



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen**

**Functional requirements for traffic collection systems  
relating to traffic lights**

**Exigences fonctionelles en matière de systèmes de dé-  
tection du trafic en rapport avec les installations de feux  
de circulation**

**Marty + Partner AG, Zollikon**  
**R. Büttler**  
**U. Reding**  
**P. Dieringer**

**bcBJ – bureau conseil Burnand Jacques, Echallens**  
**J. Burnand**

**Studio d'ingegneria Mauro Ferella Falda, Breganzona**  
**M. Ferella Falda**

**Forschungsauftrag VSS 2007/303 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS)**



## Impressum

### Forschungsstelle und Projektteam

R. Bütler	Marty + Partner AG
J. Burnand	bcBJ - bureau conseil Burnand Jacques
M. Ferella Falda	Studio d'ingegneria
U. Reding	Marty + Partner AG
P. Dieringer	Marty + Partner AG

### Begleitkommission

K.-J. Heine (Präsident)  
J. Christen  
S. Grahl  
M. Schmid  
C. Huber  
G. Meng  
R. Siegrist

### Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

### Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

## Inhaltsverzeichnis

### Zusammenfassung / Abstract / Résumé

1	Ausgangslage und Ziele .....	1
1.1	Ausgangslage .....	1
1.2	Ziele .....	1
1.3	Vorgehen.....	2
2	Grundlagen und Anforderungen .....	3
2.1	Kenngrossen des Verkehrsablaufs.....	3
2.2	Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme .....	3
2.3	Auswertung und Darstellung der Messergebnisse .....	4
2.3.1	Verkehrsbeeinflussungs- und Steuerungssysteme .....	4
2.3.2	Verkehrsdatenerfassung.....	4
2.4	Anforderungen an Verkehrsdaten bei Lichtsignalanlagen.....	5
2.5	Anforderungen an Verkehrsdaten bei Rampenbewirtschaftungen.....	7
2.6	Anforderungen an Verkehrsdaten bei Tunnelsteuerungen.....	7
3	Datenerfassung und -übermittlung .....	9
3.1	Informationsfluss.....	9
3.2	Fehlerarten im Informationsfluss .....	9
3.2.1	Erfassung der Verkehrsdaten.....	10
3.2.2	Verkehrsdatenübermittlung .....	11
3.2.3	Aufbereitung und Entscheidung .....	11
3.3	Funktionale Anforderung an die Verkehrserfassung .....	11
3.3.1	Anforderungen an die Qualität der Verkehrsdaten.....	12
3.3.2	Verhalten der Erfassungssysteme bei Fehlern .....	13
4	Verkehrserfassungssysteme .....	14
4.1	Übersicht.....	14
4.2	Systeme zur Detektion.....	15
4.2.1	Induktionsschleife .....	15
4.2.2	Magnetfeldsensoren .....	20
4.2.3	Drucksysteme .....	22
4.2.4	Fussgängerdrücker.....	23
4.2.5	Video-Erfassung .....	26
4.2.6	Infrarot-Erfassung .....	27
4.2.7	Laser-Erfassung .....	29
4.2.8	Radar-Erfassung.....	30
4.2.9	Funk-Erfassung .....	31
4.2.10	Ultraschall-Erfassung.....	32
4.2.11	Kombinierte Systeme.....	33
4.2.12	Weitere Erfassungssysteme .....	33
4.3	Zusammenfassung der aktuellen Erfassungssysteme .....	33
4.4	Systemwahlmatrizen zu den Erfassungssystemen .....	35
4.4.1	Einsetzbarkeit für Verkehrsregelungssysteme .....	36
4.4.2	Einsetzbarkeit für Verkehrsteilnehmer.....	37

4.4.3	Erfassungsfunktionen der Verkehrserfassungssysteme .....	37
4.4.4	Einsatzmöglichkeit der Erfassungssysteme .....	38
4.4.5	Fazit und Eignung der Erfassungssysteme .....	39
4.5	Künftige Systeme der Fahrzeugdetektion .....	40
4.5.1	Mobile Erfassungssysteme .....	41
4.5.2	Externe Erfassungssysteme .....	43
4.5.3	Zukünftige Datenauswertungssysteme .....	43
5	Umfrage zur Verkehrserfassung .....	45
5.1	Struktur der Umfrage .....	45
5.2	Regionale Verteilung der Betreiber .....	46
5.3	Zuständigkeitsgebiet der Betreiber .....	46
5.4	Klassifikation der Steuerungsarten .....	47
6	Ergebnisse der Umfrage .....	49
6.1	Fahrzeuge .....	49
6.1.1	Induktionsschleifen .....	49
6.1.2	Radar .....	51
6.1.3	Infrarot .....	53
6.1.4	Videoerfassung .....	54
6.1.5	Andere Systeme .....	56
6.1.6	Zusammenfassung Fahrzeuge .....	56
6.2	Fussgänger / Behinderte .....	58
6.2.1	Drücker .....	58
6.2.2	Andere Systeme .....	59
6.3	ÖV / Notruffahrzeuge .....	59
6.3.1	Induktionsschleifen .....	59
6.3.2	Funk .....	61
6.3.3	Infrarot .....	63
6.3.4	Andere Systeme .....	63
6.3.5	Zusammenfassung ÖV / Notruffahrzeuge .....	63
6.4	Bedarf für Verbesserungen aus der Sicht der Betreiber .....	65
6.5	Fazit der Umfrage .....	65
7	Feldversuch 1 .....	67
7.1	Ziele der Feldversuche .....	67
7.2	Vorgehen .....	68
7.2.1	Versuchsanordnung .....	68
7.2.2	Fahstreifenführung und Brückenbereich .....	68
7.2.3	Auswertekriterien .....	69
7.2.4	Versuchsdurchführung .....	69
7.3	Eingesetzte Verkehrserfassungssysteme .....	69
7.3.1	Induktionsschleifen .....	69
7.3.2	Lasererfassung .....	71
7.3.3	Videoerfassung .....	72
7.3.4	Magnetfeldsensor .....	74
7.4	Auswertungen des Feldversuchs 1 im LSA - Bereich .....	75

7.4.1	Induktionsschleifen .....	76
7.4.2	Videoerfassung .....	77
7.4.3	Lasererfassung .....	80
7.4.4	Systemvergleich .....	82
7.4.5	Fazit .....	82
7.5	Auswertungen des Feldversuchs 1 im Brücken – Bereich .....	83
7.5.1	Induktionsschleifen .....	83
7.5.2	Magnetfeldsensor .....	83
7.5.3	Systemvergleich .....	84
7.5.4	Fazit .....	84
8	Feldversuch 2 .....	86
8.1	Ziel des Feldversuchs .....	86
8.2	Vorgehen .....	86
8.2.1	Versuchsanordnung .....	86
8.2.2	Topographische Begebenheiten .....	86
8.2.3	Auswertekriterien .....	87
8.2.4	Versuchsdurchführung .....	87
8.3	Eingesetzte Verkehrserfassungssysteme .....	87
8.3.1	Induktionsschleifen .....	88
8.3.2	Videoerfassung .....	89
8.4	Ergebnisse des Feldversuch 2 .....	90
9	Erläuterungen für die Praxis .....	92
9.1	Erkenntnisse .....	92
9.2	Folgerungen .....	92
9.3	Situationsgerechter Einsatz .....	93
10	Grundlagen für die Normung .....	96
	Abkürzungen .....	97
	Literaturverzeichnis .....	98
	Projektabschluss .....	100

## Anhang

- Detaillierte Systemwahlmatrizen

Anhang A

## Zusammenfassung

Um die Funktionalität von verkehrsabhängig gesteuerten Verkehrsregelungssystemen wie Lichtsignalanlagen optimal zu erfüllen, ist eine funktionierende und zuverlässige Verkehrserfassung unabdingbar. Das exakte Erfassen des Verkehrsgeschehens ist somit eine wichtige und notwendige Voraussetzung für einen verkehrsgerechten Ablauf. Verkehrserfassungssysteme müssen daher in der Lage sein, jederzeit und ohne Verzögerung Informationen über den Erfassungsbereich aufnehmen und auswerten zu können. Neben der einwandfreien Erfassung der Verkehrssituation muss auch eine fehlerfreie Übermittlung und Aufbereitung der erfassten Verkehrsdaten garantiert werden. Die Anforderungen an die Erfassungssysteme unterscheiden sich für die Einsatzgebiete Lichtsignalanlage, Rampenbewirtschaftung und Tunnelsteuerungen. Im Fokus dieser Forschungsarbeit liegen die funktionalen Anforderungen der Erfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen.

Aktuell auf dem Markt erhältliche Verkehrserfassungssysteme umfassen eine Vielzahl von unterschiedlichen Technologien, welche für die direkte Beeinflussung an Lichtsignalanlagen (Mikrosteuerung) in Frage kommen. Induktionsschleifen, Magnetfeldsensoren, Radar-, Laser- und Videoerfassung wurden im Hinblick auf deren Funktionalität, Erfassungsgebiet, Einbau und Ausrichtung sowie deren Vor- und Nachteile untersucht. Ein einzelnes Erfassungssystem deckt in keinem Fall den gesamten Anforderungskatalog ab, kann jedoch spezifisch verschiedene Verkehrsteilnehmerkategorien in unterschiedlichen Situationen erfassen. Alle Erfassungstechnologien weisen typische Einsatzgebiete auf. Zum Suchen des geeigneten Verkehrserfassungssystems wurden Systemwahlmatrizen entwickelt. Jedes Erfassungssystem wurde auf die Einsetzbarkeit für unterschiedliche Verkehrsteilnehmerkategorien, deren Funktionen wie Erfassung bzw. Anmeldung, Verlängerung bzw. Dimensionierung der Grünzeit, Stau und Ereigniserfassung sowie Nutzungseinschränkungen geprüft. Aus den Erkenntnissen dieser Untersuchungen wurden die Systemwahlmatrizen abgeleitet. Neben den konventionellen Verkehrserfassungssystemen, welche Einfluss auf die Mikrosteuerung einer Lichtsignalanlage nehmen, werden künftig auch mobile und externe Erfassungssysteme für die Makrosteuerung eingesetzt. Diese führen zusammen mit speziellen Datenauswertungssystemen zu neuen Dimensionen in der Fahrzeugdetektion und der Verkehrsflusserfassung. Floating Phone Data, Floating Car Data sowie weitere Erfassungssysteme wurden beschrieben und künftige Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt.

Anhand einer Umfrage bei den Betreibern von Lichtsignalanlagen in der Schweiz konnte ein aktuelles Bild der eingesetzten Verkehrserfassungssysteme erstellt werden. Trotz vielen alternativen Technologien werden mit Abstand am häufigsten (98%) Induktionsschleifen zum Erfassen der verschiedenen Fahrzeuge eingesetzt. Alternativen dazu sind momentan nur bei speziellen Anwendungen im Einsatz. Bei der Erfassung von Fußgängern werden vorwiegend Drücker und Drücker mit Blindentaster eingesetzt. Die Umfrage zeigte, dass die Betreiber den jahrelang bewährten Erfassungssystemen gegenüber den neueren Systemen den Vorzug geben.

Die Durchführung der Feldversuche ermöglichte einen direkten Vergleich von unterschiedlichen Verkehrserfassungssystemen unter denselben Bedingungen. Bei den Versuchen wurden Induktionsschleifen, Laserscanner, Video und Magnetfeldsensoren hinsichtlich

deren Möglichkeiten und Grenzen im Bereich der Fahrzeugerkennung untersucht. Induktionsschleifen wurden aufgrund ihres langjährigen und bewährten Einsatzes im Hinblick auf Verkehrserfassungssysteme für diesen Feldversuch als Referenzsystem eingesetzt und mit den alternativen Systemen verglichen.

Die Versuche im näheren Knotenbereich zeigten, dass Induktionsschleifen und die alternativen Erfassungssysteme Video und Laserscanner eine hohe Zuverlässigkeit von über 99.5% aufwiesen und Fehlanmeldungen selten auftraten.

Im Brückenbereich (Detektion von Stauereignissen unter erschwerten Bedingungen) zeigten die Magnetfeldsensoren eine zu den Induktionsschleifen vergleichbare Zuverlässigkeit von rund 97%. Die Fehlanmeldungen lagen bei rund 3%.

Die untersuchten Erfassungssysteme Laserscanner, Video und Magnetfeldsensoren zeigten vergleichbare Resultate gegenüber den Induktionsschleifen. Da diese Systeme verschiedene Nutzungseinschränkungen aufweisen, sind sie nicht generell als Ersatz der Induktionsschleifen zu verwenden.

Die vielseitig verwendbaren Induktionsschleifen zeigen in Bezug auf Zuverlässigkeit, Detektionsgenauigkeit, Lebensdauer und ökonomische Aspekte gegenüber den alternativen Systemen im Gesamtbild bessere Werte auf, aufgrund dessen sie in vielen Belangen bevorzugt einzusetzen sind.

Die verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Verkehrserfassungssysteme können, in ihrem spezifischen Einsatzgebiet verwendet, für eine einwandfreie Erfassung des Verkehrsgeschehens und somit für einen verkehrsgerechten Ablauf sowie einen sichereren und effizienten Betrieb der Lichtsignalanlagen sorgen.

## Abstract

In order to accomplish the functionality of traffic-dependent control systems such as light-signaling systems, an operative and reliable traffic monitoring is indispensable. The accurate acquisition of the traffic status is an important and necessary requirement for a traffic-fulfilled progress. Therefore the traffic monitoring systems have to be able to record and analyze the information of a realtime coverage, without any time delay. Among of faultless monitoring of the traffic situation an accurate transmission and preparation of the collected traffic data should be guaranteed. The requirements for traffic collection systems differ between various traffic regulation systems, such as traffic lights, ramp metering systems or tunnel control systems. The focus of this reaserch project deals with the functional requirements for traffic collection systems relating to traffic lights.

Todays available traffic collection systems on the market contain various different technologies, which are qualified to influence a traffic light directly (micro-control). Inductive loops, magnetic field sensors, radar, laser and video coverage are just a few traffic collection systems which were analysed in functionality, detection area, installation and alignment as well as in advantages and disadvantages. On no account, a single collection system covers all the requirements, nevertheless possesses the ability to detect specific traffic participants, such as pedestrians, in particular disabled persons, two-wheelers, motor vehicles, ambulance vehicles and public transportation, in various traffic situations. It turned out that every traffic collection technology has its typical operational area, where their strengths become important. In order to search an optimal traffic collection system, so called system selection matrices were developed. Each collection system was examined on the versatility for different traffic participants, whose function of collection such as detection respectively registration, prolongation respectively dimensioning of the green phases, jam and event detection as well as limitations of utilization. Out of these perceptions the selection matrices were derived.

Next to conventional traffic monitoring systems, which influence the mirco-control of traffic lights, in the future mobile and external monitoring systems for macro-control will be applied. Together with special data evaluation systems, they lead to new dimensions in traffic and flow detection. Floating phone data, flotation car data as well as additional research and development projects were annotated and their future areas of application were discussed.

Based on a survey at the operators of traffic lights in Switzerland, the current situation of appointed traffic collection systems was analysed. In spite of various alternative technologies, inductive loops are still appointed in most cases (98%). Alternatives to it were used just for special applications. For the detection of pedestrians, mainly pressing buttons and buttons for particular disabled persons were appointed. The survey showed that the operators prefer the established traffic collection systems compared to new ones.

The application of the field experiments enabled a direct comparison of the various traffic collection systems on equal conditions. Inductive loops, magnetic field sensors, video and laser detection systems were evaluated regarding the possibilities and limits in the range of vehicle detection. As a consequence of their reliability and long-standing operation, the inductive loops were set as reference system and were compared with the alternative systems.

The experiments in the area of the traffic lights showed, that the alternative collection systems as video and laser exhibits a reliability of over 99.5% and fault detections occur only rarely.

In the detection area of a bridge (detection of jam events under difficult conditions) magnetic field detectors achieved a comparable reliability of some 97%. Fault detections were occurred in a frequency of 3%.

The considered collection systems: laser, video and magnetic field sensors showed comparable results in contrast to inductive loops. It should be considered, that these systems exhibit some limitations of utilization and in general could not be used as a replacement of inductive loops.

The versatile inductive loops showed much better results relating to reliability detection accuracy, lifetime and economical aspects and were preferred in many applications.

The various available traffic collection systems can, if used in their specific operational area, provide a faultless detection of the traffic situation. Hence a secure and efficient operation of traffic lights could be guaranteed.

## Résumé

Une surveillance effective et fiable du trafic est indispensable pour garantir les fonctionnalités des systèmes de régulation du trafic tels que les installations de feux de circulation. L'acquisition exacte de l'état du trafic est une condition indispensable pour assurer un fonctionnement dépendant du trafic. Par conséquent, les systèmes de détection du trafic doivent pouvoir, immédiatement en temps réel, enregistrer et analyser les informations des zones de détection. En plus d'une surveillance parfaite du trafic, une transmission et une préparation précise des données recueillies doivent être garanties. Les exigences pour les systèmes de détection du trafic diffèrent pour les installations de feux de circulation, les systèmes de rampe d'accès ou la commande des tunnels. Ce projet de recherche se concentre sur les exigences fonctionnelles des systèmes de détection pour les installations de feux de circulation.

Les systèmes de détection du trafic, actuellement disponibles sur le marché, englobent une multitude de technologies entrant en compte pour l'influence directe des feux de circulation (micro régulation). Les systèmes de boucles de détection inductives, de senseurs de champ magnétique, de radars, de lasers et de vidéos ont été analysés sous les aspects fonctionnalité, champ d'utilisation, installation et réglage, ainsi que avantages/inconvénients. Dans aucun cas, un seul système de détection est capable de couvrir l'ensemble des besoins, mais il peut spécifiquement détecter certaines catégories d'utilisateurs dans différentes situations. Toutes les technologies de détection possèdent un domaine d'application typique. Une matrice de choix a été développée pour faciliter la recherche du système optimal de détection. Chaque système de détection a été examiné pour sa polyvalence avec les différentes catégories d'utilisateurs du trafic, ses fonctions de saisie, respectivement d'annonce, de prolongation, respectivement de dimensionnement, des phases vertes, de congestions et de détection d'événements aussi bien que ses limitations d'utilisation. Les résultats de ces analyses ont permis de créer les matrices de choix systèmes. À l'avenir, à côté des systèmes de détection conventionnels influençant la micro-régulation des feux de circulation, des systèmes mobiles et externes de détection seront nécessaires à la macro-régulation. Cela apportera, en conjonction avec des systèmes spéciaux d'évaluation des données, de nouvelles dimensions dans la détection des véhicules et de l'état du trafic. Le Floating Phone Data, le Floating Car Data ainsi que d'autres systèmes d'acquisition sont décrits et leurs futurs domaines d'application discutés.

Un relevé des systèmes de détection du trafic en service a pu être établi au moyen d'un questionnaire envoyé aux opérateurs suisses des feux de circulation. Malgré les nombreuses technologies alternatives à disposition, les boucles inductives pour la détection des véhicules restent, de loin, la solution la plus utilisée (98%). Actuellement, les solutions alternatives ne sont employées que pour les applications spéciales. La détection des piétons s'effectue en majorité au moyen de boutons poussoirs ou de boutons poussoirs avec touche aveugle. Le questionnaire a montré que les opérateurs donnent la préférence aux systèmes de détection du trafic éprouvés par rapport aux systèmes plus récents.

Les essais sur le terrain ont permis une comparaison directe des différents systèmes de détection dans des conditions identiques. Les tests ont permis d'évaluer les possibilités et les

limites des boucles inductives, des scanners laser, de la vidéo et des senseurs magnétiques pour la détection des véhicules. Les boucles inductives, du fait de la longue expérience d'utilisation dans les systèmes de détection du trafic, ont servi de système de référence et ont été comparées aux systèmes alternatifs.

Les essais dans les zones rapprochées du carrefour ont montré que les boucles inductives et les systèmes alternatifs de saisie vidéo et de scanner laser offraient une fiabilité élevée de plus de 99.5% et que des fausses annonces étaient rares.

Dans la zone située sur un pont (détection des congestions dans des conditions difficiles) les senseurs de champ magnétique ont montré une fiabilité, comparable aux boucles inductives, d'environ 97%. Les fausses annonces se sont élevées à environ 3%.

Les essais des systèmes de scanners laser, de vidéo et de senseurs de champ magnétique ont montré des résultats comparables aux boucles inductives. Comme ces systèmes présentent diverses restrictions d'utilisation, ils ne peuvent généralement pas remplacer les boucles inductives.

Les boucles inductives montrent, en comparaison aux systèmes alternatifs, des résultats plus élevés en ce qui concerne la fiabilité, la précision de la détection, la durée de vie et les aspects économiques, ce qui en fait le choix préférentiel dans de nombreuses applications.

Les divers systèmes de détection du trafic disponibles sur le marché peuvent, s'ils sont utilisés dans leur domaine d'application spécifique, fournir une détection parfaite du trafic, et par conséquent, assurer un déroulement conforme à celui-ci, ainsi qu'un fonctionnement sûr et efficace des feux de circulation.

# 1 AUSGANGSLAGE UND ZIELE

---

## 1.1 Ausgangslage

Verkehrserfassungssysteme sind bis heute in Bezug auf die verkehrstechnische Anwendung bei Lichtsignalanlagen nicht genormt. Die verschiedenen Systeme haben durch ihre Vor- und Nachteile entsprechende Anwendungsbereiche, in welchen sie ihre Stärken ausspielen können. Dies bedingt aber, dass in allen Phasen der Projektierung und Realisierung Festlegungen und Entscheide korrekt getroffen werden können. Neben der Erfassung des aktuellen technischen Standes geht es auch darum, künftige Entwicklungen abzuschätzen bzw. den Rahmen und Anspruch von Seiten der Verkehrstechnik zu definieren.

Selbst bei den heute weit verbreiteten Anwendungen von Verkehrserfassungssystemen bei verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen besteht Bedarf an Forschung und Information.

## 1.2 Ziele

Moderne, verkehrsabhängig gesteuerte Verkehrsregelungssysteme wie Lichtsignalanlagen sind auf eine einwandfreie Erfassung des Verkehrsgeschehens angewiesen. Eine zuverlässige, exakte Erfassung ist eine wichtige Voraussetzung für einen verkehrsgerechten Ablauf. Die Erfassungsmittel übernehmen vier Funktionen, die Erfassung bzw. Anmeldung von neu ankommenden Verkehrsteilnehmer, die Dimensionierung bzw. Verlängerung der Grünzeiten, sowie die Stau- und Ereigniserfassung. Dabei sollen Fehlanmeldungen vermieden und Nichtanmeldungen ausgeschlossen werden. Bezüglich der Phasen-Verlängerung haben die Erfassungsmittel die Grundlagen einer optimalen Beendigung der Grünphase zu liefern.

Je nach Verkehrsart gibt es verschiedene mögliche Erfassungssysteme. Der Typ des Erfassungssystems ist abhängig von der Art der Verkehrsdaten, die man erfassen will. Bei den Lichtsignalanlagen steht die momentane Erfassung (Zeitpunkt) eines Verkehrsteilnehmers im Vordergrund. Die Detektion des Fahrzeugtyps ist in der Regel von untergeordneter Bedeutung. Voraussetzungen für zuverlässige Verkehrsdaten sind jedoch die richtige Wahl der Erfassungssysteme und seiner fachlichen Installation.

Die neueren Technologien von Erfassungssystemen müssen auf ihr Einsatzgebiet untersucht werden.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Grundlagenerarbeitung für die zweckmässige Verkehrserfassung in den Einsatzgebieten Lichtsignalanlagen, Rampenbewirtschaftung und Tunnelsteuerungen auf National- und Staatsstrassen.

Es werden wissenschaftliche Grundlagen für die Normung erarbeitet. Zudem werden allfällig notwendige Revisionsvorschläge für die vorhandenen Normen erstellt.

Das Projekt ist Bestandteil des Forschungsbündels „Verkehrsregelungssysteme“.

### 1.3 Vorgehen

Auf der Basis der Literaturlauswertung werden unter Berücksichtigung der Einsatzbereiche die Anforderungen an die Verkehrserfassung festgelegt. Diese dienen als Grundlage für die Systemübersicht sowie zur Durchführung der Feldversuche. Anhand einer Umfrage bei den Betreibern können die Einsatzhäufigkeit, die Wirkung sowie eine Beurteilung der eingesetzten Systeme analysiert und beurteilt werden.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse sind die Einsatzkriterien, die Genauigkeit sowie die Randbedingungen für die einzelnen Messsysteme in Bezug auf die verschiedenen Verkehrsteilnehmer wie Fahrzeuge (MIV), Zweiräder, Fussgänger, Behinderte, öffentlicher Verkehr (öV) und Notfallfahrzeuge aufzuzeigen. In Abbildung 1 ist das Vorgehen schematisch dargestellt.

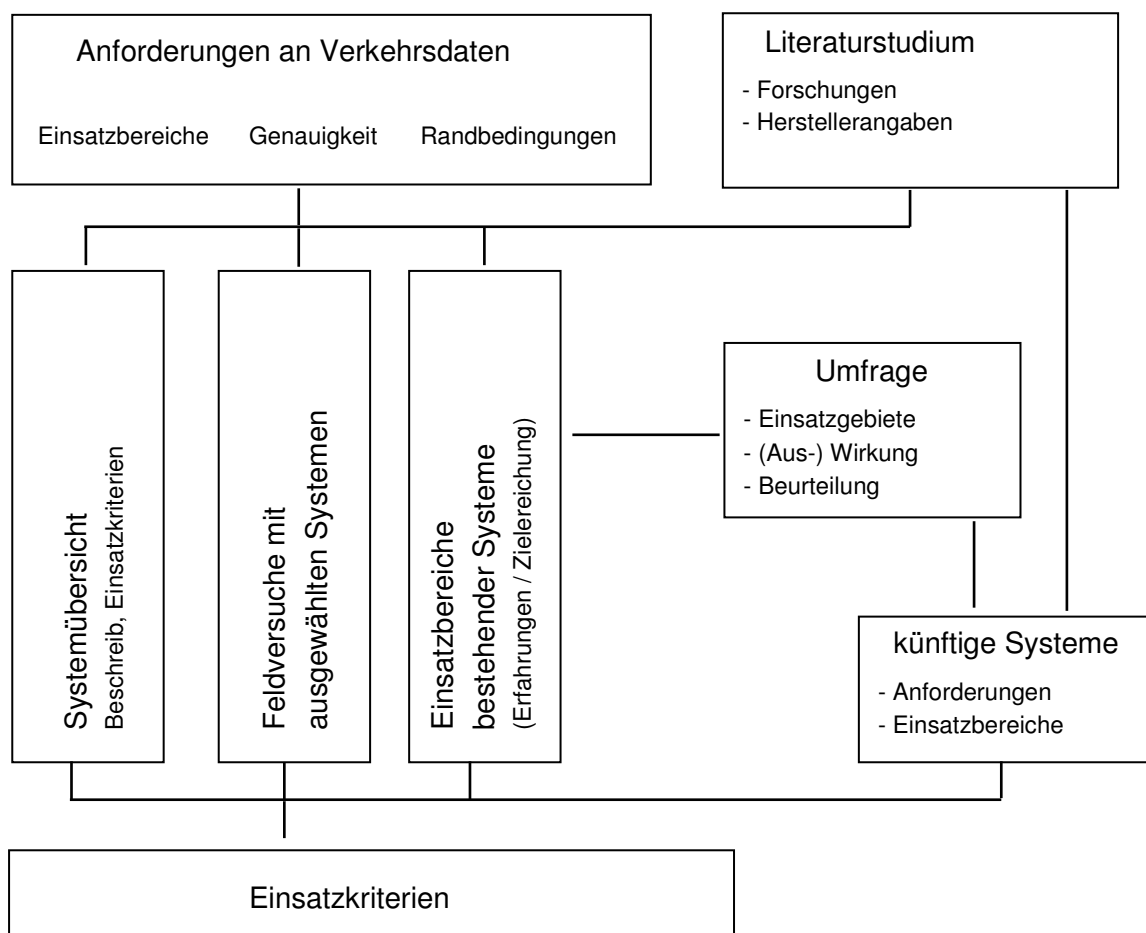


Abbildung 1: schematisches Vorgehen

## 2 GRUNDLAGEN UND ANFORDERUNGEN

### 2.1 Kenngrößen des Verkehrsablaufs

Die Bewegung der Verkehrsteilnehmer lassen sich grundsätzlich in ihrer räumlichen Veränderung zu einem bestimmten Zeitpunkt (momentane Erfassung), ihrer zeitlichen Veränderung an einem bestimmten Querschnitt (lokale Erfassung) oder an deren Kombination (räumlich-zeitliche Erfassung) beschreiben. Dementsprechend dienen zum Darstellen des Verkehrsablaufes die folgenden Kenngrößen:

- Zeit- und Weggrößen:                      Zeit ( $t$ ), Zeitabstand ( $\Delta t$ ), Weg ( $s$ ), Wegabstand ( $\Delta s$ )
- Geschwindigkeitsgrößen:                Geschwindigkeit Einzelfahrzeug, gemittelte Geschwindigkeiten
- Verkehrsgrößen:                            Verkehrsstärke  $q$  (= Anzahl Fz / Zeit), Verkehrsdichte  $k$  (= Anzahl Fz / Strecke), Verkehrszusammensetzung

Ein vollständiges Bild über die Geschwindigkeitsverläufe mehrerer Verkehrsteilnehmer ist nur aus einem Weg-Zeit-Diagramm ersichtlich. Da die Erhebung dieser Diagramme sehr aufwendig ist, werden in der Praxis vorwiegend lokale Messungen angewendet. Aus diesen Messungen kann die Anzahl Verkehrsteilnehmer in einem Zeitintervall  $t$  und die Einzelwerte der Geschwindigkeit dieser Verkehrsteilnehmer erhoben werden. Daraus lassen sich die Verkehrsstärke, die mittlere lokale Geschwindigkeit und die Streuung berechnen.

### 2.2 Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme

Für das Steuern und Lenken des Verkehrs sind die verschiedenen Anlagen auf zuverlässige Verkehrsdaten angewiesen. Für Beeinflussungs- und Steuerungsanlagen, bei denen ein rasches Erkennen von Veränderungen des Verkehrsflusses angezeigt ist, müssen die Daten zuverlässig und schnell erfasst und übermittelt werden.

Bei der Beurteilung des Verkehrsablaufs muss zwischen Strecke und Knoten unterschieden werden. Dabei werden verschiedene Kenngrößen erfasst, die den Verkehrsablauf entsprechend beschreiben. In der folgenden Tabelle sind die massgebenden Kennwerte für die Strecke und den Knoten aufgeführt.

Strecke	Knoten
- Verkehrsstärken $q$	- Verkehrsstärken $q$
- Geschwindigkeiten $v$	- Geschwindigkeiten $v$
- Geschwindigkeitsverteilung	- Folgezeitlücken $\Delta t$
- Zeitlücken $\Delta t$	- Wartezeiten $w$
- Pulkbildung	- Staulänge (Fahrzeuge)
- Verkehrsdichte $k$	- Anzahl/Häufigkeit von Haltevorgängen

*Tabelle 1: Erhebungsgrößen Strecke / Knoten*

## 2.3 Auswertung und Darstellung der Messergebnisse

### 2.3.1 Verkehrsbeeinflussungs- und Steuerungssysteme

Bei Verkehrsbeeinflussungs- und Steuerungssystemen wie Rampenbewirtschaftung und Tunnelsteuerungen werden vermehrt die Verkehrsdaten der Einzelfahrzeuge zusammengefasst und Mittelwerte über einen bestimmten Zeitintervall gebildet. Dieser variiert in der Regel zwischen 0.5 und 5.0 Minuten. In Tabelle 2 ist die Aufbereitung der Verkehrsdatenerfassung für Einzelfahrzeuge und für eine Intervallmessung dargestellt. Je nach Erfassungssystem können zudem weitere Kennwerte erfasst werden.

Einzelfahrzeugauswertung

Zeit	Länge [cm]	V [km/h]	Kat.	Zeitlücke [sec]
17:04:07.3	429	62	3	8.1
17:04:08.6	414	70	3	1.3
17:04:10.3	448	74	3	1.7
17:04:11.3	762	73	8	1.0
17:04:12.7	468	67	3	1.4
17:04:23.9	473	63	3	11.2

Intervallmesswerte (Fz/Min.)

Zeit	Anzahl [Fz/min]			Ø V [km/h]	Ø Zeitlücke [sec]
	Fz	PW	LW		
17:01	26	26	0	61.85	1.55
17:02	37	35	2	67.73	1.67
17:03	33	29	4	69.79	1.61
17:04	17	15	2	63.71	3.10
17:05	31	30	1	67.65	1.86
17:06	37	36	1	66.38	1.59

Tabelle 2: Aufbereitung der Verkehrsdaten (Einzelfahrzeuge / Intervallmessung)

### 2.3.2 Verkehrsdatenerfassung

Die Ergebnisse der Verkehrsdatenerfassung werden in der Regel als Textdiagramm aufgeführt und entsprechend gespeichert. Dabei werden die Originaldaten je nach Verwendungszweck weiter aufbereitet. In Abbildung 2 sind die Rohdaten der Verkehrsdatenerfassung mit Induktionsschleife-Erfassung dargestellt. Da die Erfassungsstelle mit einer Doppelschleife ausgerüstet ist, kann neben der Fahrzeuglänge auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs erfasst werden.

```

19770625.v05
* BEGIN
* FORMAT = VBV-1
* FORMATTER = GRFORMAT Release = 2.9
* INSTRUMENT M660 Serial = 69934 Release = 2.3.5
* FILENAME =
* SITE = 197
* LOCATION = ZH-Allmendstr. s-4
* GRIDREF =
* HEADINGS =
* STARTREC = 17:01 25/06/07
* STOPREC = 19:01 25/06/07
* BATTERY = 6.90 6.90
* SENSORS = LL LL LL LL LL LL LL LL
* DATEFORM = DD/MM/YY
* UNITS = Metric
* PRUNITS = KPH-CM-10KG
* CLASS = SWISS10
* SITE HEAD DMMYY HHMM SS HH RESCOD L D HEAD GAP SPD LENTH CS CH
197 039358 250607 1701 22 40 000000 3 1 0.0 0.0 63 470 3 L
197 039359 250607 1701 24 70 000000 3 1 2.3 2.0 66 541 5 M
197 039360 250607 1701 25 90 000000 2 1 0.0 0.0 79 417 3 L
197 039361 250607 1701 26 70 000000 3 1 2.0 1.7 59 500 3 L
197 039362 250607 1701 26 90 000000 1 1 0.0 0.0 62 487 3 VL
197 039363 250607 1701 28 00 000000 3 1 1.3 1.0 59 429 3 L
197 039364 250607 1701 29 10 000000 1 1 2.2 1.9 68 436 3 L
197 039365 250607 1701 33 00 000000 4 1 0.0 0.0 65 512 3 L
197 039366 250607 1701 34 60 000000 4 1 1.6 1.3 61 470 3 M
197 039367 250607 1701 35 80 000000 3 1 7.8 7.5 57 432 3 L
197 039368 250607 1701 37 00 000000 3 1 1.2 0.9 53 455 3 L
197 039369 250607 1701 37 30 000000 4 1 2.7 2.4 61 407 3 L
197 039370 250607 1701 40 30 000000 4 1 3.0 2.8 61 520 5 L
197 039371 250607 1701 44 10 000000 3 1 7.1 6.8 65 445 3 L
197 039372 250607 1701 47 40 000000 4 1 7.1 6.8 58 445 3 L
197 039373 250607 1701 47 80 000000 1 1 18.7 18.5 54 245 2 H
197 039374 250607 1701 48 30 000000 3 1 4.2 4.0 79 472 3 L
197 039375 250607 1701 54 90 000000 4 1 7.5 7.2 58 484 3 L
197 039376 250607 1701 56 10 000000 4 1 1.2 0.9 56 453 3 L
197 039377 250607 1701 56 00 000000 1 1 8.2 8.0 67 983 6 L
197 039378 250607 1701 57 10 000000 2 1 31.2 31.0 64 479 3 L
197 039379 250607 1701 57 10 000000 4 1 1.0 0.7 56 448 3 L
197 039380 250607 1701 58 20 000000 4 1 1.1 0.8 55 460 3 VL
197 039381 250607 1701 59 10 000000 3 1 10.8 10.6 55 422 3 VL
197 039382 250607 1701 59 90 000000 1 1 3.9 3.4 64 255 2 H
197 039383 250607 1701 59 80 000000 2 1 2.7 2.4 63 508 3 M
    
```

Abbildung 2: Rohdaten der Verkehrsdatenerfassung (Induktionsschleife)

In der Schweiz bestehen für die Kategorisierung der Fahrzeuge zehn verschiedene Kategorien (Swiss10). Die erfassten Fahrzeuge werden der entsprechenden Kategorie zugeteilt, so dass mit den Verkehrsdatenerfassungssystemen auch die Zusammensetzung des Verkehrs aufgezeigt werden kann.

In Tabelle 3 sind die verschiedenen Kategorien von Swiss 10 aufgeführt.

Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
1	Reisecar, Bus	5	Lieferwagen	8	LW
2	Motorrad	6	Lieferwagen+Anhänger	9	LW+Anhänger (Lastenzüge)
3	PW	7	Lieferwagen mit Auflieger	10	LW mit Auflieger (Sattelzüge)
4	PW+Anhänger				

Tabelle 3: Fahrzeugkategorisierung nach Swiss 10

## 2.4 Anforderungen an Verkehrsdaten bei Lichtsignalanlagen

Für das verkehrsabhängige Steuern des Verkehrs an Lichtsignalanlagen müssen die notwendigen Verkehrsdaten bei den verschiedenen Zufahrten erfasst, ausgewertet und zum Steuergerät übermittelt werden. Für einen leistungsfähigen Verkehrsablauf sollten auf einer Knotenzufahrt die Fahrzeuge an folgenden Positionen ermittelt werden können.

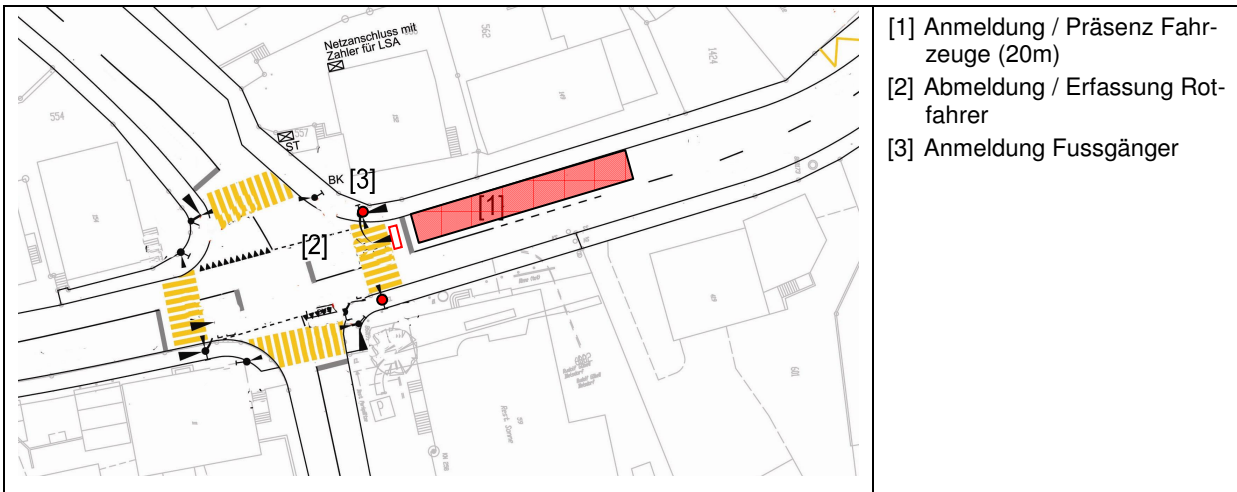


Abbildung 3: Standorte der Erfassung im Knotenbereich

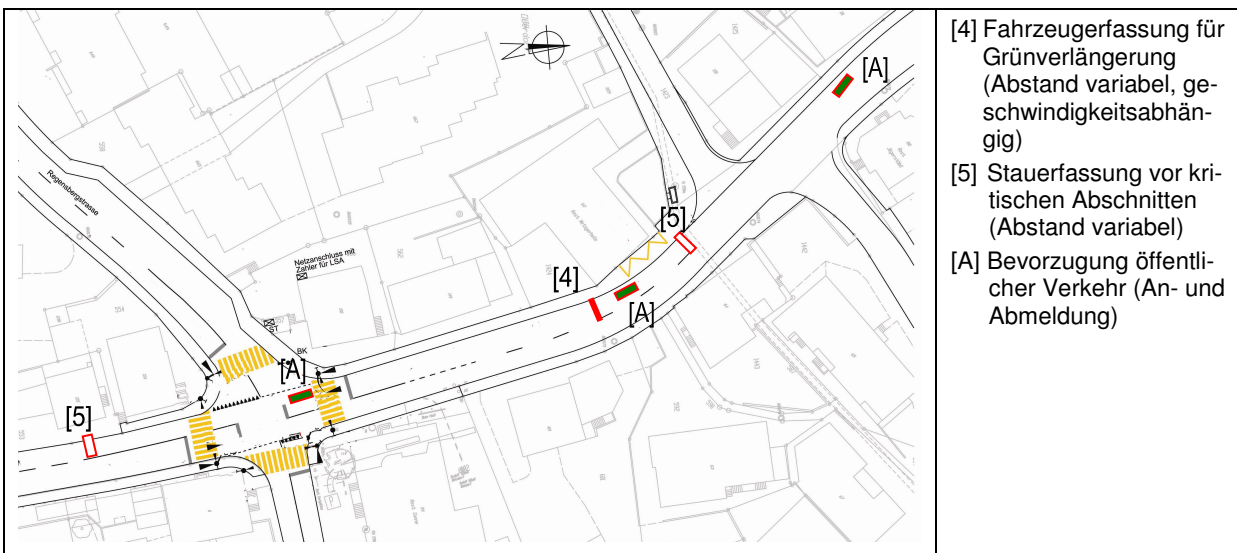


Abbildung 4: Standorte der Fahrzeugerkennung bei Knotenzufahrt

Für das verkehrabhängige Steuern des Verkehrsablaufs mit einer Lichtsignalanlage sind für jede Zufahrt jederzeit und ohne Verzögerung folgende Informationen notwendig:

Querschnitt		notwendige Information	Art der Information
1	Anmeldung / Präsenz Fz	- Registrierung von Fahrzeugen (MIV, ZR) vor der LSA	ja / nein
2	Abmeldung Fz	- Querung der Haltelinie durch Fahrzeug	Zeitpunkt
3	Anmeldung Fg	- wartender Fussgänger	ja / nein
4	Anmeldung Zufahrt	- Anmeldung eines Fahrzeug im Zufahrtsbereich	ja / nein, Zeitpunkt
5	Stau-Erkennung	- Überstauen eines kritischen Abschnittes durch wartende Fahrzeuge	ja / nein
A	OeV – Bevorzugung NF-An-/Abmeldung	- OeV-/ NF-An- und Abmeldung	ja / nein, Zeitpunkt

Tabelle 4: Erfassungsquerschnitte mit entsprechenden Informationsanforderungen

Ein Fahrzeug muss bei allen Querschnitten zuverlässig erfasst werden können. Die Kenntnis des Fahrzeugtyps (PW, LW, RF, etc.) ist jedoch beim verkehrsabhängigen Steuern einer LSA nicht notwendig.

Um einen optimalen Verkehrsfluss bei einer vollverkehrsabhängigen Einzelanlage gewährleisten zu können, reicht es nicht aus, den Verkehr im Knotenbereich zu erfassen. Die Anmeldung im Zufahrtsbereich, die Stau-Erkennung im Zufahrt- und Wegfahrtsbereich sowie die OeV-/ NF- An- und Abmeldung liefern Informationen, die für die Steuerung unabdingbar sind. Bei koordinierten Anlagen ist es teilweise möglich, die Informationen des Zufahrtsbereichs von einer benachbarten Lichtsignalanlage zu verwenden. Damit kann die Anzahl der Verkehrserfassungseinrichtungen reduziert werden.

Vielorts werden an Lichtsignalanlagen Verkehrszählungen durchgeführt. Dabei werden die Fahrzeugmengen pro Fahrstreifen aufgezeichnet und als Intervalldaten abgespeichert. Die Verkehrszählungen dienen dem Verkehrsingenieur als Planungsgrundlagen. Auch künftig werden die Verkehrszählungen für Hochrechnungen, programmierte Koordination und zur Nachadjustierung verwendet.

## 2.5 Anforderungen an Verkehrsdaten bei Rampenbewirtschaftungen

Auf der Zufahrtsrampe ist das Erfassen der Zuflussmenge zwingend erforderlich. Die notwendigen Verkehrsdaten bei einer Rampenzufahrt müssen erfasst, ausgewertet und zum Steuergerät der Rampenbewirtschaftung übermittelt werden. Für eine zuverlässige Bewirtschaftung von Zufahrtsrampen, werden Informationen zur Verkehrsstärke  $q$  und Verkehrsdichte  $k$  benötigt. Je nach Verkehrszustand, wird die Zuflussrate der Rampe erhöht oder verringert. Die Erfassungsintervalle der Verkehrsdaten liegen in der Regel bei 30 Sekunden.

Auf der Zufahrtsrampe und auf der Stammlinie werden Angaben zur Anmeldung und Abmeldung von Fahrzeugen erfasst. Zudem wird die Rückstaulänge auf der Rampe überwacht, um das Überstauen des untergeordneten Zufahrtknotens zu verhindern. Dabei müssen Fehlanmeldungen vermieden und Nichtanmeldungen ausgeschlossen werden. Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten von Rampenbewirtschaftung: **Einzelfahrzeugsteuerung**, **Pulksteuerung**. Bei der Einzelfahrzeugsteuerung, gelangen einzelne Fahrzeug auf den Beschleunigungsstreifen. Eine Pulksteuerung ist mit einer angrenzenden Lichtsignalanlage verknüpft und lässt den Verkehr in Gruppen auf den Beschleunigungsstreifen.

## 2.6 Anforderungen an Verkehrsdaten bei Tunnelsteuerungen

Die hohen Sicherheitsanforderungen für Strassentunnel setzen eine permanente Überwachung der Verkehrssituation auf allen Fahrstreifen voraus. Die Erfassung von Verkehrsdaten ist ein wichtiger Bestandteil bei Tunnelsteuerungen und dient zur Beobachtung von Ereignissen wie Stau, Unfälle, Pannenfahrzeuge und sonstigen Störfällen. Bei einem Störfall muss die Tunnelsteuerung automatisch gegen hinten absichern (Signalisation von Temporeduktio-

nen). Falls nötig, muss manuell eingegriffen und ein Fahrstreifen oder eine Tunnelröhre gesperrt bzw. eine Überleitung gestellt werden (Umschaltung des Betriebszustandes). Aus diesem Grunde muss eine frühe und zuverlässige Erfassung des Verkehrsgeschehens gewährleistet werden. Neben Geschwindigkeit  $v$ , Fahrtrichtung und Klassifizierung von Fahrzeugen, werden vor allem Ereignisse detektiert um allfällige Massnahmen einleiten zu können. Verkehrsstärke  $q$  und Verkehrsdichte  $k$  werden ebenfalls detektiert.

## 3 DATENERFASSUNG UND -ÜBERMITTLUNG

### 3.1 Informationsfluss

Die Verkehrsbeeinflussungs- und Steuerungssysteme sind auf eine einwandfreie Erfassung des Verkehrsablaufs angewiesen. Eine zuverlässige, exakte Erfassung ist eine wichtige Voraussetzung für eine verkehrsgerechte Steuerung des Verkehrsflusses. Zum Gewährleisten dieser notwendigen Grundlagen müssen aus den physikalischen Messgrößen die verkehrstechnischen Kenngrößen durch einen Detektor ermittelt, die Daten übermittelt und für die Entscheidungsfindung aufbereitet werden. Dabei wird ein weitgehend fehlerfreies Funktionieren der Verkehrserfassung, Übermittlung und Aufbereitung vorausgesetzt.

In der folgenden Abbildung ist der Informationsfluss von der Erfassung bis zum Steuerungsentscheid dargestellt. Dabei können verschiedene Fehler entstehen.

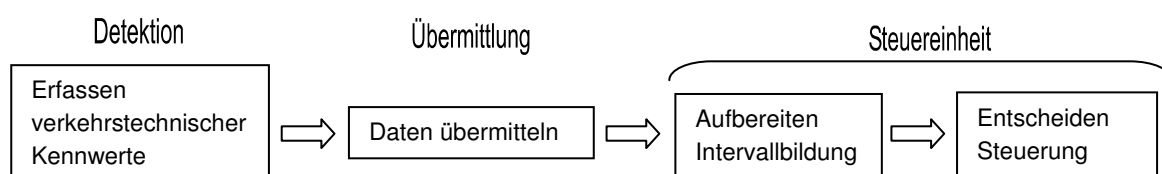


Abbildung 5: Informationsfluss Detektion - Steuerungsentscheid

Die verschiedenen Verkehrserfassungssysteme unterscheiden sich im Aufbau bzw. in der Aufgabenteilung von Detektion, Übermittlung und Aufbereitung der Daten. Dabei werden bei einigen Systemen die Detektion und Aufbereitung im selben Gerät vorgenommen und ein ausgewertetes Signal (belegt, nicht belegt) an das Steuergerät der Lichtsignalanlage übermittelt. Bei anderen Systemen werden die detektierten Werte an eine Auswerteeinheit in der Steuerkabine übermittelt, welche seinerseits die aufbereiteten Daten an das Steuergerät der Lichtsignalanlage weiterleitet.

Das Steuergerät seinerseits berechnet und steuert aufgrund der eingegangenen Signale den optimalen Verkehrsablauf. Als Schnittstelle zwischen Detektion und Steuerung gilt der Übergang von der Auswerteeinheit zum Steuergerät.

### 3.2 Fehlerarten im Informationsfluss

Neben der zuverlässigen Datenübermittlung sind auch die Kenntnisse von möglichen Fehlern und ihren Auswirkungen der verschiedenen Verkehrserfassungssysteme notwendig. Dabei können für die Fehlerbeurteilung die vier oben aufgezeigten Ebenen unterschieden werden.

Erfassen	- systematische Fehler (Planungs- oder Ausführungsfehler) - zufällige Fehler - Störungen / Ausfälle
Daten übermitteln	- Übertragungsfehler - Störungen / Ausfälle
Aufbereiten	- systematische Fehler (Planungs- oder Ausführungsfehler)
Entscheiden	- systematische Fehler (Planungs- oder Ausführungsfehler) - Fehler bei Grenz- bzw. Schwellwerten

*Tabelle 5: Fehlerarten im Informationsfluss*

Die Fehlererkennung sowie deren Behandlung bilden eine wichtige Grundlage für die Qualität einer verkehrsabhängigen Steuerung.

### 3.2.1 Erfassung der Verkehrsdaten

#### Fehlerquellen

Bei der Erfassung der Verkehrsdaten können unterschiedliche Fehler auftreten. Störungen oder Ausfälle von Detektoren, verursacht durch einen technischen Defekt oder äussere Einflüsse bewirken eine fehlerhafte, lückenhafte oder unterbrochene Erfassung des Verkehrsgeschehens.

Die Verkehrserfassungssysteme eignen sich nicht zur Erfassung jeglicher Verkehrsteilnehmer und für den Einsatz in allen Anwendungsgebieten. Falsch eingesetzte oder nicht optimal ausgerichtete Erfassungssysteme liefern fehlerhafte Daten.

Weitere Fehlerquellen sind falsche Fahrzeugerkennungen, welche unter zufällige Fehler eingeordnet werden können. Hierzu gehören Fehlanmeldungen von Verkehrsteilnehmern, welche sich auf einem benachbarten Fahrstreifen befinden und dennoch im Erfassungsbereich detektiert werden (z.B. Gegenverkehr), sowie nicht erfasste Verkehrsteilnehmer, welche sich zwar im Erfassungsbereich befinden, jedoch nicht detektiert werden.

#### Auswirkungen auf die Steuerung

Eine korrekte Auswertung der Verkehrsdaten und somit auch eine korrekte Steuerung des Verkehrsgeschehens ist bei Störungen und Ausfällen nicht gewährleistet. Mittels **Daueranmeldung** und **Ausschalten** der betroffenen Detektoren kann solchen Fehlern entgegen gewirkt werden. Daueranmeldung führt in jedem Umlauf bei den zugeordneten Signalgruppen zu einer Grünzeit. Dadurch kann weiterhin ein sicherer Verkehrsablauf gewährleistet und Rotlichtmissachtungen der Verkehrsteilnehmer vorgebeugt werden. Die Umlaufzeit einer Lichtsignalanlage kann sich dadurch jedoch stark erhöhen. Das Ausschalten der betroffenen Detektoren als Massnahme eines Ausfalls kann nur dann zum Einsatz kommen, falls ein anderer Detektor provisorisch dessen Aufgabe übernehmen kann. Ansonsten verursacht eine Ausschaltung eines Detektors keine Schaltung für die entsprechende Grünphase und fördert somit Rotlichtmissachtungen, infolge einer Dauerrotphase auf dem entsprechenden Fahrstreifen.

Falsch eingesetzte Verkehrserfassungssysteme liefern ungenaue Daten an die Steuerung. Die Steuerung wird dadurch negativ beeinflusst.

Falsche Fahrzeuganmeldungen können nicht ganz ausgeschlossen, jedoch mit optimaler Justierung und Einstellung des Erfassungsbereichs minimiert werden. Die Auswirkungen von Fehlanmeldungen auf den Verkehrsablauf sind bei Einzelereignissen gering.

### 3.2.2 Verkehrsdatenübermittlung

#### Fehlerquellen

Als Fehlerquellen in der Übermittlungsphase der Verkehrsdaten sind Wackelkontakte oder totale Unterbrüche in der Kommunikationsstrecke bekannt. Letztere sind mit der Problematik eines Detektorausfalls identisch, da keine Verkehrsdaten übertragen werden können. Ein Wackelkontakt entspricht einer kurzzeitigen Unterbrechung der Kommunikationsstrecke und verursacht ebenfalls eine fehlerhafte Verkehrsdatenübermittlung.

#### Auswirkungen auf die Steuerung

Fehlerhafte Verkehrsdatenübermittlung, verursacht durch eine Störung bzw. einen Unterbruch der Kommunikationsstrecke, hat einen Einfluss auf die Steuerung der Verkehrsregelungssysteme. Durch einen Übertragungsfehler können Kennwerte kurzzeitig oder dauerhaft verändert werden, bzw. einen konstanten Zustand annehmen, was zu fehlerhaften Steuerung führen kann. Bei einem totalen Unterbruch der Übermittlungsverbindung erhält das Steuergerät keine Daten von der Erfassung. Das System wirkt dieser Störung mit einer Daueranmeldung entgegen, identisch zu einem Ausfall der Detektoren.

### 3.2.3 Aufbereitung und Entscheidung

#### Fehlerquellen

Bei der Aufbereitung und Entscheidung können Fehler in der Programmierung der Steuerung sowie deren Parametrierung auftreten.

#### Auswirkungen auf die Steuerung

Die Auswirkungen auf die Steuerung können sehr unterschiedlich sein. Soweit möglich werden in der Steuerung die Parametrierungs-Daten auf ihre Plausibilität überprüft und wenn nicht den Vorgaben entsprechend verworfen.

## 3.3 Funktionale Anforderung an die Verkehrserfassung

Grundsätzlich werden folgende Anforderungen an die Verkehrserfassung gestellt:

- Einwandfreie Erfassung des Verkehrsgeschehens
- Zuverlässige, exakte Erfassung
- Vermeidung von Fehlanmeldungen
- Ausschluss von Nichtanmeldungen
- Optimierte Verlängerung und Beendigung der Grünphase

- Funktionsüberwachung bzw. Meldung bei Funktionseinschränkung
- Witterungsunabhängigkeit
- Vandalensicherheit
- Wenig wartungsintensiv
- Einfache Montage
- Einfache Anpassung des Erfassungsbereichs
- Erfassung von stehendem und fliessendem Verkehr
- Richtungsabhängige Erfassung
- Erfassung der Verkehrsteilnehmer unabhängig von Material, Grösse, Gewicht und Farbe

Aus dieser Auflistung zeigt sich, dass verschiedenste Anforderungen an ein Erfassungssystem gestellt werden. Es wird kaum möglich sein, mit einem technischen Hilfsmittel allen Anforderungen gerecht zu werden. Jedoch hat jedes Erfassungssystem seine Stärken und kann im entsprechenden Bereich eingesetzt werden.

Von einem Erfassungssystem werden Mindestanforderungen an die Qualität der Verkehrsdaten und an das Verhalten bei Fehlern verlangt.

### 3.3.1 Anforderungen an die Qualität der Verkehrsdaten

Folgende Mindestanforderungen werden an die Qualität der erfassten Verkehrsdaten gestellt. Die Angaben beziehen sich auf vollverkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlagen. Bei teilverkehrsabhängig gesteuerten Anlagen mit Grünrückkehr gelten die Anforderungen gemäss dem Bereich der Voranmeldung und Stauerkennung.

#### Zuverlässigkeit der Erfassung

- die Fahrzeuferfassung inkl. Übertragung des Signals soll innerhalb von 0.1 Sekunden erfolgen
- im Bereich der Anmeldung bzw. Präsenzerfassung ist eine Zuverlässigkeit von mindestens 99.9 % zu erreichen
- im Bereich der Voranmeldung und Stauerkennung ist eine Zuverlässigkeit von mindestens 99 % zu erreichen

#### Räumliche Konstanz der Erfassung

- die Detektion der Verkehrsteilnehmer im Bereich der Anmeldung bzw. Präsenzerfassung sowie der Erkennung des öffentlichen Verkehrs soll immer zum selben Zeitpunkt erfolgen, die Abweichungen soll innerhalb von 0.5 Sekunden liegen
- im Bereich der Voranmeldung und Stauerkennung sollen die Abweichungen innerhalb von 1 Sekunde liegen

#### Zeitliche Konstanz der Erfassung

- im Bereich der Anmeldung bzw. Präsenzerfassung muss ein erfasster Verkehrsteilnehmer bis zum Verlassen des Detektionssektors ohne Unterbruch erkannt werden, Fehlverhalten sollen unter 0.5% liegen.
- im Bereich der Voranmeldung, Stauerkennung und Erfassung des öffentlichen Verkehrs kann die räumliche Konstanz vernachlässigt werden

#### Fehlertoleranz der Verkehrsdaten

- Fehlanmeldungen im Bereich der Anmeldung bzw. Präsenzerfassung soll unterhalb von 0.1% liegen
- Fehlanmeldungen im Bereich Voranmeldung und Stauerkennung soll unterhalb von 1% liegen

### 3.3.2 Verhalten der Erfassungssysteme bei Fehlern

Die Erfassungssysteme haben sich bei Fehlern bzw. Funktionseinschränkungen wie folgt zu verhalten:

Ein Ausfall eines Detektors sowie funktionseingeschränkte Sensoren (z.B. verschmutzte optische Sensoren) sollen zu einer Daueranmeldung führen, um Grünphasen des betroffenen Fahrstreifens zu gewährleisten und zudem eine Störungsmeldung absetzen.

Die Daueranmeldung bzw. Störungsmeldung kann einerseits direkt durch die Detektoren (z.B. defekte Induktionsschleife führt zu einer Daueranmeldung) oder andererseits mit Hilfe entsprechender Software in der Steuerung der Lichtsignalanlage erfolgen.

# 4 VERKEHRSERFASSUNGSSYSTEME

## 4.1 Übersicht

Zur Steuerung der Lichtsignalanlagen werden heute vorwiegend stationäre Datenerfassungssysteme eingesetzt, welche die Einzelfahrzeuge bzw. Zufussgehende direkt vor Ort erfassen (Mikrosteuerung). Über Verkehrsrechner werden Verkehrsdaten, welche an den einzelnen Lichtsignalanlagen erfasst werden, für die regionale Steuerung der Lichtsignalanlagen aufgearbeitet (Makrosteuerung). Die Makrosteuerung dient dem Einbezug weiterer Systeme wie mobile und externe Erfassung sowie künstliche Intelligenz und Vernetzung der Steuerung der Lichtsignalanlagen.

Die vorliegende Forschungsarbeit legt ihren Fokus auf Verkehrserfassungssysteme für die direkte Beeinflussung von Lichtsignalanlagen.

Für viele Steuerungssysteme insbesondere bei Knoten (Lichtsignalanlagen, ÖV-Bevorzugung) reichen die Anzahl und die Art der Fahrzeuge (z.B. Linienbus). Vermehrt ist jedoch eine umfassende Analyse des Verkehrsflusses notwendig, um die Beeinflussungs- und Steuerungssysteme optimal einsetzen zu können. Diese Kennwerte werden durch die Verkehrsdetektion erfasst. Diese basieren auf einer physikalischen Eigenschaft des Fahrzeuges (Masse, Reflexion, Leitfähigkeit) und erfassen z.B. entsprechende Änderungen der Wellen beim Durchfahren der Detektoren.

Die Detektoren können nach verschiedenen Kriterien gruppiert werden. In Abbildung 6 sind die Detektoren aufgrund der Lage unterteilt und in der Beschreibung nach Detektionsarten gruppiert.

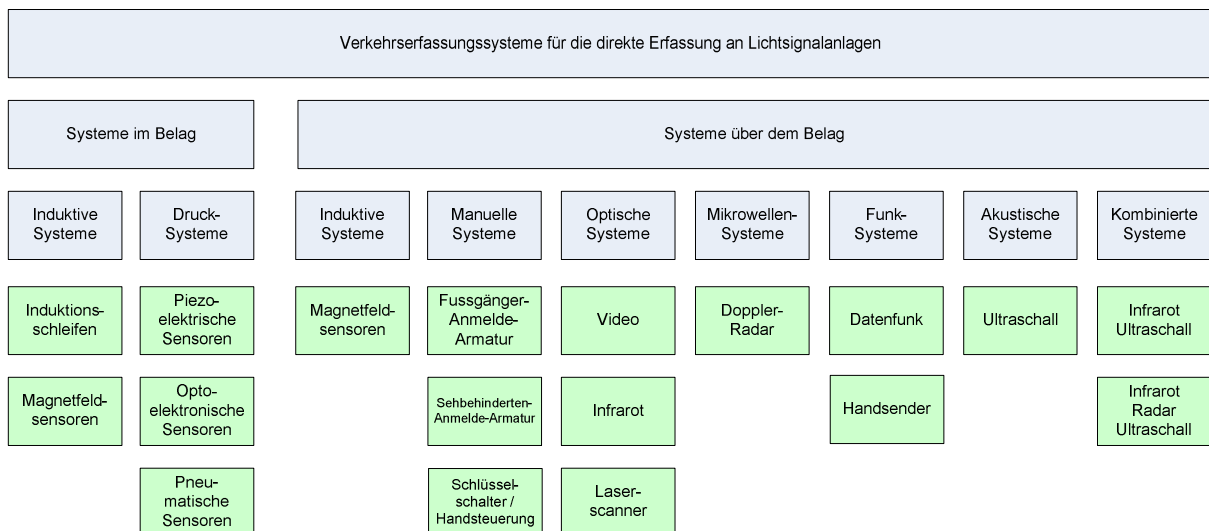


Abbildung 6: Verkehrserfassungssysteme nach Systemart

Die Datenerfassungssysteme auf der Basis von optischen und elektromagnetischen Wellen können auch als Strahlungsdetektion zusammengefasst werden. Diese basieren auf elektromagnetische Wellen mit kleiner Wellenlänge (hochfrequente Felder). In diese Gruppe gehören **Radardetektoren, Infrarotdetektoren, Laserstrahldetektoren, Lichtschranken** und **Ultraschall**. In Abbildung 7 ist ersichtlich in welchem elektromagnetischen Wellenspektrum die unterschiedlichen Datenerfassungsmethoden arbeiten.

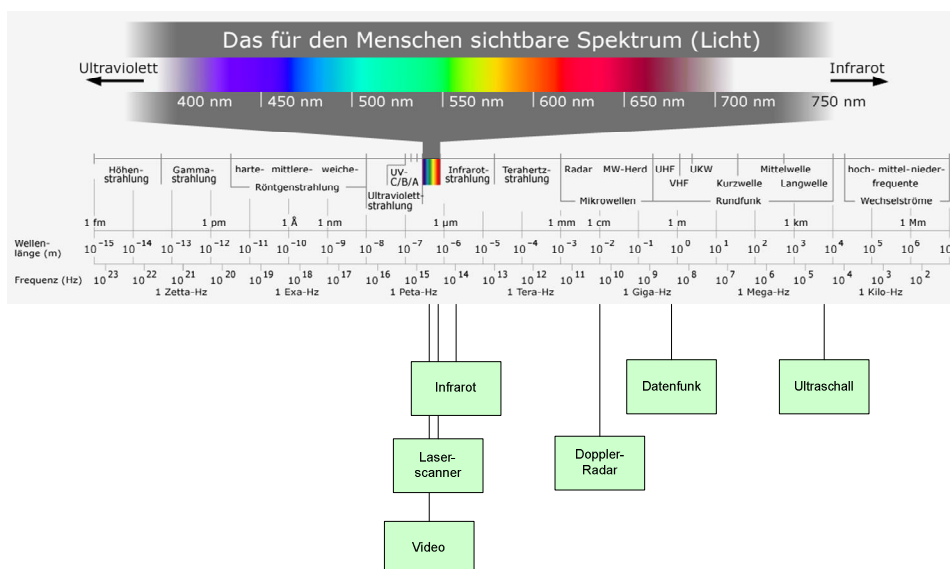


Abbildung 7: Datenerfassungssysteme, welche im elektromagnetischen Wellenspektrum arbeiten

## 4.2 Systeme zur Detektion

### 4.2.1 Induktionsschleife

Verkehrserfassung mit **Induktionsschleifen** ist das am häufigsten verbreitete System und dominiert trotz zahlreicher neuer Entwicklungen hinsichtlich der Detektoren weiterhin die Erfassung von Fahrzeugen in der Schweiz und im Ausland.

#### Funktionsweise der Induktionsschleifen

Induktionsschleifen gehören zu den Systemen, welche die metallischen Eigenschaften der Fahrzeuge ausnutzen und auf eine dadurch entstehende Magnetfeldänderung reagieren. Eine Induktionsschleife besteht aus einer Drahtschleife mit vordefinierter Abmessung. Dabei können Form, Länge sowie die Windungszahl je nach Anwendung variieren. Der durch die Drahtschleife fließende Strom induziert ein elektromagnetisches Feld. Bei einer Überfahrt der Schleife durch ein Fahrzeug wird dieses Magnetfeld verändert.

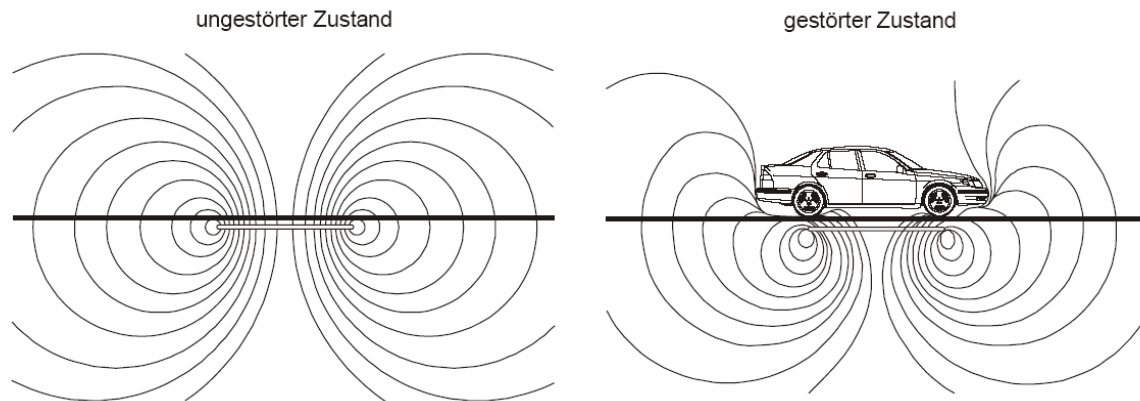


Abbildung 8: Funktionsweise einer Induktionsschleife

Die ferromagnetischen Bauteile der Fahrzeuge verursachen eine charakteristische Induktivitätsänderung, welche aufgezeichnet werden kann. Diese charakteristischen Veränderungen des Induktionsfeldes werden genutzt um ein Fahrzeug einer entsprechenden Fahrzeugkategorie zuzuteilen, bzw. über eine vordefinierte Ansprechschwelle einen Relaisausgang zu schalten (Signal „Schleife belegt“ – „Schleife nicht belegt“). Eine typische Induktivitätsänderung wird in Abbildung 9 dargestellt.

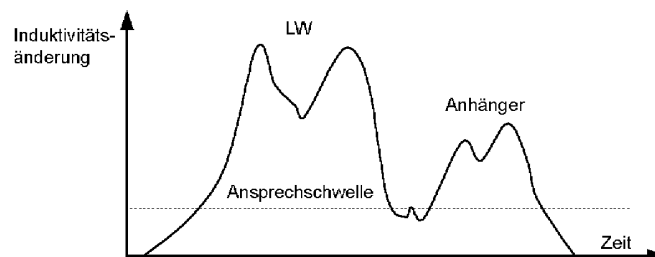


Abbildung 9: Typische Induktivitätsänderung

### Einbau und Installation von Induktionsschleifen

Induktionsschleifen werden in der Regel in die Fahrbahn eingefräst und vergossen, so dass sie fest installiert sind und nur mit entsprechendem Aufwand verschoben werden können. Es existieren bei temporären Einsätzen auch geklebte Schleifen, welche direkt auf der Fahrbahn angebracht werden. Geklebte Induktionsschleifen werden allerdings nur für spezielle Anwendungsgebiete eingesetzt, da diese anfällig auf Beschädigungen sind. Die Windungszahl liegt im Allgemeinen zwischen einer bis acht Windungen und ist von der Form, Grösse bzw. Anordnung sowie vom Anwendungszweck abhängig. Je nach Fabrikat und Typ des Detektorverstärkers kann die Anzahl Windungen ebenfalls variieren.

Anzahl Windungen		Art der Induktionsschleifen
2	Windungen	Präsenzschleife
3	Windungen	Anmelde-/Überfahrtschleife
4	Windungen	Rotfahrerschleife, ÖV/Notrufbevorzugungsschleifen
5	Windungen	Zweiradschleifen

Tabelle 6: Windungszahlen für Induktionsschleifen

Mit zunehmender Windungszahl steigt die Empfindlichkeit einer Induktionsschleife. Die Wahl des Induktivitätsbereiches einer Schleife bestimmt die Fehleranfälligkeit einer Detektion und sollte weder zu gering (Schwellwert) noch zu stark (Fehlalarmmeldungen) eingestellt werden. Durch die geeignete Wahl des Induktivitätsbereiches können fehlerhafte Erfassungen minimiert werden. Durch Induktivitätsänderungen ergeben sich Frequenzänderungen im System, welche in abgesetzten Auswerteeinheiten in der Steuerkabine analysiert werden. Diese Steuerkabinen befinden sich meist am Fahrbahnrand der entsprechenden Lichtsignalanlage.

Erfassungsgebiet und Anordnung

Das Erfassungsgebiet bei einer Lichtsignalanlage setzt sich aus einem Zufahrtbereich und einem Abflussbereich zusammen. Eine klassische Anordnung der Induktionsschleifen im Erfassungsgebiet wird in Abbildung 10 dargestellt.

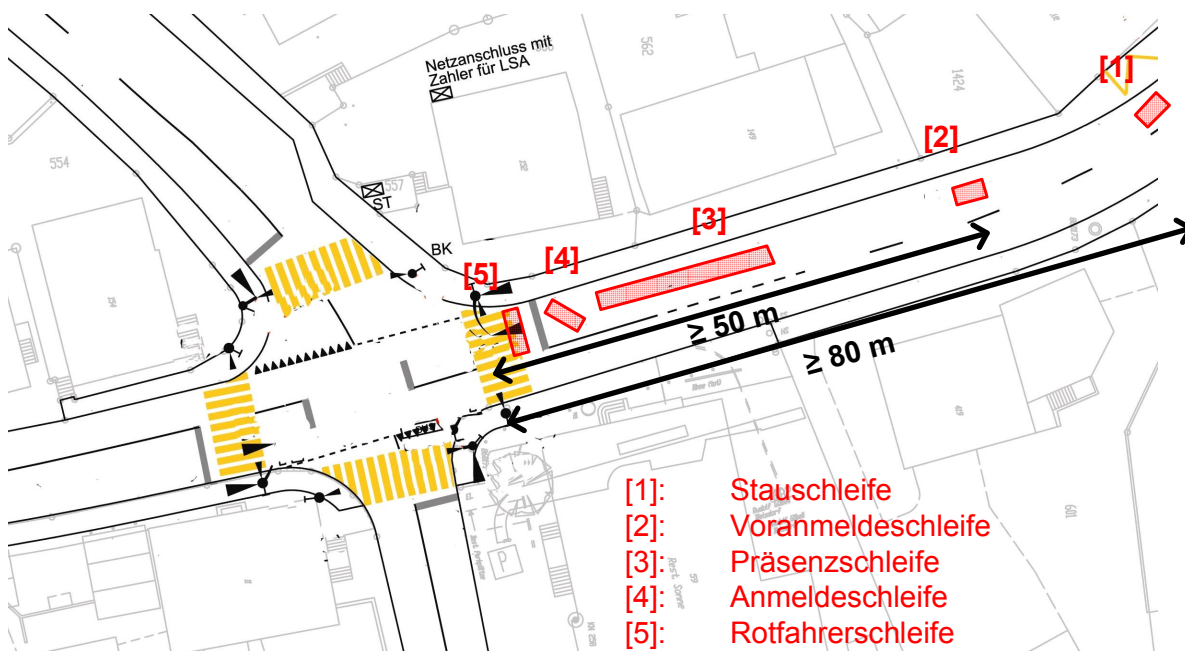


Abbildung 10: Typische Anordnung von Induktionsschleifen an einer Lichtsignalanlage

Im Zufahrtbereich eines mit einer Lichtsignalanlage geregelten Knotens werden im Allgemeinen die folgenden Schleifen angeordnet (vgl. Abb. 10):

Stauschleifen	- dienen zum Erkennen von Stau und werden je nach Situation eingesetzt (z.B. Überstellen von Folgeknoten verhindern)
Voranmeldeschleifen	- dienen zum frühzeitigen Verlängern der Grünzeit
Präsenzschleifen	- dienen zum Anmelden bzw. Verlängern der Grünzeit
Anmeldeschleifen	- dienen zum Erfassen und Anmelden von Fahrzeugen unmittelbar vor der Haltelinie, insbesondere werden damit die Zweiräder erfasst
Rotfahrerschleifen	- erkennen Fahrzeuge die bei Rot die Haltelinie überfahren haben (Rotfahrer)

*Tabelle 7: Unterscheidungen der Schleifenarten*

Speziell angeordnete Schrägschleifen, die meist eine grössere Windungszahl aufweisen und somit empfindlicher reagieren als die übrigen Induktionsschleifen im Zufahrtsbereich, werden zur Erfassung von Zweirädern eingesetzt. Eine richtungsabhängige Erfassung der Fahrzeuge ist mit Hilfe von Doppelschleifen möglich (Anordnung von zwei Schleifen hintereinander) und werden dort eingesetzt, wo Gegenverkehr den gleichen Fahrstreifen befährt, z.B. Radstreifen oder einstreifige Arme eines Knotens, welche sowohl der Zu- als auch der Wegfahrt dienen.

Für den Verkehr mit erhöhten Prioritäten (Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs, Notrufahrzeuge) werden Anmeldeschleifen im Abstand von über 120 m installiert, um eine allfällige Bevorzugung frühzeitig erkennen zu können. Angaben über die Dimensionierung der einzelnen Induktionsschleifen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Art der Induktionsschleife	Breite	Länge	Abstand zum Haltebalken
Rotfahrerschleife	0.5 m	1 m	≤ 1 m nach Haltebalken
Anmeldeschleife	0.5 m	1 m	1 m vor Haltebalken
Präsenzschleife	0.8 m	15 m	5 m vor Haltebalken
Voranmeldeschleife	1 m	3 m	≥ 50 m vor Haltebalken
Stauschleife	1 m	5 m	≥ 80 m vor Haltebalken
Busbevorzugungsschleife	1.5 m	1 m	≥ 120 m vor Haltebalken

*Tabelle 8: Dimensionierungen der Induktionsschleifen*

Allgemein sind Abstände von Induktionsschleifen zum Haltebalken variabel und geschwindigkeitsabhängig. Grösse und Anordnung hängt oftmals von den örtlichen Begebenheiten des Erfassungsbereichs ab (z.B. Zufahrten, Knotenbereiche, Fahrzeugkategorien). Die Lage von Busbevorzugungsschleifen bei Haltestellen ist besonders zu beachten.

### Erfassungsmöglichkeit von Fahrzeugen

Induktionsschleifen-Systeme sind zur Erfassung aller Fahrzeugtypen (z.B. PW, LW, Busse, MR, ZR, Tram) einsetzbar. Die einzige Bedingung ist das Vorhandensein metallischer Bauteile am Fahrzeug. Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs sowie Notruffahrzeuge benötigen für eine bevorzugte Priorität zusätzlich einen Sender, welcher ein verschlüsseltes Signal an

die dafür vorgesehenen Induktionsschleifen sendet. Wie bereits in Tabelle 8 ersichtlich werden diese Schleifen mehr als 120 m vor der entsprechenden Lichtsignalanlage plazierte. Das übermittelte Signal beinhaltet zusätzliche Informationen über das Fahrzeug (z.B. Liniennummer, Kursnummer), was einer charakteristischen Induktivitätsänderung entspricht. Das detektierte Signal wird via Induktionsschleife an die Steuereinheit weitergeleitet, so dass die Lichtsignalanlage auf ein entsprechendes Phasenprogramm schalten kann, um das passierende Fahrzeug möglichst ohne Zeitverlust zu bevorzugen. Die Abmeldung, nach passieren der Lichtsignalanlage, erfolgt wiederum über die durch den Sender verursachte charakteristische Induktivitätsänderung.

#### Kosten-Nutzen von Induktionsschleifen

Die Kosten des auf Induktionsschleifen basierenden Erfassungssystems setzen sich aus den Kosten der Auswerteeinheiten im Steuerkasten sowie aus den Installationskosten der in den Belag eingegossenen Drahtschleifen zusammen. Die Installationskosten der in den Belag eingebauten Drahtschleifen steigen linear mit der Länge bzw. der Anzahl von Induktionsschleifen. Aufgrund der baulichen Massnahmen, welche im Zusammenhang mit dem Einbau der Induktionsschleifen anfallen, liegen die Installationskosten im Vergleich zu alternativen Erfassungssystemen deutlich höher. Die Anschaffungskosten der Induktionsschleifen fallen jedoch geringer aus. Bei allfälligen Strassensanierungen und Belagsarbeiten können die Wartungskosten von Induktionsschleifen verhältnismässig hoch ausfallen, da die Schleifen ersetzt werden müssen. Im Normalfall jedoch fallen Wartungskosten nur bei einer Störung des Systems an.

Im weiteren Verlauf des Berichtes, werden die Kosten der alternativen Erfassungssysteme im relativen Vergleich zu den Induktionsschleifen betrachtet, um eine allgemeine ökonomische Einschätzung der unterschiedlichen Erfassungssysteme zu erhalten.

#### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Induktionsschleifen

Vorteile:

- geringe Anfälligkeit gegenüber Witterungs- und äussere Störeinflüsse (z.B. Vandalismus)
- keine Fehlanmeldungen durch Fussgänger, da nur ferromagnetische Körper erfasst werden
- ruhender und stehender Verkehr detektierbar
- richtungsabhängige Detektion mit Doppelschleifen möglich
- ausgereiftes Erfassungssystem durch jahrelangen Einsatz
- grosse Erfassungsflächen realisierbar

Schwierigkeiten bei der Erfassung von ZR, Fahrzeugen mit geringen ferromagnetischen Bauteilen oder bei LW mit hoher Bodenfreiheit begrenzen die Einsatzmöglichkeiten der Induktionsschleifen. Störende Einflüsse, welche eine negative Wirkung auf die Empfindlichkeit oder sogar eine Veränderung des Magnetfeldes zur Folge haben, müssen beim Einsatz von Induktionsschleifen berücksichtigt werden (z.B. Armierungseisen im Belag, Brücken, Tunnel). Die Sperrung eines Fahrstreifens für Installation und Einbau von Induktionsschleifen können erhöhten organisatorischen und finanziellen Aufwand zur Folge haben. Nachteile:

- der Einbau im Belag sowie Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten bedeuten hohen organisatorischen und finanziellen Aufwand
- Erfassung beschränkt sich auf metallische Materialien (keine Erfassung von Kunststoffen etc. möglich)
- Störung der Detektion durch Beeinflussung des Magnetfeldes (z.B. Starkstromleitungen, starke Magnetfelder in Schleifennähe)
- Verringerung der Empfindlichkeit durch bestimmte Baustoffe (z.B. Armierungseisen auf Brücken)
- zu geringe Empfindlichkeit (z.B. ZR, Fahrzeuge mit Kunststoffkarosserie, LW mit hoher Bodenfreiheit)

## 4.2.2 Magnetfeldsensoren

### Funktionsweise der Magnetfeldsensoren

Auf dem gleichen Prinzip der Detektion von Änderungen eines Feldes basieren Erhebungen mit **Magnetfeldsensoren**. Die vom Magnetfeld detektierten Veränderungen des stationären Erdmagnetfeldes werden von einem Mikro-Controller verarbeitet und bezüglich charakteristischer Merkmale überprüft. Geringste Verzerrungen des Erdmagnetfeldes können ausgewertet werden. Die Grösse der Magnetfeldveränderung hängt von der Fahrzeuggrösse und der Entfernung zum Sensor ab. Im Gegensatz zu Induktionsschleifen wird kein erzeugtes Magnetfeld auf Veränderungen getestet, sondern das permanent bestehende Erdmagnetfeld als Grundlage der Messung verwendet. Durch automatische Offset-Korrektur können störende Einflüsse verringert werden. Diese Methode kann zur Erfassung von ruhendem und fliessendem Verkehr eingesetzt werden.

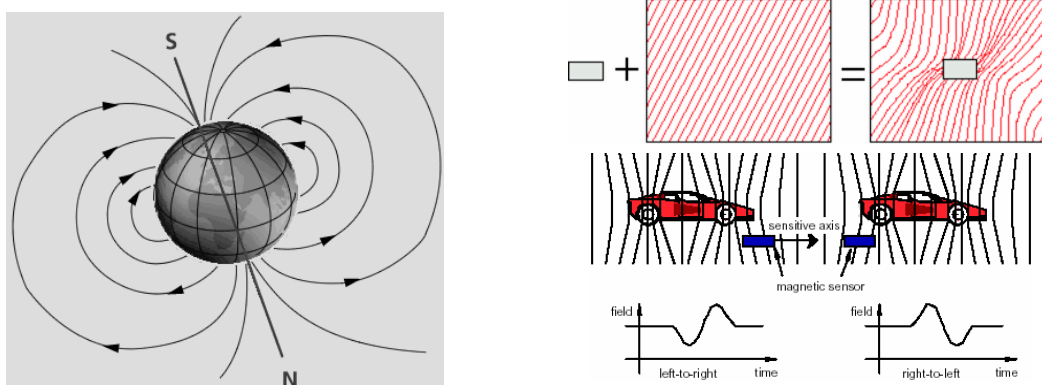


Abbildung 11: Veränderung des Erdmagnetfeldes bei Durchfahrt eines Fahrzeuges

### Erfassungsgebiet und Anordnung

Das Erfassungsgebiet nimmt eine kugelförmige Fläche symmetrisch um den Magnetfeldsensor ein. Dieser Radius ist auch nach erfolgter Installation noch frei wählbar und lässt sich bis zu einem Radius von drei Metern parametrieren. Somit kann auf geographische und lokale Gegebenheiten eingegangen und das System auf die notwendigen Anforderungen angepasst werden. Magnetfeldsensoren sind sowohl am Boden als auch Überkopf einsetzbar.

Prinzipiell werden Magnetfeldsensoren als Ersatz zu Induktionsschleifen eingesetzt und haben somit dasselbe Einsatzgebiet wie Schleifen.

#### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmern

Magnetfeldsensoren sind zur Erfassung aller Fahrzeugtypen (z.B. PW, LW, Busse, MR, ZR, Tram) einsetzbar. Zu beachten ist allerdings, dass Notruffahrzeuge sowie Fahrzeuge des öffentlichen Linienverkehrs nicht spezifisch erfassbar sind. Die Erfassung erfolgt über die ferromagnetischen Bauteile eines Fahrzeuges.

#### Kosten-Nutzen von Magnetfeldsensoren

Werden Magnetfeldsensoren zur Verkehrserfassung eingesetzt, fallen Anschaffungskosten für die Magnetfeldsensoren sowie für die Auswerter im Steuerkasten an. Die Installationskosten sind je nach Montageart unterschiedlich. Die Möglichkeit, den Magnetfeldsensoren unterhalb oder seitlich des Fahrstreifens zu platzieren, ermöglicht einen kostengünstigeren Einbau. Die Kosten eines Magnetfeldsensorsystems liegen durchschnittlich um rund 40 % höher als bei Induktionsschleifen und steigen ebenfalls linear mit der Anzahl der eingesetzten Sensoren. Wartungs- und Unterhaltskosten eines Magnetfeldsensorsystems hängen stark vom Einbau der Sensoren ab. Werden die Sensoren in den Belag eingebettet, so entstehen wie bereits bei Induktionsschleifen hohe Wartungskosten bei Strassensanierungen. Werden die Sensoren unterhalb oder seitlich der Fahrbahn platziert, so fallen die Wartungskosten gering aus. Im Normalfall fallen Wartungskosten nur bei Störungen des Systems an.

#### Vor- und Nachteile der Magnetfeldsensoren

Vorteile:

- unterliegen keinen witterungsbedingten Einschränkungen (Regen, Schnee, Eis, Wind, Verschmutzung, Temperatur)
- Installation von Magnetfeldsensoren ist ohne Sperren von Fahrstreifen möglich
- Störeinflüsse von elektrischen Leitungen oder Eisenarmierung können durch Offset-Korrekturen eliminiert werden (spezielle Programmierung notwendig)
- Einsatz unter- sowie überirdisch möglich
- Erzeugung eines Magnetfeldes (wie Induktionsschleifen) nicht notwendig, sondern Messung des vorhandenen Erdmagnetfeldes
- bei Magnetfeldänderung wird im Ruhezustand automatisch ein Sensor-Reset durchgeführt

Magnetfeldsensoren weisen Probleme bei der Erfassung von Fahrzeugen mit geringen Anteilen an metallischen Bauteilen auf. Fahrräder gehören somit zu den Verkehrsteilnehmern, welche nur sehr schwer zu erfassen sind. Durch die runde Abstrahlcharakteristik der Magnetfeldsensoren sind längliche Erfassungsbereiche, welche durch die Strassengeometrie gegeben sind, nur schwer abzudecken. Bei zu grossem Radius entstehen Fehlerfassungen durch Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn. Ist der Radius zu gering, so wird der Fahrstreifen nicht komplett abgetastet, was problematisch für die Erfassung der Zweiräder sein kann.

Nachteile :

- nur Erfassung von ferromagnetischen Materialien möglich
- Einfluss von anderen Störfaktoren (z.B. Hochspannungsleitungen, Bahn) beim Einsatz unter Brückenkonstruktionen (teilweise ausfilterbar)
- der Erfassungsbereich hat ungünstige (kugelförmige) Geometrie für längliche Erfassung

### 4.2.3 Drucksysteme

Die Erfassung der Fahrzeuge erfolgt durch Berührung oder Druck der Fahrzeugräder auf die **Berührungsdetektoren**. Diese werden als mechanische oder pneumatische Kontaktschwellen ausgebildet und werden beispielsweise bei Ausfahrten aus Tiefgaragen zur Toröffnung eingesetzt.

#### Funktionsweise der Drucksensoren

Die Erfassung der Daten erfolgt über einen Schlauch, welcher vollständig im Fahrbahnbelag eingebettet ist. Dabei wird beim Überqueren der Fahrzeuge eine Kraft auf die Kontaktschwelle ausgeübt. Diese mechanische Kraftausübung wird je nach Bauart des Erfassungssystems mittels pneumatischen, piezoelektrischen oder optoelektronischen Sensoren erfasst und ausgewertet. Der Mechanismus ist jedoch sehr fragil.

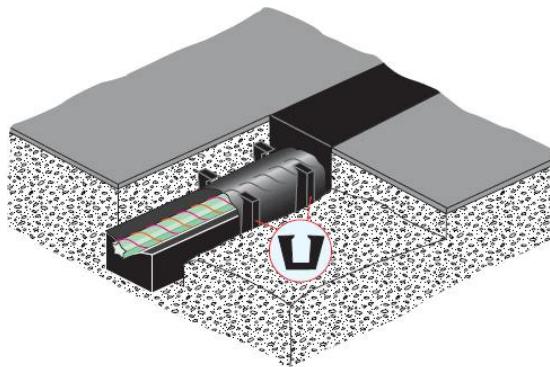


Abbildung 12: Schema Druckschlauch im Belag eingebaut

#### Erfassungsgebiet und Anordnung

Drucksysteme werden vorwiegend in Parkgaragen oder bei Schrankensystemen eingesetzt. Dabei wird ein Druckschlauch vollständig im Belag eingebettet und deckt in der Regel einen Fahrstreifen ab. Der Druckschlauch konzentriert seine Erfassung auf eine Linie.

#### Erfassungsmöglichkeit von Fahrzeugen

Erfassungen aller Fahrzeugtypen ist möglich. Zu unterscheiden sind bei der Erfassung von Zweirädern jeweils die Sensortypen. Bei pneumatischen Sensoren ist eine Zweiraderfassung gut realisierbar. Bei piezoelektrischen und optoelektronischen Systemen ist die Erfassung nur bedingt realisierbar.

### Kosten-Nutzen von Drucksystemen

Drucksysteme werden zur Erfassung von Verkehrsteilnehmer an Lichtsignalanlagen nicht eingesetzt. Die Anschaffungs- sowie die Installationskosten sind jedoch mit den Kosten des Magnetfeldsensors zu vergleichen. Bei den Wartungskosten fallen aufgrund des fragilen Mechanismus von Drucksystemen allerdings höhere Kosten an.

### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Drucksystemen

Da die Erfassung mittels Drucksensoren zu den Systemen gehört, welche im Belag eingelassen werden, ist auch diese Erfassungsmethode witterungsunabhängig. Der Mechanismus der Drucksysteme ist sehr fragil und somit ein Problem in der Anwendung von Drucksensoren ist. Zudem ist keine Identifikation der detektierten Objekte möglich.

## 4.2.4 Fussgängerdrücker

Bei Systemen über dem Belag weisen manuelle Berührungsdetektoren bei der Erfassung von **Fussgängern** eine starke Verbreitung auf. Grundsätzlich stehen zwei unterschiedliche Technologien zur Verfügung, welche beide nach dem gleichen Prinzip der manuellen Berührung arbeiten. Einerseits erfolgt die Anmeldung von Fussgängern über einen mechanischen Druckknopf, andererseits über elektronische Sensortaster, welche bereits bei leichter Berührung reagieren. Unabhängig von der verwendeten Technologie existieren zwei Ausführungsmodelle: Fussgänger-Drücker und Drücker mit Sehbehindertentaster.

### Funktionsweise von manuellen Drückern

Bei beiden Möglichkeiten meldet sich der Fussgänger manuell mittels Druckknopf an. Meist wird mittels einer Quittierungslampe eine Anmeldung bestätigt. Beim Drücker mit Sehbehindertentaster wird eine verlängerte Grünphase freigegeben. Bei beiden Drückern gibt es Ausführungen mit gut hörbarem, vibrierendem Summer-Signal. Eine automatische Anmeldung von Fussgängern ist mit Drückern nicht möglich.



Abbildung 13: Typischer Fussgänger-Drücker ERGO 2000

### Erfassungsgebiet und Anordnung

Fussgängerdrücker werden in der Regel direkt am Signalmast angebracht. Die gelb leuchtende Farbe dient zur Auffindbarkeit der Drücker. Die Fussgängerdrücker zur Anforderung einer Grünphase werden auf einer Höhe von 85 - 110 cm über Boden montiert und sind unmittelbar am Trottoirrand, vorzugsweise in der Mitte des jeweiligen Übergangs platziert. Die Ausrichtung des Drückers erfolgt stets auf der dem Übergang abgewandten Seite des Ampelmastes. Das Erfassungsgebiet begrenzt sich auf jeweils eine Richtung / Strassenüberquerung pro Drücker. Drücker werden ausschliesslich zur Anmeldung von Fussgängern und nicht für Verlängerung eingesetzt. Im Fall des Sehbehinderten-Taster wird die Grünphase grosszügiger dimensioniert.

### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmern

Manuelle Drücker werden zur Erfassung von Fussgängern eingesetzt. Dabei kommt es auf das Erfassungsgerät an, ob die Erfassung von Sehbehinderten möglich ist. Mit einer speziellen Ausrüstung dienen sie auch Sehbehinderten. Die Rückmeldung der erteilten Grünphase erfolgt einerseits durch visuelle Rückmeldung der entsprechenden Signalisation, wie auch über vibrierende und gut hörbare Summer-Signale.

### Kosten-Nutzen von Fussgängerdrücker

Die Anschaffungskosten von Fussgängerdrücker unterscheiden sich je nach Funktionalität des Gerätetyps. Verfügt ein Gerät über einen Sehbehindertentaster, so steigen die Anschaffungskosten um rund 20 % an. Die Anwendung von Sehbehindertentaster sollte somit stets auf deren Nutzen überprüft und dort eingesetzt werden, wo sehbehinderte Fussgänger vorhanden sind. Die Installationskosten sind für alle Drücker praktisch identisch und unabhängig von deren Funktionalität. Ein robustes Gehäuse der Fussgängerdrücker minimiert die Wartungskosten erheblich. Die Wartungskosten bestehen vorwiegend aus jährlichen Funktionstests der Anmeldedrücker.

### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Drucksystemen

Vorteile:

- geringe Witterungsabhängigkeit (z.B. Problematik von angefrorenen Tastern)
- keine Fehlanmeldungen durch das System
- geringer und einfacher Installationsaufwand

Nachteile:

- anfällig für Vandalismus
- Einfriergefahr der Druckköpfe bei metallischen Modellen

Weitere manuelle Erfassungsmethoden sind so genannte **Schlüsselschalter**. Hierbei meldet sich der Verkehrsteilnehmer mit einem Schlüssel an der gewünschten Lichtsignalanlage an. Häufige Anwendungen finden sich im Baustellenbereich, Zugangsanforderungen zu privaten Anlagen oder Tiefgaragen. Aufgrund des geringen Anwendungsbedarfs wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht weiter auf diese manuelle Verkehrserfassung eingegangen.



Abbildung 14: Schlüsselschaltung als Verkehrserfassungssystem

Zudem verfügt eine Vielzahl von Lichtsignalanlagen über eine **Handsteuerung**. Solche Handsteuerungen dienen zur manuellen Steuerung der Anlage. Hierbei kann wie in Abbildung 15 dargestellt, die Anlage auf automatischen oder manuellen Betrieb eingestellt werden. Im manuellen Betrieb können die verschiedenen Signalabläufe manuell ausgelöst werden. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit gehen wir jedoch nicht weiter auf Handsteuerungen ein.



Abbildung 15: Handsteuerung einer Lichtsignalanlage

## 4.2.5 Video-Erfassung

Die **Videoerfassungssysteme** gehören zur Gruppe der optischen Systeme.

### Funktionsweise der Videoerfassung

Die Technologie basiert auf der visuellen Erkennung durch Kameras. Hierbei können auf dem Bildschirm entsprechende Marken auf dem Videobild gesetzt werden und so die Belegung beziehungsweise die Durchfahrtszeiten (Belegung der Marken) der einzelnen Fahrzeuge automatisch ermittelt werden. Auf diese Weise können Fahrzeuge gezählt, Geschwindigkeiten erhoben und Zeitlücken ermittelt werden. Die Detektion eines Verkehrsteilnehmers erfolgt aufgrund einer Belegungsabfrage der definierten Zonen. Hierbei werden vom System keine Daten mit bildnerischen Inhalten, sondern nur eine „Belegung“ bzw. „Nichtbelegung“ ausgewertet. Zudem werden keine Daten archiviert, weshalb Erfassungen mittels Videogeräten keine Datenschutzverletzung zur Folge haben.

### Erfassungsgebiet und Anordnung

Bei der Erfassung mittels Video können bis zu acht verschiedene virtuelle Erfassungsgebiete unterschieden werden. Somit ist die Erfassung mehrerer Fahrstreifen durch ein Videogerät möglich. Die virtuellen Marken der Erfassungsgebiete sind beliebig einstellbar und somit jeder geometrischen Randbedingung anpassbar. Die Videogeräte werden meist Überkopf an den Signalmasten platziert und so ausgerichtet, damit der gewünschte Bereich erfasst werden kann. Verkehrsteilnehmer werden richtungsabhängig erfasst. Die Reichweite von Videoerfassungssystemen kann bis zu 75 m betragen. Sie hängt jedoch von den lokalen Begebenheiten und Witterungsbedingungen ab, weshalb eine optimale Erfassung im Normalfall nur bis 25 m gewährleistet werden kann.



Abbildung 16: Erfassungszonen eines Videoerfassungssystems

### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmern

Videosysteme werden zur Erfassung von Zweirädern und Motorfahrzeugen eingesetzt. Als Verlängerung bzw. Dimensionierung von Grünzeiten können die Videosysteme ebenfalls für Fußgänger genutzt werden. Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs und Notruffahrzeuge können nicht erfasst von Fahrzeugen ohne Priorität unterschieden werden.

### Kosten-Nutzen von Videosystemen

Die Anschaffungskosten eines Videosystems zur Detektion von Verkehrsteilnehmern beinhalten das Videogerät sowie deren Auswerteeinheit. Im Vergleich mit den Induktionsschleifen verdoppeln sich die finanziellen Aufwendungen. Werden genügend Schleifen durch ein Videogerät abgedeckt, so können sich die Anschaffungskosten der Videogeräte im gleichen Rahmen oder unterhalb der von Schleifensystemen bewegen. Aufgrund eines kürzeren Wartungsintervalls (halbjährlich) fallen im Vergleich zu anderen Erfassungsgeräten bei Videosystemen höhere Wartungskosten an. Strassensanierung oder Belagsarbeiten haben jedoch keinen Einfluss auf die Höhe der Wartungskosten.

### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Videosystemen

Vorteile:

- Abdeckung mehrerer Fahrstreifen, dadurch entstehen Kostenvorteile
- geringer Installationsaufwand
- Flexibilität bei geänderten Fahrstreifen
- Erkennung von stehenden und fahrenden Fahrzeugen
- auch nicht-metallische Verkehrsteilnehmer können erfasst werden
- automatische Grünzeitverlängerung bei Fussgängerüberquerungen möglich
- richtungsabhängige Erfassung möglich
- Stauerfassung

Nachteile:

- witterungsbedingte Einflüsse (Regen, Schnee, Nebel)
- Probleme bei aussergewöhnlichen Lichtverhältnissen (Sonne direkt in Kamera, Nacht, Dämmerung)
- Verschmutzung der optischen Sensoren (eingeschränkte, schlechtere Erfassung)
- Schatteneffekte können zu Fehlanmeldungen führen
- Vandalismus und Verschiebung der Einstellungen durch Vibrationen
- Fussgänger, welche definierte Bereiche durchschreiten, führen zu einer Fehlanmeldung

## 4.2.6 Infrarot-Erfassung

Von untergeordneter Bedeutung in der Verkehrsdatenerfassung ist die Detektion durch Wärmestrahlen, die **Infrarotdetektion**.

### Funktionsweise der Infrarotdetektoren

Der Passiv-Infrarot-Detektor arbeitet nach dem Prinzip der kontaktlosen Temperaturmessung. Durch die Erfassung der Wärmestrahlen von Verkehrsteilnehmer (Motoren, Körperwärme) werden Bewegungen von Personen oder Fahrzeugen erkannt. Die Detektoren ermitteln die Differenz zwischen Fahrbahn- und Objekttemperatur, das heisst, Fahrzeuge werden aufgrund ihres positiven oder negativen Temperaturunterschieds gegenüber der Fahrbahn

erkannt (Temperaturschwankungen werden automatisch kompensiert). Die Infrarotdetektoren senden selber keine Signale aus, sondern reagieren passiv auf Änderungen / Ereignisse im Erfassungsbereich.



Abbildung 17: Infrarotdetektor

### Erfassungsgebiet und Anordnung

Der Erfassungsbereich eines Infrarotdetektors hat eine Reichweite von bis zu 100 m und verfügt über einen Öffnungswinkel zwischen drei und zwölf Grad. Die Reichweite hängt allerdings sowohl von der verwendeten Technologie als auch von der Ausrichtung und Montagehöhe ab. Infrarotsysteme erfassen ein kegelförmiges Gebiet (Ellipse auf Fahrbahn). Die Justierung erfolgt nicht wie bei Videodetektion visuell, sondern über einen Prüfton. Die Detektion von Fahrzeugen beschränkt sich auf jeweils einen Fahrstreifen pro Infrarotsensor, wobei eine saubere Abgrenzung zum Nachbarfahrstreifen relativ schwer realisierbar ist. Angebracht werden Infrarotdetektoren meist an den Signalmasten der Lichtsignalanlage.

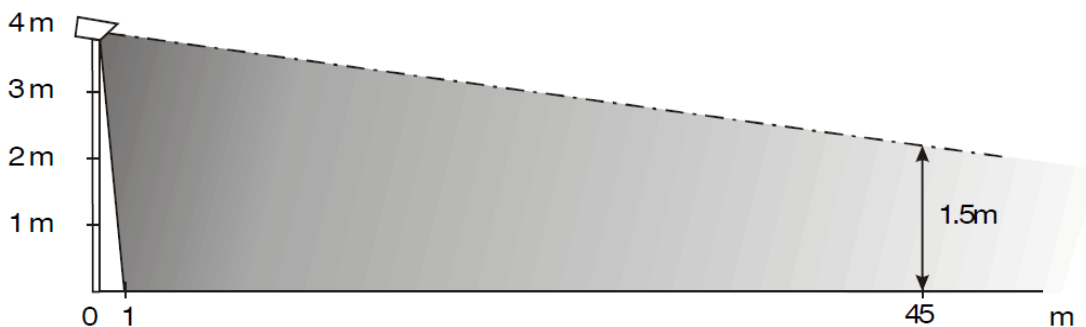


Abbildung 18: Erfassungsbereich eines Infrarotsystems

### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmern

Neben der Verlängerung bzw. Dimensionierung von Grünzeiten wird der Infrarotdetektor auch für die Anmeldung von Fußgängern und Fahrzeugen (MIV) eingesetzt.

### Kosten-Nutzen von Infrarotsystemen

Die Kosten von Infrarotsystemen liegen rund 40 % über denjenigen von Induktionsschleifen. Infrarotsysteme sind nicht in der Lage mehrere Fahrstreifen abzudecken, weshalb keine Kostenvorteile durch Abdeckung mehrerer Bereiche entstehen. Wartungskosten von Infrarotsystemen fallen aufgrund einer jährlichen Wartung tiefer aus als beim Videogerät, jedoch höher als bei Induktionsschleifen.

### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Infrarotsystemen

#### Vorteile:

- geringer Montage- und Wartungsaufwand
- einfache Ausrichtung bei Fahrstreifenänderung
- auch nicht-metallische Verkehrsteilnehmer werden erfasst
- automatische Grünzeitverlängerung bei Fussgängerüberquerungen möglich

#### Nachteile:

- witterungsbedingte Einflüsse wie Regen, Schnee, Sonneneinflüsse, Nebel
- Verschmutzung der Infrarot-Optik
- Temperaturunterschied von Hintergrund und Objekt oftmals zu gering (vorwiegend im Winter und Sommer problematisch)
- Fahrzeugfarben können infolge Reflexionen ebenfalls Probleme der Detektion verursachen
- nicht genau justierbar auf einzelne Fahrstreifen
- Personen, welche definierte Bereiche durchschreiten, führen zu Fehlanmeldungen
- Schatteneffekte

## 4.2.7 Laser-Erfassung

Ebenfalls in die Gruppe der optischen Systeme gehört die **Laserdetektion**.

### Funktionsweise der Laserdetektoren

Der Laserscanner basiert auf dem Prinzip der Pulslaufzeitmessung. Mit einer Impulslaserdiode werden möglichst kurz hintereinander zwei oder mehr Lichtimpulse ausgesendet, welche vom Verkehrsteilnehmer reflektiert werden. Dabei wird jeweils die Pulslaufzeit gemessen, aus der dann aufgrund der konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit der Pulse die Entfernung der Personen bzw. Fahrzeuge errechnet werden kann. Die fächerförmige Abtastung der Umgebung kann vertikal oder horizontal erfolgen. Dabei erfasst der Laserscanner jeweils eine Front der Verkehrsteilnehmer und meldet in vordefinierten Marken eine Feldverletzung (belegt/nicht belegt).

### Erfassungsgebiet und Anordnung

Ein Laserscanner kann als Erfassungsgebiet sowohl den Zufahrts- und Abflussbereich einer Lichtsignalanlage abdecken. Durch einen Abtastwinkel von über 270° sind Anmeldung, Verlängerung bzw. Dimensionierung von Grünzeiten wie auch "Rotfahrer" durch den Laser erfassbar. Es können bis zu zehn unterschiedlich konfigurierbare Auswertefelder definiert werden und somit auch mehrere Fahrstreifen abgedeckt werden. Die Montage erfolgt an den Signalmasten auf rund 60 cm Höhe mit Ausrichtung zum Fahrstreifen. Wird das Lasergerät zu hoch montiert, so scannt dieser durch die Scheiben der Fahrzeuge, was zu fehlenden Anmeldungen führen kann. Eine richtungsabhängige Erfassung ist mit Hilfe des Laserscanner möglich.

### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmern

Neben der Verlängerung bzw. Dimensionierung von Grünzeiten wird der Laserscanner auch für die Anmeldung von Zweirädern und Fahrzeugen (MIV) eingesetzt. Die Stauerfassung ist mittels Laserscanner ebenfalls möglich, jedoch mit jeweils einem separaten Gerät. Die Reichweite beschränkt sich auf maximal 30 m, hängt allerdings sowohl von der verwendeten Technologie als auch von der Ausrichtung und Montagehöhe ab.

### Kosten-Nutzen von Lasergeräten

Die Anschaffungs- und Installationskosten von Laserscannern liegen durchschnittlich dreimal höher als die Kosten von Induktionsschleifen. Aufgrund bodennaher Installation sind Lasergeräte mit einem zusätzlichen Vandalenschutz auszustatten, um den Schutz der sensiblen Technologie gewährleisten zu können. Ein Lasergerät ist in der Lage zwei Fahrstreifen gleichzeitig abzudecken. Grosse Öffnungswinkel von Lasergeräten erlauben je nach Anordnung zudem eine Erfassung des Abflussbereiches. Der finanzielle Aufwand bzw. ökonomische Nachteil von Lasergeräten schränkt den Nutzen dieser Geräte stark ein. Die Kosten liegen trotz grosser Abdeckung des Gerätes noch nicht im Rahmen der Induktionsschleifen. Die Wartungskosten sind mit denen der Videogeräte vergleichbar, da aufgrund der fragilen Technologie wie auch der ungünstigen, bodennahen Lage, halbjährliche Wartungen notwendig sind.

### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Lasergeräten

Vorteile:

- Erfassung ferromagnetischer als auch nicht ferromagnetischer Materialien
- Erfassungsbereiche sehr genau einstellbar
- Detektion von mehreren Fahrstreifen möglich
- richtungsabhängige Erfassung möglich

Nachteile:

- teure Infrastruktur
- Verschmutzungsgefahr der optischen Sensoren
- fragiles System, anfällig auf Vandalismus und äussere Einflüsse
- Personen, welche definierte Bereiche durchschreiten, führen zu Fehlanmeldungen

## 4.2.8 Radar-Erfassung

Der Radar gehört zu den Mikrowellensystemen der Verkehrserfassung

### Funktionsweise der Radardetektoren

Die Radardetektion beruht auf dem Dopplereffekt. Dabei werden elektromagnetische Wellen gebündelt und als sogenanntes Primärsignal ausgesendet. Dieses Signal wird vom Objekt reflektiert und mit einer anderen Frequenz (Sekundärsignal) wieder vom Detektor empfangen. Radarsonden sind in der Praxis weit verbreitet und gewährleisten insbesondere bei Geschwindigkeitsmessungen eine hohe Genauigkeit. Die Detektion mittels Radar ist dynamisch

und reagiert nur auf die Bewegung der Objekte. Ruhende Objekte können mittels Radar nicht erfasst werden.

#### Erfassungsgebiet und Anordnung

Radarscanner werden Überkopf an den Signalmasten platziert. Das Erfassungsgebiet erstreckt sich bis zu 60 m. Die Reichweite hängt allerdings sowohl von der verwendeten Technologie als auch von der Ausrichtung und Montagehöhe ab. Bedingung für eine Erfassung ist die Bewegung der Verkehrsteilnehmer. Ein Radargerät ist in der Lage, die Verkehrsteilnehmer in einer Richtung zu detektieren.

#### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmer

Mittels Radarscanner ist eine Erfassung aller Verkehrsteilnehmer für eine Verlängerung bzw. Dimensionierung der Grünzeiten möglich. Anmeldungen von Zweirädern und Fahrzeugen (MIV) sind ebenfalls realisierbar.

#### Kosten-Nutzen von Radarsensoren

Radarsensoren zur Erfassung der Verkehrsteilnehmer sind im Hinblick auf die Kosten vergleichbar mit denen von Videogeräten oder Magnetfeldsensoren und liegen rund 40 % höher als bei Induktionsschleifen. Die Wartungskosten von Radarsensoren liegen im gleichen Rahmen wie von Infrarotsystemen. Eine jährliche Wartung ist für dieses Erfassungssystem ausreichend.

#### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Radarsensoren

Vorteile:

- geringe Installations- und Wartungsaufwendungen
- Richtungserkennung möglich (Sensor reagiert auf Annäherung)
- grosse Reichweite des Erfassungsbereichs
- Flexibilität bei Änderung der Fahrstreifen

Nachteile:

- Erkennung von stehenden Fahrzeugen nicht möglich
- Witterungsabhängigkeit (Einfluss durch Regen, Schnee)
- Störungen durch Reflexionen / Bewegung von Bäumen
- Radarschatten
- Personen, welche definierte Bereiche durchschreiten, führen zu Fehlanmeldungen

### 4.2.9 Funk-Erfassung

Funk als Erfassungsmittel kommt hauptsächlich für den öffentlichen Verkehr und für Notruffahrzeuge zum Einsatz.

#### Funktionsweise der Funk-Erfassung

Die Lichtsignalanlage sowie die Fahrzeuge müssen mit Empfängern bzw. Sendern entsprechend ausgerüstet werden. Die Anmeldung an eine Lichtsignalanlage erfolgt per Funkübertragung über eine durch das Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) zugeteilte Funkfre-

quenz. Die Auslösung des Datenaustauschs per Funk kann einerseits manuell mit einem so genannten **Handsender** ausgelöst werden oder erfolgt vollautomatisch. Die vollautomatische Auslösung eines Funksignals erfolgt über geographische Koordinaten (GPS-Daten) oder lokal über Infrarot-Baken.

#### Erfassungsgebiet und Anordnung

Mit Hilfe von Funk können Anmeldungen je nach System über Distanzen von rund zwei Kilometer übertragen werden, so dass eine frühzeitige Bevorzugung an der LSA möglich wird.

#### Erfassungsmöglichkeit von Verkehrsteilnehmer

Die Daten, welche mittels Funk übertragen werden, können unterschiedliche Parameter wie z.B. Notruffahrzeug, Linienzugehörigkeit enthalten. Aus diesem Grund ist eine Erfassungsmöglichkeit für diejenigen Verkehrsteilnehmer, welche mit einem solchen System ausgestattet sind, gewährleistet. Vorwiegend wird die Erfassung mittels Funksystemen bei Notruffahrzeugen sowie beim öffentlichen Linienverkehr eingesetzt.

#### Kosten-Nutzen von Funksystemen

Der Nutzen eines Funksystems ist beschränkt auf die Verkehrsteilnehmer, welche durch ein entsprechendes Funkmodul ausgerüstet worden sind. Jeder Verkehrsteilnehmer muss mit einem Funksender, -empfänger ausgerüstet werden, was einer linearen Zunahme der Kosten pro Verkehrsteilnehmer entspricht. Aufgrund dieser hohen Anschaffungskosten und des hohen Installationsaufwand werden Funksysteme vorwiegend für ÖV und Notruffahrzeuge eingesetzt. Die Wartungsintensität bei Funksystemen fällt eher gering aus.

#### Vor- und Nachteile beim Einsatz von Funk-Systemen

Zu den Vorteilen gehören die eindeutige Bevorzugung, sowie die grossen Distanzen, für welche diese Erfassungssysteme einsetzbar sind. Bekannte Nachteile von Funksystemen sind der Einfluss anderer Funksysteme, Funkfrequenzen auf die Datenübertragung via Funk. Zudem muss jedes Fahrzeug mit einem Funkgerät ausgestattet werden, was relativ hohe Installationskosten bzw. Aufwendungen verursacht. Durch Überbelastung des Systems oder durch entstehende Verarbeitungszeiten können Anmeldeverzögerungen auftreten.

### 4.2.10 Ultraschall-Erfassung

Bei der Ultraschall-Erfassung werden Schallwellen ausgesendet, welche von der Fahrbahn oder von Fahrzeugen und Personen reflektiert werden und am Gerät wieder aufgenommen und ausgewertet werden. Diese Schallwellen befinden sich im nicht hörbaren Frequenzbereich von 16-35 kHz. Die Sendeantenne eines Ultraschallgerätes sendet periodisch kurze Ultraschallimpulse aus. Der Empfänger empfängt nach dem Aussenden der Impulse die Echos der reflektierten Sendeimpulse. Die reflektierten Schallimpulse haben aufgrund des Doppler-Prinzips eine Frequenzveränderung. Diese Änderung dient somit als Auswertungsgrundlage. Ultraschallsysteme kommen häufig nur in kombinierten Systemen vor und werden nicht weiter behandelt.

#### 4.2.11 Kombinierte Systeme

Zur Erfassung von Verkehrsteilnehmern können auch Kombinationen aus den oben genannten Systemen zum Einsatz kommen. Bei den kombinierten Systemen werden verschiedene Systeme eingesetzt, um die Anforderungen abdecken zu können. So werden Kombinationen aus **Infrarot/Ultraschall** und **Infrarot/Radar/Ultraschall** in der Praxis bereits in der Verkehrsdatenerfassung eingesetzt. Bei Lichtsignalanlagen sind bis zu diesem Zeitpunkt noch keine solchen Systeme bekannt. Auf diese Anwendung abgestimmte Systeme könnten in Zukunft jedoch Verwendung finden.

#### 4.2.12 Weitere Erfassungssysteme

Die Messung mit Hilfe einer Lichtschranke, deren Lichtstrahl durch ein Fahrzeug unterbrochen wird, eignen sich nur bei speziellen Einsatzgebieten. Beispielsweise können zum Überwachen von Ausstellnischen in Tunneln Lichtschranken eingesetzt werden.

Für Geschwindigkeitsmessungen werden rechtwinklig zum Strassenverlauf, an den Straßenträndern mindestens je zwei Sender und Empfänger einander gegenüber aufgestellt, so dass jedes Fahrzeug die Strecke zwischen den Geräten passieren muss. Da die Strecke zwischen den einzelnen Sendern bekannt ist, kann daraus die Geschwindigkeit berechnet werden.

Die Nachfolgetechnik zur Lichtschranke stellt die Messung mit Fotozellen dar. Dabei werden die Farbveränderungen eines vorbeifahrenden Fahrzeuges erfasst und daraus die Geschwindigkeit ermittelt. Der Vorteil gegenüber der Lichtschranke besteht darin, dass kein Lichtsender benötigt wird.

### 4.3 Zusammenfassung der aktuellen Erfassungssysteme

Zur Übersicht werden die Vor- und Nachteile der oben erwähnten Erfassungssysteme in Tabelle 9 zusammengefasst.

Es ist anzumerken, dass die Liste der Vor- und Nachteile keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat. Sie nennt jedoch einige typische Merkmale und Eigenschaften für die aufgeführten Technologien.

Verkehrserfassungssystem	Vorteile	Nachteile
Induktionsschleife	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe witterungsabhängige Einschränkungen und äussere Störeinflüsse (z.B. Vandalismus)</li> <li>- Ruhender und stehender Verkehr detektierbar</li> <li>- Richtungsabhängige Detektion realisierbar</li> <li>- Grosse Erfassungsbereiche definierbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reparatur und Instandhaltungsarbeiten sowie Einbau mit grossem Aufwand verbunden</li> <li>- Erfassung beschränkt auf metallische Materialien</li> <li>- Störung der Empfindlichkeit durch bestimmte Baustoffe</li> </ul>
Magnetfeldsensoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine witterungsabhängige Einschränkungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung beschränkt auf metallische Materialien</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatzort unter- sowie oberirdisch möglich</li> <li>- Störeinflüsse können durch Offset-Korrekturen umgangen werden</li> <li>- Keine Erzeugung eines Magnetfeldes notwendig, sondern nur Messung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfluss von anderen Störfaktoren (z.B. Hochspannungsleitungen, Bahn)</li> <li>- Erfassungsbereich hat ungünstige (kugelförmige) Geometrie</li> </ul>
Drucksysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine witterungsabhängige Einschränkungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr fragiler Mechanismus</li> <li>- Keine Identifikation der detektierten Objekte möglich</li> </ul>
Fussgängerdrücker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe witterungsabhängige Einschränkungen</li> <li>- Keine Fehlanmeldungen durch System</li> <li>- Einfache Installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfällig für Vandalismus durch Anordnung (gut Erreichbar)</li> <li>- Drücker kann einfrieren</li> </ul>
Videoerfassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abdeckung von mehreren Fahrstreifen, dadurch entstehen Kostenvorteile</li> <li>- Einfache Installation</li> <li>- Flexibilität bei Änderung der Fahrstreifen</li> <li>- Ruhender und stehender Verkehr detektierbar</li> <li>- Richtungsabhängige Detektion realisierbar</li> <li>- Erfassung aller Materialien möglich</li> <li>- Ereigniserfassung möglich</li> <li>- Automatische Grünzeitverlängerung bei Fussgängerübergängen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Witterungsabhängige Einschränkungen</li> <li>- Probleme bei Lichtverhältnissen</li> <li>- Verschmutzung der Optik</li> <li>- Schatteneffekte und andere Verkehrsteilnehmer können zu Fehlanmeldungen führen</li> <li>- Vandalismus und Verschiebung der Einstellungen durch Vibrationen</li> <li>- Stabile Montage notwendig</li> <li>- Fehlanmeldungen durch Fussgänger</li> </ul>
Infraroterfassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfach Montage</li> <li>- Flexibilität bei Änderung der Fahrstreifen</li> <li>- Erfassung aller Materialien möglich</li> <li>- Automatische Grünzeitverlängerung bei Fussgängerüberquerungen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Witterungsabhängige Einschränkungen (Regen, Schnee)</li> <li>- Verschmutzung der Optik</li> <li>- Temperaturabhängigkeit der Erfassung</li> <li>- Schwierige Justierung auf einzelne Fahrstreifen</li> </ul>
Lasererfassung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung aller Materialien möglich</li> <li>- Erfassungsbereich sehr genau einstellbar</li> <li>- Abdeckung von mehreren Fahrstreifen möglich</li> <li>- Richtungsabhängige Detektion möglich</li> <li>- Ruhender und stehender Verkehr detektierbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teure Infrastruktur</li> <li>- Verschmutzungsgefahr der optischen Sensoren</li> <li>- Fragiles System, anfällig auf Vandalismus/äussere Einflüsse</li> <li>- Fehlanmeldung durch Fussgänger</li> </ul>

<p>Radarerfassung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfach Montage</li> <li>- Richtungsabhängige Detektion realisierbar</li> <li>- Grosse Erfassungsbereiche definierbar</li> <li>- Erfassung aller Materialien möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erkennung stehender Fahrzeuge nicht möglich</li> <li>- Witterungsabhängige Einschränkungen (Regen, Schnee)</li> <li>- Radarschatten</li> <li>- Fehlanmeldung von Fussgängern</li> </ul>
-----------------------	--	--

Tabelle 9: Übersicht der Vor- und Nachteile aktueller Verkehrserfassungssysteme

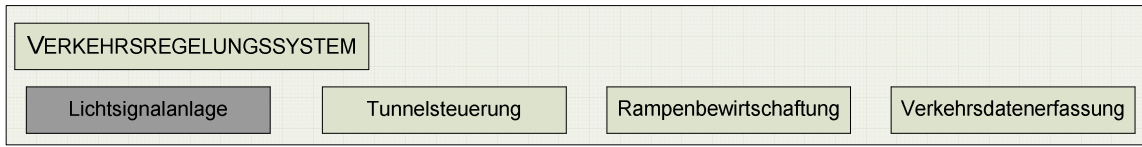
Generell ist anzumerken, dass jeder Sensor, jedes Erfassungssystem Vor- und Nachteile hat und sich daraus ein speziell abgegrenztes Anwendungsgebiet ergibt.

#### 4.4 Systemwahlmatrizen zu den Erfassungssystemen

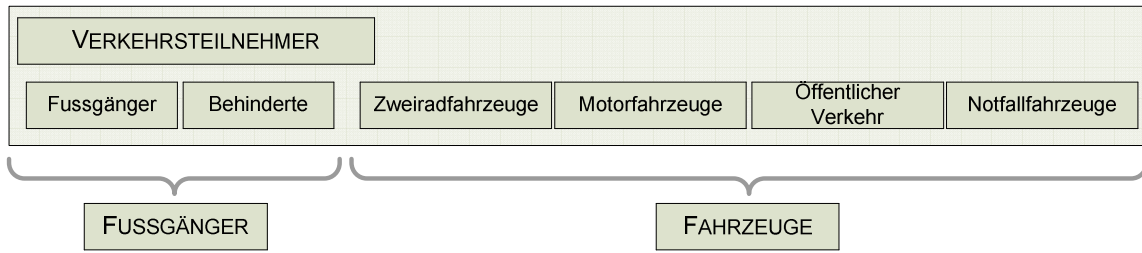
Mit Hilfe von Systemwahlmatrizen soll die Suche nach einem geeigneten Verkehrserfassungssystem erleichtert werden. Jedes System wurde auf die Einsetzbarkeit für unterschiedliche Verkehrsteilnehmer sowie über deren Erfassungsfunktionen und Nutzungseinschränkungen geprüft. Bevor ab Abschnitt 4.4.1 die einzelnen Systemwahlmatrizen erläutert werden, wird zunächst ein kurzer Überblick über die Vorgehensweise dieser Matrizen gegeben.

In einem ersten Schritt wird die Einsetzbarkeit der Erfassungssysteme für unterschiedliche Verkehrsregelungssysteme analysiert. Wobei der Fokus dieser Forschungsarbeit im Bereich von Lichtsignalanlagen liegt. Deshalb beziehen sich die nachfolgenden Schritte stets auf diesen Bereich der Verkehrsregelung, was durch spezielle Markierungen in Abbildung 19 ersichtlich wird. In einem zweiten Schritt werden die Erfassungssysteme im Hinblick auf deren Einsetzbarkeit für unterschiedliche Verkehrsteilnehmer untersucht. Ausgehend von der Unterscheidung Fussgänger / Fahrzeuge, kann in einem dritten Schritt die Auswahl der geeigneten Erfassungssysteme weiter über deren Funktionen eingeschränkt werden. Zudem können in einem vierten Schritt die Nutzungseinschränkungen der Erfassungssysteme die Wahl des optimalen Erfassungssystems einschränken.

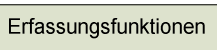
1. Schritt



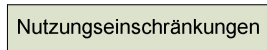
2. Schritt



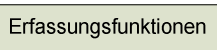
3. Schritt



4. Schritt



3. Schritt



4. Schritt

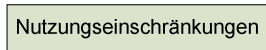


Abbildung 19: Vorgehensweise der Systemwahlmatrizen

Sind detaillierte Angaben zu den unterschiedlichen Nutzungseinschränkungen erwünscht, so wird im Anhang dieser Forschungsarbeit eine grosse Übersichtstabelle der Nutzungseinschränkungen für Fussgänger / Fahrzeuge bereitgestellt.

4.4.1 Einsetzbarkeit für Verkehrsregelungssysteme

Lichtsignalanlagen, Rampenbewirtschaftung, Tunnelsteuerungen und Verkehrsdatenerfassung gehören zu unterschiedlichen Verkehrsregelungssystemen und haben daher auch verschiedene Anforderungen an die Verkehrserfassungssysteme. In Tabelle 10 ist die Einsetzbarkeit der Erfassungssysteme für die unterschiedlichen Verkehrsregelungssysteme aufgezeigt. Im Folgenden werden ausschliesslich die Anforderungen aus der Sicht der Lichtsignalanlagen untersucht.

Verkehrsregelungssysteme	Verkehrserfassungssysteme	Systeme im Belag							Systeme über dem Belag																	
		Induktive Systeme	Induktionsschleifen	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Piezoelektrische Sensoren	Optoelektronische Sensoren	Pneumatische Sensoren	Induktive Systeme	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	FussgängerDrücker	Drücker mit Blindentaster	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laser-Scanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk	Akustische Systeme	Ultraschall	Kombinierte Systeme	Infrarot/Ultraschall	Infrarot/ultraschall/Radar
Lichtsignalanlagen			✓	✓		○	○	○		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		○		○	○	
Rampenbewirtschaftung			✓	○		○	○	×		○		×	×	✓	×	✓		○		×		○		✓	✓	
Tunnelsteuerung			✓	○		○	○	×		○		×	×	✓	×	✓		○		×		○		✓	✓	
Verkehrsdatenerfassung			✓	○		○	○			○		×	×	✓	×	✓		✓		×		○		✓	✓	

✓ : System geeignet    ○ : System bedingt geeignet    × : System nicht geeignet

Tabelle 10: Verkehrsregelungssysteme und deren Erfassungssysteme

### 4.4.2 Einsetzbarkeit für Verkehrsteilnehmer

Beim Regeln der Lichtsignalanlagen werden die Verkehrsteilnehmer in verschiedene Kategorien unterteilt. Dabei sind die Erfassungssysteme nicht für alle Kategorien einsetzbar oder weisen für einzelne Kategorien markante Vor- bzw. Nachteile auf. Folgende Tabelle zeigt auf, welche Verkehrsteilnehmerkategorien durch die unterschiedlichen Systeme erfasst werden können.

Verkehrsteilnehmerkategorie	Verkehrserfassungssysteme	Systeme im Belag						Systeme über dem Belag																		
		Induktive Systeme	Induktionsschleifen	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Piezoelektrische Sensoren	Optoelektronische Sensoren	Pneumatische Sensoren	Induktive Systeme	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	FussgängerDrücker	Drücker mit Blindentaster	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laser-Scanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk	Akustische Systeme	Ultraschall	Kombinierte Systeme	Infrarot/Ultraschall	Infrarot/ultraschall/Radar
Fussgänger			x	x		x	x	x			x		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		x		x		○	○
Sehbehinderte			x	x		x	x	x			x		○	✓	○	○	○	○	○		✓		○		○	○
Zweiradfahrer			✓	✓		○	○	○			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		x		○		○	○
Motorfahrzeuge			✓	✓		○	○	○			✓		x	x	✓	✓	✓	✓	✓		x		○		○	○
Öffentlicher Verkehr			✓	○		○	○	○			○		x	x	○	○	○	○	○		✓		○		○	○
Notruffahrzeuge			✓	○		○	○	○			○		x	x	○	○	○	○	○		✓		○		○	○

✓ : System geeignet      ○ : System bedingt geeignet      x : System nicht geeignet

Tabelle 11: Verkehrsteilnehmerkategorien und deren Erfassungsmöglichkeiten

### 4.4.3 Erfassungsfunktionen der Verkehrserfassungssysteme

Die Erfassungsfunktionen der Verkehrserfassungssysteme werden in verschiedene Kategorien unterteilt, da je nach Verkehrsteilnehmer andere Funktionalitäten vorausgesetzt werden. Dabei unterscheiden sich die Erfassungsfunktionen für den Fussverkehr (Fussgänger, Sehbehinderte) und den fahrenden Verkehr (ZR, MIV, ÖV, Notruffahrzeuge). In Tabelle 12 ist dargestellt, welche Erfassungssysteme den geforderten Funktionen genügen.

Erfassungsfunktionen	Verkehrserfassungssysteme																									
	Systeme im Belag						Systeme über dem Belag																			
	Induktive Systeme	Induktionsschleifen	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Piezoelektrische Sensoren	Optoelektronische Sensoren	Pneumatische Sensoren	Induktive Systeme	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	FussgängerDrücker	Drücker mit Blindentaster	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laser-Scanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk	Akustische Systeme	Ultraschall	Kombinierte Systeme	Infrarot/Ultraschall	Infrarot/ultraschall/Radar	
<b>Fussgänger/Behinderte</b>																										
Erfassung bzw. Anmeldung von Verkehrsteilnehmern		x	x		x	x	x		x		✓	✓		x	o	o		x			o		x		x	x
Verlängerung bzw. Dimensionierung der Grünzeiten		x	x		x	x	x		x		x	o		✓	✓	✓		✓			o		x		x	x
<b>Fahrzeuge</b>																										
Erfassung bzw. Anmeldung von Verkehrsteilnehmern		✓	✓		o	o	o		✓		x	x		✓	✓	✓		✓			✓		✓		✓	✓
Verlängerung bzw. Dimensionierung der Grünzeiten		✓	✓		o	o	o		✓		x	x		✓	✓	✓		x			x		x		✓	✓
Stau		✓	✓		x	x	x		✓		x	x		✓	x	✓		x			x		x		✓	✓
Ereigniserfassung (Pannenfahrzeuge, Unfälle, etc.)		o	x		x	x	x		x		x	x		✓	x	✓		x			x		x		✓	✓

✓ : System geeignet      o : System bedingt geeignet      x : System nicht geeignet

Tabelle 12: Erfassungsfunktionen der Verkehrserfassungssysteme

#### 4.4.4 Einsatzmöglichkeit der Erfassungssysteme

In Tabelle 13 werden die Erfassungssysteme hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien auf deren Einsatzmöglichkeiten eingeteilt.

Nutzungseinschränkungen	Verkehrserfassungssysteme																										
	Systeme im Belag	Induktive Systeme	Induktionsschleifen	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Piezoelektrische Sensoren	Optoelektronische Sensoren	Pneumatische Sensoren	Systeme über dem Belag	Induktive Systeme	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Fussgänger Drücker	Sehbehinderten Drücker	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laser-Scanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk	Akustische Systeme	Ultraschall	Kombinierte Systeme	Infrarot/Ultraschall	Infrarot/Ultraschall/Radar
<b>Äussere Einflüsse</b>																											
Vandalismus			✓	✓		✓	✓	✓			✓		○	○		✓	✓	○		○		○		○		○	○
Verschmutzung			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✗	○	○		○		○		○		○	○
Fahrstreifen Deformation			✗	○		✗	✗	✗			✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
<b>Witterungsabhängige Einflüsse</b>																											
Niederschlag (Regen, Schnee)			✓	✓		○	○	○			✓		✓	✓		○	○	○		○		✓		○		○	○
Sonneneinstrahlung			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		○	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Nebel, Rauch			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✗	✓	○		✓		✓		✓		○	○
Lichtverhältnisse (Tag/Nacht)			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✗	○	○		✓		✓		✓		○	○
Temperaturschwankungen			✓	✓		✓	✓	○			✓		○	○		✓	✗	✓		✓		✓		○		○	○
Wind			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		○	○	○		○		○		○		○	○
<b>Erfassungsbereich</b>																											
Flexibilität bei Änderungen des Erfassungsbereichs			○	○		○	○	○			○		○	○		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Justierung des Erfassungsbereichs			✓	○		○	○	○			○		✗	✗		✗	○	✗		○		✓		○		✓	✓
Grösse des Erfassungsbereichs, Reichweite			✓	○		✗	✗	✗			○		○	○		○	✓	○		✓		✓		○		○	○
Erfassung mehrerer Fahrstreifen			✗	✗		✗	✗	✗			✗		✗	✗		✓	✗	✓		✗		✗		✗		○	○
Möglichkeit einer Zonenaufteilung			✗	✗		✗	✗	✗			✗		✗	✗		✓	✗	✓		✗		✗		✗		○	○
<b>Montage, Installation</b>																											
Montage- und Installationsaufwand (zeitlich)			✗	○		✗	✗	✗			○		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Wartungsintensität			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✗	○	○		○		✓		○		○	○
Flexibilität des Montagestandorts			○	○		○	○	○			○		○	○		○	○	○		○		✓		○		○	○
Einschränkungen des Fahrstreifens bei Montage/ Installation			✗	○		✗	✗	✗			○		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		○		○	○
<b>Erfassungseigenschaften</b>																											
Richtungsabhängige Erfassung			○	✗		✗	✗	✗			✗		○	○		✓	✗	✓		✓		✗		✗		✓	✓
Bewegungsabhängige Erfassung			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✗	✗		✓	✓	✓		✗		✓		✓		✓	✓
Erfassungsgenauigkeit			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓	○	✓		✓		✓		○		✓	✓
Fehleranfälligkeit der Erfassung			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓	○	✓		○		○		○		✓	✓
<b>Verkehrsteilnehmer</b>																											
Materialabhängigkeit der Fahrzeuge			✗	✗		✓	✓	✓			✗		✓	✓		✓	✗	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Grösse der Fahrzeuge			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Gewicht der Fahrzeuge			✓	✓		○	○	○			✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Farbe der Fahrzeuge			✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓	✓	○		✓		✓		✓		✓	✓

✓: geeignet, keine Einschränkungen ○: bedingt geeignet, mässige Einschränkungen ✗: nicht geeignet, erhebliche Einschränkungen

Tabelle 13: Einsatzmöglichkeiten der Verkehrserfassungssysteme

Weitere Systemwahlmatrizen sind im Anhang aufgeführt, welche genauere Angaben zu den Einschränkungen der einzelnen Systeme machen.

#### 4.4.5 Fazit und Eignung der Erfassungssysteme

Die dargestellten Systemwahlmatrizen dienen als Übersicht und Hilfestellung bei der Wahl eines Verkehrserfassungssystems für unterschiedliche Verkehrsteilnehmerkategorien unter verschiedenen Randbedingungen. Die Matrizen zeigen Eigenschaften und Einschränkung im

Nutzungsbereich der einzelnen Erfassungssysteme auf und dienen als Eingrenzung der Anwendungsmöglichkeiten der einzelnen Systeme. Genauere Informationen zu den einzelnen Systemwahlmatrizen und detaillierte Angaben zu den aufgeführten Nutzungseinschränkungen sind im Anhang zu finden.

Im Folgenden wird auf die Erfassung einzelner Verkehrsteilnehmerkategorien eingegangen.

#### Fussgänger

Für die Erfassung der Fussgänger (Anmeldung, Dimensionierung der Grünzeit bei Sehbehinderten) wurde klar ersichtlich, dass sich die bewährten manuellen Fussgängerdrücker aus Metall nach wie vor am besten eignen. Automatische Fussgängererfassung mittels Video, Radar, Infrarot oder Laser kommt nur für eine Grünzeitverlängerung zum Einsatz. Andere Systeme wie automatische Erkennung mit Infrarotdetektoren Überkopf sind noch in der Entwicklungsphase.

#### Fahrzeuge

Bei der Detektion des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und Zweirädern hat sich herausgestellt, dass alternative Systeme wie Video, Laser oder Magnetfeldsensoren annähernd identische Erfassungszuverlässigkeiten aufweisen. Der Einsatz der alternativen Systeme beschränkt sich jedoch auf spezifische Einsatzgebiete, da diese Systeme verschiedene Einschränkungen aufweisen. Die Induktionsschleifen-Erfassung weist, abgesehen von der Einschränkung, dass nur ferromagnetische Fahrzeuge erfasst werden können, die komplettesten Eigenschaften auf.

#### ÖV und Notruffahrzeuge

Bei der Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs und von Notruffahrzeugen stellten sich die Induktionsschleifensysteme als geeignete Erfassungsmöglichkeiten dar. Induktionsschleifensysteme erzeugen präzise An- und Abmeldungen der Fahrzeuge bei der Lichtsignalanlage und es können verschieden Linien erkannt werden. Bei Funksystemen ist eine sichere und zuverlässige Funkverbindung Voraussetzung für den Einsatz dieses Erfassungssystems. Dabei spielen auch die örtlichen Randbedingungen der Lichtsignalanlage eine bedeutende Rolle.

## 4.5 Künftige Systeme der Fahrzeugdetektion

Neben den konventionellen Fahrzeugdetektionen werden künftig auch mobile und externe Erfassungssysteme eingesetzt. Diese führen zusammen mit speziellen Datenauswertungssystemen zu neuen Dimensionen in der Fahrzeugdetektion und der Verkehrsflusserfassung (vgl. Abbildung 20).

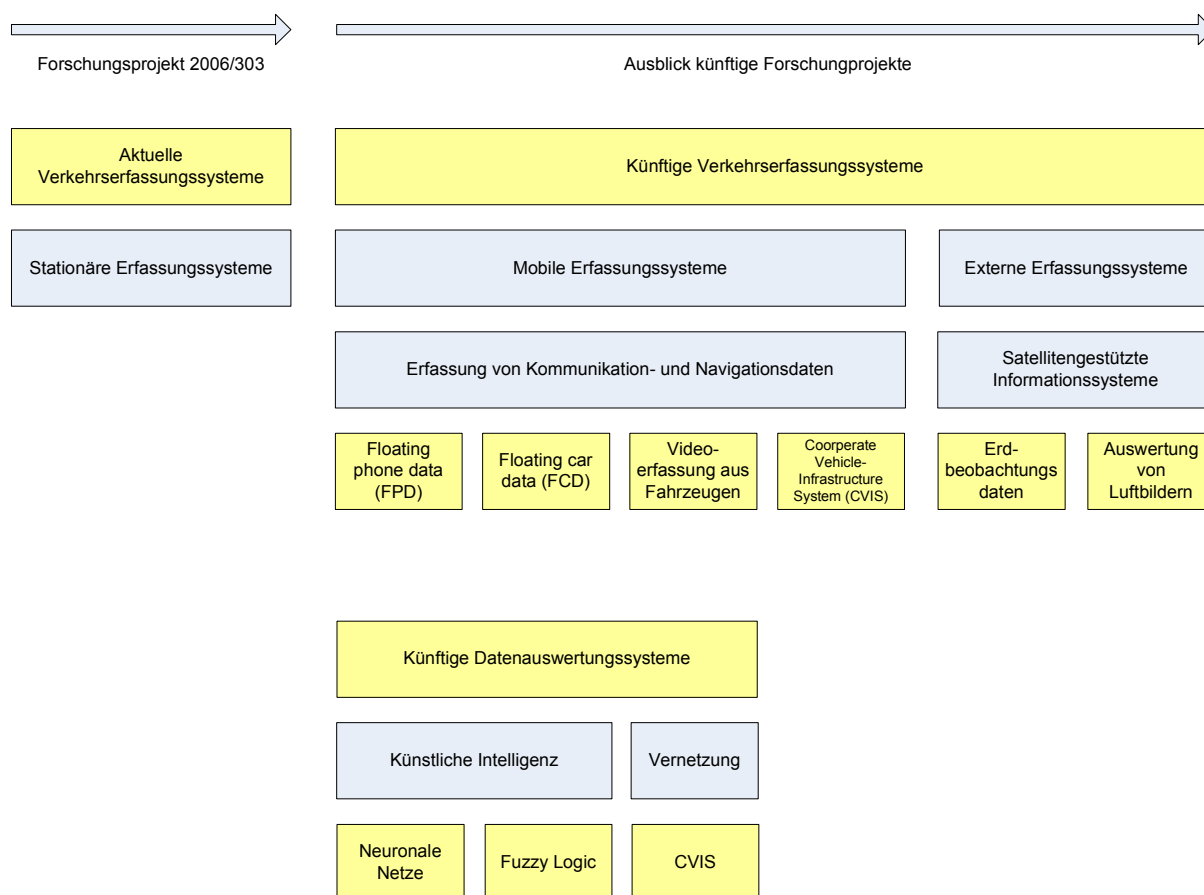


Abbildung 20: Künftige Systeme der Fahrzeugdetektion

Im Folgenden werden künftige Systeme kurz beschrieben. Die Auflistung ist nicht abschließend. Untersuchungen zu deren Einsatz sowie Analysen der Erfassungsergebnisse können Aufgaben künftiger Forschungsprojekte sein.

### 4.5.1 Mobile Erfassungssysteme

#### Floating Phone Data (FPD)

Bei Floating Phone Data (FPD) werden die Verwaltungsdaten genutzt, welche bei Telefonaten im Mobilfunknetz entstehen. Die Informationen ergeben sich aus den Bewegungsdaten von Handynutzern, die anonymisiert und statistisch ausgewertet werden. Das Mobiletelefon meldet in hoher zeitlicher Auflösung Informationen über die aktuelle Empfangssituation an die Basisstation. Wird ein Mobiletelefon bewegt, wie bei der Fahrt in einem Fahrzeug, so ändert sich die Empfangssituation nach einem charakteristischen Muster, welches auf die genaue örtliche Position schließen lässt. Halten sich viele Handybenutzer überdurchschnittlich lange in einer Mobilfunkzelle auf, handelt es sich wahrscheinlich um einen Stau auf dem betrachteten Strassenabschnitt. Aus den vielen einzeln erfassten Informationen können mittlere Reisegeschwindigkeiten von Fahrzeugen aber auch Stausituationen auf dem Streckennetz berechnet und entsprechend der Situation Verkehrsregelungsmassnahmen abgeleitet werden.

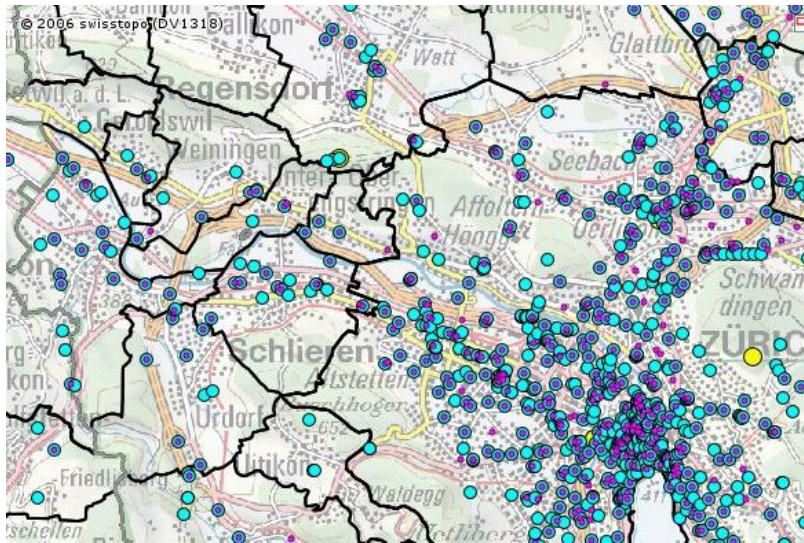


Abbildung 21: Beispiel von Standorten der Mobilnetzsendeanlagen

### Floating car data (FCD)

Mit dem Floating-Car-Data System werden Daten vom aktuellen Verkehrsgeschehen generiert. Dabei werden Fahrzeuge, die mit telematischen Endgeräten ausgestattet sind, zu mobilen Sensoren. Die aus den Fahrzeugen ermittelten Daten werden über Mobilfunk an Rechenzentren übertragen. Dank den Informationen über die genaue Lage der Fahrzeuge (Koordinaten) und der Zeitangabe sind Aussagen über Geschwindigkeit bzw. Stausituation möglich. Somit können frühzeitig, hochaktuelle und umfassende Erkenntnisse für die Verkehrsinformationen gewonnen werden. Das gleiche Endgerät, welches durch den Fahrzeuglenker für andere Telematikdienste eingesetzt wird, dient gleichzeitig als Sender für Verkehrsdaten und dies unter absoluter Anonymität und ohne zusätzliche Übertragungskosten. Sobald ein Fahrzeug die Geschwindigkeit verringert oder im Stau steht, wird dies automatisch gemeldet. Die Summe vieler solcher Meldungen ergibt ein genaues und dazu hochaktuelles Verkehrszustandsbild.

Floating Car Data ermöglicht, Verkehrsströme viel genauer zu ermitteln und damit Echtzeitmodelle und bessere Prognosen zu erstellen. Solche Systeme sind bereits als Pilotprojekte in verschiedenen Städten im Einsatz (z.B. Wien, Hamburg)

### Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems (CVIS)

CVIS steht für kooperative Fahrzeug-Infrastruktur-Systeme, welche künftig ermöglichen, dass Fahrzeuge direkt mit andern Fahrzeugen und mit der Infrastruktur der Umgebung kommunizieren. Das gleichnamige europäische Forschungs- und Entwicklungsprojekt entwirft eine Technologieplattform, welche eine drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur ermöglicht. Ziele dieses Projekts sind:

- Empfehlungen zur Routenplanung in Echtzeit für optimale Route zum Fahrziel
- Vorfalldwarnungen, Geschwindigkeitsinformationen werden den Fahrzeuglenkern mitgeteilt
- Strassenzustand, Staumeldungen werden frühzeitig erkannt und mitgeteilt

- Verkehrslagenentwicklung und Verkehrsstandort wird in Echtzeit prognostiziert

Das Bestreben des Projektes ist, eine Revolution der Beweglichkeit für Reisende und Güter zu ermöglichen. Mit CVIS werden Fahrer die Verkehrssteuersysteme direkt beeinflussen und so die schnellste Route zu ihrem Reiseziel erhalten.

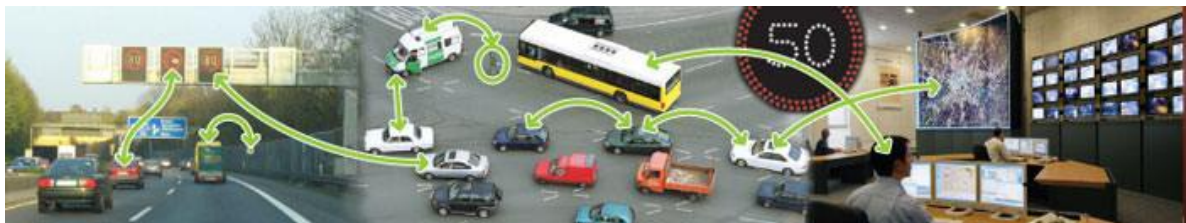


Abbildung 22: Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur (Schematisch)

## 4.5.2 Externe Erfassungssysteme

### Erdbeobachtungsdaten

Verkehrserfassung aus dem Weltraum ermöglicht die Erfassung von Daten über das globale Verkehrsgeschehen. Ein satellitengestütztes Informationssystem soll eine zeitnahe, dauer- und flächenhafte Erfassung des Verkehrs aus dem Weltraum sicherstellen. Durch die Informationsfusion von Erdbeobachtungs-, Kommunikations- und Navigationsdaten kann der ständig wachsende Bedarf an länderübergreifenden Verkehrsdaten gedeckt werden. Ein Radarsatellit bietet gegenüber einem optischen System den entscheidenden Vorteil, dass die Beobachtung völlig unabhängig vom Licht und dem Wetter ist.

### Auswertung von Luftbildern

Luftbilder aus Flugzeugen ergeben eine Verkehrserfassung als Momentaufnahme und dienen der Verkehrsplanung als interessante Grundlagen für Berechnungen.

## 4.5.3 Zukünftige Datenauswertungssysteme

### Neuronale Netze

Neuronale Netze stellen eine neuartige Methode zur Datenauswertung dar. Es handelt sich dabei um ein lernfähiges Verfahren, womit unbekannt Zusammenhänge aus vorhandenen Daten schrittweise erlernt werden können. Wie der Namen bereits vermuten lässt, handelt es sich nicht um die Datenauswertung einer Lichtsignalanlage, sondern aus einem Netz von verschiedenen Lichtsignalanlagen, welche sich gegenseitig beeinflussen. Ziel ist es mittels neuronalen Netzen lernende, selbstorganisierende und kooperierende Lichtsignalanlagen-Steuerungen zu entwickeln. Anhand von Sensoren wird das Verkehrsaufkommen gemessen, um so ein situationsangepasstes Verhalten zu erreichen. Zusätzlich lernt die Steuerung neue Verkehrssituationen. Durch eine kooperative Zusammenarbeit der einzelnen Komponenten kann der Verkehrsfluss erheblich verbessert werden. Somit entsteht nach und nach ein Netzwerk indem optimale Schaltzeiten zum aktuellen Verkehrsaufkommen berechnet und angewendet werden können.

### Fuzzy Logic

Bisherige Datenauswertungssysteme zur verkehrsabhängigen Grünzeitanpassung arbeiteten mit eindeutig definierten Schwellwerten. Diese Schwellwerte wurden aus der Zeitlückenberechnung und Belegungsgraden der Fahrstreifen berechnet. Mit Hilfe einer Fuzzy Logik ist es möglich, die harten Schwellwerte durch gleitende Übergänge zu ersetzen. Ziel ist eine Verbesserung der konventionellen Technik zu erreichen und bei verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerungen eine bedarfsgerechte Anpassung der Freigabezeit zu ermöglichen.

### CVIS

Die Auswertung der erfassten Verkehrsdaten und die sofortige Rückmeldung der verarbeiteten Daten an die Verkehrsteilnehmer ermöglicht erst die volle Funktionalität der neuen Technologie von CVIS.

## 5 UMFRAGE ZUR VERKEHRSERFASSUNG

---

Mit einer Umfrage bei Betreibern von Lichtsignalanlagen in der Schweiz wurden praktische Erfahrungen mit Verkehrserfassungssystemen im Einsatz mit Lichtsignalanlagen gesammelt. Jahrelange Anwendung von Verkehrserfassungssystemen an Lichtsignalanlagen mit unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ergeben umfangreiche praktische Erfahrungen der Betreiber. Verschiedene örtliche Begebenheiten sowie unterschiedliche äussere Einflüsse beeinflussen die Wahl des Verkehrserfassungssystems stark. Die Betreiber eruieren aus ihren subjektiven Erfahrungen eine möglichst optimale Wahl des Verkehrserfassungssystems für die zugehörige Lichtsignalanlage.

Ziel der Umfrage ist aus praktischen Erfahrungen und subjektiven Erkenntnissen der Betreiber, Angaben über Häufigkeit, Zuverlässigkeit, Ausfallrate und Lebensdauer der eingesetzten Verkehrserfassungssysteme zu erhalten. Zudem sollen Einsatzgebiet, entstandene Probleme und allfälliger Verbesserungsbedarf der verschiedenen Verkehrserfassungssysteme aufgezeigt werden.

Die Umfrage wurde Ende Mai 2008 durchgeführt.

### 5.1 Struktur der Umfrage

Die Struktur der Umfrage wurde in drei Bereiche unterteilt, damit die unterschiedlichen Verkehrsarten und Verkehrsteilnehmerkategorien getrennt betrachtet werden können. Grund dieser Unterteilung sind unterschiedliche Prioritäten der Verkehrsteilnehmerkategorien sowie deren Erfassungsmöglichkeiten. Dabei werden die Kategorien Fahrzeuge, Fussgänger / Behinderte und öffentlicher Verkehr / Notruffahrzeuge unterschieden.

Zur **Kategorie Fahrzeuge** gehören diejenigen Verkehrsteilnehmer, welche unter dem Begriff motorisierter Individualverkehr (MIV) zusammengefasst werden kann und die Radfahrer. Der MIV beinhaltet unter anderem Motorräder, Personen- und Lastwagen.

Die **Kategorie der Fussgänger / Behinderte** wird von denjenigen Verkehrsteilnehmer gebildet, welche zu Fuss unterwegs sind. Hierzu gehören Fussgänger und Behinderte.

Zur **Kategorie ÖV / Notruffahrzeuge** gehören diejenigen Fahrzeuge, welche eine bevorzugte Priorität im Strassenverkehr erhalten und sich somit von der Kategorie Fahrzeuge unterscheidet.

## 5.2 Regionale Verteilung der Betreiber

Bei der Wahl der befragten Betreiber wurde darauf geachtet, dass die regionale Verteilung möglichst die gesamte Schweiz repräsentiert. Betreiber aus der deutsch-, französisch- und italienischsprachigen Schweiz wurden im Rahmen dieser Umfrage berücksichtigt. Eine prozentuale Verteilung der angefragten sowie der antwortenden Betreiber wird in Abbildung 23 dargestellt.

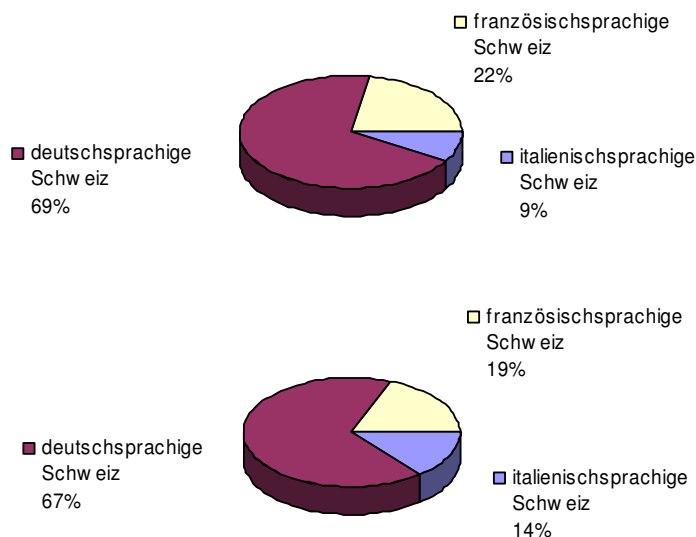


Abbildung 23: Regionale Verteilung der angefragten Betreiber (oben) und antwortenden Betreiber unten)

Von den 45 angefragten Betreibern haben 20 geantwortet. Dies entspricht einem totalen Rücklauf von 44 %. Detaillierte Angaben zu den unterschiedlichen Regionen sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

	Deutschsprachige Schweiz	Französischsprachige Schweiz	Italienischsprachige Schweiz
Angefragte Betreiber	31 (69 %)	10 (22 %)	4 (9 %)
Rückmeldungen	13 (67 %)	4 (19 %)	3 (14 %)
Rücklaufquote	<b>41.9 %</b>	<b>40.0 %</b>	<b>75.0 %</b>

Tabelle 14: Übersicht der regionalen Verteilung mit Rücklaufquoten

## 5.3 Zuständigkeitsgebiet der Betreiber

Die Betreiber können aufgrund ihrer Zuständigkeitsgebiete unterteilt werden. Dabei wird in kantonale und städtische Zuständigkeitsgebiete unterschieden.

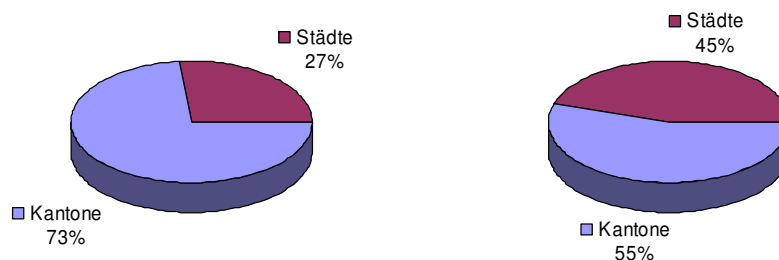


Abbildung 24: Zuständigkeitsbereich der angefragten Betreiber (links) und antwortenden Betreiber (rechts)

Detaillierte Angaben zu den unterschiedlichen Zuständigkeitsbereichen der Betreiber sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

	Kantonale Gebiete	Städtische Gebiete
Angefragte Betreiber	33 (73 %)	12 (27 %)
Rückmeldungen	11 (55 %)	9 (45 %)
Rücklaufquote	<b>33.3 %</b>	<b>75 %</b>

Tabelle 15: Zuständigkeitsbereich der Betreiber mit Rücklaufquote

## 5.4 Klassifikation der Steuerungsarten

In dieser Umfrage wurden schwerpunktmässig die Lichtsignalanlagen betrachtet. Die Rampenbewirtschaftungen und Tunnelsteuerungen wurden nur am Rand mit einbezogen.

Grundsätzlich können Lichtsignalanlagen nach der Art ihrer Steuerung klassifiziert werden. Dabei wird unterschieden nach Anlagen mit Festzeitsteuerung sowie mit teil- und vollverkehrsabhängiger Steuerung.

Ordnet man die in der Umfrage analysierten Lichtsignalanlagen den oben genannten Klassen zu, so wird ersichtlich, dass der Grossteil der Anlagen teil- oder vollverkehrsabhängig gesteuert wird.

<b>Anzahl Lichtsignalanlagen</b>	<b>1545</b>
Festzeitsteuerung	60
Teilverkehrsabhängige Steuerung	274
Vollverkehrsabhängiger Steuerung	1211
<b>Anzahl Rampenbewirtschaftungssysteme</b>	<b>7</b>
<b>Anzahl Tunnelsteuerungssysteme</b>	<b>47</b>
<b>Total Anlagen</b>	<b>1599</b>

Tabelle 16: Anzahl Anlagen

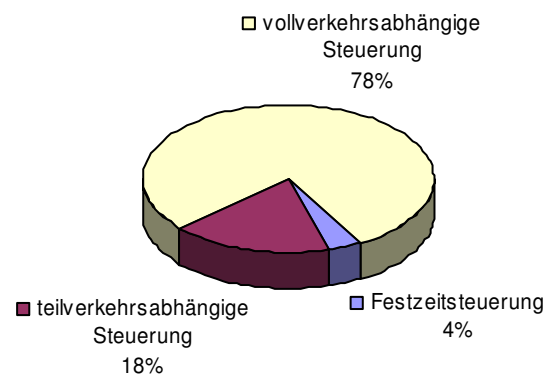


Abbildung 25: Lichtsignalanlagen nach Steuerungsart

## 6 ERGEBNISSE DER UMFRAGE

Die Auswertung der Umfrage wurde in die drei Bereiche Fahrzeuge, Fussgänger, ÖV/Notruffahrzeuge unterteilt.

### 6.1 Fahrzeuge

#### 6.1.1 Induktionsschleifen

##### Einsatz

In der Praxis nimmt die Induktionsschleife den Platz des bedeutendsten Verkehrserfassungssystems der Kategorie „Fahrzeuge“ ein. 26'213 Induktionsschleifen waren zum Zeitpunkt der Umfrage im Einsatz. Dies entspricht einem Anteil von über 98 % aller eingesetzten Erfassungssysteme für Fahrzeuge.

##### Ausfallrate und Ausfallursachen

Jahrelange Erfahrung sowie stetige Weiterentwicklung und Optimierung der Induktionsschleifen tragen zu einer tiefen Ausfallquote von 2.75 % pro Jahr bei. Die Gründe eines Ausfalls kann drei unterschiedlichen Ursachen zugeordnet werden: Ausfall der Detektoren, Ausfall der Auswerter sowie Ausfall durch äussere Einflüsse (z.B. Strassenumbau).

Ursache	Anzahl Ausfälle pro Jahr
Ausfall Detektor	324 (45 %)
Ausfall Auswerter	67 (9 %)
Äussere Einflüsse (z.B. Strassenumbau)	331 (46 %)
<b>Ausfälle Total</b>	<b>721 (100 %)</b>

*Tabelle 17: Häufigkeit verschiedener Ursachen bei Induktionsschleifen*

Der Ausfall einer Induktionsschleife ist in den meisten Fällen auf einen Fehler beim Detektor oder auf äussere Einflüsse wie Strassenumbauten zurückzuführen. Nur bei 9% liegt der Fehler beim Auswerter.

##### Lebensdauer

Die Lebensdauer der Detektoren wird durch die Betreiber mit elf Jahre angegeben. Die Auswerter erreichen gemäss Umfrage eine durchschnittliche Lebensdauer von 17 Jahren.

##### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Die Angaben zur Zuverlässigkeit eines Verkehrserfassungssystems wurden durch die Betreiber prozentual angegeben. Dabei wurden die folgenden Zeitpunkte (neu, nach 1, 3, 5 und 10 Jahre) nach Inbetriebnahme definiert. Daten von knapp 9'000 Induktionsschleifen

dienten als Grundlage für die Zuverlässigkeitsabschätzungen. Aufgrund des unterschiedlichen Datenumfanges kann die Abweichung zur berechneten Ausfallquote erklärt werden.

Betrachtungszeitpunkt [Jahre]	Zuverlässigkeit [%]
neu	99.0 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	97.7 %
3 Jahren nach Inbetriebnahme	96.0 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	91.8 %
10 Jahre nach Inbetriebnahme	84.0 %

Tabelle 18: Zuverlässigkeit in Abhängigkeit der Betriebsdauer

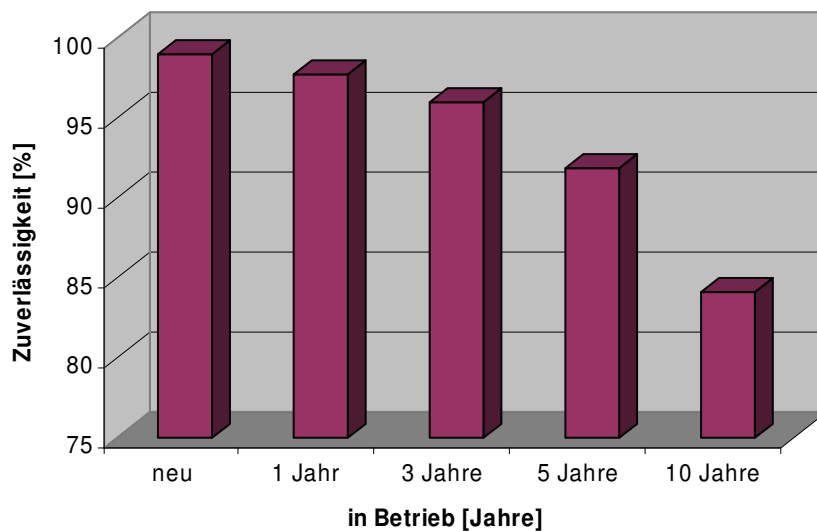


Abbildung 26: Zuverlässigkeit Induktionsschleifen bei Fahrzeugen

Bis zu einer Betriebsdauer von drei Jahren kann bei den Induktionsschleifen für Fahrzeuge mit einer Zuverlässigkeit von über 95 % gerechnet werden. Vor allem bei Schleifen, die länger als fünf Jahre in Betrieb stehen, kann ein markanter Abfall der Zuverlässigkeit festgestellt werden.

#### Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Induktionsschleifen kommen für die Erfassung bzw. Anmeldung von Fahrzeugen, zur Verlängerung bzw. Dimensionierung der Grünzeit sowie für Staumeldungen zum Einsatz. Dabei werden in der Regel Rechtecksschleifen eingesetzt. Für die Erfassung von Zweirädern werden zwei verschiedene Systeme angewendet. Zum einen werden rechteckige Schleifen, welche schräg (meist 45°) zur Fahrbahn angeordnet werden eingesetzt und zum anderen so genannte Zick-Zack Schleifen. Der Erfassungsbereich der Induktionsschleifen beschränkt sich auf die Schleifengeometrie und erfasst nur den Verkehr eines Fahrstreifens.

### Aufgetauchte Probleme und störende Fremdeinflüsse

Das am Häufigsten aufgetauchte Problem im Einsatz mit Induktionsschleifen ist die Einstellung der Empfindlichkeit. Bei Stauschleifen und Fahrzeuganmeldung sollte die Empfindlichkeit der Schleifen nicht all zu gross eingestellt werden, um nicht stetig eine Anmeldung vorliegen zu haben. Bei Fahrradschleifen sollte die Einstellung der Sensibilität so gewählt werden, dass Fahrräder und Fahrzeugkarosserien aus Kunststoff (geringe induzierende Masse) ebenfalls noch erfasst werden können. Lastwagen, deren massive Teile konstruktiv hoch über der Fahrbahn liegen, verursachen auch Schwierigkeiten bei der Erfassung. Grosse Einflüsse zeigten sich auch durch die Belagsbeschaffenheit. Einerseits verursachten Risse durch Bodenveränderungen ein Zerreißen der Schleifen und andererseits mussten bei Belagserneuerung und –sanierung die Induktionsschleifen jeweils ersetzt werden.

### Produkte im Einsatz

Die meisten Betreiber setzen bei der Produktwahl für Induktionsschleifen bei den Auswertern auf Modelle der Firmen 3M, Weiss-Electronic GmbH, Siemens, Covo und Feig. Angaben zu den Produktbezeichnungen der eingesetzten Auswerter sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
3M	Canoga 424C	6180 (32 %)
Siemens	LD4, M-Det.	5450 (28 %)
Weiss-Electronics	IG 745	4732 (24 %)
Covo	Sesam Dialog DAS 110 Sesam Dialog ASZ 201	2450 (12 %)
Feig	VEK M4D-A, VEK M4C-S	600 (3 %)
andere		150 (1 %)

Tabelle 19: Eingesetzte Induktionsschleifen nach Hersteller

## 6.1.2 Radar

### Einsatz

Im Vergleich zu den Induktionsschleifen nimmt die Erfassung der Fahrzeuge mittels Radarscanner mit knapp 1 % der eingesetzten Detektoren eine unbedeutende Rolle ein. Zu beachten ist jedoch, dass ein Radarscanner mehrere Induktionsschleifen abdecken kann. Insgesamt wurden durch die Betreiber 229 Radarscanner zum Erfassen der Fahrzeuge eingesetzt. Aus diesem Grund liegen noch kaum Erfahrungen und Erkenntnisse mit dieser Technologie im Bezug auf die Verkehrserfassung vor.

### Ausfallrate und Ausfallursachen

Mit 14 Ausfällen pro Jahr liegt die Ausfallquote bei 6.11 %. Da dieses System zur Erfassung der Verkehrsteilnehmer nicht im Belag eingebaut, sondern überirdisch montiert wird, gehören

neben den technischen Ausfällen auch äussere Einflüsse wie Witterung und Vandalismus zu den Ausfallursachen.

### Lebensdauer

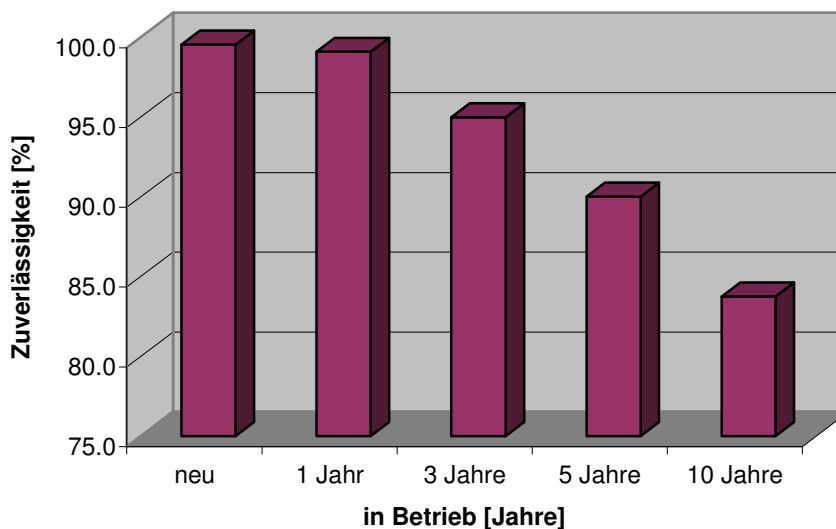
Die geschätzte Lebensdauer der Radardetektoren liegt durchschnittlich bei zwölf Jahren.

### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Aufgrund geringerer Einsatzhäufigkeit, konnten Daten von nur 33 Radarscannern zur Auswertung der Zuverlässigkeit ausgewertet werden. Die Angaben zur Häufigkeit sind wiederum geschätzte Erfahrungswerte der Betreiber.

Betrachtungszeitpunkt [Jahre]	Zuverlässigkeit [%]
neu	99.5 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	99.1 %
3 Jahren nach Inbetriebnahme	95.0 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	90.0 %
10 Jahre nach Inbetriebnahme	83.8 %

*Tabelle 20: Zuverlässigkeit in Abhängigkeit der Betriebsdauer*



*Abbildung 27: Zuverlässigkeit Radarscanner bei Fahrzeugen*

Die Zuverlässigkeit der Radarscanner in Abhängigkeit des Alters zeigt einen ähnlichen Verlauf wie diejenige der Induktionsschleifen.

### Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Die Radarerfassung wird neben der Anmeldung von Fahrzeugen auch für die Dimensionierung der Grünzeiten eingesetzt. Aufgrund der einfachen Änderung des Erfassungsbereichs kommen diese Systeme oft bei Baustellenverkehr zum Einsatz, da dort die Fahrstreifen häufig

fig verschoben werden und somit Induktionsschleifen keine optimale Alternative wären. Erfahrungsgemäss ist die Erfassung der Fahrzeuge bis zu 60 m möglich. Die Abtastung erfolgt in Längsrichtung der Fahrbahn.

#### Aufgetauchte Probleme und störende Fremdeinflüsse

Aufgrund der geringen Erfahrung mit diesem Erfassungssystem ist die optimale Ausrichtung und Einstellung der Empfindlichkeit noch schwierig. Spezielle Probleme werden bei der frontalen Erfassung der Fahrzeuge festgestellt. Zudem treten Probleme durch äussere Einflüsse auf. Neben mutwilligen Verstärkungen der Abtastorientierung des Radars kommen häufig auch witterungsbedingte Störungen vor. Als Beispiel muss der Radarsensor im Winter oftmals vom Schnee befreit werden.

#### Produkte im Einsatz

Die von den befragten Betreibern eingesetzten Produkte sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
AGD-Systems	AGD 200	40 (18 %)
ASIM	MW 231, Triple Tech TT 292	35 (15 %)
Icoms	TMT, TMP	180 (66 %)
Siemens;	Traffic Eyes Universal	2 (< 1 %)
Weiss-Electronics	Radardetektor RD2200, RD_L	1 (< 1 %)

Tabelle 21: Eingesetzte Radarscanner nach Hersteller

### 6.1.3 Infrarot

#### Einsatz

Gemäss Umfrage werden lediglich 136 Infrarotdetektoren zur Erfassung von Fahrzeugen eingesetzt, dies entspricht einem Anteil von rund 0.5 % aller Systeme. Zu beachten ist jedoch, dass mit einem Infrarotsystem mehrere Induktionsschleifen abgedeckt werden können.

#### Ausfallrate und Ausfallursachen

Von den 136 eingesetzten Infrarotdetektoren fallen pro Jahr fünf Detektoren aus. Dies entspricht einer Ausfallquote von 3.67 %. Als Ausfallursachen werden in der Praxis neben den technischen und witterungsbedingten Ausfällen auch Ausfälle infolge Vandalismus angegeben.

#### Lebensdauer

Die Lebensdauer der Infrarotdetektoren wird von den Betreibern durchschnittlich auf 15 Jahre geschätzt.

### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Aufgrund der geringen Anzahl eingesetzter Infrarotsysteme können keine Hinweise zur Zuverlässigkeit angegeben werden.

### Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Wie schon bei Radarscanner liegt das Einsatzgebiet der Infraroterfassung bei der Anmeldung von Fahrzeugen und der Dimensionierung der Grünzeiten. Infraroterfassung wird unter anderem in Brückenbereichen eingesetzt. Der Erfassungsbereich der von den Betreibern eingesetzten Infrarotsysteme beschränkte sich auf jeweils einen Bereich eines Fahrstreifens. In der Praxis wurden Erfassungen von bis zu 50m Distanz realisiert. Die Abtastung erfolgte in Längsrichtung der Fahrbahn.

### Randbedingungen und störende Fremdeinflüsse

Die Infrarotsysteme bedingen eine optimale Ausrichtung und Einstellung. Davon abhängig ist die Erfassungsgenauigkeit von Objekten. Störende Fremdeinflüsse können durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse und Verschmutzungen der Optik bedingt sein.

### Produkte im Einsatz

Die von den Betreibern eingesetzten Detektoren zur Erfassung von Fahrzeugen mittels Infrarot wurden durch die Firmen ASIM und Siemens geliefert.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
Siemens	PIR-Fern	99 (73 %)
ASIM	IR200V, IR200P, IR240	37 (27 %)

Tabelle 22: Eingesetzte Infrarotdetektoren nach Hersteller

## 6.1.4 Videoerfassung

### Einsatz

Insgesamt werden gemäss Umfrage 148 Videosysteme zur Erfassung von Fahrzeugen eingesetzt. Der Anteil liegt damit bei knapp 0.5 % aller Systeme.

### Ausfallrate und Ausfallursachen

Die Ausfallquote der Detektoren zur Videoerfassung von Fahrzeugen liegt bei 5.4 %. Dies entspricht 8 Ausfällen pro Jahr. Als Ausfallursachen werden äussere Einflüsse (Witterung, Vandalismus, Erschütterungen) angegeben.

### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Aufgrund mangelnder Erfahrung im Umgang mit Videoerfassungssystemen seitens der Betreiber sind Angaben zur Zuverlässigkeit nur für die ersten drei Jahre verfügbar. Im Allgemeinen werden die Detektoren als sehr zuverlässig eingestuft.

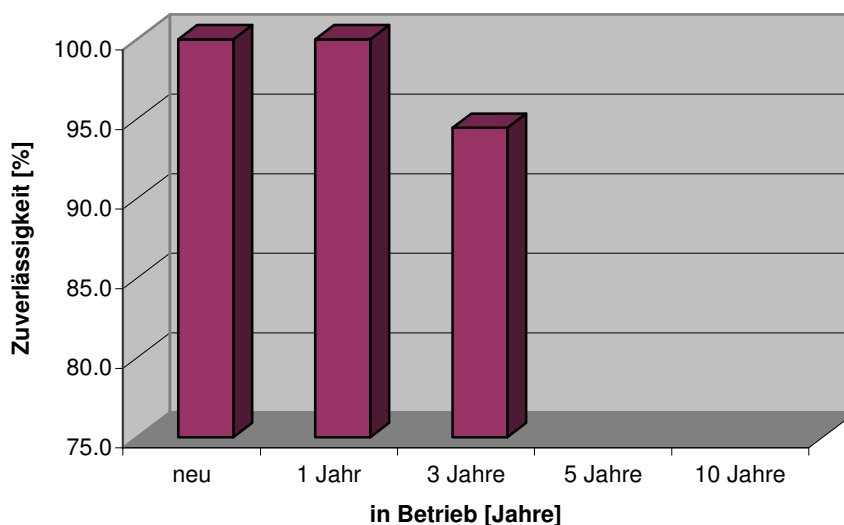


Abbildung 28: Zuverlässigkeit Videoerfassung bei Fahrzeugen

Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Videosysteme kommen sowohl für Anmeldungen als auch Verlängerungen bzw. Dimensionierung der Grünzeit zum Einsatz. Die Erfassung mehrerer Fahrstreifen ist möglich und erreicht eine sehr gute Erfassungsgenauigkeit. Der Erfassungsbereich beläuft sich üblicherweise zwischen 30 bis 50 m. Die Erfahrungen mit dem Erfassen Zweirädern, insbesondere von Fahrrädern waren stets positiv.

Randbedingungen und störende Fremdeinflüsse

Erfahrungsgemäss sind Problembereiche der Videoerfassung sogenannte „Schattenwürfe“, welche zu Fehlanmeldungen führen können. Verschmutzung der Optik der Detektoren zählen ebenfalls zu den störenden Fremdeinflüssen. Ungünstige Witterungsbedingungen wie Nebel, direkte Sonneneinstrahlung und Lichtverhältnisse (Dämmerung / Nacht) werden in der Praxis ebenfalls als problematisch eingestuft. Bei der Anordnung auf einer steigenden Fahrbahn ist eine befriedigende Einstellung unmöglich, falls der Horizont im Bild bleibt.

Produkte im Einsatz

Die von den Betreibern eingesetzten Produkte verteilen sich auf die Firmen Siemens und Traficon. Die unterschiedlichen Modelle der Firmen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
Siemens	Sittraffic VDP, EagleVision	53 (39 %)
Traficon	Traficam 4TI	84 (61 %)

Tabelle 23: Eingesetzte Videosysteme nach Hersteller

### 6.1.5 Andere Systeme

Erfahrungen mit anderen Erfassungssystemen wie Laser, Magnetfeldsensoren, Mikrowellensysteme wurden nur vereinzelt gemacht. Mehrheitlich wurden solche Systeme oder kombinierte Systeme wie Infrarot/Ultraschall lediglich zu Testzwecken installiert. Relevante Erkenntnisse aus diesen Testversuchen konnten noch keine gemacht werden.

### 6.1.6 Zusammenfassung Fahrzeuge

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der verschiedenen Erfassungssysteme für Fahrzeuge verglichen und zusammenfassend dargestellt.

#### Einsatz

System	Total eingesetzte Detektoren
Induktionsschleifen	26213 (98 %)
Radar	229 (1 %)
Infrarot	136 (< 1 %)
Video	148 (< 1 %)
<b>Total</b>	<b>26726</b>

*Tabelle 24: Eingesetzte Systeme bei Fahrzeugerkennung*

#### Ausfallraten

System	Ausfallrate pro Jahr [Prozent]
Induktionsschleife	2.84 %*
Radar	6.11 %
Infrarot	3.67 %
Video	5.40 %

*Tabelle 25: Ausfallrate bei Fahrzeugerkennungssystemen*

\* Die Ausfallrate der Induktionsschleife bezieht sich auf ein Element des Fahrstreifens, wobei jeweils mehrere Induktionsschleifen einen Fahrstreifen abdecken

Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Betrachtungszeitpunkt	Induktionsschleife	Radar	Infrarot *	Video
neu	99.0 %	99.5 %	---	100.0 %
1 Jahre nach Inbetriebnahme	97.7 %	95.1 %	---	100.0 %
3 Jahre nach Inbetriebnahme	96.0 %	95.0 %	---	94.4 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	91.8 %	90.0 %	---	---
10 Jahre nach Inbetriebnahme	84.0 %	83.8 %	---	---

Tabelle 26: Zuverlässigkeit bei Fahrzeugerfassungssystemen

\* keine Angaben möglich

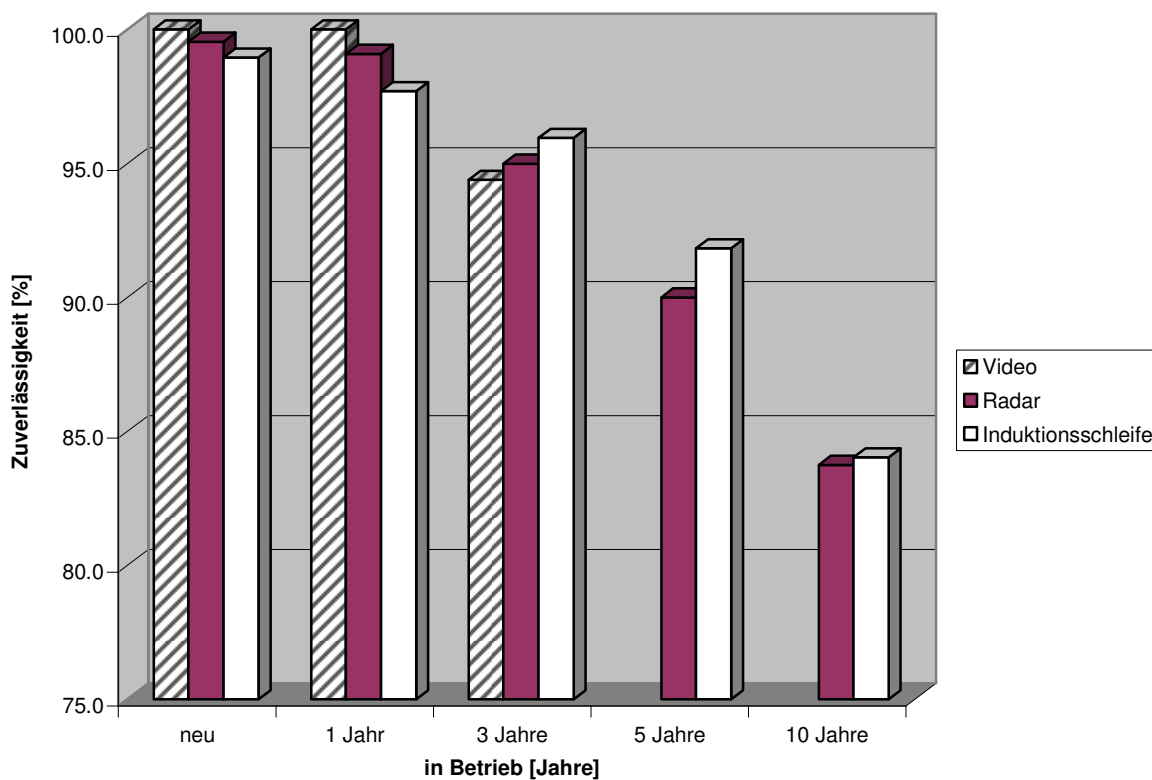


Abbildung 29: Zuverlässigkeiten bei Fahrzeugerfassungssystemen

## 6.2 Fussgänger / Behinderte

### 6.2.1 Drücker

#### Einsatz

Zur Erfassung Fussgänger / Behinderten kommen vorwiegend so genannte Drücker zum Einsatz. Insgesamt sind bei den befragten Betreibern 5258 Drücker in Betrieb.

#### Ausfallrate und Ausfallursachen

Mit 189 Ausfällen pro Jahr liegt die Ausfallrate der Drücker bei 3.6 %. Zu den häufigsten Ausfallursachen der Drücker gehört die Fremdeinwirkung durch Vandalismus.

#### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Die Abschätzung der Zuverlässigkeiten der Drücker erfolgte einerseits mit und andererseits ohne Wartung des Systems. Mit einer jährlichen Wartung der Anlage kann die langfristige Zuverlässigkeit um einige Prozentpunkte erhöht werden.

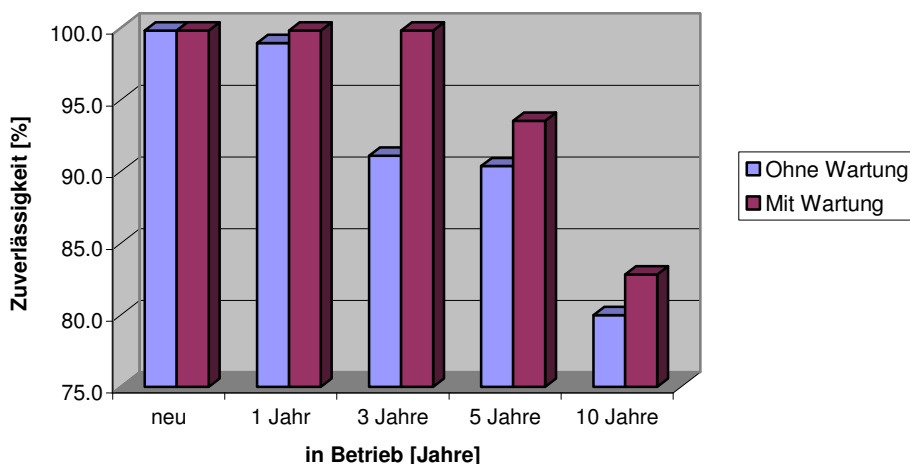


Abbildung 30: Zuverlässigkeit der Drücker mit / ohne Wartung

#### Lebensdauer

Die geschätzte Lebensdauer der Drücker beträgt im Durchschnitt 16 Jahre.

#### Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Drücker werden meist an den Signalmasten platziert und sind in der Regel für eine Fussgängergerichtung gültig. Die Platzierung erfolgt in einer Höhe von rund 110 cm.

#### Randbedingungen und störende Fremdeinflüsse

Probleme im Zusammenhang mit der Erfassung mit Drückern ergeben sich vor allem durch Witterungs- und Fremdeinflüsse. Eingefrorene oder verklemmte Ducktasten können fehlerhafte Daueranmeldung beim System zur Folge haben. Ebenfalls können Rückmeldelampen der Anlage ausfallen. Ansonsten sind diese manuellen Erfassungssysteme durch Fremdeinflüsse relativ störungsresistent (Ausnahme: Gefahr von Vandalismus).

### Produkte im Einsatz

Für die Erfassung der Fussgänger stehen verschiedene Ausführungen der Drücker zur Verfügung. Je nach Situation werden normale Anmeldetaster, Blindentaster, Summer, Vibrations-taster oder Taster mit Rückmeldeoptik eingesetzt.

Firma	Bezeichnung	Mögliche Erfassung	Anzahl gemäss Umfrage
IDIAG	Ergo 2000	FG/BH	3386 (72 %)
Bredar	---	FG	786 (17 %)
Mauerhofer & Zuber	DPMZ98	FG	384 (8 %)
Siemens	---	FG	33 (1 %)
RTB	---	FG	94 (2 %)

*Tabelle 27: Eingesetzte Drücker nach Hersteller*

## 6.2.2 Andere Systeme

Andere Erfassungssysteme wie Radar, Infrarot oder Videoerfassung werden vorwiegend zur Verlängerung der Grünzeit für Fussgänger eingesetzt. Viele der befragten Betreiber haben allerdings nur geringe praktische Erfahrungen.

Vollautomatische Fussgängererfassung (ohne Drücker) waren zum Zeitpunkt der Umfrage keine im Einsatz. Es bestehen zwei unterschiedliche Techniken: automatische Freigabezeit-anforderung und Konfliktflächenüberwachung. Die automatische Freigabezeit-anforderung ermittelt bei Belegung des Fussgängerstreifens eine Verlängerung der Freigabezeit. Die Konfliktflächenüberwachung erfasst die kritische Zone, wo sich Fussgänger und Fahrzeuge kreuzen. Hierbei wird die Grünzeit verlängert, solange auf der Konfliktfläche Fussverkehr herrscht. Rund die Hälfte aller befragten Betreiber können sich allerdings vorstellen ein solches System zur automatischen Erfassung von Fussgängern künftig einzusetzen. Für 31 % der Betreiber kommt jedoch eine automatische Erfassung von Fussgängern nicht in Frage und 15 % sind gegenüber der automatischen Erfassung eher skeptisch.

## 6.3 ÖV / Notruffahrzeuge

### 6.3.1 Induktionsschleifen

#### Einsatz

Verkehrsteilnehmerkategorien mit bevorzugten Prioritäten wie Notruffahrzeuge und ÖV werden rund zu 96 % über Induktionsschleifen erfasst. Dies entspricht einer Anzahl von 4833 Induktionsschleifen. Bei den restlichen 4 % werden hauptsächlich Funksysteme eingesetzt, welche von den befragten Betreibern im Einsatz stehen.

### Ausfallrate und Ausfallursachen

Bei den 4833 Induktionsschleifen fallen jährlich rund 474 Detektoren aus, was einer Ausfallrate von 9.80 % entspricht. Als Ausfallursache können dieselben Gründe wie bei den Induktionsschleifen zur Erfassung von Fahrzeugen ohne bevorzugte Priorität angegeben werden. Hierbei wird klar ersichtlich, dass über 70 % aller gemeldeten Ausfälle durch Strassensanierungen verursacht werden.

Ursache	Ausfälle pro Jahr
Ausfall Detektor	85 (18 %)
Ausfall Auswerter	55 (12 %)
Äusserer Einfluss (z.B. Strassenumbau)	334 (70 %)
<b>Ausfälle Total</b>	<b>474 (100 %)</b>

*Tabelle 28: Häufigkeit verschiedener Ursachen bei Induktionsschleifen bei ÖV / Notruffahrzeugen*

### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Angaben zur Zuverlässigkeit der Induktionsschleifen für ÖV / Notruffahrzeuge spiegeln eine identische Zuverlässigkeit der Detektoren, wie bereits bei den eingesetzten Systemen für Fahrzeuge ohne bevorzugte Prioritäten.

Betrachtungszeitpunkt [Jahre]	Zuverlässigkeit [%]
neu	99.3 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	99.3 %
3 Jahren nach Inbetriebnahme	97.2 %
5 Jahren nach Inbetriebnahme	95.7 %
10 Jahren nach Inbetriebnahme	93.1 %

*Tabelle 29: Zuverlässigkeit der Induktionsschleife bei ÖV/Notruffahrzeugen*

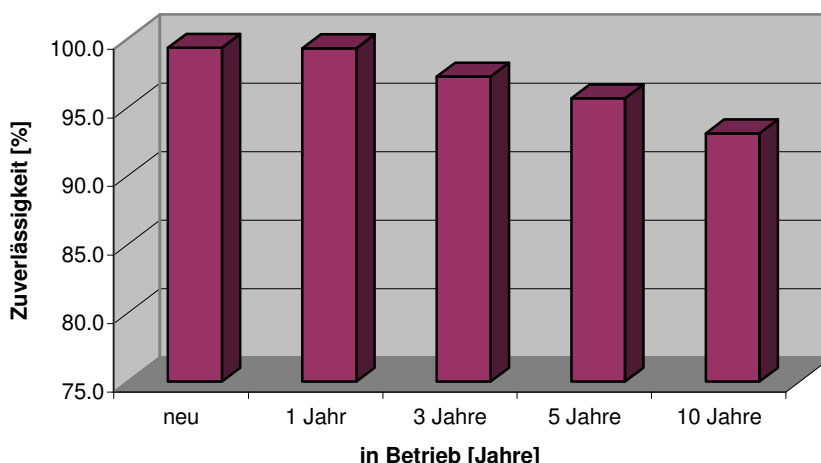


Abbildung 31: Zuverlässigkeit Erfassungssysteme ÖV/Notruffahrzeuges

Lebensdauer

Die geschätzte Lebensdauer der Induktionsschleifen zur Detektion von ÖV / Notruffahrzeugen beträgt im Durchschnitt 14 Jahre. Die Lebensdauer der Auswerter wird mit 20 Jahren angegeben.

Einsatzgebiet und Erfassungsbereich

Erfassungsbereich und Einsatzgebiet sind identisch mit den Angaben zu den Induktionsschleifen von Fahrzeugen ohne bevorzugte Priorität

Bekannte Probleme und störende Fremdeinflüsse

Ein bekanntes Problem im Zusammenhang mit Induktionsschleifen zur Erfassung von ÖV / Notruffahrzeuge ist die Sensibilität der Frequenzen. Zudem werden Fehlanmeldungen durch Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn festgestellt, die ist auf die Positionierung der Schleife zurückzuführen.

Produkte im Einsatz

Die von den Betreibern eingeschätzten Produkte sind in Tabelle 30 zusammengestellt.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
Covo	Sesam Dialog DSA110 / ASZ 201	4355 (98 %)
Siemens	LD4	88 (2 %)

Tabelle 30: Eingesetzte Induktionsschleifen für ÖV/Notruffahrzeuge nach Hersteller

6.3.2 Funk

Einsatz

Funksysteme zur Erfassung von ÖV / Notruffahrzeuge bilden rund 4 % aller eingesetzten Detektoren. Zu beachten ist jedoch, dass ein Funksender mehrere Induktionsschleifen abdecken kann. Insgesamt sind 200 Funksender in Betrieb.

### Ausfallrate und Ausfallursachen

Mit insgesamt acht Ausfällen bei 200 Systemen, liegt die Ausfallrate pro Jahr bei 3.75 %. Bei den Ursachen sind Ausfälle der Detektoren (3) und Ausfälle der Auswerter (5) zu unterscheiden.

### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Die Zuverlässigkeit der Funkssysteme wird im Allgemeinen von den Betreibern als sehr gut eingestuft. Angaben zu langfristigen Erfahrungen bis zu 10 Jahren konnten keine gemacht werden, da die eingesetzten Systeme noch nicht solange im Betrieb stehen.

Betrachtungszeitpunkt [Jahre]	Zuverlässigkeit [%]
neu	99.3 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	99.3 %
3 Jahren nach Inbetriebnahme	90.6 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	90.6 %
10 Jahren nach Inbetriebnahme	---

*Tabelle 31: Zuverlässigkeiten der Funksender bei ÖV/Notruffahrzeugen*

### Lebensdauer

Die Lebensdauer der Detektoren wird durch die Betreiber mit 14 Jahren angegeben. Die Auswerter erreichen gemäss Umfrage eine durchschnittliche Lebensdauer von 20 Jahren.

### Randbedingungen und störende Fremdeinflüsse

Die hohen Kosten der Funkssysteme wurden durch die Betreiber als negativ beurteilt. Hardware wie Software sind für einen grösseren Einsatz zu kostenintensiv. Im Weiteren wurden Probleme mit der GPS Ortungsgenauigkeit aufgrund Störeinflüsse festgestellt.

### Produkte im Einsatz

Die von den Betreibern eingeschätzten Produkte sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Firma	Bezeichnung	Anzahl gemäss Umfrage
SUA Telnet		1
Siemens	IBISplus VDO	100
---	GPS	4

*Tabelle 32: Produktbezeichnung für Funkssysteme nach Hersteller*

### 6.3.3 Infrarot

#### Häufigkeit der praktischen Anwendung

Mit 10 Systemen liegt der Einsatz von Infrarotfassung unter 1 % der verwendeten Systeme. Zu beachten ist jedoch, dass mit einem Infrarotsystem mehrere Induktionsschleifen abgedeckt werden können.

#### Ausfallrate und Ausfallursachen

Durch die geringe Anzahl eingesetzter Infrarotdetektoren sind Angaben zur Ausfallrate nicht möglich.

#### Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Aufgrund der Erfahrungen der Betreiber können Aussagen über die Zuverlässigkeit lediglich für den Betrachtungszeitraum der ersten drei Jahre angegeben werden.

Betrachtungszeitpunkt [Jahre]	Zuverlässigkeit [%]
neu	99.0 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	99.0 %
3 Jahre nach Inbetriebnahme	98.0 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	---
10 Jahre nach Inbetriebnahme	---

*Tabelle 33: Zuverlässigkeit der Infrarotscanner bei ÖV/Notruffahrzeuge*

#### Lebensdauer

Die Lebensdauer der Infrarotsender wird auf sieben Jahre geschätzt. Bei Infrarotempfänger wird die Lebensdauer auf zwölf Jahre geschätzt.

Hinweise über den Erfassungsbereich, die Randbedingungen und störende Einflüsse im Umgang mit Infrarotsystemen sowie deren Produktionsfirmen konnten von den befragten Betreibern nicht angegeben werden.

### 6.3.4 Andere Systeme

Nach Angaben der Betreiber wurden keine weiteren Systeme zur Erfassung von ÖV / Notruffahrzeugen eingesetzt.

### 6.3.5 Zusammenfassung ÖV / Notruffahrzeuge

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der verschiedenen Erfassungssysteme für Fahrzeuge verglichen und zusammenfassend dargestellt.

Einsatz

System	Total eingesetzte Detektoren
Induktionsschleifen	4833 (96 %)
Funk	200 (< 4 %)
Infrarot	10 (< 1 %)
<b>Total</b>	<b>5043 (100%)</b>

Tabelle 34: Eingesetzte Systeme bei ÖV/Notruffahrzeugen

Zuverlässigkeit des Erfassungssystems

Betrachtungszeitpunkt	Induktionsschleife	Funk	Infrarot
neu	99.3 %	99.3 %	99.0 %
1 Jahr nach Inbetriebnahme	99.3 %	99.3 %	99.0 %
3 Jahre nach Inbetriebnahme	97.2 %	90.6%	98.0 %
5 Jahre nach Inbetriebnahme	95.7 %	90.6 %	---
10 Jahre nach Inbetriebnahme	93.1 %	---	---

Tabelle 35: Zuverlässigkeit bei ÖV/Notruffahrzeugerfassungssystemen

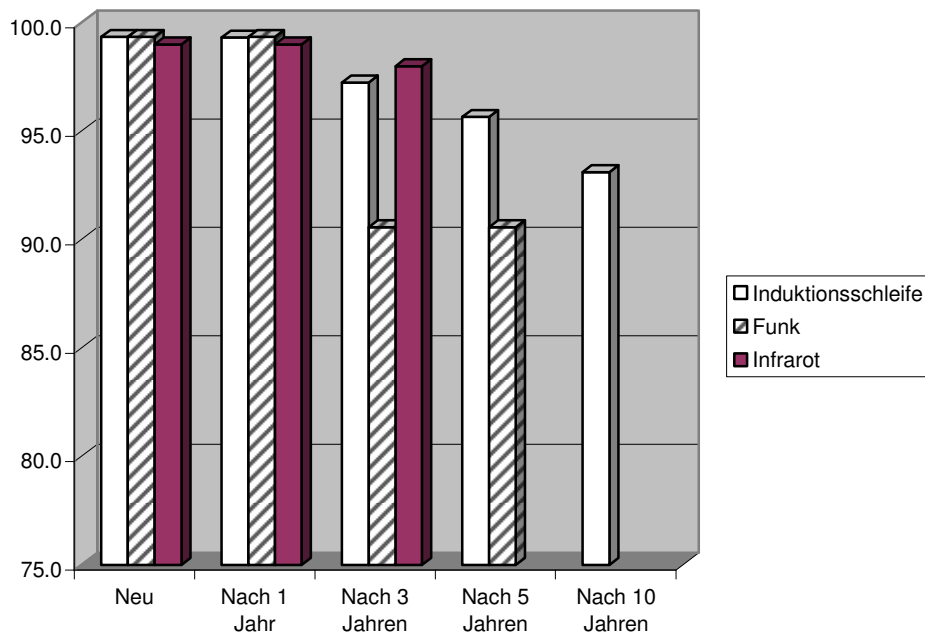


Abbildung 32: Zuverlässigkeit bei ÖV/Notruffahrzeugerfassungssystemen

## Ausfallraten

Erfassungssysteme	Ausfallraten
Induktionsschleifen	1.76 % *
Funk	3.75 %
Infrarot *	---

Tabelle 36: Übersicht Ausfallraten ÖV / Notruffahrzeuge

\* keine Angaben möglich

## 6.4 Bedarf für Verbesserungen aus der Sicht der Betreiber

Vor allem bei der Detektion von Zweirädern, im Speziellen bei der Erfassung von Fahrrädern ist aus der Sicht der Betreiber von Lichtsignalanlagen noch ein Verbesserungspotential vorhanden. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten sehen die Betreiber bei der Erfassung von Fussgängern. Dabei wäre eine vollautomatische Erfassung wünschenswert, um die Anzahl Drücker zu reduzieren und eine Verlängerung der Grünzeiten zu ermöglichen. Eine automatische Grünzeitenverlängerung durch Infraroterfassung wurde bereits realisiert. Im Bereich automatischer Anmeldung bestehen allerdings noch Verbesserungsmöglichkeiten bzw. Lösungsbedarf.

## 6.5 Fazit der Umfrage

Die Umfrage ergibt ein aktuelles Bild der in der Schweiz eingesetzten Verkehrserfassungssysteme bei Lichtsignalanlagen.

Aufgrund der Auswertung der Antworten können die folgenden Feststellungen angegeben werden:

- Mit Abstand am häufigsten (98%) werden heute Induktionsschleifen zum Erfassen der verschiedenen Fahrzeuge eingesetzt
- Von den alternativen Systemen wird der Radar (1%) am meisten angewendet. Die übrigen Systeme wie Infrarot, Video werden nur sporadisch bei Spezialfällen (< 1%) eingesetzt
- Die Zuverlässigkeit der verschiedenen Systeme ist einheitlich: bis zu einer Einsatzdauer von drei Jahren beträgt die Zuverlässigkeit rund 95 %. Nach zehn Jahren fällt sie unter 85 %
- Beim Erfassen der Fussgänger sind fast ausschliesslich Drücker im Einsatz. Andere Systeme werden lediglich zur Verlängerung der Grünzeiten eingesetzt

- Die Zuverlässigkeit der Drücker wird durch die jährlichen Wartung massiv verbessert. Nach drei Jahren Betrieb beträgt der Unterschied beispielsweise nahezu zehn Prozentpunkte (98 % anstatt 90 %).

Lichtsignalanlagen müssen Sicherheitsstandards genügen, damit ein reibungsloser und sicherer Verkehrsablauf gewährleistet werden kann. Einwandfreie Detektion aller Verkehrsteilnehmerkategorien ist somit Voraussetzung für einen praktischen Einsatz. Betreiber sind deshalb auf einwandfrei funktionierende Systeme angewiesen, welche die gewünschten Voraussetzungen erfüllen. Jahrelange Erfahrung bei der Erfassung von Fahrzeugen mittels Induktionsschleifen und den Fussgängern mittels Drückern hemmt die Anwendung alternativer Systeme. Solange die Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Genauigkeit der Detektion und der Preis von alternativen Systemen im Vergleich zu den bewährten Erfassungsmethoden nicht mithalten können, setzen die Betreiber vorwiegend auf jene Erfassungsmethoden, welche seit Jahren im bewährten Einsatz stehen.

---

## 7 FELDVERSUCH 1

---

Mit Feldversuchen wurde ein Vergleich verschiedener Verkehrserfassungssysteme unter realen Bedingungen vorgenommen. Dabei wurden folgende Erfassungssysteme verglichen: **Induktionsschleife**, **Laserscanner**, **Videoerfassung** und **Magnetfeldsensoren**. Induktionsschleifen wurden aufgrund ihres langjährigen und bewährten Einsatzes als Referenzsystem eingesetzt und mit alternativen Systemen verglichen.

Radarscanner besitzen aufgrund ihrer Eigenschaft nur bewegte Objekte detektieren zu können zu grosse Einschränkungen, weshalb dieses Erfassungssystem bei den Feldversuchen nicht berücksichtigt wurde. Ultraschall, Infrarotsensoren und unterschiedliche Drucksensoren wurden infolge zu grosser Nutzungseinschränkungen in den Feldversuchen nicht eingesetzt.

### 7.1 Ziele der Feldversuche

Mit dem ersten Feldversuch sollen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der verschiedenen Verkehrserfassungssysteme für die Fahrzeugdetektion bei Lichtsignalanlagen unter realen Bedingungen überprüft werden. Dabei sollen die Einsatzbedingungen und Grenzen der Systeme aufgezeigt werden.

## 7.2 Vorgehen

### 7.2.1 Versuchsanordnung

Die Versuchsdurchführung fand beim Knoten Muri- / Obfelderstrasse in der Gemeinde Obfelden statt. Dabei wurden bei den Zufahrten Muri- und Obfelderstrasse je zwei Fahrstreifen im Bereich der Knotenzufahrt und dem Abflussbereich überwacht. Auf den Daten von Verkehrsbeobachtungen wurde die Zuverlässigkeit und die Fehlerquote der einzelnen Systeme Induktionsschleifen, Laserscanner sowie Videoerfassung überprüft und beurteilt.

Parallel wurde die Zufahrt Muristrasse zur Lichtsignalanlage im Brückenbereich untersucht. In diesem zweiten Bereich wurde die Detektion von Verkehrsteilnehmer mittels Induktionsschleifen und Magnetfeldsensoren analysiert.

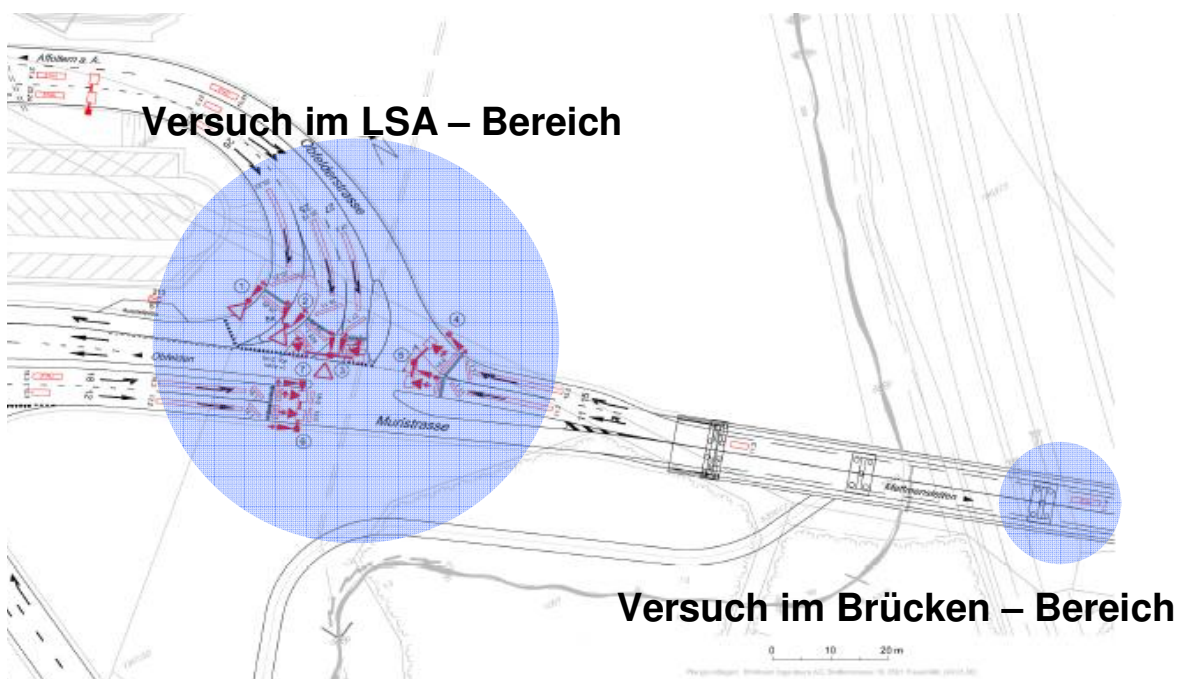


Abbildung 33: Knoten Muri- / Obfelderstrasse mit überwachten Fahrstreifen

### 7.2.2 Fahrstreifenführung und Brückenbereich

Der Knoten Muri- /Obfelderstrasse wurde aufgrund der topographisch speziellen Fahrstreifenführung und des angrenzenden Brückenbereichs für diesen Feldversuch ausgewählt. Die in einer Kurve liegende Zufahrt und gleichzeitig leicht ansteigende Fahrstreifenführung stellt besonders hohe Anforderungen an die Verkehrserfassungssysteme. Im Brückenbereich verursachen einerseits Eisenarmierungen im Belag Störungen der Fahrzeugdetektion und andererseits befinden sich unterhalb der Brücke elektrische Fahrleitungen der Bahn, welche ebenfalls Einwirkungen auf die eingesetzten Erfassungssysteme haben können. Im Brückenbereich werden wegen eines Verbots, den Fahrbahnbelag zu verletzen, ebenfalls nach

alternativen Systemen zur Induktionsschleife gesucht, was ebenfalls durch diesen Feldversuch abgedeckt werden kann.

### 7.2.3 Auswertekriterien

Zum Beurteilen der Genauigkeit der Verkehrserfassungssysteme wurden die Daten der Fahrzeugerkennung mit den Ergebnissen manueller Beobachtungen verglichen.

Dabei wurden für jedes Erfassungssystem folgende Kriterien überprüft:

- Fahrzeugerkennung im Zufahrtsbereich
- Fahrzeugerkennung im Abflussbereich („Rotfahrer“)
- Fehlanmeldungen
  - durch Fahrzeuge auf angrenzendem Fahrstreifen
  - ohne klare Ursache
- räumliche Konstanz (Erfassung der Fahrzeuge am gleichen Querschnitt und zum gleichen Zeitpunkt bzw. örtlich)
- zeitliche Konstanz (Fahrzeuge im Zufahrtsbereich wird über die Zeit konstant erfasst, bis Fahrzeug den Erfassungsbereich verlässt)

### 7.2.4 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung fand zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Die Datenerhebung mittels Videosystem fand am 2. Dezember 2008 statt. Die Erfassung mittels Laserscanner wurde am 14. Mai 2009 durchgeführt. Zu beiden Zeitpunkten herrschten ähnliche Wetterbedingungen: zu Beginn regnerisch, im Laufe der Datenerhebung zunehmende Wetterberuhigung und Aufhellungen.

Der betrachtete Knoten wies kaum Langsamverkehr auf. Es wurden keine Fussgänger sowie wenige Fahrradfahrer erfasst.

## 7.3 Eingesetzte Verkehrserfassungssysteme

### 7.3.1 Induktionsschleifen

Pro Fahrstreifen wurden drei Induktionsschleifen installiert, zwei für den Zufahrtsbereich und eine für den Abflussbereich (Rotfahrer). Die im Zufahrtsbereich installierten Induktionsschleifen deckten zum einen den Anfahrtsbereich (Präsenzschleife) und zum anderen den Bereich vor dem Haltebalken (Anmeldeschleife) ab. Im Abflussbereich wurde zur Erfassung der Rotfahrer eine Induktionsschleife unmittelbar nach der Haltelinie installiert (Rotfahrerschleife). Die Auswerteeinheit der Schleifen wurde durch das Modell IG 745/3 der Firma Weiss Electronic realisiert. Dieses Gerät ermöglicht eine gleichzeitige Auswertung von bis zu vier Induktionsschleifen.



### 7.3.2 Lasererfassung

Die Erfassung von Fahrzeugen mit Laserscanner ermöglicht die gleichzeitige Abdeckung mehrerer Fahrstreifen mit einem Gerät. Im Feldversuch wurde je ein Gerät zur Abdeckung von zwei Fahrstreifen eingesetzt (Spur 11/15). Die anderen Fahrstreifen wurden jeweils mit einem Gerät abgedeckt (Spur 25 und 27). Die eingesetzten Laserscanner waren vom Typ LSM 111 der Firma Sick. Die Reichweite dieses Lasers beträgt rund 30 m, der Öffnungswinkel ist 270 Grad. Dies ermöglicht sowohl eine Erfassung des Zufahrts- als auch des Abflussbereichs. Somit ist der Erfassungsbereich eines Lasergerätes identisch mit dem Erfassungsbereich von insgesamt sechs Induktionsschleifen, verteilt auf zwei Fahrstreifen. Der Erfassungsbereich der anderen Laserscanner ist jeweils auf einen Fahrstreifen ausgerichtet, somit werden je drei Schleifen abgedeckt.

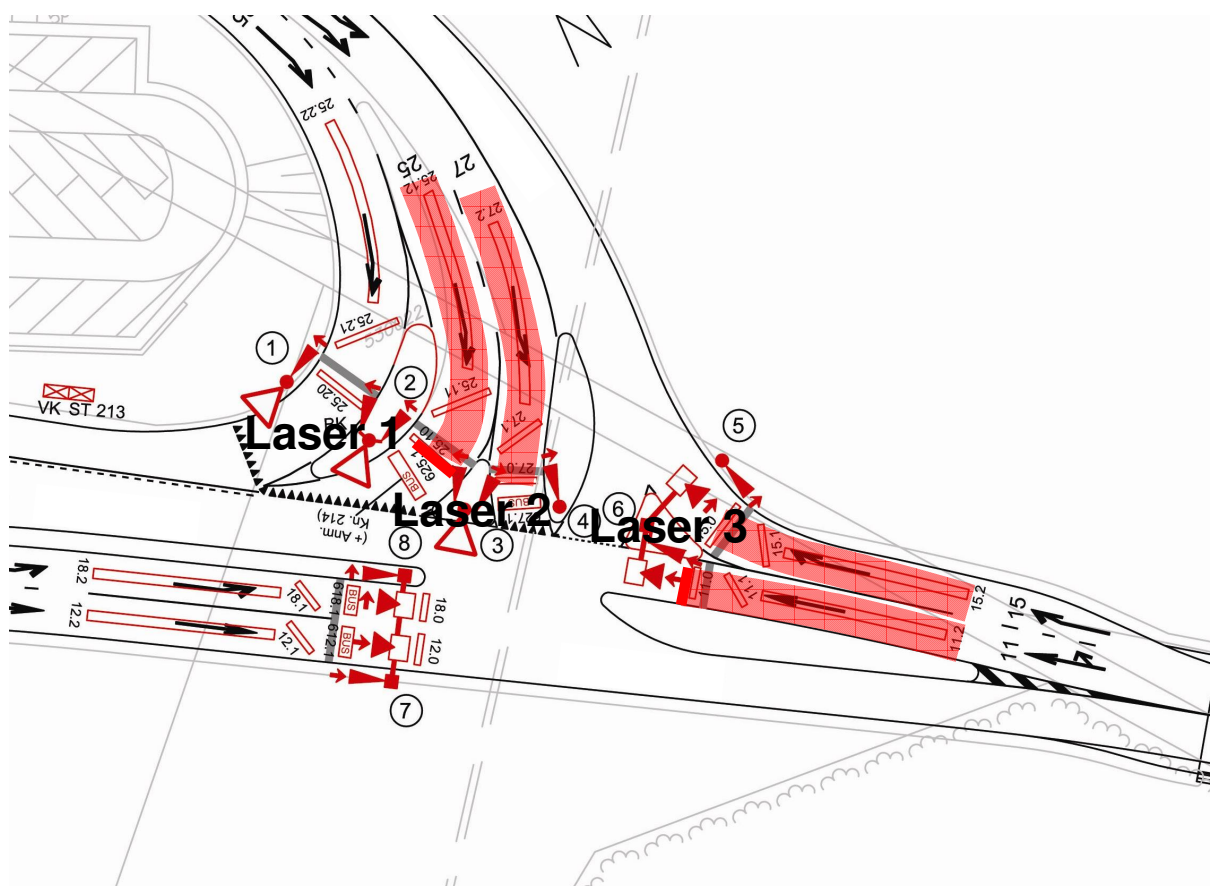


Abbildung 36: Abdeckungsbereich der Laserscanner

Der Laser ist in der Lage Feldverletzungen in den definierten Erfassungsflächen zu erkennen. Die Erfassung der Fahrzeuge wird mittels Frontdetektion realisiert, was eine Installation der Geräte auf einer Höhe von rund 0.6 m in Richtung des Erfassungsbereiches voraussetzt. Dabei wird der Raum horizontal abgescannt.

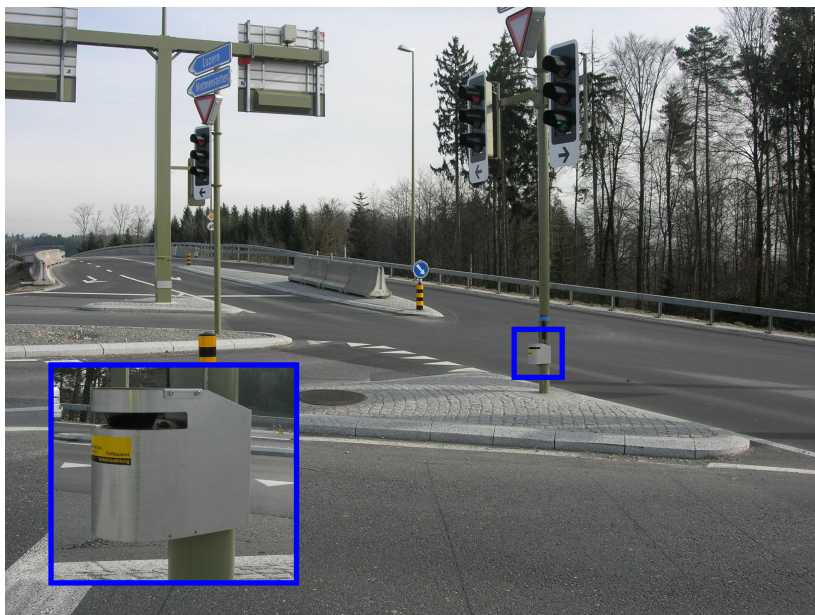


Abbildung 37: Anordnung der Laserscanner

### 7.3.3 Videoerfassung

Das in diesem Feldversuch eingesetzte Videogerät deckt jeweils zwei Fahrstreifen ab. Der Erfassungsbereich kann in bis zu acht richtungsabhängige Zonen unterteilt werden. Wie in Abbildung 40 gut ersichtlich ist, können die Zonen individuell angepasst werden und wie bei den Induktionsschleifen die Zufahrtsbereiche sehr präzise abgedeckt werden. Zur Einstellung der Erfassungsbereiche werden die Eckpunkte des Polygons mit Hilfe der Software genau definiert. Im Feldversuch deckt ein Videoerfassungsgerät jeweils ein Gebiet von vier Induktionsschleifen ab.





Abbildung 39: Anordnung der Videogeräte

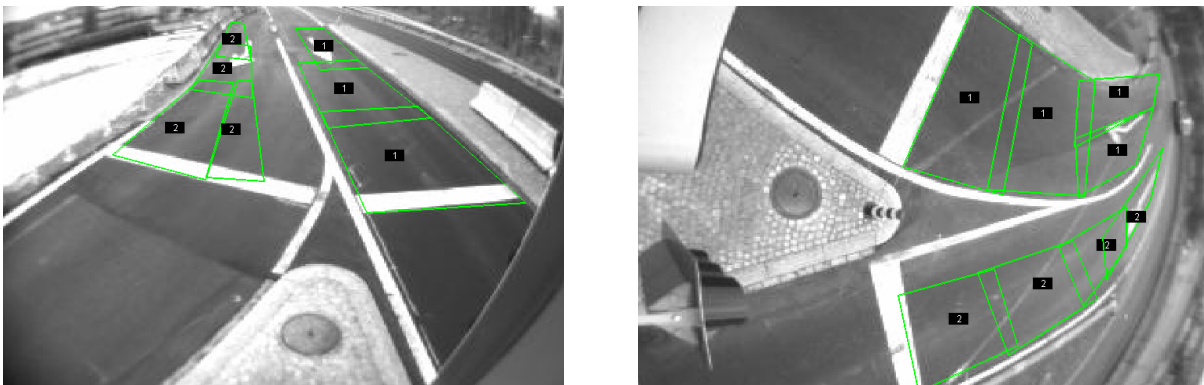


Abbildung 40: Erfassungsbereiche des Videosystems (links Spur 11/15, rechts Spur 25/27)

### 7.3.4 Magnetfeldsensor

Im Brückenbereich wurde an der Zufahrt Muristrasse ein direkter Vergleich zwischen Induktionsschleife und Magnetfeldsensor durchgeführt. Unter den erschwerten Bedingungen (u.a. Armierungseisen, elektrische Fahrleitungen der Bahn) wurde die Detektion eines Stauereignisses analysiert. Der verwendete Magnetfeldsensor ISF.B 05 der Firma ASSIT wurde hierfür unterhalb der Fahrbahn an der Unterseite der Brückenplatte befestigt. Der kugelförmige Erfassungsbereich des Magnetfeldsensors kann frei wählbar bis rund 3 m Radius eingestellt werden. Hierbei war zu beachten, dass die Einstellung des Erfassungsradius so festgelegt wurde, dass der Verkehr auf dem gegenüberliegenden Fahrstreifen nicht mit erfasst wurde.

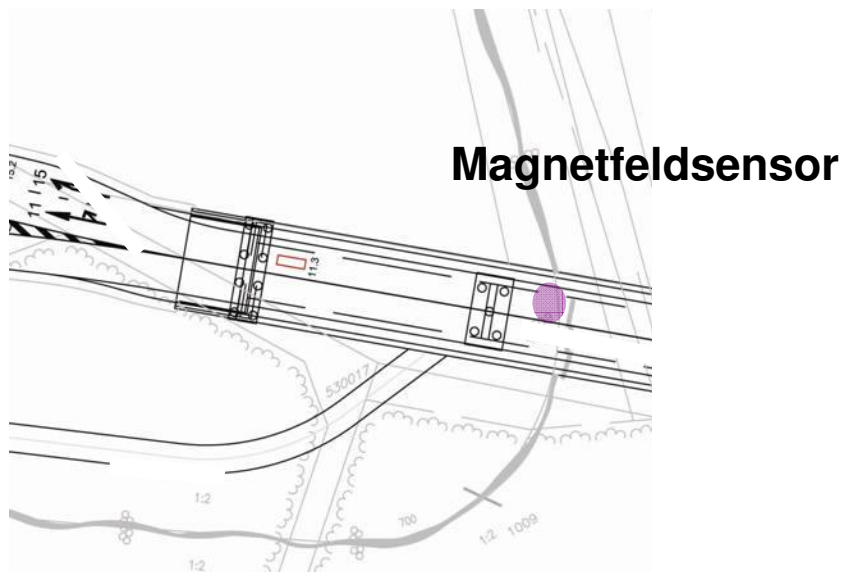


Abbildung 41: Abdeckungsbereich des Magnetfeldsensors

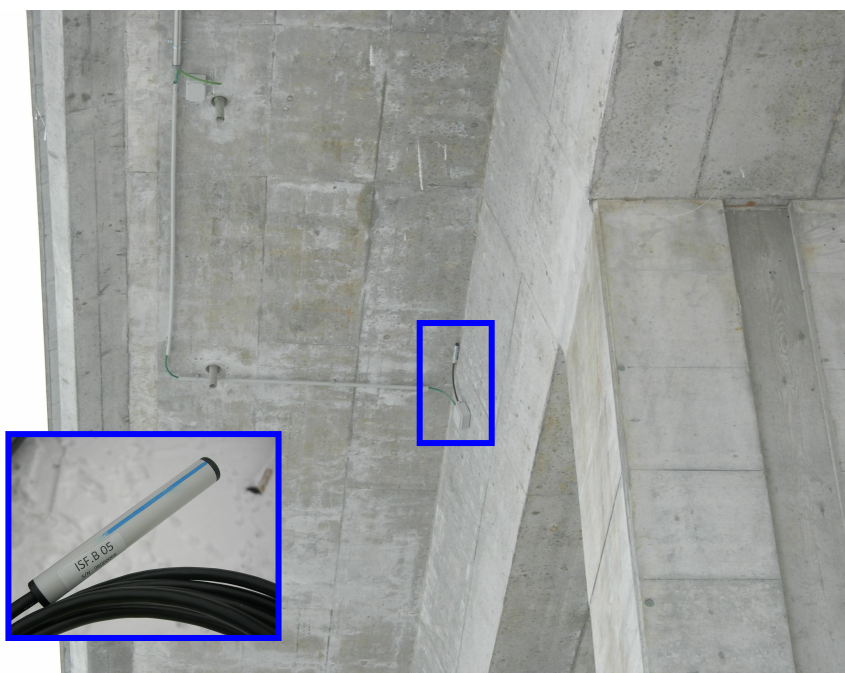
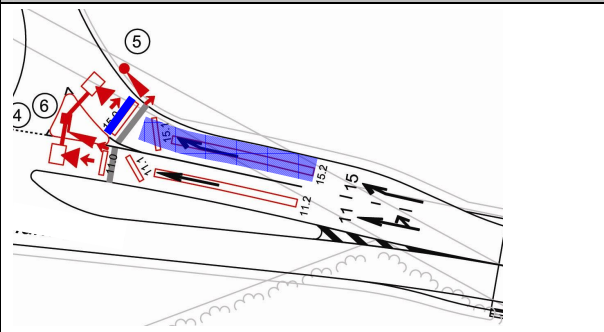
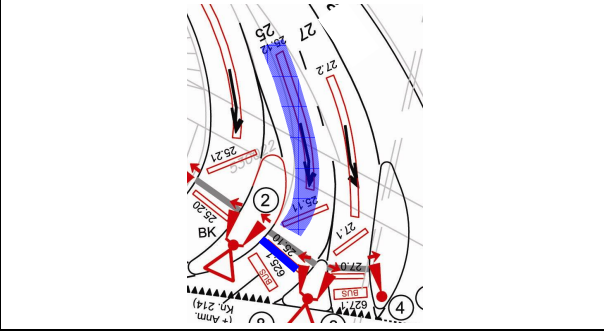
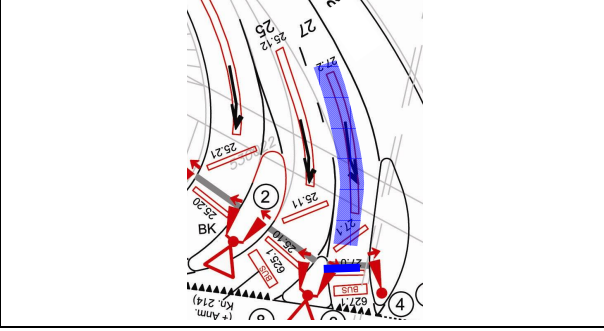


Abbildung 42: Anordnung des Magnetfeldsensors unterhalb der Brückenplatte

## 7.4 Auswertungen des Feldversuchs 1 im LSA - Bereich

Für jede Versuchsanordnung wurden die erfassten Fahrzeuge mit den manuellen Beobachtungen beziehungsweise anhand von Videoaufzeichnungen verglichen. Dabei wurden zwischen 240 und 1'600 Fahrzeuge anhand der Videobilder oder der Beobachtungen vor Ort identifiziert und mit den Ergebnissen der Erfassungsgeräte verglichen. Mit die-



Fahrstreifen 15			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	152	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	152	0
	zeitliche Konstanz	152	0
	Fehlanmeldungen	-	
Besonderes	-		
Fahrstreifen 25			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	793	0
	Abflussbereich	788	5
	räumliche Konstanz	792	1
	zeitliche Konstanz	793	0
	Fehlanmeldungen	-	
Besonderes			
Fahrstreifen 27			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	142	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	142	0
	zeitliche Konstanz	142	0
	Fehlanmeldungen	5	Detektiert Fz von FS 25
Besonderes	-		

### 7.4.2 Videoerfassung

#### Erkennungsrate

Während der Erhebungszeit wurden 242 Fahrzeuge über den Erfassungsquerschnitt. Dabei wurde ein Fahrzeug nicht erfasst. Dies entspricht einer Zuverlässigkeit der Fahrzeugerfassung im Zufahrtsbereich von 99.59%. Durch die Videoerfassung konnten keine Angaben zum Abfahrtsbereich (Rotfahrer) gemacht werden, da der Erfassungsbereich der Videokamera eingeschränkt ist (siehe Kapitel 7.3.3). Um den Abfahrtsbereich dennoch erfassen zu können, wäre der Einsatz eines weiteren Videogerätes notwendig. Sechs Detektionen wurden durch Fahrzeuge auf dem angrenzenden Fahrstreifen ausgelöst. Die Ursache ist identisch mit den Fehlanmeldungen bei den Induktionsschleifen und kann dem Ausholen auf den benachbarten Fahrstreifen der Buslinie zugeordnet werden. Bei einer Fehldetektion konnte

die Ursache nicht eruiert werden. Somit sind Fehlanmeldungen mit knapp 3% auf einem tiefen Niveau.

Die Zuverlässigkeit des Videos ist mit einer annähernd 100% Erkennungsrate sehr hoch und einer Fehldetektion von unter 3% tief.

### Räumliche und zeitliche Konstanz

Bei allen vier Fahrstreifen war die zeitliche Konstanz zu 100% gewährleistet. Ein erfasstes Fahrzeug wurde bis zum Verlassen des Detektionssektors ohne Unterbruch erkannt. Unterschiedlichen Fahrzeugtypen (Lastwagen, Motorräder, usw.) hatten auf die konstante Erfassung des Objekts keine Auswirkungen.

Grössere Differenzen wurden bei der räumlichen Konstanz beobachtet. Die Örtlichkeit der Erkennung des Fahrzeuges variiert stark. So wurde auf einem Fahrstreifen knapp jedes vierte Fahrzeug (22.58%) erst mit deutlicher Verspätung erkannt. In der folgenden Tabelle ist die Auswertung der räumlichen Konstanz dargestellt.

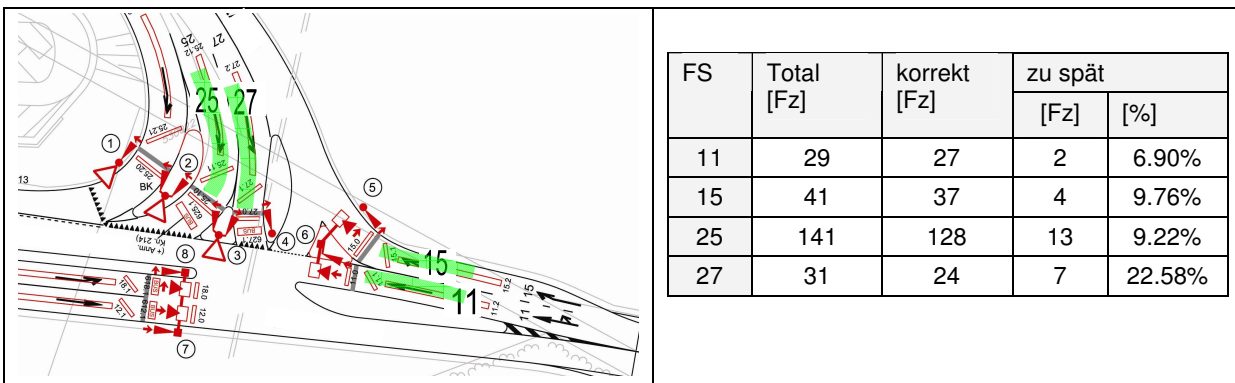


Abbildung 43: Video: Auswertung räumliche Konstanz

Die verspätete Detektion einzelner Fahrzeuge liegt in der Regel unter einer Sekunde. Bei einer Zufahrtsgeschwindigkeit von 30 km/h legt das Fahrzeug in einer Sekunde jedoch rund 8 m zurück. Eine generell zu späte Erfassung kann in der Steuerlogik korrigiert werden. Bei der Videoerfassung wurden jedoch unterschiedliche Differenzen festgestellt, welche eine präzise Einstellung der Grünzeit auf dem Steuergerät verunmöglichen.

Während die Zuverlässigkeit der zeitlichen Konstanz sehr hoch ist, können dieselben hohen Werte bei der räumlichen Konstanz nicht erreicht werden. Die Unterschiede der Fehlerquoten auf den verschiedenen Fahrstreifen sind nicht signifikant. Somit kann von einer mittleren Fehlerquote der räumlichen Konstanz von rund 10% ausgegangen werden.

Fahrstreifen 11			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	29	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	27	2
	zeitliche Konstanz	29	0
Fehlanmeldungen	0		
Besonderes	-		
Fahrstreifen 15			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	41	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	37	4
	zeitliche Konstanz	41	0
Fehlanmeldungen	1	Ursache unbekannt	
Besonderes		später FS-Wechsel erkannt	
Fahrstreifen 25			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	141	1
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	128	13
	zeitliche Konstanz	141	0
Fehlanmeldungen	-		
Besonderes	-		
Fahrstreifen 27			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	31	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	24	7
	zeitliche Konstanz	31	0
Fehlanmeldungen	6	Detektiert Fz von FS 25	
Besonderes	-		

### 7.4.3 Lasererfassung

#### Erkennungsrate

Mit dem Laserscanner wurden 1'605 Fahrzeuge detektiert. Dabei wurde ein Fahrzeug nicht erfasst. Dies entspricht einer Zuverlässigkeit der Fahrzeugerfassung von 99.94% im Zufahrtsbereich. Im Abflussbereich wurden nur Messungen an zwei Fahrstreifen (Spur 11 und 25) durchgeführt. Hierbei wurden zwei Fahrzeuge nicht erfasst. Dies entspricht einer Erkennungsrate von 99.84%. Vier Fehlanmeldungen wurden durch Fahrzeuge auf dem angrenzenden Fahrstreifen ausgelöst. Auch hier wurden zwei Fehlanmeldungen durch den späten Fahrstreifenwechsel des Busses vom Fahrstreifen 27 auf den Fahrstreifen 25 ausgelöst. Somit sind Fehlanmeldungen mit 0.24% ebenfalls auf einem sehr tiefen Niveau.

Die Zuverlässigkeit des Laserscanners ist mit einer annähernd 100% Erkennungsrate und einer Fehldetektion von deutlich unter 1% sehr tief.

#### Räumliche und zeitliche Konstanz

Bei allen vier Fahrstreifen war die räumliche Konstanz zu annähernd 100% gewährleistet. Der Laserscanner erfasst somit die Fahrzeuge immer an derselben Örtlichkeit. Schwankungen im Erfassungsbereich aufgrund der unterschiedlichen Fahrzeugtypen (Lastwagen, Motorräder, usw.) konnten keine beobachtet werden.

Grössere Differenzen wurden bei der zeitlichen Konstanz beobachtet. Die erfassten Fahrzeuge wurden vermehrt vom Laserscanner kurzzeitig oder permanent „verloren“. Als mögliche Ursache kann der Verlust der Fahrzeugfront beim Überfahren des Haltebalkens angegeben werden. Überschreitet die Fahrzeugfront den Erfassungsbereich, so kann der Laser das Fahrzeug nicht mehr erkennen. Dies ist ein Nachteil gegenüber der Videoerfassung, da diese das gesamte Auto erfasst, und nicht nur die Front. Diese Fehlerquote variiert je nach untersuchtem Fahrstreifen zwischen 0.25% und 15.79%. Dabei zeigte sich, dass bei drei Fahrstreifen die Fehlerquote unter 3% lag und nur bei einem Fahrstreifen die zeitliche Konstanz der Erfassung mit über 15% als kritisch beurteilt werden muss. Es ist damit zu rechnen, dass dieser Fehler durch Adjustierung noch vermindert werden kann.

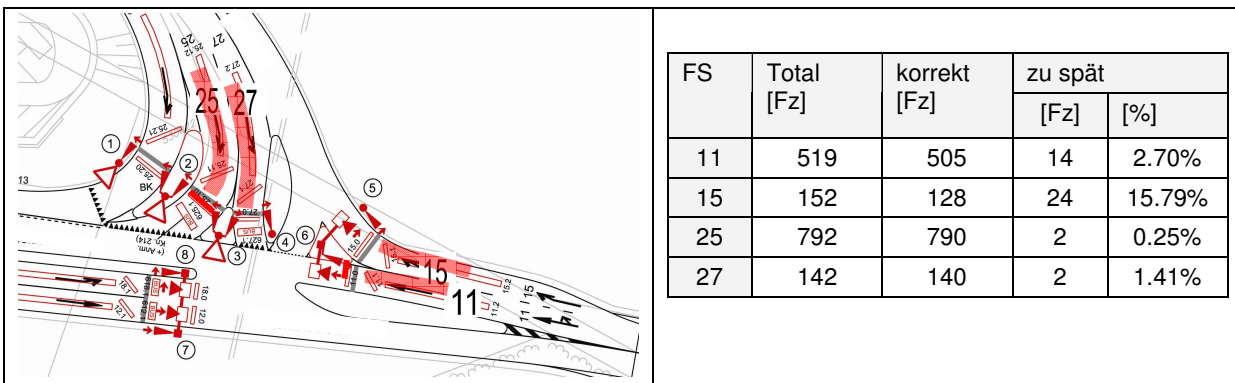
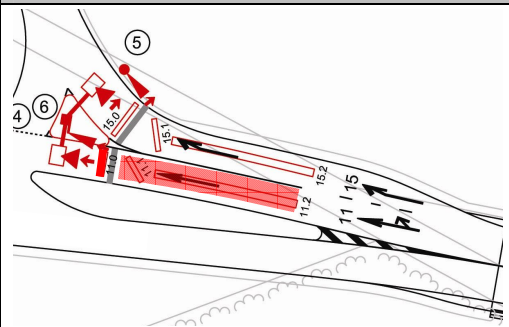
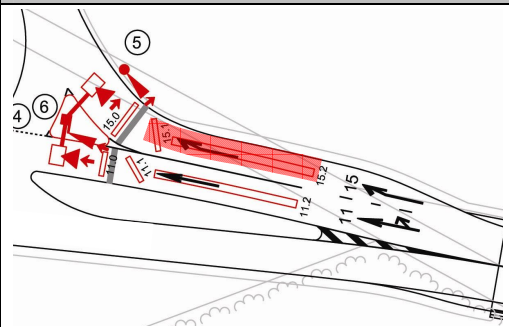
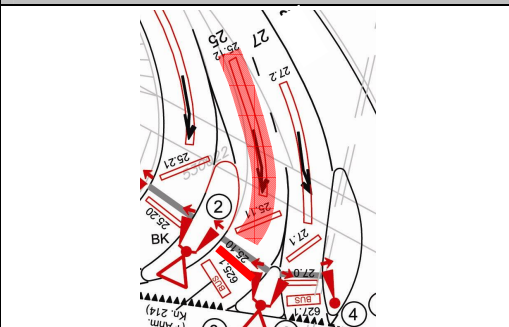
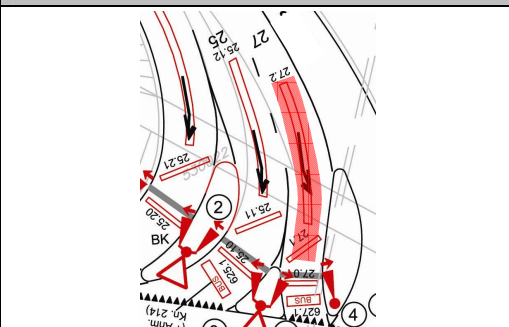


Abbildung 44: Laserscanner: Fehlerquote zeitliche Konstanz

Während die Zuverlässigkeit der räumlichen Konstanz sehr hoch ist, können die Werte bei der zeitlichen Konstanz nicht erreicht werden. Insbesondere auf einem Fahrstreifen ist die Fehlerquote mit über 15% als kritisch zu beurteilen.

Die Detektion der Fahrzeuge auf dem Fahrstreifen 15 wie auch auf dem Fahrstreifen 11 ist signifikant schlechter als auf den Fahrstreifen 25 und 27. Somit sollten die Ursachen (Systemfehler oder kritische Lage des Fahrstreifens) eruiert werden.

Fahrstreifen 11			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	519	0
	Abflussbereich	519	0
	räumliche Konstanz	519	0
	zeitliche Konstanz	505	14
	Fehlanmeldungen	2	Detektiert Fz von FS 15
Besonderes	-		
Fahrstreifen 15			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	152	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	152	0
	zeitliche Konstanz	128	24
	Fehlanmeldungen	-	
Besonderes	-		
Fahrstreifen 25			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	792	1
	Abflussbereich	790	2
	räumliche Konstanz	791	1
	zeitliche Konstanz	790	2
	Fehlanmeldungen	-	
Besonderes	-		
Fahrstreifen 27			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Zufahrtsbereich	142	0
	Abflussbereich	-	-
	räumliche Konstanz	142	0
	zeitliche Konstanz	140	2
	Fehlanmeldungen	2	Detektiert Fz von FS 25
Besonderes	-		

#### 7.4.4 Systemvergleich

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Systeme einander gegenübergestellt. Dabei weisen alle Systeme im Zufahrtsbereich der Lichtsignalanlage eine Erkennungsrate von über 99% auf.

System	Total	korrekt erfasst		nicht erfasst		Fehlalarmmeldungen	
		[Fz]	[%]	[Fz]	[%]	[Fz]	[%]
<b>Zufahrtsbereich</b>							
Schleifen	1605	1605	100 %	-	0 %	6	0.37 %
Video	242	241	99.59%	1	0.41%	7	2.89%
Lasersensor	1605	1604	99.94%	1	0.06%	2	0.12%
<b>Abflussbereich</b>							
Schleifen	1605	1598	99.56%	7	0.54 %	-	-
Video	-	-	-	-	-	-	-
Lasersensor	1311	1309	99.85%	2	0.15%	-	-

#### 7.4.5 Fazit

Ziel dieses Feldversuchs war es, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten Verkehrserfassungssysteme zu untersuchen. Die erhaltenen Resultate aller untersuchten Erfassungssysteme (Induktionsschleifen, Video, Laserscanner) weisen eine hohe Zuverlässigkeit von über 99.5% auf. Fehlalarmmeldungen treten in allen Systemen selten auf und werden hauptsächlich durch unkorrektes Fahrverhalten der Fahrzeuglenkenden ausgelöst. Während Induktionsschleifen und Videosysteme erfasste Fahrzeuge konstant über den Erfassungsbereich erkennen, werden beim Laserscanner vereinzelt Fahrzeuge nach der Erkennung wieder „verloren“. Dabei werden jedoch insbesondere bei einem Fahrstreifen schlechte Werte registriert, so dass das „Verlieren“ der Fahrzeuge eventuell auf eine ungenaue Einstellung zurückgeführt werden kann. Ansonsten wurden weniger als 3% der Fahrzeuge nicht konstant erfasst.

Die räumliche Konstanz (gleicher Erfassungsquerschnitt) ist bei den Induktionsschleifen und Laserscannern sehr hoch. Die Differenzen bei der Videoerfassung beeinträchtigen eine präzise Steuerung der Grünzeiten.

Mit einer feineren Justierung und entsprechenden Erfahrungen können vermutlich die Fehlerraten bei der Erfassung mittels Videosystemen und Lasersystemen noch reduziert werden.

Während der Versuchsdauer (ca. 2 Wochen) liefen alle Systeme servicefrei und in der ganzen Zeitperiode der Beobachtung von einem halben Jahr sehr zuverlässig. Langzeiterfahrungen (Verschmutzung, Wartungsintensität, usw.) konnten mit diesem Feldversuch nicht gesammelt werden, so dass über die Zuverlässigkeit während dem Betrieb nur bedingt Aussagen gemacht werden können. Während der Erhebung der Daten war zudem das Wetter mit konstanten Lichtverhältnissen für das Videosystem ideal. Die Zuverlässigkeit des Systems bei kritischen Lichtverhältnissen konnte nicht untersucht werden.

## 7.5 Auswertungen des Feldversuchs 1 im Brücken – Bereich

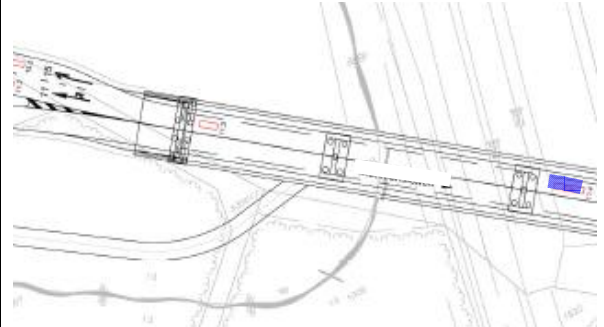
Es wurden beide Erfassungssysteme auf Detektion und Fehlanmeldungen untersucht. Die in Kapitel 7.2.3 beschriebenen Kriterien, wie Unterscheidung des Zufahrts- und Abflussbereichs sowie die räumliche und zeitliche Konstanz werden häufig, da der Erfassungsbereich nicht genügend gross für solche Unterscheidungen ist.

### 7.5.1 Induktionsschleifen

#### Erkennungsrate

Mit Induktionsschleifen wurden insgesamt 659 Fahrzeuge in diesem Querschnitt detektiert. 12 Fahrzeuge wurden durch die Schleifen nicht erfasst, was einer Erfassungsrate von 98.21% entspricht. Fehlanmeldungen, welche durch Fahrzeuge auf dem angrenzenden Fahrstreifen verursacht wurden, konnten keine festgestellt werden.

Die Zuverlässigkeit der Induktionsschleifen im Brückenbereich ist mit mehr als 98% Erkennungsrate hoch. Fehldetektionen liegen keine vor.

Fahrstreifen 11/15			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Detektionsbereich	659	12
	Fehlanmeldungen	-	
	Besonderes		

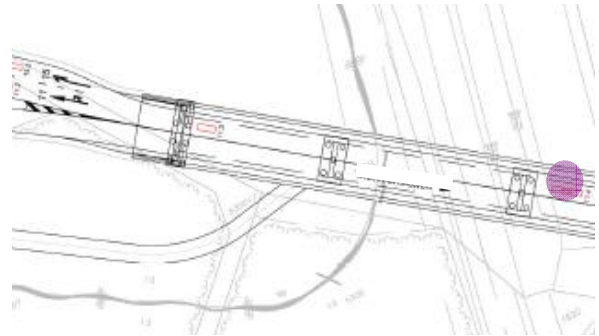
Aus der Auswertung wird klar ersichtlich, dass die Begebenheiten im Brückenbereich sich negativ auf die Erfassung mit Induktionsschleifen auswirken.

### 7.5.2 Magnetfeldsensor

Mit dem Magnetfeldsensor wurden 651 Fahrzeuge detektiert. 20 Fahrzeuge wurden nicht erfasst. Dies entspricht einer Zuverlässigkeit der Fahrzeugerkennung von rund 97%. 19 Detektionen wurden durch Fahrzeuge auf dem angrenzenden Fahrstreifen ausgelöst. Somit liegen die Fehlanmeldungen bei rund 3%. Diese Fehlanmeldungen wurden alle durch Lastwagen auf dem angrenzenden Fahrstreifen in Gegenrichtung ausgelöst.

Die Zuverlässigkeit des Magnetfeldsensors liegt mit 97% Erkennungsrate hoch. Fehldetektionen traten in knapp 3% aller Fälle auf.

Aufgrund des kleinen Detektionsfeldes kann die räumliche wie auch die zeitliche Konstanz nicht ausgewertet werden.

Fahrstreifen 11/15			
	Fz-Erfassung	korrekt	nicht korrekt
	Detektionsbereich	651	20
	Fehlanmeldungen	19	Detektiert Fz von Gegenspur
	Besonderes		(ausschliesslich LKWs)

### 7.5.3 Systemvergleich

In der folgenden Tabelle sind die beiden Systeme einander gegenübergestellt. Dabei weisen beide Systeme im Brückenbereich eine Erkennungsrate von über 97% auf. Fehlanmeldungen traten nur bei Magnetfeldsensoren auf.

System	Total	korrekt erfasst		nicht erfasst		Fehlanmeldungen	
		[Fz]	[%]	[Fz]	[%]	[Fz]	[%]
Induktionsschleifen	671	659	98.21 %	12	1.79 %	0	0 %
Magnetfeldsensor	671	651	97.02 %	20	2.98 %	19	2.83 %

### 7.5.4 Fazit

Unter erschwerten Bedingungen (u.a. Eisenarmierungen, Eisenbahnfahrleitungen) wurde die Detektion eines Stauereignisses bzw. die Überfahrt des Erfassungsbereiches im Brückenbereich analysiert. Durch die parallele Erfassung mittels Induktionsschleife und Magnetfeldsensor konnte ein direkter Vergleich der verwendeten Erfassungssysteme durchgeführt werden. Die erhaltenen Resultate beider untersuchten Erfassungssysteme wiesen eine Zuverlässigkeit von über 97% auf, welche im Vergleich zur Erfassung im Zufahrtsbereich der Lichtsignalanlage 1-2% tiefer ausfiel. Dies kann auf die erschwerten Bedingungen im Brückenbereich zurückgeführt werden. Die erhaltene Zuverlässigkeit liegt somit unterhalb der in Kapitel 3.3.1 erwähnten Qualitätsanforderungen von Erfassungssystemen. Da die Detektion einer Stau- bzw. Voranmeldeschleife eine vorzeitige Anmeldung an der Lichtsignalanlage zur Folge hat und noch nicht für die endgültige Anmeldung bzw. Anforderung der Grünzeit zuständig ist, ist eine Zuverlässigkeit von über 97% hinreichend.

Während durch die Induktionsschleife keine Fehlanmeldungen detektiert wurden, traten beim Magnetfeldsensor in einigen Fällen fehlerhafte Anmeldungen auf. Aufgrund der kugelförmigen Detektionsfläche des Magnetfeldsensors ist eine Justierung des Erfassungsbereichs auf

den gewünschten Fahrbahnstreifen mit den zur Verfügung stehenden Adjustiermöglichkeiten nur schwer realisierbar. Um den Fahrstreifen möglichst optimal abdecken zu können, muss ein Kompromiss zwischen Abdeckung des Fahrstreifens und Verletzung des angrenzenden Fahrstreifens gefunden werden, was zu einer erhöhten Fehlerwahrscheinlichkeit führt. Durch eine feinere Justiermöglichkeit könnten die Erfassungsergebnisse noch verbessert werden.

## 8 FELDVERSUCH 2

---

In der französisch- und italienischsprachigen Schweiz werden vermehrt Videosysteme zur Erfassung von Verkehrsteilnehmer eingesetzt. Aus diesem Grund wurde ein zweiter Feldversuch mit Videoerfassung durchgeführt, um unterschiedliche Bedingungen sowie andere topographische Begebenheiten analysieren zu können.

### 8.1 Ziel des Feldversuchs

Mit diesem Feldversuch soll der direkte Vergleich zwischen Induktionsschleifen und Videoerfassung untersucht werden. Beide Erfassungssysteme werden im relativen Vergleich zueinander betrachtet.

### 8.2 Vorgehen

#### 8.2.1 Versuchsanordnung

Die Versuchsdurchführung fand beim Knoten Lanterne Sud, Blécherette, nördlich von Lausanne statt. Es wurde der Zufahrtsbereich bei zwei Fahrstreifen betrachtet. Analysiert wurde der direkte Vergleich zwischen Induktionsschleifen und Videoerfassung. Im Gegensatz zum Feldversuch beim Knoten Muri-/Obfelderstrasse wurden hier keine visuellen Überwachungen durchgeführt. Eine Auswertung ist nur im Bezug zur anderen Erfassungsmethode möglich.

#### 8.2.2 Topographische Begebenheiten

Die auf einer Geraden liegende Zufahrt stellt keine speziellen Anforderungen an die Verkehrserfassungssysteme. Der ebene Zufahrtsbereich ist gut überblickbar und daher für den Einsatz von Videogeräten zur Erfassung von Verkehrsteilnehmer geeignet.

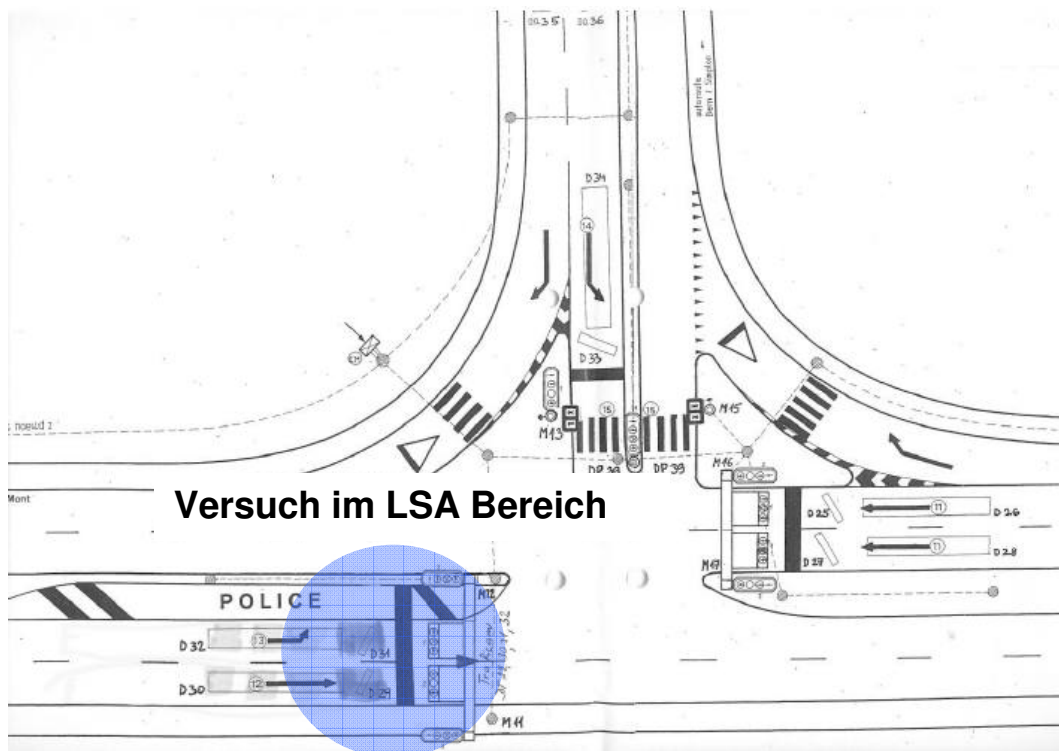


Abbildung 45: Knoten Laterne Sud, Blécherette, nördlich von Lausanne

### 8.2.3 Auswertekriterien

Wie bereits erwähnt wurden in diesem Feldversuch die Verkehrserfassungssysteme Induktionsschleife und Video auf deren Übereinstimmung untersucht. Hierzu wurden die Signalzustände beider Erfassungssysteme im Sekundentakt aufgezeichnet und ausgewertet. Somit konnten Differenzen in der Detektion der Verkehrsteilnehmer überprüft werden.

### 8.2.4 Versuchsdurchführung

Der Feldversuch wurde am 27. Februar 2009 gestartet und dauerte mehrere Tage. Hierbei wurden verschiedene Wetterlagen sowie unterschiedliche Tag / Nacht Verhältnisse analysiert und aufgezeichnet. Der betrachtete Knoten wies kaum Fuss- und Fahrradverkehr auf, da die Linksabbiegespur eine Autobahn-Einfahrt ist.

## 8.3 Eingesetzte Verkehrserfassungssysteme

Beide Fahrstreifen wurden mit Induktionsschleifen und einem Videoerfassungssystem ausgestattet. Im Folgenden werden die eingesetzten Systeme beschrieben, sowie Informationen zur Montage, Installation und Erfassungsbereich aufgezeigt.



### 8.3.2 Videoerfassung

Die Erfassung der Verkehrsteilnehm mit Video deckt den identischen Erfassungsbereich wie die Induktionsschleifen ab. Hierfür wurde ein Videogerät vom Typ TrafiCam L2 der Firma Traficon eingesetzt, welches gleichzeitig beide Fahrstreifen abdeckte.

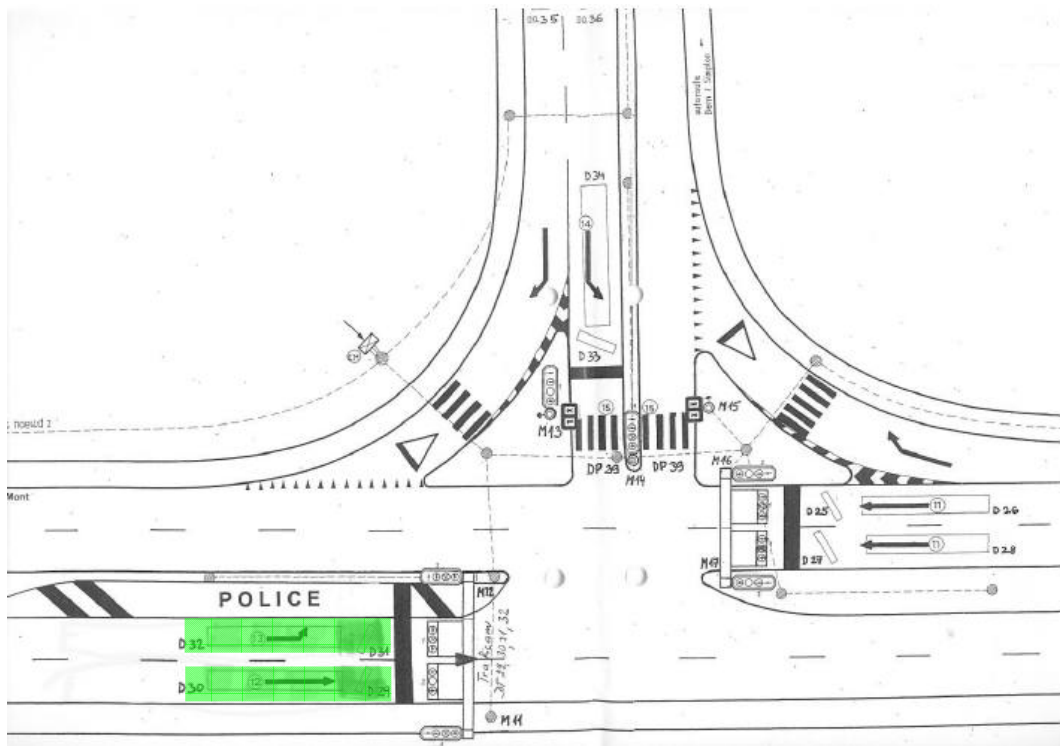


Abbildung 47: Abdeckung des Erfassungsbereich der Videokamera

Die Montage des Videosystems erfolgte Überkopf, auf ungefähr 5.5 m Höhe an der Signalbrücke, siehe Abbildung 48. Der Erfassungsbereich wurde pro Fahrstreifen in je zwei Zonen unterteilt, welche mit den Abmessungen der Induktionsschleife identisch sind. In Abbildung 49 sind die verschiedenen Zonen dargestellt. Dabei bilden die Zonen 2 bzw. 4 die Längsschleife und Zone 1 bzw. 3 bilden die Querschleifen der entsprechenden Fahrstreifen.



Abbildung 48: Montage des Videogerätes

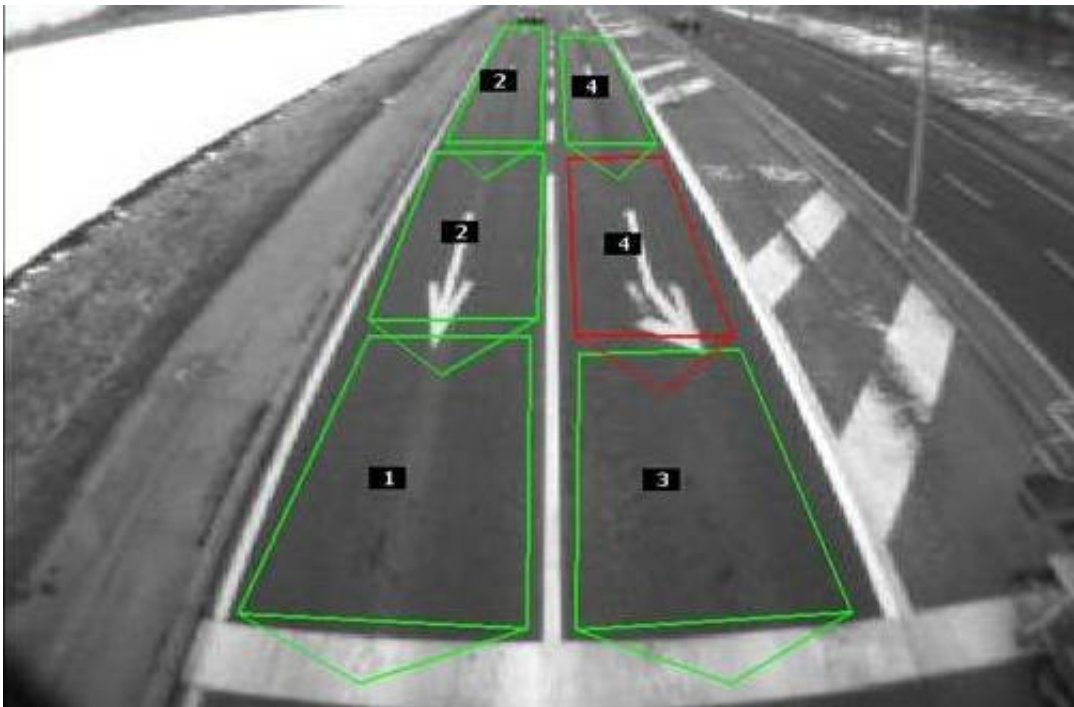


Abbildung 49: Eingestellte Erfassungsbereiche des Videosystems

## 8.4 Ergebnisse des Feldversuch 2

Die betrachteten Fahrstreifen dieser Versuchsanordnung wurden mit den Verkehrserfassungssystemen Induktionsschleife und Video analysiert. Im Gegensatz zum ersten Feldversuch wurden keine manuellen Beobachtungen, beziehungsweise Videoaufzeichnungen durchgeführt, womit die Detektion der Fahrzeuge überprüft und Falschzuordnungen analysiert werden konnten. Es wurden ausschliesslich die relativen Unterschiede der beiden Erfassungssysteme untersucht. Mit einem direkten Vergleich der beiden Erfassungssysteme Video und Induktionsschleifen wurde die Möglichkeit überprüft, den Erfassungsbereich der vier eingesetzten Induktionsschleifen im Zufahrtsbereich der beiden Fahrstreifen durch ein Videoerfassungsgerät abzudecken. Die Qualität der Verkehrssteuerung sollte jedoch von beiden Möglichkeiten gewährleistet werden.

Für die Auswertung dieses Feldversuches wurden die Zustände der Induktionsschleifen mit den Zuständen des Videodetektors verglichen. Hierfür wurde die Zonenaufteilung des Videodetektors entsprechend den vier Induktionsschleifenanordnungen eingerichtet. In Abbildung 50 sind die untersuchten Erfassungsbereiche dargestellt.

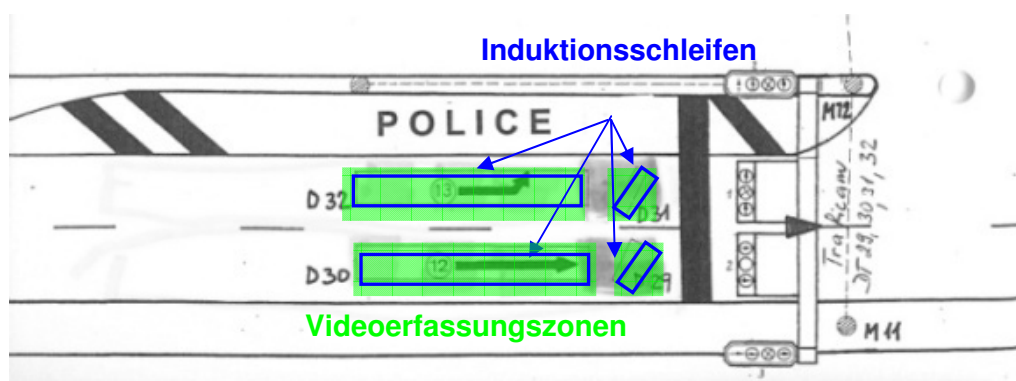


Abbildung 50: Zoneneinteilung des Videogerätes und die dazugehörige Schleifenabdeckung

Zur Analyse der Übereinstimmung von Signalzuständen der beiden Erfassungssysteme wurden im Sekundentakt die Detektordaten des Videogerätes und der Induktionsschleifen registriert. Somit konnten allfällige Abweichungen der verschiedenen Systeme erkannt und ausgewertet werden. Aufgrund des immensen Umfangs der Datenerhebung von über einer Million Sekunden, wurden nur die ersten 24 Stunden sekundlich überprüft. Der Rest der Daten wurde auf Unstimmigkeiten, welche länger als 20 Sekunden, sowie besonders interessante Wetterlagen und Verkehrszustände wie Tag und Nacht, seitliche Sonneneinstrahlung, Regen und Stau untersucht.

Die Auswertung des Vergleichs zwischen Induktionsschleife und Videodetektoren zeigten annähernd identische Ergebnisse beider Erfassungssysteme und bestätigen somit die im ersten Feldversuch gewonnenen Erkenntnisse, siehe Kapitel 7. Die Aufzeichnung der Messungen fand bei unterschiedlichen Wetterbedingungen statt. Hierbei konnten keinerlei Einschränkungen der Videoerfassung festgestellt werden. Einzig die Detektion von dynamischen Schatten, welcher aufgrund seitlicher Sonneneinstrahlung durch Fahrzeuge eines angrenzenden Fahrstreifens verursacht wurde, führte zu Fehlanmeldungen des Videosystems. Die detektierten Fehlanmeldungen hatten allerdings keinen Einfluss auf die Qualität der Verkehrssteuerung, da beide Fahrstreifen gleichzeitig eine Grünphase erhalten und somit eine Fehlanmeldung ebenfalls zur gewünschten Freigabe führt. Die Detektion von Zweirädern über die gesamte Erfassungszone konnte mit Hilfe eines Videogerätes verbessert werden.

Die Ergebnisse beider Verkehrserfassungssysteme lieferten annähernd identische Zuverlässigkeiten der Erfassung und der Ersatz von Induktionsschleifen beider Fahrstreifen durch ein Videosystem kann die Qualität der Verkehrssteuerung gewährleisten. Fehlender Fussverkehr und der topographisch unproblematische Zufahrtsbereich in einer Geraden stellen jedoch besonders günstige Bedingungen für den Einsatz von Videoerfassungssystemen dar. Im Falle von erhöhtem Fussgängerverkehr oder anspruchsvolleren Fahrstreifenführungen ist allerdings mit vermehrten Fehlanmeldungen des Videosystems zu rechnen.

## 9 ERLÄUTERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

---

### 9.1 Erkenntnisse

Systeme im Belag werden oft durch Belagssanierungen in Mitleidenschaft gezogen und müssen nach der Sanierung mit grossem Aufwand wieder in Stand gestellt werden.

Die Erfassung mit Systemen über dem Belag wird durch die verschiedenen Witterungsbedingungen mehr oder weniger beeinträchtigt. Optische Systeme wie Laserscanner und Video sind Verschmutzungen ausgesetzt und müssen zur Gewährleistung einer zuverlässigen Erfassung intensiv gewartet werden.

Ausfälle von Induktionsschleifen erzeugen eine Daueranmeldung, welche bei der Steuerung der Lichtsignalanlage zu einer Rückkehr der Grünphase auf dem entsprechenden Fahrstreifen führt. Bei den anderen Erfassungssystemen müssen Detektorausfälle bzw. Funktionseinschränkungen über die Software abgefangen werden bzw. die Steuerung entsprechend angepasst werden (Grünrückkehr).

### 9.2 Folgerungen

Für den vollverkehrsabhängigen Betrieb einer einzelnen Lichtsignalanlage reicht eine Erfassung im Bereich des Knotens (Bereich von ca. 20 m vor dem Haltebalken) nicht aus. Um eine frühzeitige Grün-Umschaltung und dadurch einen kontinuierlichen Verkehrsfluss im Bereich des Knotens zu gewährleisten, sind je nach Geschwindigkeit Verkehrserfassungen im Bereich von 50 bis 80 m vor dem Haltebalken erforderlich. Diese Stauerfassungen im Zufahrts- und Abflussbereich müssen so angelegt werden, dass frühzeitig mit der Steuerung auf Ereignisse Einfluss genommen werden kann (Verhinderung von Überstellungen des Knotens). Für die optimale Bevorzugung des öffentlichen Linienverkehrs ist eine Erfassung im Bereich von rund 120 m vor dem Haltebalken unerlässlich. Diese Erfassungen werden oft auch zur Bevorzugung von Notruffahrzeugen mitgenutzt. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen Verkehrserfassungssysteme in diesen Bereichen plaziert werden, was seinerseits Verrohrungen in den Zufahrts- und Abflussbereichen erfordert.

Mit dem alleinigen Einsatz von Video- oder Lasergeräten im Knotenbereich sowie dem Einsatz von Datenfunk für die Bevorzugung des öffentlichen Linienverkehrs und Notruffahrzeugen kann keine optimale Vollverkehrsabhängigkeit einer Lichtsignalanlage erreicht werden (es fehlen präzise Voranmeldungen). In diesem Fall kann zwar im Zufahrts- und Abflussbereich teilweise auf das Rohrtrasse verzichtet werden. Der Steuerung fehlen jedoch genaue Daten für die Optimierung des Verkehrsflusses. Die Folge davon ist vermehrter Stop-and-Go-Verkehr im Knotenbereich und verminderte Leistung bzw. Effizienz des Knotens.

Bei mehreren Anlagen, welche koordiniert betrieben werden, kann teilweise auf eine frühzeitige Erkennung der Verkehrsteilnehmer verzichtet werden, da Folgeanmeldungen oder Grünrückkehr von einer Lichtsignalanlage an die Nächste weitergegeben werden können. ÖV-

Abmeldungen einer Lichtsignalanlage werden als ÖV-Anmeldungen an die nächste Lichtsignalanlage mitgeteilt. Stau-Ereignisse müssen jedoch auch bei koordinierten Anlagen vom Knoten abgesetzt erfasst werden.

Vollverkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlagen erfordern auch heute noch den Einsatz von Induktionsschleifen, da diese sehr zuverlässig arbeiten und vielseitig eingesetzt werden können.

Bei teilverkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen mit Grünrückkehr, bei welchen die Erfassungssysteme oft nur für die Grünzeit-Verlängerung eingesetzt werden, können auch alternative Systeme wie Video oder Radar optimal eingesetzt werden.

### 9.3 Situationsgerechter Einsatz

Wie schon im Kapitel 4.4 Systemwahlmatrizen erläutert, haben die Erfassungssysteme verschiedene Eigenschaften, welche sie in ihrem spezifischen Anwendungsgebiet bevorzugt einsetzen lässt. In der nachfolgenden Auflistung sind Beispiele zum situationsgerechten Einsatz der einzelnen Erfassungssysteme beschrieben. Die Auflistung ist nicht abschliessend.

#### Induktionsschleife

- Induktionsschleifen sind als Anmeldung und Voranmeldung bzw. Verlängerung sowie Stauerkennung für den MIV und den ÖV geeignet.
- Der Einsatz der Induktionsschleifen bedingt die definitive Festlegung des erfassten Fahrstreifen-Bereichs. Daher ist ein provisorischer Einsatz nicht geeignet.
- Es ist zu beachten, dass störende Einflüsse wie Armierungen in Betonkonstruktionen oder starke Magnetfelder die Funktionalität der Schleifen beeinträchtigen können.
- Fahrräder mit kleinen Anteilen an ferromagnetischen Bauteilen lassen sich nur bedingt erfassen.

#### Magnetfeldsensor

- Die Magnetfeldsensoren, im Anschlussrohr Detektor unter dem Belag oder unter der Brückenkonstruktion montiert, eignen sich als Voranmeldung und zur Stauerkennung.

#### Drucksysteme

- Im Bereich von Lichtsignalanlagen werden im Moment keine Drucksysteme zur Erkennung von Fahrzeugen eingesetzt. Das Anwendungsgebiet beschränkt sich weitgehend auf Parkleitsysteme und Schrankenanlagen.

#### Fussgängerdrücker

- Fussgängerdrücker mit und ohne Blindentaster werden als Anmeldung für Fussgänger bzw. sehbehinderte Personen eingesetzt.

### Video-Erfassung

- Video-Erfassungsgeräte eignen sich zur Anmeldung bzw. Verlängerung der Grünzeit im Knotenbereich von MIV und zur Verlängerung der Grünzeit bei Fussgängern.
- Die Montage sollte auf stabilen Stahlkonstruktionen wie Signalbrücken vorgenommen werden. Bei der Positionierung des Detektors ist auf die Sonneneinstrahlung und benachbarte, störende Verkehrsströme, im Besonderen Fussgänger, zu achten.
- Bei einer guten Positionierung ist es möglich, mit einem Gerät zwei Fahrstreifen zu erfassen.
- Bei längerfristigen Einsätzen ist die Problematik der Verschmutzung bei der Wartung zu berücksichtigen (Funktionseinschränkungen, Wartungsaufwand).

### Infrarot-Erfassung

- Infrarotdetektoren werden in der Regel bei Baustellen-Anlagen oder sonstigen Provisorien eingesetzt.

### Laser-Erfassung

- Lasergeräte eignen sich zur Anmeldung bzw. Verlängerung der Grünzeit im Knotenbereich von MIV und zur Verlängerung der Grünzeit bei Fussgängern.
- Lasergeräte eignen sich nur bei Anlagen ohne Fussgänger, da die Geräte zum einen vandalenanfällig sind und zum anderen die Fussgänger störende Effekte bewirken können (Fehlbare Fussgänger können Fehlanmeldungen im Bereich der definierten Erfassungsbereiche der Fahrzeuge verursachen).
- Bei einer guten Positionierung ist es möglich, mit einem Gerät zwei Fahrstreifen abzudecken und sowohl den Zufahrt- als auch den Wegfahrtbereich zu erfassen.
- Bei längerfristigen Einsätzen ist die Problematik der Verschmutzung bei der Wartung zu berücksichtigen (Funktionseinschränkungen, Wartungsaufwand).

### Radar-Erfassung

- Radardetektoren sind bevorzugt für die Verlängerung der Grünzeit von Fahrzeugen bei Baustellen-Anlagen einzusetzen, da der Erfassungsbereich auf einfache Weise auf die aktuellen Bauphasen angepasst werden kann.
- Radardetektoren werden dort eingesetzt, wo im Moment keine feste Installation möglich ist und Provisorien eingerichtet werden müssen.
- Bei den Radardetektoren ist in der Steuerung zu berücksichtigen, dass stehende Fahrzeuge nicht erkannt werden und somit im Steuergerät eine Grünrückkehr für den entsprechenden Fahrstreifen programmiert werden muss.
- Bei Fussgänger-Übergängen im Bereich von Schulhäusern werden Radardetektoren zur Verlängerung der Grünzeit eingesetzt.

### Funk-Erfassung

- Funksysteme sind für die Erfassung von Linienbussen des öffentlichen Verkehrs geeignet. Es ist zu beachten, dass die Erfassung teilweise nicht sehr präzise ist und von der Verfügbarkeit des Funksystems abhängig ist.
- Funk kann punktuell für die Anmeldung von sehbehinderten Personen eingesetzt werden.

### Ultraschall-Erfassung

- Im Bereich von Lichtsignalanlagen werden im Moment keine Ultraschall-Erfassungsgeräte eingesetzt. Deren Einsatz bedingt eine notwendige Installation von Signalbrücken über dem Erfassungsbereich. Zu den Anwendungsmöglichkeiten von Ultraschall gehören Brückenunterführungen oder Tunnelanlagen.

### Kombinierte Systeme

- Die heute auf dem Markt erhältlichen, kombinierten Systeme sind für die Verkehrsdatenerfassung mit Fahrzeugklassifizierung entwickelt worden. Durch den Einsatz mehrerer Technologien in einem einzelnen Detektor lassen sich für zahlreiche andere Anwendungen optimierte Lösungen entwickeln.

## 10 GRUNDLAGEN FÜR DIE NORMUNG

---

Bei der Erarbeitung von wissenschaftlichen Grundlagen für die Normung wurde festgestellt, dass bei Verkehrserfassungssystemen die verkehrlichen und baulichen Bedingungen je nach Anwendung sehr differieren und daher keine Norm abgeleitet werden kann. Die Berücksichtigung der technischen Aspekte allein reicht nicht aus, um eine eigene Norm festzulegen.

Eine Generalisierung für jeden Knotenbereich, sowie jede Erfassungsfunktion ist mit Vorbehalt zu betrachten. Kein System kann eine fehlerfreie Erfassung garantieren. Es gilt lediglich, durch Anforderungen und Vorgaben möglichst optimale Voraussetzungen und Randbedingungen im Umgang mit Verkehrserfassungssystemen bereit zu stellen. Die im Kapitel 9.3 aufgeführten Anwendungsbeispiele beschreiben den situationsgerechten Einsatz der einzelnen Erfassungssysteme.

Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der noch ausstehenden europäischen Normung Grundlagen für die Verkehrserfassung erarbeitet werden. Zusammen mit den Erkenntnissen aus diesem Forschungsprojekt kann eventuell eine Schweizer Norm abgeleitet oder die Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt als Vorwort für die Norm verwendet werden.

## ABKÜRZUNGEN

---

Drücker	Fussgänger-Anmeldearmaturen
FS	Fahrstreifen
Fz	Fahrzeug
GPS	Global Position System
h	Stunde
IV	Individual-Verkehr
LSA	Lichtsignalanlage
LW	Lastwagen
LZ	Lastenzüge
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MR	Motorräder
NF	Notruffahrzeuge
OeV / ÖV	Öffentlicher Verkehr
PW	Personenwagen
sec	Sekunde
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
STG	Steuergerät Lichtsignalanlage
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
ZR	Leichter Zweiradfahrer

---

## LITERATURVERZEICHNIS

---

- [1] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS), Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt), Juli 2002
- [2] Verwendungsmöglichkeiten von Floating Car Data in der Verkehrsplanung, SVI 1998/093, Rudolf Keller & Partner AG Muttenz, Rosenthaler + Partner AG Muttenz, 2000
- [3] Neue Techniken der Verkehrsdatenerfassung, Oliver Röhl, Technische Universität Darmstadt, Diplomarbeit 1999
- [4] TrafficOnline – Online Verkehrsdatenerfassung über Mobilfunknetze, Mobilität & Verkehrstechnologien, TrafficOnline Nr. 5, April 2008
- [5] Europäische Vornorm – ENV 13563, Anlagen zur Verkehrssteuerung – Fahrzeug-Detektoren, Februar 2000
- [6] Technik Review Online – Jagt auf die grüne Welle, Constanze Hübner, Zugriff Mai 2009, [www.heise.de/tr/Jagd-auf-die-gruene-Welle--/artikel/137841](http://www.heise.de/tr/Jagd-auf-die-gruene-Welle--/artikel/137841)
- [7] Rückstauverfolgung an der Verkehrssteuerungsanlage der A81 im Bereich Grenzübergang Bietingen, Joachim Keller, Universität Stuttgart, Diplomarbeit, September 2002
- [8] Bedienungsanleitung IG 745/3 (Induktionsschleifen), Weiss Electronic
- [9] Konfigurationsanleitung TrafiCam, Traficon, Mai 2007
- [10] Intelligenter Traffic Sensor ISF2.B 01, Assit
- [11] Strasse und Verkehr Nr.12, Rampenbewirtschaftung am Zürcher Nordring, Nikolaus Bischofsberger, Eugen Schilter, Patrik Bachofner, Marc Laube und Rene Schnüriger, Fachartikelm Dezember 2005
- [12] Traffic Control: Adaptive Strategies, J.Favilla et al., International Conference on Fuzzy Systems San Francisco, April 1993
- [13] Videoüberwachung gegenüber anderen Technologien, Homepage Traficam, [www.traficam.com](http://www.traficam.com), Zugriff 29.05.2009
- [14] Produktbroschüre Traffic Detection Products, ASIM, [www.xtralis.com](http://www.xtralis.com), 2009
- [15] Intelligent Traffic Systems, SIVICAM I-2, Siemens, 2006
- [16] Piezoelectric Axle Sensor, Measurement Specialities, Februar 2008
- [17] Qualitätsanforderungen und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung für Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Strassenverkehrstechnik Kischbaum, Dr.-Ing. W. Maibach PTV Planung Transport Verkehr AG, Dipl.-Ing. R. Meschede Bundesanstalt für Strassenverkehr, Februar 2007
- [18] Datenerfassung und Datenaufbereitung, Leitfaden Verkehrstelematik, Technische Universität Darmstadt, M.Boltze, Oktober 2006

- [19] Verkehr in der Zukunft – Mehr Bewegung in den Ballungszentren, Strassenverkehrstechnik, Peter Opruk, Peter Aicher, Juni 2006
- [20] Eignung technischer Hilfsmittel und Instrumente, SVI – Forschung Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs, Hochschule Rapperswil, Pestalozzi & Stähli Ingenieurbüro, Daniel Sauter, September 2006
- [21] Verkehr unter Kontrolle, Zeitschrift Pictures of the Future, Rolf Sterbak, Frühjahr 2004
- [22] Neue Sensortechnologie steuert erstmalig Lichtsignalanlage, Strassenverkehrstechnik Kirschbaum, Januar 2008
- [23] Elektromagnetisches Spektrum, Grundlage Horst Frank, Jailbird and Phrood, 2005
- [24] Mobile Zukunft mit intelligenten Verkehrssystemen, Mobilität & Verkehrstechnologien Nr. 5, April 2008
- [25] Fahrzeugwiedererkennung unter Verwendung der Signaturen aus Induktionsschleifendetektoren, Strassenverkehrstechnik, Friedrich Maier, Christoph Roth, Februar 2008
- [26] Videobasierende Ereignisdetektion des Strassenverkehrs im Freilandbereich auf Autobahnen und Schnellstrassen, Strassenverkehrstechnik, Bernhard Schalko, Manfred Harrer, Christian Brunner, Juli 2008
- [27] Verkehrssensor im Weltraum, MultiSat Web Service for Mobility and Traffic - Thomas Rupp, Martin Heinrich Otto Ruhé, 2001
- [28] Ermittlung von Detektorstandorten für den Strassenverkehr innerorts, Schriftreihe des Fachgebiets Verkehrsplanung und Verkehrstechnik TU Darmstadt, C.Lotz, 2002
- [29] Physik des Strassenverkehrs, A. Schadschneider, April 2004
- [30] Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen, Verkehrstechnik, Wirtschaftsverlag N.W. Verlag für neue Wissenschaft, Manfred Boltze, Achim Reusswig, 2005
- [31] Defining and Measuring Traffic Data Quality, Paper prepared for Federal Highway Administration, Washington D.C., S. Turner, 2002
- [32] Merkblatt über Detektoren im Strassenverkehr, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 1991
- [33] Hinweise zur Schleifenverlegung, Weiss Electronic, [http://www.weiss-electronic.de/deutsch/pdf/Schleifenverl\\_BD\\_22\\_100706.pdf](http://www.weiss-electronic.de/deutsch/pdf/Schleifenverl_BD_22_100706.pdf)

# PROJEKTABSCHLUSS



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 17. November 2009/ 20.5.2010

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2007/303

Projekttitel: Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen (Teil des Forschungsbündels „Verkehrsregelungssysteme“)

Enddatum: 20. Mai 2010

#### Texte:

Zusammenfassung der  
Projektresultate:

Auf dem Markt ist aktuell eine Vielzahl an Verkehrserfassungssystemen bzw. unterschiedlichen Technologien erhältlich, um eine direkte Beeinflussung an Lichtsignalanlagen zu erreichen. Induktionsschleifen, Magnetfeldsensoren, Radar-, Laser- und Videoerfassung wurden im Hinblick auf deren Funktionalität, Erfassungsgebiet, Einbau und Ausrichtung sowie deren Vor- und Nachteile untersucht. Ein einzelnes Erfassungssystem deckt in keinem Fall den gesamten Anforderungskatalog ab, kann jedoch spezifisch verschiedene Verkehrsteilnehmerkategorien in unterschiedlichen Situationen erfassen. Alle Erfassungstechnologien weisen typische Einsatzgebiete auf. Zum Suchen des geeigneten Verkehrserfassungssystems wurden Systemwahlmatrizen entwickelt.

Anhand einer Umfrage bei den Betreibern von Lichtsignalanlagen in der Schweiz konnte ein aktuelles Bild der eingesetzten Verkehrserfassungssysteme erstellt werden.

Die in den Feldversuchen untersuchten Erfassungssysteme Laserscanner, Video und Magnetfeldsensoren zeigten vergleichbare Resultate gegenüber den Induktionsschleifen. Da diese Systeme verschiedene Nutzungseinschränkungen aufweisen, sind sie nicht generell als Ersatz der Induktionsschleifen zu verwenden.

Die vielseitig verwendbaren Induktionsschleifen zeigen in Bezug auf Zuverlässigkeit, Detektionsgenauigkeit, Lebensdauer und ökonomische Aspekte gegenüber den alternativen



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

Systemen im Gesamtbild bessere Werte auf, aufgrund dessen sie in vielen Belangen bevorzugt einzusetzen sind.

Die verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Verkehrserfassungssysteme können, in ihrem spezifischen Einsatzgebiet verwendet, für eine einwandfreie Erfassung des Verkehrsgeschehens und somit für einen verkehrsgerechten Ablauf sowie einen sichereren und effizienten Betrieb der Lichtsignalanlagen sorgen.

Induktionsschleifen: können als Anmeldung und Voranmeldung, Verlängerung und Stauerkennung für den Fahrzeugverkehr und den öffentlichen Verkehr eingesetzt werden. Der erfasste Fahrstreifenbereich wird definitiv festgelegt. Armierungen in Betonkonstruktionen oder starke Magnetfelder können die Funktion beeinträchtigen. Fahrräder mit geringem Anteil von ferromagnetischen Bauteilen können nur beschränkt erfasst werden.

Magnetfeldsensoren: können als Voranmeldung und zur Stauerkennung eingesetzt werden.

Drucksysteme: werden z.Zt. nicht an Lichtsignalanlagen zur Fahrzeugerkennung eingesetzt, sondern nur bei Parkleitsystemen und Schrankenanlagen.

Fussgängerdrücker: mit oder ohne Blindentaster werden als Anmeldung für Fussgänger bzw. sehbehinderte Personen eingesetzt, teilweise auch zur Erfassung von Fahrrädern ohne ferromagnetische Bauteile oder für Reiter.

Video-Erfassung: eignen sich zu Anmeldung und Verlängerung der Grünzeit im Knotenbereich von Fahrzeugen und zur Verlängerung der Grünzeit bei Fussgängern. Die Montage muss stabil sein. Auf Sonneneinstrahlung und andere Störeinflüsse durch Schattenwurf ist zu achten. Bei guter Positionierung können pro Kamera zwei Fahrstreifen erfasst werden. Die Wartung (Reinigung der Kameras) ist zu beachten.

Infrarot-Erfassung: kann bei Baustellen-Anlagen oder anderen Provisorien eingesetzt werden.

Laser-Erfassung: eignet sich zur Anmeldung und Verlängerung der Grünzeit von Fahrzeugen und zur Verlängerung der Grünzeit von Fussgängern. Laseranlagen sind vandalenanfällig und die Wartung (Reinigung der Kameras) ist zu beachten. Bei guter Positionierung können pro Kamera zwei Fahrstreifen und auch der Zu- und Wegfahrtbereich erfasst werden.

Radar-Erfassung: wird bevorzugt für die Verlängerung der Grünzeit von Fahrzeugen bei Baustellen. Die Radarerfassung ist für Provisorien geeignet. Stehende Fahrzeuge werden nicht erkannt, da die Geräte nach dem Doppler-Effekt arbeiten. Bei Fussgängerübergängen im Bereich von Kindergärten und Schulhäusern wird Radar zur Grünzeitverlängerung für die Fussgänger eingesetzt.

Funk-Erfassung: wird zur An- und Abmeldung des öffentlichen Verkehrs, besonders für Buss verwendet. Funk-Erfassung ist nicht immer sehr präzise und kann gestört sein. Funk kann auch ausnahmsweise für die Anmeldung von speziellen, sehbehinderten Personen an Lichtsignalanlagen eingesetzt werden.

Ultraschall-Erfassung: wird z.Zt. nicht an Lichtsignalanlagen eingesetzt. Der Einsatz bedingt eine Installation über dem Erfassungsbereich. Zu den Anwendungsmöglichkeiten gehören Brückenunterführungen und Tunnelanlagen.

Kombinierte Systeme: sind für die Verkehrsdatenerfassung entwickelt worden. Durch den Einsatz mehrerer Technologien in einem einzelnen Detektor lassen sich für zahlreiche Anlagen optimierte Lösungen entwickeln.

Zielerreichung:

Die Projektziele aus dem Forschungsgesuch konnten vollumfänglich erreicht werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Erfassungssysteme haben verschiedene Eigenschaften, welche sie in ihrem spezifischen Anwendungsgebiet bevorzugt einsetzen lässt.

Systeme im Belag werden oft durch Belagssanierungen in Mitleidenschaft gezogen und müssen nach der Sanierung mit grossem Aufwand wieder in Stand gestellt werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

Die Erfassung mit Systemen über dem Belag wird durch die verschiedenen Witterungsbedingungen mehr oder weniger beeinträchtigt. Optische Systeme wie Laserscanner und Video sind Verschmutzungen ausgesetzt und müssen zur Gewährleistung einer zuverlässigen Erfassung intensiv gewartet werden.

Vollverkehrsabhängig gesteuerte Lichtsignalanlagen erfordern auch heute noch den Einsatz von Induktionsschleifen, da diese sehr zuverlässig arbeiten und vielseitig eingesetzt werden können.

Bei teilverkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen mit Grünrückkehr, bei welchen die Erfassungssysteme oft nur für die Grünzeit-Verlängerung eingesetzt werden, können auch alternative Systeme wie Video oder Radar optimal eingesetzt werden.

Publikationen:

Forschungsbericht VSS 2007/303

**Beurteilung der Begleitkommission:**

*Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.*

Beurteilung:

Die Resultate der vorliegenden Forschungsarbeit „Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalen“ erfüllen die in der Zielsetzung gestellten Aufgaben für die Grundlagenerarbeitung im Hinblick auf eine zweckmässige Verkehrserfassung in den Einsatzgebieten Lichtsignalanlagen, Rampenbewirtschaftung und Tunnelsteuerungen. Für die verschiedenen Einsatzbereiche werden die Anforderungen an die Verkehrserfassung festgelegt. Auf der Grundlage dieser Anforderungen wird eine Systemübersicht erstellt. Mit Feldversuchen und durch Umfragen bei den Betreibern von Lichtsignalanlagen werden die Einsatzhäufigkeit und die Wirkung der eingesetzten Systeme analysiert und beurteilt.

Die Einsatzkriterien, die Genauigkeit sowie die zu beachtenden Randbedingungen für die einzelnen Verkehrserfassungssysteme werden aufgezeigt, besonders auch in Bezug auf die verschiedenen Verkehrsteilnehmer, wie Fahrzeuge (MIV), Zweiräder, Fussgänger, Behinderte, öffentlicher Verkehr (OEV) und Notfallfahrzeuge.

Die Erarbeitung der Ergebnisse ist vollumfänglich nachvollziehbar und gut dokumentiert. Die Folgerungen basieren auf den Erkenntnissen der Forschungsarbeit und werden von der Begleitkommission unterstützt.

Umsetzung:

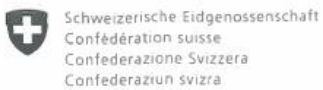
Die Ergebnisse der Forschungsarbeit lassen sich sofort und unmittelbar bei der Ausrüstung von Lichtsignalsteuerungen berücksichtigen.

Die Systemwahlmatrizen und die Erläuterungen für die Praxis dienen als Uebersicht und Hilfestellung bei der Wahl eines Verkehrserfassungssysteme für unterschiedliche Verkehrsteilnehmerkategorien.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit bilden die Grundlage für eine Norm „Gestaltung der Verkehrserfassung an Lichtsignalanlage“.

weitergehender  
Forschungsbedarf:

Die funktionalen Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme sind mit der Forschungsarbeit definiert. Fragen sind dagegen noch offen, wie eine optimale Verkehrserfassung für die verschiedenen Verkehrsteilnehmerkategorien zu gestalten ist, um die Anforderungen an Minimierung der Wartezeiten und der Leistungsverluste zu erfüllen.



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

**Einfluss auf  
Normenwerk:**

Die Forschungsarbeit listet die funktionalen Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme auf und definiert Mindestanforderungen an die Qualität der Verkehrsdaten und an das Verhalten der Verkehrserfassungssysteme bei Fehlern.

Diese Zusammenstellung der Anforderungen, differenziert nach Erfassungsbereichen und Einsatzgebieten, können als Grundlage für die Normung verwendet werden.

**Präsident Begleitkommission:**

Name:	Heine	Vorname:	Karl-Jürgen
Amt, Firma, Institut:	Heine Verkehrsingenieure GmbH		
Strasse, Nr.:	Pfaffenhaldenstrasse 22		
PLZ:	5706	Email:	kjheine@bluewin.ch
Ort:	Boniswil	Telefon:	062 777 29 66
Kanton, Land:	Aargau, Schweiz	Fax:	062 777 36 87

**Unterschrift Präsident Begleitkommission:**

*Karl-Jürgen Heine* *J. Lohr* FK3

Fussgänger/Behinderte	Verkehrserfassungssysteme											
	Systeme über dem Belag	Drucksysteme	Fussgänger Drücker	Sehbehinderten Drücker	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laser-Scanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk
<b>Äussere Einflüsse</b>												
Vandalismus			häufig, trotz Vandalenschutz	häufig, trotz Vandalenschutz		selten	selten	anfällig bei Montage in Bodennähe		selten		selten
Verschmutzung			---	---		sehr anfällig	gering anfällig	anfällig		gering anfällig		---
<b>Witterungsabhängige Einflüsse</b>												
Niederschlag (Regen, Schnee)			---	---		störend	störend	wenig störend		störend		---
Sonneneinstrahlung			---	---		störend	---	---		---		---
Nebel, Rauch			---	---		sehr störend	wenig störend	wenig störend		---		---
Lichtverhältnisse (Tag/Nacht)			---	---		störend	wenig störend	wenig störend		---		---
Temperaturschwankungen			gefrorene Tasten	gefrorene Tasten		---	sehr störend	---		---		---
Wind			---	---		störend falls Detektor bewegt wird	störend falls Detektor bewegt wird	störend falls Detektor bewegt wird		störend falls Detektor bewegt wird		---
<b>Erfassungsbereich</b>												
Flexibilität bei Änderungen des Erfassungsbereichs			statisch	statisch		sehr flexibel	flexibel	flexibel		flexibel		flexibel
Justierung des Erfassungsbereichs			aufwändig	aufwändig		aufwändig	mässig	sehr aufwändig		mässig		mässig
Grösse des Erfassungsbereichs, Reichweite			punktueller Erfassung	punktueller Erfassung		wählbar: Flächen bis 75m	wählbar: Kegel bis 100m	wählbar: Flächen bis 30m		wählbar: Kegel bis 60m		wählbar: bis zu 2 km
Erfassung mehrere unabhängige Bereiche			nicht möglich	nicht möglich		bis 2 Bereiche	nicht möglich	bis 2 Bereiche		bis 2 Bereiche		nicht möglich
Möglichkeit einer Zonenaufteilung			nicht möglich	nicht möglich		bis 8 Zonen	nicht möglich	bis 10 Zonen		nicht möglich		nicht möglich
<b>Montage, Installation</b>												
Montage- und Installationsaufwand (zeitlich)			einfach, schnell	einfach, schnell		einfach, schnell	einfach, schnell	einfach, schnell		einfach, schnell		einfach, schnell
Wartungsintensität			kurze Funktionskontrolle, jährlich	kurze Funktionskontrolle, jährlich		Optik reinigen, halbjährlich	Funktionskontrolle jährlich	Optik reinigen, jährlich		Funktionskontrolle, jährlich		gering
Flexibilität des Montagestandorts			Montage Mast, 100 cm Höhe	Montage Mast, 100 cm Höhe		Montage Überkopf am Mast	Überkopf/seitlich am Mast	Mast 60cm über Boden, oder Überkopf		Überkopf/seitlich am Mast		Als Handsender/ Empfänger
Einschränkungen des Fahrstreifens bei Montage/Installation			---	---		je nach Montageposition	je nach Montageposition	je nach Montageposition		je nach Montageposition		---
<b>Erfassungseigenschaften</b>												
Richtungsabhängige Erfassung			möglich, falls Unterscheidung der Drücker	möglich, falls Unterscheidung der Drücker		möglich	nicht möglich	möglich		möglich		nicht möglich
Bewegungsabhängige Erfassung			keine automatische Anmeldung	keine automatische Anmeldung		fliessend/ stehend	fliessend/ stehend	fliessend/ stehend		nur fliessend		fliessend/ stehend
Erfassungsgenauigkeit			sehr gut	sehr gut		gut	mässig	sehr gut		gut		gut
Fehleranfälligkeit der Erfassung			sehr gering	sehr gering		mässig	mässig	mässig		mässig		gering
<b>Verkehrsteilnehmer</b>												
Materialabhängigkeit der Verkehrsteilnehmer			---	---		---	---	---		---		---
Grösse der Verkehrsteilnehmer			---	---		---	---	---		---		---
Gewicht der Verkehrsteilnehmer			---	---		---	---	---		---		---
Farbe der Verkehrsteilnehmer			---	---		---	---	schwarz eingeschränkt		---		---

Tabelle 1: Detaillierte Systemwahlmatrix für Fussgänger/Sehbehinderten Erfassung

Fahrzeuge, ÖV/ Notruffahrzeuge	Verkehrserfassungssysteme																								
	Systeme im Belag	Induktive Systeme	Induktionsschleifen	Magnetfeldsensoren	Drucksysteme	Piezoelektrische Sensoren	Optoelektronische Systeme	Pneumatische Sensoren	Systeme über dem Belag	Induktive Systeme	Magnetfeldsensoren	Optische Systeme	Video	Infrarot	Laserscanner	Mikrowellen-Systeme	Radar	Funk-Systeme	Datenfunk	Akustische Systeme	Ultraschall	Kombinierte Systeme	Infrarot/Ultraschall	Infrarot/Ultraschall/Radar	
<b>Äussere Einflüsse</b>																									
Vandalismus			sehr selten	sehr selten		selten	selten	selten			selten		selten	selten	anfällig bei Montage in Bodennähe		selten		selten		selten		selten	selten	
Verschmutzung			---	---		---	---	---			---		sehr anfällig	gering anfällig	anfällig		gering anfällig		---		gering anfällig		gering anfällig	gering anfällig	
Fahrstreifen-Deformationen			anfällig	wenig anfällig		sehr anfällig	sehr anfällig	sehr anfällig			---		---	---	---		---		---		---		---	---	---
<b>Witterungsabhängige Einflüsse</b>																									
Niederschlag (Regen, Schnee)			---	---		wenig störend	wenig störend	wenig störend			---		störend	störend	wenig störend		störend		---		wenig störend		wenig störend	wenig störend	
Sonneneinstrahlung			---	---		---	---	---			---		störend	---	---		---		---		---		---	---	---
Nebel, Rauch			---	---		---	---	---			---		sehr störend	wenig störend	wenig störend		---		---		---		wenig störend	wenig störend	
Lichtverhältnisse (Tag/Nacht)			---	---		---	---	---			---		störend	wenig störend	wenig störend		---		---		---		---	---	---
Temperaturschwankungen			---	---		---	---	wenig störend			---		---	sehr störend	---		---		---		störend		wenig störend	wenig störend	
Wind			---	---		---	---	---			---		störend falls Detektor bewegt wird	störend falls Detektor bewegt wird	störend falls Detektor bewegt wird		störend falls Detektor bewegt wird		---		störend falls Detektor bewegt wird		störend falls Detektor bewegt wird	störend falls Detektor bewegt wird	
<b>Erfassungsbereich</b>																									
Flexibilität bei Änderung des Erfassungsbereichs			statisch	statisch		statisch	statisch	statisch			statisch		sehr flexibel	flexibel	flexibel		flexibel		flexibel		flexibel		flexibel	flexibel	flexibel
Justierung des Erfassungsbereichs			einfach	mässig		mässig	mässig	mässig			mässig		aufwändig	mässig	sehr aufwändig		mässig		gut		mässig		gut	gut	gut
Grösse des Erfassungsbereichs, Reichweite			wählbar: Je nach Schleifen Grösse/Anordnung	wählbar: Radius bis 3m		punktueller Erfassung	punktueller Erfassung	punktueller Erfassung			wählbar: Radius bis 3m		wählbar: Rechteck bis 75m	wählbar: Kegel bis 100m	wählbar: Kegel < 30m		wählbar: Kegel < 60m		wählbar, bis zu 2 km		wählbar		wählbar	wählbar	wählbar
Erfassung mehrere unabhängige Fahrstreifen			nicht möglich	nicht möglich		nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich			nicht möglich		bis 2 Fahrstreifen	nicht möglich	bis 2 Fahrstreifen		nicht möglich		nicht möglich		nicht möglich		nicht möglich	bis 2 Fahrstreifen	
Möglichkeit einer Zonenaufteilung			nicht möglich	nicht möglich		nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich			nicht möglich		bis 8 Zonen	nicht möglich	bis 10 Zonen		nicht möglich		nicht möglich		nicht möglich		nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich
<b>Montage, Installation</b>																									
Montage- und Installationsaufwand (zeitlich)			sehr aufwändig	aufwändig		sehr aufwändig	sehr aufwändig	sehr aufwändig			aufwändig		einfach, schnell	einfach, schnell	einfach, schnell		einfach, schnell		einfach, schnell		einfach, schnell		einfach, schnell	einfach, schnell	einfach, schnell
Wartungsintensität			gering	sehr gering		gering	gering	gering			sehr gering		aufwändig	mässig	mässig		mässig		gering		mässig		mässig	mässig	mässig
Flexibilität des Montagestandorts			im Belag	unter Belag		im Belag	im Belag	im Belag			seitlich		Überkopf/ seitlich	Überkopf/ seitlich	frontal/seitlich		Überkopf		im Fahrzeug/ Steuergerät		Überkopf		Überkopf	Überkopf	Überkopf
Einschränkungen des Fahrstreifens bei Montage/Installation			gross	über AD-Anschluss und unter Fahrbahn einfach		gross	gross	gross			---		---	---	---		---		---		gering		gering	gering	gering
<b>Erfassungseigenschaften</b>																									
Richtungsabhängige Erfassung			nur bei Doppelschleife	nicht möglich		nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich			nicht möglich		möglich	nicht möglich	möglich		möglich		nicht möglich		nicht möglich		nicht möglich	möglich	möglich
Bewegungsabhängige Erfassung			fliessend/ stehend	fliessend/ stehend		fliessend	fliessend	fliessend			fliessend/ stehend		fliessend/ stehend	fliessend/ stehend	fliessend/ stehend		nur fliessend		fliessend		fliessend/ stehend		fliessend/ stehend	fliessend/ stehend	fliessend/ stehend
Erfassungsgenauigkeit			sehr gut	gut		gut	gut	gut			gut		gut	mässig	sehr gut		gut		gut		mässig		gut	sehr gut	sehr gut
Fehleranfälligkeit der Erfassung			sehr gering	gering		mässig	mässig	mässig			gering		gering	mässig	gering		mässig		mässig		mässig		gering	gering	gering
<b>Verkehrsteilnehmer</b>																									
Materialabhängigkeit der Verkehrsteilnehmer			Nur metallische Verkehrsteiln.	Nur metallische Verkehrsteiln.		---	---	---			nur metallische Verkehrsteilnehmer		---	nur wärmeabstrahlende Verkehrsteilnehmer	---		---		---		---		---	---	---
Grösse der Verkehrsteilnehmer			Fehler bei Fahr-/Motorrad	Fehler bei grossen LKW		---	---	---			---		---	---	---		---		---		---		---	---	---
Gewicht der Verkehrsteilnehmer			---	---		Detektion ab best. Gewicht	Detektion ab best. Gewicht	Detektion ab best. Gewicht			---		---	---	---		---		---		---		---	---	---
Farbe der Verkehrsteilnehmer			---	---		---	---	---			---		---	---	schwarz eingeschränkt		---		---		---		---	---	---

Tabelle 2: Detaillierte Systemwahlmatrix für Fahrzeuge