird, entspricht t_{Gmax1}.

t_{Gmax2}:

Sofern kein Rückstau über einen Staudetektor detektiert wird, muss nach dieser Zeit zwingend der Abbruch der Grünzeit erfolgen. Die Zeit ist über die Bemessungsverkehrsstärke zu berechnen. Sie entspricht bei koordinierten Programmen dem absoluten Rahmenende.

t_{Gmax3}:

Sobald ein Rückstau über einen Staudetektor detektiert wird, muss die maximale Grünzeit zwingend auf t_{Gmax3} erhöht werden. Der Wechsel in die Phase mit abfliessendem Verkehr von der NS hat dabei schnellst möglich zu erfolgen. Bei singulären LSA ohne Koordination mit benachbarten LSA kann der Phasenwechsel (Phasensprung) unmittelbar nach Ablauf der Mindestgrünzeit t_{Gmin1} geschaltet werden. Bei koordinierten LSA ist der Phasenwechsel zu einem für den koordinierten Verkehrsfluss frühestens verträglichen Zeitpunkt zu schalten. Dabei muss die Steuerung die Verlängerung der Umlaufzeit oder das kurzzeitige Verlassen des Rahmensignalplans bei Koordination ermöglichen. Der Abfluss der Fahrzeuge auf der Rampe in das nachgelagerte Strassen-netz muss grundsätzlich gewährleistet sein.

t_{Gmax1} und t_{Gmax2} können jederzeit abgebrochen werden, wenn kein Verlängerungsanspruch mehr besteht, t_{Gmax3} hingegen nicht. Der Grünzeitbeginn wird entweder vollverkehrsabhängig oder durch den Rahmensignalplan vorgegeben

Die nachfolgende Berechnung der maximalen Grünzeiten t_{Gmax2} und t_{Gmax3} ist am Fallbeispiel abfliessender Verkehr von der NS aufgezeigt. Die Bedingungen können auch für alle anderen Verkehrsströme angewendet werden.

t_{Gmax2} ist in Abhängigkeit der Bemessungsverkehrsstärke auf den einzelnen Fahrstreifen (FS) der Ausfahrtsrampe Q_{FS, Rampe} in PWE/h und des Zeitbedarfswertes t_B in s/PWE zu ermitteln. t_{Gmax2} wird dabei wie folgt berechnet:

$$t_{Gmax2} = Q_{FS, Rampe} * Z/3600 * t_B [s]$$

Der genaue Zeitbedarfswert t_B ist vor Ort zu ermitteln. Bei Neubauprojekten kann er gemäss SN 640 835 [10] berechnet werden. t_B entspricht dabei der Sättigung S [PWE/h] des Fahrstreifens. Mit dem berechneten Wert t_{Gmax2} ist in Abhängigkeit der Umlaufzeit eine mittlere Wartezeit w_m nachzuweisen, die gemäss SN 640 023a [7] einer Verkehrsqualitätsstufe (VQS) D oder besser entspricht.

Sobald auf der Rampe Stau detektiert wird, muss die höhere maximale Grünzeit $t_{G_{max3}}$ aktiviert werden. Als Staukriterium muss die hinreichende Bedingung der Belegungsdauer sowie die notwendige Bedingung des Belegungsgrades erfüllt sein. Beide sind als veränderbare Parameter im Steuergerät zu hinterlegen.

Als Grundversorgung für die Belegungsdauer sind 4 s anzusetzen. Das entspricht der Überfahrt einer Langschleife von 5 m durch eine PWE (6 m) mit 10 km/h. Wird die Belegungsdauer aufgrund der Topologie (Steigung) und der Rampengeometrie (enge Radien) bereits durch langsam fahrende LW erreicht, muss dieser Wert erhöht werden. Damit das Staukriterium nicht durch einzelne Fahrzeuge anspricht, muss als notwendige Bedingung noch der obere Schwellwert eines definierten Belegungsgrades überschritten werden. Der Belegungsgrad B_{AG} ist über folgendes Glättungsverfahren zu berechnen:

$$B_{AG} = [((B_G * GF) + (B_A * (100 - GF)))/100]/I_T [\%]$$

B_{AG} :	aktueller geglätteter Belegungsgrad
B_G :	letzter Belegungsgrad geglättet
B_A :	aktueller Belegungsgrad aus dem letzten Intervall
GF :	Glättungsfaktor (0 – 100)
I_T :	Zeitintervall

Als Grundversorgung kann für das Zeitintervall ein Wert von 20 s parametrisiert werden. Der obere Schwellwert für B_{AG} ist mit 50 % anzusetzen. Die notwendige Bedingung für das Staukriterium ist solange erfüllt, bis B_{AG} einen bestimmten Wert unterschreitet. Dieser zweiter Parameter (unterer Schwellwert) kann mit 20 % angesetzt werden.

Die Grünzeit $t_{G_{max3}}$ wird aus der maximalen Anzahl PWE im Stauraum d_2 und dem Zeitbedarfswert t_B berechnet:

$$t_{G_{max3}} = d_2 / I_{PWE} * t_B \text{ [s]}$$

Sind auf der Ausfahrtsrampe weitere Staudetektoren vorhanden (siehe Kap. 7.3.2), kann die maximale Grünzeit über eine weitere Zwischenstufe $t_{G_{max}}$ erhöht werden.

Über $t_{G_{max3}}$ wird die gesamte Rampe geräumt. Dabei kann bei koordinierten LSA die Umlaufzeit bis auf 120 s gedehnt und der Rahmensignalplan verlassen werden. Nach Ablauf von $t_{G_{max3}}$ kann bei singulären LSA der Rücksprung in die Ausgangsphase erfolgen.

Folgende beiden Ereignisse können einen frühzeitigen Abbruch von allen maximalen Grünzeiten ($t_{G_{max1-3}}$) herbeiführen:

- Anmeldung von Notfallfahrzeugen
- Rückstau im nachgelagerten Strassennetz

Phasen mit Freigabe der Ausfahrtsrampen können auch im Ereignisfall (z. B. Zwangsräumung eines unmittelbar vor der Ausfahrt gelegenen NS-Tunnel) bis zu ihrer manuellen Rücknahme angehalten werden.

III.5 Koordination von Verkehrsströmen und Strassenzügen

Der abfliessende Verkehrsstrom von der NS ist am Sekundärknoten grundsätzlich in die Koordination (Grüne-Welle-Band) des nachgelagerten Strassennetzes einzubinden. Ist die Hauptverkehrsachse im nachgelagerten Strassennetz bereits nach der Methode der Teilpunktreserven gemäss SN 640 840 [16] koordiniert, ist der abfliessende Verkehrsstrom von der NS möglichst als Vorlaufversatz in das Grüne-Welle-Band zu integrieren.

Bei einer koordinierten LSA darf der Auslastungsgrad den Wert 0.85 nicht überschreiten. Der Koordinierung und damit dem Verkehrsfluss auf der Hauptachse zwischen den Ein-

und den Ausfahrtsrampen ist eine höhere Priorität beizumessen als den querenden Verkehrsströmen.

III.6 ÖV-Privilegierung

Einrichtungen zur ÖV-Privilegierung können auf Wunsch der Verkehrsbetriebe bzw. der Betreiber eingesetzt werden. Grundsätzlich ist bei der Planung nachzuweisen, welche Auswirkungen die ÖV-Privilegierung auf die Verkehrsqualitätsstufe (VSQ) hat (siehe auch SN 640839 [15]). ÖV-Eingriffe dürfen nicht zur Verschlechterung der Verkehrsqualität einzelner Fahrstreifen in Stufe F führen. Werden Zufahrten gezielt als Rückstauräume zur Umsetzung der verkehrlichen Leitsätze genutzt, kann von dieser Vorgabe abgewichen werden.

Die Art der Privilegierung richtet sich nach der Verkehrsqualitätsstufe (VQS) der einzelnen Fahrstreifen am Sekundärknoten. Bis Verkehrsqualitätsstufe (VQS) C sind alle Arten der Privilegierung (Nachlauf + Zwischenphase + Vorlauf) erlaubt. Ab Erreichen der Stufe D sollen nur noch weiche Vor- und Nachläufe von Phasen mit ÖV geschaltet werden. Das Gleiche gilt für den Fall, dass der Auslastungsgrad des Knotens den Wert 0.85 erreicht oder übersteigt. Koordinierte Verkehrsströme des MIV dürfen nicht unterbrochen werden. Der Verkehrsfluss auf der Hauptachse des nachgelagerten Strassennetzes, insbesondere innerhalb der Ein- und Ausfahrten, ist gemäss den verkehrlichen Leitsätzen aufrecht zu erhalten.

Die ÖV-Privilegierung muss automatisch deaktiviert werden können, sobald das Staukriterium auf der Ausfahrtsrampe (siehe Kap. 7.3.2) erfüllt ist. Bei einem Stauereignis auf der NS, das nicht durch Rückstau am Sekundärknoten verursacht wurde (siehe Kap. 7.3.2), kann die ÖV-Privilegierung hingegen aktiv bleiben.

Die Grünzeitverluste pro Umlauf in Folge einer ÖV-Privilegierung sind vorrangig auf jene Verkehrsströme umzulegen, die ihrerseits durch ÖV-Privilegierung in Folgeumläufe Grünzeitgewinne erzielen können. Ist dies nicht möglich, sollen die Grünzeitverluste gleichmässig auf alle Verkehrsströme verteilt werden. Die Verluste sind möglichst proportional zu verteilen. Es dürfen sich keine einseitigen und gravierenden Benachteiligungen für andere Verkehrsteilnehmenden ergeben. Bei Verkehrsströmen, die von keinen Grünzeitgewinnen profitieren, ist die Grünzeit gemäss SN 640 023a [7] bereits in der verkehrstechnischen Planung zu erhöhen.

ÖV-Fahrzeuge melden sich in der Regel unmittelbar nach Passieren der Haltelinie aktiv ab. Für anstehende Anmeldungen muss spätestens nach Ablauf von 240 s eine Zwangsabmeldung erfolgen. Dieser Zeitwert muss als Parameter einstellbar sein.

III.7 Ausfahrtsbewirtschaftung

Ausfahrtsbewirtschaftung erfolgt grundsätzlich am Sekundärknoten und erfordert eine Koordination zwischen dem Bund und dem Kanton oder der Stadt. Eine Abflussregulierung kann in beiden „Richtungen“ wirken: zur Vermeidung von Rückstau auf die NS; zur Verhinderung von Ausweichverkehr vom HLS- auf das HVS-Netz.

Grundsätzlich sind folgende Typen unterscheidbar:

- Typ Ableiten/Abfliessen des Verkehrs (spezielles Programm an LSA notwendig)³
- Typ Dosierung I (ohne Stau auf NS): Ungeregelten Abfluss auf nachgelagertes Strassennetz verhindern, Stauraum auf Ausfahrtsstreifen nötig, Videoüberwachung und Sensoren sowie ggf. Verkehrsinformation nötig (nachgelagertes Strassennetz ist Verursacher)
- Typ Dosieren II (bei Stau auf NS): Ungeregelten Abfluss auf nachgelagertes Strassennetz verhindern (NS ist Verursacherin)

³ In gewissen Fällen kann das Ableiten auch manuell durch Polizei bei einem Ereignis (Blockade) auf der Nationalstrasse, Sperrung Nationalstrasse insbesondere vor Tunnel erfolgen.

III.8 Berücksichtigung LV

Die mittlere Wartezeiten von Fussgängern und Fahrradfahrenden soll möglichst gering gehalten werden. Um eine ausreichende Verkehrsqualitätsstufe (VQS) sicherstellen zu können, soll diese bei Fussgängern 30 s und bei Fahrradfahrenden 45 s nicht überschreiten.

Wenn vortrittsbelastete Abbieger des MIV gleichzeitig mit vortrittsberechtigten Verkehrsströmen des LV (Velos oder Fussgänger) in einer Phase geschaltet werden, ist in der Steuerung durch einen entsprechenden Zeitversatz dafür zu sorgen, dass der LV vor dem MIV die gemeinsame Konfliktfläche erreicht. Die Fussgänger sind durch einen Wechselblinker bis zur vollständigen Räumung der Konfliktfläche zu schützen.

Bei hintereinanderliegenden Fussgängerübergängen ist nach Möglichkeit ein gemeinsamer Grünbeginn und ein gemeinsames Grünende zu schalten. Grundsätzlich soll der LV in einem Zuge die Fahrbahn überqueren können. Das ist bei Querung der Hauptrichtung insbesondere bei koordinierten Hauptverkehrsströmen nicht immer möglich. Sofern LV-Teilnehmende auf einem Fahrbahnteiler regelmässig warten müssen, soll dieser mindestens 2.00 m tief und 4.00 m breit sein. Nutzen Fahrradfahrende den Fussgängerübergang mit, muss die Tiefe des Fahrbahnteilers mindestens 2.50 m betragen.

Die verkehrstechnische Mindestgrünzeit t_{Gmin2} ist so zu wählen, dass Fussgänger mit einer Geschwindigkeit von 1.2 m/s mindestens 2/3 der Übergangslänge bzw. 1 m nach dem Fahrbahnteiler erreichen. Schulkinder und gehbehinderte Menschen können die Mindestgrünzeit über einen separaten Anforderungsknopf verlängern. Der Berechnung der Mindestgrünzeit liegt dann eine Geschwindigkeit von 0.8 - 1.0 m/s zugrunde.

III.9 Notfallphasen für Blaulichtorganisation

Einrichtungen zur Privilegierung von Einsatzfahrzeuge können auf Wunsch der Blaulichtorganisationen bzw. der Betreiber eingesetzt werden. Bei der Planung ist nachzuweisen, dass ein Bedarf vorhanden ist und dass für die Blaulichtorganisation ein massgebender Nutzen erzielt werden kann.

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Bedeutung
ASP	Abendspitzenstunde
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BSA	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DWV	Durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke
FS	Fahrstreifen
GH-GW	Geschwindigkeitsharmonisierung Gefahrenwarnung
HLS	Hochleistungsstrasse
HVS	Hauptverkehrsstrasse
LSA	Lichtsignalanlage
LV	Langsamverkehr
LW	Lastwagen
MISTRA	Management Informationssystem Strasse und Strassenverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSP	Morgenspitzenstunde
MSV	massgebender stündlicher Verkehr
NS	Nationalstrassen
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PWE/h	Personenwageneinheit pro Stunde
QSK	Querschnittssteuerkasten
SN	Schweizer Norm
SSV	Signalisationsverordnung
ST _{RE95}	95%-Rückstaulänge bei Rot-Ende
VM	Verkehrsmanagement
VM-CH	Verkehrsmanagement in der Schweiz
VMP	Verkehrsmanagementplan
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz
VQS	Verkehrsqualitätsstufe
VR	Verkehrsrechner
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VT	Verkehrstechnik
VUGIS	ASTRA/ MISTRA Fachapplikation Verkehrsunfälle - Auswertungen mit GIS

Glossar

Begriff	Bedeutung
Alternativroute	Alternative zu einer Stammroute. Die Stammroute bleibt befahrbar.
Nationalstrassen 1. Klasse	Ausschliesslich für die Benützung mit Motorfahrzeugen bestimmt und nur an besonderen Anschlussstellen zugänglich. Sie weisen für beide Richtungen getrennte Fahrbahnen auf und werden nicht höhengleich gekreuzt.
Nationalstrassen 2. Klasse	Übrigen, ausschliesslich dem Verkehr der Motorfahrzeuge offenen Nationalstrassen, die nur an besonderen Anschlussstellen zugänglich sind. Sie werden in der Regel nicht höhengleich gekreuzt.
Nationalstrassen 3. Klasse	Stehen auch andern Strassenbenützern offen. Wo die Verhältnisse es gestatten, sind Ortsdurchfahrten und höhengleiche Kreuzungen zu vermeiden.
Sekundärknoten	Knoten am Übergang zwischen Hochleistungsstrasse und Hauptverkehrsstrasse
Stammroute	Signalisierte Route, wo der Betriebszustand der Grundzustand ist.
Umleitungsrout	Umleitung zu einer Stammroute. Die Stammroute ist nicht mehr befahrbar oder die Verlustzeit ist grösser als der Umweg über eine verfügbare Umleitungsrout.

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1979), „**Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV)**“, SR 741.21, www.admin.ch.

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Verkehrsmanagement auf Nationalstrassen (Kopfrichtlinie VM-NS)**“, Richtlinie ASTRA 15003, V2.00, www.astra.admin.ch.
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2018), „**Rampenbewirtschaftung**“, Richtlinie ASTRA 15015, V1.00, www.astra.admin.ch.

Normen

- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1988), „**Verkehrserhebungen; Verkehrszählungen**“, SN 640002.
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999), „**Massgebender Verkehr**“, SN 640016a.
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999), „**Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage**“, SN 640022.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008), „**Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Lichtsignalanlagen**“, SN 640023a.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten mit Kreisverkehr**“, SN 640024a.
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1996), „**Lichtsignalanlagen; Phasentrennung, inkl. Beilage**“, SN 640834.
- [10] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1997), „**Lichtsignalanlagen; Abschätzen der Leistungsfähigkeit**“, SN 640835.
- [11] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1994), „**Gestaltung der Signalgeber**“, SN 640836.
- [12] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2018), „**Lichtsignalanlagen; Zusatzeinrichtungen für Sehbehinderte**“, SN 640836-1.
- [13] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2015), „**Lichtsignalanlagen - Übergangszeiten und Mindestzeiten**“, SN 640837.
- [14] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1992), „**Lichtsignalanlagen; Zwischenzeiten**“, SN 640838.
- [15] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2003), „**Lichtsignalanlagen; Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen**“, SN 640839.
- [16] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1971), „**Lichtsignalanlagen; Koordination in Strassenzügen mit der Methode der Teilpunktreserven**“, SN 640840.
- [17] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2015), „**Lichtsignalanlagen - Inbetriebnahme und Betrieb**“, SN 640842.
- [18] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2001), „**Steuergeräte für Lichtsignalanlagen – Funktionale Sicherheitsanforderungen**“, SN 640844-3.
- [19] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1995), „**Signale; Anordnung an Haupt- und Nebenstrassen**“, SN 640846.
- [20] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999), „**Signale; Anordnung an Kreisverkehrsplätzen**“, SN 640847.
- [21] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2009), „**Markierungen; Anordnung auf Autobahnen und Autostrassen**“, SN 640854a.
- [22] Schweizerische Elektrotechnische Komitee CES (2011), „**Strassenverkehrs-Signalanlagen**“, SN EN 50556.

Fachhandbuch des ASTRA

[23] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen**“, *Fachhandbuch ASTRA 23001*, V3.10, www.astra.admin.ch.

[24] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Verkehrszähler mit Induktionsschleifen Typ Marksman**“, *Merkblatt ASTRA 23001-11450*, V1.10, www.astra.admin.ch.

Dokumentation

[25] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (2015), „**Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)**“

[26] Forschungsbericht VSS 2008/304, „**Dynamische Signalisierungen an Hauptverkehrsstrassen**“, *Oktober 2012*.

[27] Velokonferenz Schweiz, „**Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)**“, *Juni 2012*, www.velokonferenz.ch

[28] Velokonferenz Schweiz, „**Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen**“, *in Vorbereitung*

[29] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (2010), „**RiLSA - Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr**“

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2018	1.00	01.04.2018	Inkrafttreten Ausgabe 2018 (original Version in Deutsch).

