

# **Darstellung und Verwendung von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken**

Forschungsauftrag VSS 2004/901

PTV SWISS AG, Bern  
Franz Mühlethaler, Dr. phil. nat.  
Wilfried Matthews

Dezember 2007

PTV SWISS AG  
Bitziusstrasse 40  
CH-3000 Bern 31  
Fon +41 (0)31 359 24 54  
Fax +41 (0)31 359 24 55  
office@ptvswiss.ch  
www.ptvswiss.ch



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	13
1.1	Problemstellung.....	13
1.2	Ziele.....	13
1.3	Abgrenzung.....	14
1.4	Arbeitsmethode.....	14
2	Heute vorhandene Daten/ Signalisationsdatenbanken.....	16
2.1	Befragung zu vorhandenen Daten.....	16
2.1.1	Befragte Institutionen.....	16
2.1.2	Fragenkataloge.....	17
2.2	Vorhandene Daten in der Schweiz.....	19
2.2.1	Bund.....	19
2.2.2	Kantone.....	20
2.2.3	Gemeinden.....	20
2.2.4	Weitere Institutionen.....	20
2.2.5	Zusammenfassung der vorhandenen Daten.....	20
2.3	Marktanalyse Signalisationsdatenbanken.....	22
2.3.1	Befragte Herstellern von Signalisationsdatenbanken.....	22
2.3.2	Fragenkatalog.....	22
2.3.3	Zusammenfassung Marktanalyse Signalisationsdatenbanken.....	22
3	Verwendungszwecke.....	24
3.1	Anforderungen.....	24
3.2	Kataster.....	25
3.2.1	Einsatzfelder und Nutzen / Wirkung.....	25
3.2.2	Anforderungen.....	27
3.3	Fahrerassistenz.....	27
3.3.1	Beschreibung.....	28
3.3.2	Nutzen / Wirkung.....	29
3.3.3	Anforderungen.....	29
3.4	Routen- und Tourenplanung.....	29
3.4.1	Beschreibung.....	29
3.4.2	Nutzen / Wirkung.....	30
3.4.3	Anforderungen.....	30
4	Datenerfassung, -Aufbereitung, -Kontrolle und -Nachführung.....	31
4.1	Datenerfassung.....	31
4.1.1	Feldbegehung.....	31
4.1.2	Behördenmeldungen.....	31
4.1.3	Mobile Mapping.....	32

4.1.4	Versuche mit Mobile Mapping .....	35
4.2	Datenaufbereitung und Kontrolle .....	41
4.2.1	Plausibilitätstests und Konsistenzprüfungen .....	41
4.2.2	Kompatibilität mit VSS-Normen.....	50
4.2.3	Richtigkeit.....	50
4.2.4	Räumliche Referenzierung.....	50
4.3	Datenhaltung und Verbreitung.....	51
4.4	Nachführung und Aktualisierung.....	52
4.4.1	Monitoring.....	53
4.4.2	Nacherfassung.....	54
4.4.3	Aktualisierung .....	55
4.4.4	Möglichkeiten der Durchsetzung .....	55
4.4.5	Überwachung.....	56
4.5	Rechtliche Probleme.....	56
5	Datenstrukturen .....	58
5.1	Klassendiagramm .....	58
5.1.1	Übersicht .....	58
5.1.2	Erläuterungen .....	59
5.1.3	Definitionen der Klassen .....	60
5.2	Verwendete Formate .....	62
5.3	Übersicht XGDF im Bereich Verkehrssignale .....	62
6	Einführungsstrategien.....	65
6.1	Motivation .....	65
6.2	Anforderungen.....	66
6.3	Grundlagen.....	68
6.3.1	Rechtliche Grundlagen .....	68
6.3.2	Institutionelle Grundlagen .....	69
6.3.3	Normen.....	70
6.3.4	Technische Grundlagen.....	72
6.4	Pilotversuch .....	73
6.5	Umsetzung .....	74
6.5.1	Zeitliche Vorgaben .....	74
6.5.2	Aufwandschätzung .....	74
6.5.3	Etappierung .....	75
6.5.4	Private Public Partnership.....	76
7	Schlussfolgerung und Empfehlungen .....	78
8	Glossar .....	80
9	Literaturverzeichnis.....	81

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Geschwindigkeitswarnsystem von Siemens VDO. Der mittels automatischer Bildauswertung erkannte Geschwindigkeitswert wird neben dem aktuellen Geschwindigkeitswert mit einem sogenannten „Head-up Display“ auf die Windschutzscheibe projiziert, um vor einer Übertretung zu warnen. ....	34
Abbildung 2: Schematisches Vorgehen für die automatische Bildauswertung mit den zwei Hauptschritten (oberer und unterer gestrichelter Bereich). ....	38
Abbildung 3: Erster Hauptschritt der automatischen Bildauswertung. Im Bild (links) werden Auffälligkeitsgebiete auf der Basis von Farbe und Form ermittelt (Mitte, helle Flecken) und diese werden dann nach Plausibilität für ein Verkehrssignal eingestuft (rechts, rote Linie vom am höchsten eingestuften Gebiet bis zum am tiefsten eingestuften). ....	39
Abbildung 4: Für die automatische Erkennung berücksichtigte Signale. ....	39
Abbildung 5: Abhängigkeit der Erkennung von den Lichtverhältnissen. ....	40
Abbildung 6: Struktur von MISTRA. Für die Verkehrssignale ist eine zusätzliche Fachapplikation mit Spezialistendaten vorzusehen, welche nach Bedarf auf die MISTRA-Sockeldaten zugreift. ....	52
Abbildung 7: Klassendiagramm der Signalisation. Die Klassen sind als Rechtecke dargestellt, wobei im oberen Feld der Klassenname steht und im unteren Feld Attribute der Klasse aufgeführt sein können. Die Linien stellen Assoziationen dar. Weiterführende Erläuterungen zu diesem Diagramm sind in Kapitel 5.1.2 zu finden. ....	58
Abbildung 8 - UML: Aggregation und Komposition. ....	59
Abbildung 9 - UML: Vererbung. ....	59
Abbildung 10: Klassen von Verkehrssignalen und Beispiele von Zuordnungen gemäss GDF 4.0. Die Bilder der Verkehrssignale stammen aus Deutschland und sind in der GDF-Spezifikation nur als Beispiele gedacht. Man könnte problemlos auch die Schweizer Verkehrssignale zuordnen. ....	63

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Institutionen, die befragt wurden .....	17
Tabelle 2 - Attribute von Signalen .....	25
Tabelle 3: Wichtigste Entwicklungen von Systemen zur automatischen Bildauswertung für Verkehrssignale. Erklärungen zu dieser Tabelle befinden sich im Text. ....	33
Tabelle 4: Parameter bei der manuellen Erfassung von Mobile Mapping Daten .....	36
Tabelle 5: Manuelle Auswertung von Mobile Mapping Daten einer Autobahn .....	37
Tabelle 6: Manuelle Erfassung von Mobile mapping Daten einer Strasse innerorts.....	38
Tabelle 7 - Beispiele für Plausibilisierungsbeziehungen zwischen Signalen. Die Signalnummern beziehen sich auf die Nummerierung gemäss Schweizerischer Signalisationsverordnung.....	48
Tabelle 8 - Matrix mit Plausibilisierungsbeziehungen zwischen Signalen. Die Signalnummern beziehen sich auf die Nummerierung gemäss Schweizerischer Signalisationsverordnung.....	50
Tabelle 9: Vergleich der Verkehrssignal-Klassen zwischen dem Vorschlag aus der Voruntersuchung „Elektronische Verkehrssignale“ und XGDF. ....	72

## Zusammenfassung

Verkehrssignale und Markierungen stellen wichtige Informationen im Strassenverkehr dar, insbesondere um die Verkehrsabläufe sicherer zu machen. Bis heute sind diese Informationen nur strassenseitig auf Verkehrstafeln bzw. auf der Strassenoberfläche aufgebracht verfügbar. Sind die Informationen zusätzlich als elektronische Daten vorhanden und mit einer passenden Referenzierung auf das Strassennetz in einer Datenbank abgelegt, dann können sie für neue Anwendungen der Verkehrstelematik zur Steigerung der Verkehrssicherheit genutzt werden, insbesondere für Fahrerassistenzsysteme in den Fahrzeugen. Die vorliegende Forschungsarbeit untersucht, wie eine solche Datenbank aufgebaut werden kann, welche Struktur sie aufweisen soll und welchen Nutzen sie bringen kann.

Eine Bestandesaufnahme zeigt, dass heute in der Schweiz keine brauchbare Datengrundlage für Signalisationsdaten im Strassenbereich besteht, welche für die beabsichtigten Anwendungen genutzt werden könnte. Diese Anwendungen liegen abgesehen von den erwähnten Verkehrstelematik-Systemen vor allem auch im Bereich elektronischer Signalisationskataster, welche den zuständigen Strassenbehörden die Verwaltung und den Unterhalt der Verkehrssignale erleichtern.

Erster Schritt zum Aufbau der Verkehrssignal-Datenbank ist eine umfassende Aufnahme der heute vorhandenen Signalisation. Die Möglichkeiten dazu werden dargestellt, wobei vor allem die Technik des Mobile Mapping hier eine interessante neue Perspektive eröffnet. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden auch praktische Untersuchungen an aus Mobile Mapping erzeugten Bildsequenzen vorgenommen. Der Fokus lag dabei auf den Möglichkeiten zur Identifizierung der Verkehrssignale mit automatischer Bildauswertung.

Bevor die aufgenommenen Daten in der Datenbank abgelegt werden können, müssen sie plausibilisiert werden. Dadurch lassen sich nicht nur Erfassungsfehler, sondern auch Inkonsistenzen in der tatsächlich vorhandenen Signalisation erkennen. Die möglichen Plausibilisierungsverfahren werden ausführlich beschrieben.

Die einmal aufgenommenen Daten sind nur längerfristig nutzbar, wenn sie laufend nachgeführt werden. Die Untersuchung zeigt, dass die Nachführung aus einer ganzen Reihe ineinander greifender Prozesse besteht und dass dabei vor allem das Monitoring, also das Feststellen, wo Änderungen in der Signalisation vorgesehen sind, ein Schlüsselement für den Betrieb der Datenbank darstellt. Die für die Signalisation zuständigen Strassenbehörden sollten hier unbedingt einbezogen werden.

Doch welche Daten sind zu den Verkehrssignalen und Markierungen überhaupt aufzunehmen? Die Antwort gibt ein eigens entwickeltes Datenmodell, welches sich dadurch auszeichnet, dass es mehrere Verkehrssignale und Markierungen einer Signalisation zuweist, welche eine definierte räumliche und zeitliche Gültigkeit hat. Zum Beispiel gehören bei einer Einmündung ein Stoppsignal, ein Stopbalken als Markierung und auf der Strasse, in welche die Stopstrasse einmündet, ein Vortrittssignal alle zur gleichen Signalisation.

Institutionell sind die Signalisationsdaten im Projekt MISTRA des Bundesamtes für Strassen gut angesiedelt. Um die konsequente Nachführung der Daten zu garantieren, sind Anpassungen der rechtlichen Grundlagen in Betracht zu ziehen. Auch auf technischer Ebene sind noch Entwicklungsarbeiten erforderlich. Schliesslich ist zur Erreichung der notwendigen Einheitlichkeit der Daten die Normierung voranzutreiben. Auf internationaler Ebene würde das vorgeschlagene Datenmodell gut in die laufenden Bestrebungen zur Erweiterung der GDF-Norm passen. Falls dieses Vorgehen nicht erfolgreich ist, muss eine spezifische Schweizer Norm erarbeitet werden. Um das Zusammenspiel aller wichtigen Elemente im Voraus zu testen, wird die Durchführung eines Pilotprojektes vorgeschlagen.



## Résumé

Les signaux routiers et les marquages constituent des informations importantes, en particulier pour augmenter la sécurité des actions sur les routes. A ce jour, ces informations sont disponibles uniquement aux abords de la route, voir sur les panneaux ou sur la surface même de la route. Si ces informations sont également disponibles comme données électroniques munies de références adéquates au réseau routier, elles peuvent être utilisées pour de nouvelles applications de télématique routière, en particulier pour les systèmes d'assistance au conducteur, afin d'augmenter la sécurité routière. Le travail de recherche étudie comment une telle banque de données peut être mise en oeuvre, quelle est sa structure et quelles avantages on peut en tirer.

L'état actuel montre que nous ne possédons pas une base adéquate en Suisse sur les données de signalisation routière que l'on peut utiliser pour les applications prévues. Mise à part les systèmes de télématique routière mentionnés ci-dessus, ces applications comprennent, en particulier le cadastre électronique de signalisation, qui facilite les administrations routières dans leurs tâches de gestion et d'entretien des signaux routiers.

La première mesure pour élaborer une banque de données de signalisation routières comporte l'inventaire complet de la signalisation actuelle. Pour ceci, on présente les méthodes disponibles, en particulier la technique de mobile mapping qui offre des perspectives intéressantes. Dans le cadre de l'étude, une recherche pratique a été entreprise sur des séquences d'images produites par mobile mapping. Cette partie s'est concentrée sur la possibilité de pouvoir identifier des signaux par un traitement automatisé des images.

Avant de saisir les informations dans la banque de données, leur plausibilité doit être vérifiée. Non seulement les erreurs de saisie peuvent être évitées, mais elles peuvent également être séparées des éventuelles erreurs d'inconsistance dans la signalisation. Les méthodes possibles pour rendre plausibles les données sont présentées en détail.

Les données saisies sont utilisables à long terme seulement si elles sont actualisées régulièrement. L'étude démontre que cette actualisation comprend une série de processus imbriqués, et que le monitoring en particulier, donc l'identification de changements prévus dans la signalisation, représente l'élément clé pour l'exploitation d'une banque de données. Sur ce point, il faudrait absolument impliquer les autorités responsables de la signalisation.

Quelles sont les données à saisir sur les signaux et les marquages routiers ? La réponse est donnée dans un modèle expressément élaboré, qui distingue par l'attribution de plusieurs signaux et marquages à une signalisation dont la validité est bien définie dans l'espace et le temps. Par exemple, dans une débouché, on associe à une signalisation un signal de stop et une ligne d'arrêt obligatoire marquée sur la route, et un signal de céder le passage pour la route dans laquelle débouche la route avec l'arrêt obligatoire.

L'Office Fédéral des Routes est l'institution adéquate pour gérer les données de signalisation dans le projet MISTRA. Afin de garantir le suivi conséquent des données, il est nécessaire de prendre en considération les bases légales. Des études

de conception sont également nécessaires sur un plan technique. Finalement, la réussite d'une uniformisation des données implique de progresser dans leur standardisation. Sur le plan international, les modèles de données proposés conviennent bien, et des efforts sont entrepris pour faire évoluer les normes GDF. Au cas où ceci ne donnerait pas le succès attendu, une norme spécifique pour la Suisse devrait être élaborée. Afin de pouvoir tester à l'avance l'interaction de tous les éléments importants, la mise en œuvre d'un projet pilote est recommandée.

## Summary

Traffic signs and road markings is an important information of the traffic domain, especially to enhance the safety of the traffic operation. So far this information is only available on roadside panels or applied to the road surface respectively. If the information would also be accessible as electronic data in a road database, including appropriate referencing to the road network, it could be used for new applications in the intelligent transport systems (ITS) domain with the focus on road safety, especially for advanced driver assistance systems in the vehicles. This research study investigates how to set up such a data base, what could be the structure of such a data base and what benefits would result out of it.

An inventory shows that today there is no adequate basis for traffic sign data in the road transport domain, which could be used for the intended applications. In addition to the ITS domain just mentioned, such applications could be found in the framework of an electronic traffic sign register, facilitating the management and maintenance of the traffic signs at the responsible road authority.

The first step towards a traffic sign database would be a comprehensive collection of the existing signs. Several options for this are presented and it is shown that the mobile mapping technology opens an interesting new perspective. In the framework of the research project practical experiments with picture sequences from mobile mapping were carried out. The focus was on the possibility to identify the traffic signs with automatic traffic sign recognition.

Before adding the traffic signs to the database, they have to be validated. With this, errors in the collection process and inconsistencies of the existing signs become visible. The possible inconsistency checks are presented in detail.

Once the data are stored in the database, they are only usable in long term if they are regularly updated. The investigation shows that updating consists of a long sequence of interacting processes and that the monitoring, meaning the process of finding out where changes of traffic signs are intended, is a key element for the management of the database. In any case the responsible road authority should take part in this process.

But which data on traffic signs and road markings are to be included in the database? The answer is given with a proposed specific data model with the speciality of mapping traffic signs and road markings to a traffic signalling, having a defined spatial and temporal validity. As an example, the stop sign at a junction, the stop bar as road marking and the priority sign on the main road all belong to the same signalling.

On the institutional level traffic sign data fit well into the MISTRA project of the Federal Roads Office. To guarantee a strict updating of the data, adaptations of the legal basis for traffic signs should be envisaged. On the technical level further research and development are necessary. Finally standardization should be pushed forward to get the necessary uniformity of the data. On the international level the proposed data model would fit well into the current activities on the extension of the GDF-standard. If this way forward is not successful, a specific Swiss standard should be established. To test the interplay of all important elements in advance, it is suggested to establish a pilot project.



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Das Forschungsprojekt bezweckt die Schaffung der Grundlagen für eine verbesserte Verwendung der Information von Verkehrssignalen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und qualitativen Steigerung der Zielführung im Strassenverkehr in der Schweiz. Damit werden die Voraussetzungen für eine zügige Einführung der Systeme zur intelligenten Geschwindigkeitsanpassung geschaffen, welche die Fahrzeugführer in der Einhaltung der lokal bestehenden Höchstgeschwindigkeit unterstützen. Die Einführung solcher Systeme in der EU wird zurzeit durch die Europäische Kommission vorangetrieben. Eine ganze Reihe zusätzlicher Systeme zur Fahrzeugführer-Unterstützung wird ermöglicht, wie zum Beispiel die Warnung vor Gefahrensituationen, die Berücksichtigung von Geschwindigkeits- und Fahrbeschränkungen in der Routenwahl und Reisezeitberechnung sowie die Einhaltung von Überholverböten und von Vortrittsregelungen [4].

Ein weiterer Nutzen entsteht bei der Verwaltung und beim Unterhalt von Verkehrssignalen, indem die Information über die Standorte der Verkehrssignale jederzeit und überall verfügbar wird und die Konsistenz der Signalisation sowie von möglichen Anpassungen derselben (einschliesslich Baustellensignalisation und Umfahrungen) wesentlich einfacher überprüft werden kann. Zudem ergeben sich neue Möglichkeiten von statistischen und geographischen Auswertungen, insbesondere im Zusammenhang mit der Unfallstatistik. Erleichtert wird auch die Sachverhaltsfeststellung bei Rechtsstreitigkeiten.

## 1.2 Ziele

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Erarbeitung der Grundlagen für eine Integration der Information von Verkehrssignalen in Schweizer Strassendatenbanken. Dadurch entsteht eine Datenbasis für Anwendungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Fahrzeugführerunterstützung und zur Erleichterung der Planung und des Unterhalts von Verkehrssignalen. In der Arbeit wird die vorgesehene Erweiterung der Norm ISO 14825 [6] von ISO TC 204/ CEN TC 278 im Rahmen des New Work Item Proposals 22953 (eXtended Geographic Data Files XGDF) berücksichtigt. Darin eingeschlossen ist

- die Untersuchung der Verwendbarkeit von Referenzierungsmethoden für Verkehrssignale zum Einsatz in fahrzeugseitigen Anwendungen und Signalisationskatastern;
- die Erarbeitung von Methoden zur Konsistenzprüfung der Signalisation;
- die Erstellung eines umfassenden Konzeptes für die Erfassung der Verkehrssignale in der Schweiz unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Aspekten, privaten Datenanbietern sowie der dazu bereits erfolgten Arbeiten;

- die Zusammenstellung der Anforderungen an ein Nachführungskonzept mit einer Qualitätsüberwachung;
- die Untersuchung von Methoden zum Einbezug der Information von Wechselverkehrssignalen, temporären Verkehrssignalen und Lichtsignalanlagen;
- die Abklärung der Notwendigkeit einer Schweizer Einführungsnorm zur XGDF-Norm.

Berücksichtigt werden folgende Rahmenbedingungen:

- Abstimmung der vorzuschlagenden Lösungen mit dem UVEK (insbesondere den Projekten Via Sicura und MISTRA des ASTRA und der vorgesehenen Umsetzung des Leitbildes its-ch 2012), den Kantonen und der Privatwirtschaft;
- Kompatibilität mit bestehenden Lösungen für Signalisationskataster und Strassendatenbanken in der Schweiz;
- Abgleich mit den Aktivitäten zu eSafety in der EU.

### 1.3 Abgrenzung

Den Rahmen der untersuchten Signalisierung gibt die Signalisationsverordnung vor. Markierungen auf der Strasse werden berücksichtigt, sofern sie in Bezug zu einem Verkehrssignal stehen, z.B. Halte-Linie oder Bus-/Taxispur.

### 1.4 Arbeitsmethode

Als Basis für die Forschungsarbeit diente die Voruntersuchung "Elektronische Verkehrssignale" [4]. Beigezogen wurden auch die Resultate der Konzeptstudie Signalkataster im Rahmen des Projektes STRADA-DB. Ebenfalls massgebend waren die Grundlagendokumente für die Norm XGDF [5], welche bei der zuständigen Stelle von CEN beschafft wurden.

Die Forschungsarbeit hatte den Fokus auf den praktischen Aspekten einer Umsetzung. Sie ging von den Anforderungen aus den verschiedenen Anwendungen elektronischer Verkehrssignale aus und leitete daraus die notwendigen Resultate ab: Verfahren, Strategien, technische Voraussetzungen, Datenstrukturen etc.

Ein Thema der Untersuchung war die korrekte räumliche Referenzierung der Verkehrssignale. Hier flossen die Resultate des Forschungsprojektes "Architektur und Zeitaspekte des Raumbezuges von SVT-Daten" [3] ein.

Zur inhaltlichen Darstellung der in den Verkehrssignalen enthaltenen Information diente die Schweizerische Signalisationsverordnung (SSV) als Grundlage [2]. Zu berücksichtigen war aber, dass es bei vielen Signalen sinnvoll war, Zusatzinformationen zu erfassen (z.B. Lichtprofil statt nur Höhenbeschränkung). Vollständig musste die Information zur Gültigkeit der Signale sein: zeitlich und mögliche Einschränkungen bezüglich Fahrzeugkategorien.

Zur Prüfung der Vollständigkeit und Konsistenz sowie zur übersichtlicheren Darstellung wurden Methoden der Datenmodellierung verwendet. Ein differenziertes Datenmodell für die Verkehrssignalisation wurde erarbeitet.

Um die Koordination mit den zuständigen Stellen in der Schweiz zu gewährleisten, wurden über E-Mail und Telefonkontakte die notwendigen Informationen eingeholt und Absprachen getroffen, wobei nach Bedarf auch Sitzungen zu bestimmten Themen einberufen wurden. Es wurde Wert gelegt auf Kontinuität des Austausches insbesondere mit der Begleitkommission, der VSS-Expertenkommission EK 9.03, und einen vergleichbaren Wissensstand aller, was durch die Erstellung regelmässiger, sich aufeinander beziehender Zwischenberichte erreicht wurde.

Ein wichtiges Anliegen ist die Verbreitung der erzielten Resultate. Neben dem Forschungsbericht wird nach Möglichkeit versucht, im Rahmen bestehender Veranstaltungen, z.B. von its-ch, zu informieren. Im Bedarfsfall wird aber auch ein spezifisches Seminar für interessierte Experten aus der Bundesverwaltung, den Kantonen und der Privatwirtschaft organisiert.

## **2 Heute vorhandene Daten/ Signalisationsdatenbanken**

Die heute vorhandenen Datenbestände zu Verkehrssignalen wurden basierend Befragungen ermittelt. Ausserdem wurde auf Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten zurückgegriffen.

### **2.1 Befragung zu vorhandenen Daten**

Um einen Überblick über die heute oder in naher Zukunft verfügbaren Daten zu gewinnen, wurden Befragungen von Institutionen vorgenommen, von denen vermutet wurde, dass Daten zu Verkehrssignalen vorhanden sind oder Kenntnisse über mögliche Quellen vorliegen können. Die Befragung kann nur ein Ausschnitt der verfügbaren Quellen abdecken und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Insbesondere die geographische Vollständigkeit der Befragung ist nicht das Ziel dieser Untersuchung. Aus diesem Grund wurden vorzugsweise Kantone und Gemeinden angefragt, die über Daten zu den Signalisierungsstandorten verfügen.

Von besonderem Interesse sind national verfügbare, homogene Daten. Deshalb lag der Fokus der befragten Institutionen besonders auf solchen mit nationalem Bezug.

#### **2.1.1 Befragte Institutionen**

Die Institutionen für die Befragung wurden aufgrund von Erfahrungen der Forschergruppe und der Begleitkommission sowie einer Internetrecherche festgelegt.

Mitarbeiter der in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Institutionen wurden befragt:



Institutionstyp	Institutionsbezeichnung
Bund	ASTRA, MISTRA
Bund	Armee, Ug Log
Bund	Landestopographie, KOGIS
Kanton	Aargau
Kanton	St.Gallen
Kanton	Thurgau
Gemeinde	Thun
Nutzfahrzeugverband	ASTAG
Normierung und Forschung	VSS EK 3.01 Signalisierung
Automobilclub	TCS
Navigationsdatenanbieter	Tele Atlas
Navigationsdatenanbieter	Navteq
Kartenanbieter	Endoxon

**Tabelle 1 - Institutionen, die befragt wurden**

## 2.1.2 Fragenkataloge

Die Fragenkataloge dienen als Basis für die Befragungen. Sofern die Frage nach der Existenz von Daten zu den Standorten von Verkehrssignalen bejaht wurde, kamen die weiteren Fragen zum Einsatz. Die Fragen unterscheiden sich je nachdem, ob sie einer Institution in der Rolle des Datenbesitzers bzw. Datenherren gestellt wurden oder ob es sich um einen Datenlieferanten handelt. Als Datenherren werden hier die Institutionen bezeichnet, die aus einem primär eigenen Interesse Daten zu Verkehrssignalen verwalten. Als Datenlieferanten werden die Anbieter von Daten zur Fahrzeugnavigation bezeichnet. Auch für den Sonderfall der Softwareanbieter, die Programme zur Erfassung und Verwaltung von Verkehrssignalen anbieten, wurde ein angepasster Fragenkatalog erarbeitet.

Die Fragenkataloge dienen als Richtschnur; Abweichungen oder Fragen zur Vertiefung wurden unmittelbar eingestreut.

### 2.1.2.1 Fragen an Datenherren

- Gibt es bei Ihnen Daten zu den Standorten oder den Gültigkeitsbereichen von Verkehrssignalen?
- Sind Ihnen andere mögliche Quellen in der Schweiz für Daten zu Verkehrssignalen bekannt?
- Welche Arten von Verkehrssignalen sind erfasst?
- Wer ist für die Verkehrssignale zuständig (Kanton, Gemeinde)?
- In welcher Form liegen die Daten vor?
- Auf welchem Strassennetz sind die Verkehrssignale erfasst?
- Sind die Daten aus Ihrer Sicht aktuell? Wie erfolgt die Aktualisierung?

- Wie werden die vorhandenen Verkehrssignale erfasst (technisch)?
- Welche Attribute werden erfasst?
- Erfolgt die Planung von künftigen Verkehrssignalen auch innerhalb des Werkzeugs?
- Sind die Daten aus Ihrer Sicht vollständig? Wie wird die Vollständigkeit sichergestellt?
- Gibt es geplante Änderungen oder neue Projekte?
- Wie werden die Verkehrssignale georeferenziert?
  - Lage
  - Fahrtrichtung
  - Gültigkeitsstrecke
  - Werden Koordinaten, Kilometerangaben oder Vektoren wie in STRADA oder GDF verwendet?
- Mit welcher Zielsetzung haben Sie die Verkehrssignale erfasst? Wie werden die Daten zur Zeit genutzt?
- Könnten/Würden Sie die Daten für eine spätere Nutzung zur Verfügung stellen?
- Können Sie uns „Musterdatensätze“ liefern?
- Militär: Zeigen Ihre Daten die ausgeschilderten Verkehrssignale oder sind andere Werte erfasst (z.B. Gewichtsbeschränkungen von Brücken)? Gibt es Unterschiede zwischen Friedens- und Kriegsfall?

### 2.1.2.2 Datenlieferanten

- Gibt es bei Ihnen Daten zu den Standorten oder den Gültigkeitsbereichen von Verkehrssignalen?
- Welche Arten von Verkehrssignalen sind erfasst?
- Wer ist für die Verkehrssignale zuständig (Kanton, Gemeinde)?
- In welcher Form liegen die Daten vor?
- Auf welchem Strassennetz sind die Verkehrssignale erfasst?
- Sind die Daten aus Ihrer Sicht aktuell? Wie erfolgt die Aktualisierung?
- Wie werden die vorhandenen Verkehrssignale erfasst (technisch)?
- Welche Attribute werden erfasst?
- Erfolgt die Planung von künftigen Verkehrssignalen auch innerhalb des Werkzeugs?
- Sind die Daten aus Ihrer Sicht vollständig? Wie wird die Vollständigkeit sichergestellt?
- Gibt es geplante Änderungen oder neue Projekte?
- Wie werden die Verkehrssignale georeferenziert?

- Lage
  - Fahrtrichtung
  - Gültigkeitsstrecke
  - Werden Koordinaten, Kilometerangaben oder Vektoren wie in STRADA oder GDF verwendet?
- Mit welcher Zielsetzung haben Sie die Verkehrssignale erfasst? Wie werden die Daten zurzeit genutzt?
  - Könnten/Würden Sie die Daten für eine spätere Nutzung zur Verfügung stellen?
  - Können Sie uns „Musterdatensätze“ oder Datenformatbeschreibung liefern?
  - Sind Ihnen andere mögliche Quellen in der Schweiz für Daten zu Verkehrssignalen bekannt?

## 2.2 Vorhandene Daten in der Schweiz

### 2.2.1 Bund

Im Rahmen von MISTRA hat das ASTRA im Oktober 2005 die „Bereitstellung von Strassennavigationsdaten für die Schweiz“ ausgeschrieben. Im Rahmen der Evaluation der eingegangenen Angebote wurden die Datenqualität der Navigationsdaten untersucht. Kriterien für die Untersuchung waren die Geometrie mit Lagegenauigkeit und Vollständigkeit des Strassennetzes, die Attributierung insbesondere von Geschwindigkeit und der Anzahl Fahrstreifen und die Fehlerhäufigkeit bei Abbiegeregeln. Auch wenn das Thema Verkehrssignale für MISTRA nur am Rande von Interesse war, ist es doch interessant, die Qualität der angebotenen Daten insbesondere bezüglich Geschwindigkeitsattributierung genauer zu betrachten. Die Untersuchung zeigte, dass die Anbieter in Bezug auf der Signalisierung von maximal zulässigen Geschwindigkeiten keine verlässlich nutzbaren Daten bieten. Bei einem Angebot fehlen teilweise die Maximalgeschwindigkeiten oder sind ungünstig in Kategorien zusammengefasst. Beim anderen Anbieter beginnen und enden die Abschnitte mit Angabe der maximal zulässigen Geschwindigkeit nicht am Ort der tatsächlichen Geschwindigkeitssignale, so dass etwa ein Drittel der untersuchten Strecken falsch klassiert sind. Die Anzahl der Fahrstreifen war nicht im ganzen Untersuchungsgebiet richtig erfasst. Die eigenen Angaben der Anbieter zur Fehlerhäufigkeit bei Abbiegeregeln liegen zwischen 0 und 5 %. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Navigationsdaten zum Zeitpunkt der Untersuchung (2006) keine präzisen Rückschlüsse auf die Signalisierung von maximal zulässigen Geschwindigkeiten, der Anzahl an Fahrstreifen oder zur Signalisierung von Abbiege- bzw, Vortrittsregeln bietet. Für den von MISTRA beabsichtigten Anwendungszweck der Navigationsdaten sind diese Mängel nicht von grosser Bedeutung. Als Teil einer Signalisationsdatenbank würden aber die Datenbestände nicht taugen.

Swisstopo und KOGIS verfügen über keine Daten zu Verkehrssignalen.

Schweizer Armee, Ug Log: Es liegen keine Daten vor, die über die zivilen Einschränkungen der Verkehrswege Auskunft geben. Am Beispiel des 40 Tonnen Limits und dem Gewicht von grossen Panzern zeigt sich, dass die Armee nur bedingt an die zivile Signalisierung gebunden ist.

### **2.2.2 Kantone**

Im Kanton Aargau wurde bislang die Wegweisung auf den Kantonsstrassen erfasst. Die Integration der Verkehrssignale ist geplant.

Im Kanton Thurgau werden Signale mit Geschwindigkeitsbegrenzungen und deren Aufhebung in einem GIS verwaltet.

Im Kanton Sankt Gallen läuft seit Beginn 2006 eine Erfassung der Verkehrssignale.

### **2.2.3 Gemeinden**

Die Gemeinde Thun erfasst und verwaltet Verkehrssignale und Wegweiser in einer Datenbank.

### **2.2.4 Weitere Institutionen**

ASTAG: Es liegen keine aktuellen Daten vor.

TCS: Es liegen keine Daten vor.

Navteq: Der Anbieter von Navigationsdaten lehnte die Gesuche für Befragungen oder Gespräche ab.

Tele Atlas: Es liegen Daten zur maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit und deren Gültigkeitsbereich vor. Daten zur Fahrstreifenanzahl sind vorhanden. Fahrbeschränkungen für den Schwerverkehr werden gegenwärtig erfasst.

Da die Daten der beiden Navigationsdatenanbieter Navteq und Tele Atlas unter den bestehenden Daten von herausragender Bedeutung sind, wurden die Datenstände dieser Anbieter in Europa und die Pläne für zukünftig bereitzustellende Daten genauer untersucht. Es zeigt sich, dass in Zentraleuropa der Stand bezüglich Verkehrssignale überall ähnlich ist (mit Verschiebungen in der Aufnahme bestimmter Attribute um wenige Jahre) und dass in absehbarer Zukunft entsprechend der Marktnachfrage im Bereich Navigation nur ausgewählte Verkehrssignale in die Navigationsdaten aufgenommen werden.

### **2.2.5 Zusammenfassung der vorhandenen Daten**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es auf nationaler Ebene keine vollständige Übersicht über die vorhandenen Verkehrssignale gibt. Die Daten der Navigationsdatenlieferanten kommen für den Gültigkeitsbereich von Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit einer nationalen Abdeckung am nächsten.

Die insbesondere für den Schwerverkehr relevanten Standorte der Signale für Beschränkungen von Gewichten, Länge, Breite oder Höhe liegen in vielen Kantonen vor. Eine vollständige Zusammenführung auf nationaler Ebene wurde bislang nicht erreicht. Nutzergruppen, die speziell an diesen Signalen interessiert sind, wie z.B. die Armee oder der Nutzfahrzeugverband ASTAG führen keine eigenen Datenbestände, sondern beschaffen bei Bedarf die Informationen bei den Kantonen. Die Navigationsdatenlieferanten sind daran, mit hoher Priorität die für den Schwerverkehr relevanten Signalisationsattribute zu erfassen.

Aus den heute vorhandenen Daten lässt sich kein vollständiges, nationales Abbild der Standorte von Verkehrssignalen ableiten. Die im nationalen Umfang verfügbaren Daten sind inhaltlich auf bestimmte Signale (z.B. Beschränkungen der maximal zulässigen Geschwindigkeit) eingeschränkt. Datenbestände, die inhaltlich umfangreicher sind, decken lediglich geographische Teilbereiche wie Kantone oder Gemeinden ab. Durch das Verschmelzen dieser nationalen und kleinräumigeren Datenquellen können mehr Standorte und Inhalte von Verkehrssignalen zusammengefasst werden. Jedoch führt dies zwangsläufig zu Widersprüchen und Inkonsistenzen. Für den praktischen Einsatz z.B. in der Fahrerassistenz durch eine Anzeige der Signale im Fahrzeug lassen sich Signale, die nicht geographisch vollständig erfasst sind, nur bedingt nutzen.

Die Verkehrssignale in den vorhandenen Datenbeständen werden nach unterschiedlichen Ansätzen georeferenziert. Zum Teil werden die Signale über ihre Koordinaten erfasst. Mit dieser Lösung können die Signale in Karten dargestellt werden. Die Richtungsabhängigkeit von Signalen kann auf der Karte durch ein Ausrichten des Signals verdeutlicht werden. Das Signal ist dann rechtwinklig zur Strassenachse ausgerichtet. Die Erfassung der Signale ausschliesslich über Koordinaten führt aber zu einer Beschränkung der Anwendungsmöglichkeiten der Signale, da eine eindeutige Verbindung zwischen Signal und der zugehörigen Strassenachse fehlt. Plausibilisierungen und Kontrollen sind ohne eine Verbindung zur Achse kaum möglich.

Ein weiterer Ansatz zur Georeferenzierung der Signalisation ist, die Daten an Strassenvektoren anzubinden. Das kann über den Unterhaltskilometer, das durch eine Schweizer Norm definierte Räumliche Basisbezugssystem (RBBS) oder über ein proprietäres System von Vektoren erfolgen. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Verbindung zwischen Signal und Strassenachse. Dadurch lassen sich die Gültigkeitsbereiche von Signalen, die über eine gewisse Strecke gelten (z.B. Wildwechsel), darstellen und kontrollieren. Alle Institutionen, die die Signale auf diese Art und Weise georeferenzieren, haben auch ein geographisches Informationssystem (GIS) im Einsatz. Damit können die Standorte der Signale angezeigt, und in Verbindung mit Strassenvektoren die Gültigkeitsbereiche des Signals dargestellt werden.

Für die Kantone und Gemeinden liegt die Zielsetzung bei der Erfassung der Signalisation in der Funktion als Kataster. Die Verwaltung des Bestands, der Unterhalt und der einfache Überblick sind die wichtigsten Argumente für eine Signalisationsdatenbank.

Die primäre Zielsetzung bei den Anbietern von Strassennavigationsdaten ist auf die Anwendung der Signalisationsdaten zur Verbesserung der Navigation und zur

Unterstützung des Fahrers ausgerichtet. Durch die Fokussierung auf die Fahrerassistenz erklärt sich die bisherige, inhaltliche Beschränkung auf die Verkehrssignale zu Geschwindigkeitsbeschränkungen und Informationen zu Abbiegebeziehungen an Knotenpunkten.

Bei den Institutionen, die keine eigenen Datenbestände haben, ist grosses Interesse an einem nationalen Datenpool für die Signalisierung vorhanden. Die am meisten geforderten Inhalte sind Beschränkungen der Höhe, Breite, Länge und des Gewichts.

Eine Verbindung zwischen den Nutzungsbereichen Fahrzeugführerunterstützung und Kataster findet bislang nicht statt. Die Möglichkeiten des Datenaustauschs zwischen den Datenbesitzern (z.B. Verwaltungen) und den Anbietern von digitalen Strassendaten werden bisher nicht ausgeschöpft.

## **2.3 Marktanalyse Signalisationsdatenbanken**

### **2.3.1 Befragte Herstellern von Signalisationsdatenbanken**

Die Swisstraffic AG bzw. EDV Dr. Haller bietet Software zur Erfassung und Verwaltung von Verkehrssignalen an.

Die Müller AG führt Erfassungsfahrten mit Fahrzeugen durch, die mit Videoaufnahme und der Möglichkeit zur Georeferenzierung ausgerüstet sind. Aus den Videoaufnahmen können die Inhalte des Films georeferenziert werden. Das Verfahren ähnelt Mobile Mapping (siehe Kapitel 4.1.2).

### **2.3.2 Fragenkatalog**

- Wer nutzt das Tool in der Schweiz?
- Wie werden die Verkehrssignale georeferenziert?
  - Lage
  - Fahrtrichtung
  - Gültigkeitsstrecke
  - Werden Koordinaten, Kilometerangaben oder Vektoren wie in STRADA oder GDF verwendet?
- Für welche Zwecke sollen die Kunden das Werkzeug benutzen?
- Welche Bearbeitungsmöglichkeiten bietet das Werkzeug?
- Gibt es ein definiertes Austauschformat?
- Kennen Sie andere ähnliche Werkzeuge?

### **2.3.3 Zusammenfassung Signalisationsdatenbanken**

### **Marktanalyse**

Als Resultat der Marktanalyse kann festgestellt werden, dass ein Produkt bei mehreren Stellen (Kantone, Gemeinden) im Einsatz ist, das von den technischen Möglichkeiten ein breites Spektrum abdeckt. Es hilft bei der Verwaltung von

bautechnischen und verkehrstechnischen Informationen zu Beschilderung und Signalen. Die Verknüpfung mit dem Strassennetz lässt die Kontrolle der Wegweisung und die Plausibilisierung bestimmter Verkehrssignale zu.

Es besteht der Wunsch, Verkehrssignale innerhalb von MISTRA zu verwalten. Noch ist unklar, welche Signale in welcher Form in MISTRA abgelegt werden sollen.

### 3 Verwendungszwecke

Nachfolgend werden Anwendungen für Verkehrssignale in Strassendatenbanken und deren Nutzen beschrieben. Bestimmte Funktionalitäten setzen dabei das Vorhandensein weiterer Daten voraus. Für gewisse Plausibilisierungsmethoden werden digitale Strassennetze benötigt, wenn z.B. untersucht wird, ob alle Strassen einer Tempo 30 Zone mit einem Zonensignal und einem Ende-Zonensignal ausgestattet sind.

#### 3.1 Anforderungen

In den folgenden Kapiteln werden die Verwendungszwecke von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken und die jeweiligen Anforderungen, d.h. die benötigten Daten behandelt. Diese Anforderungen sind für die einzelnen Verwendungszwecke zum Teil gleich. Aus diesem Grund werden die Anforderungen hier zentral beschrieben und in den folgenden Abschnitten zu den einzelnen Verwendungszwecken werden die Referenzen auf die Anforderungen angegeben. Die Signalnummern beziehen sich auf die Schweizerische Signalisationsverordnung (SSV).

Anforderung	Beschreibung
Art des Signals	Signalnummer, Bezeichnung
Räumliche Gültigkeit	Angaben aus Distanztafel (5.01), Anzeige von Entfernung und Richtung (5.02) oder Streckenlänge (5.03)
Standort	Koordinaten, Kilometrierung, Achse + Bezugspunkt + Abstand vom Bezugspunkt, Abstand von Strassenachse / vom Strassenrand, Fahrtrichtung, betroffene Fahrspur
Aufstellung / Befestigung	Befestigung an Stange / Fachwerkgestänge / Wand, Signalbrücke
Zeitliche Gültigkeit	Startdatum, Endedatum, gültige Monate / Wochentage / Tagesstunden
Zustand	Aktiv / inaktiv (verhängt)
Zustandsbeschreibung	Informationen über die Beschaffenheit des Verkehrssignals
Signalgrösse	Dimensionen des Signals bzw. Grössenklasse
Homologationsdatum	Information zum Zeitpunkt der Inkraftsetzung des Signals / der Signalisation
Erlass	Von der zuständigen Stelle (Regierungsstelle, Behörde) erlassene rechtliche Grundlage für das Signal / die Signalisation



Rechtliche Hoheit	Bund / Kanton / Gemeinde
Betriebliche Zuständigkeit	Bund / Kanton / Gemeinde
Unterhaltsintervall, Reinigungsintervall	Nächster Termin, Intervall für Termin
Klappbar, beleuchtet, Wechselsignal	Hinweis auf Signale, die verschiedene Signalisationsinhalte darstellen können, die abschaltbar sind oder mit künstlichem Licht angestrahlt werden können.
Verknüpfung mit anderen Signalen	Zusatzsignal, Signalnummer, Inhalt (z.B. Distanztafel, 5.01, 80m)
Dynamik von Wechselverkehrszeichen, LSA	Veränderbar ja/nein, mögliche Zustände, Grundzustand, Bedingungen für die Schaltung der Zustände
LSA unterstützt Ereignisdienste	Lichtsignalanlage, die Feuerwehr, Sanität oder Polizei im Einsatzfall bevorzugt behandelt.

**Tabelle 2 - Attribute von Signalen**

## 3.2 Kataster

Die im Anschluss dargestellten Einsatzfelder und Anforderungen an ein Signalisationskataster können mit bestehenden Katastern anderer Objekte kombiniert werden. So ist eine Integration in MISTRA denkbar und bietet zugleich die Möglichkeit zur Verknüpfung mit weiteren Informationen.

### 3.2.1 Einsatzfelder und Nutzen / Wirkung

#### **Verkehrsmanagement (kurzfristig z.B. bei Unfällen)**

Planung von Sondertransporten (a. Info des Verkehrssignals, b. Verkehrstafel als Hindernis im Strassenraum). Überprüfung der Verträglichkeit von Massnahmen des Verkehrsmanagements (z.B. empfohlene Umleitungsrouten) mit der Signalisation vor Ort. Planung von Adhoc-Signalisationen. Verwendung der korrekten Ortsbezeichnungen bei der Verbreitung von Verkehrsmanagement-Informationen.

#### **Planung Baustellen (mittelfristig)**

Baustellensignalisierungen und die häufig damit verbundenen Umleitungen lassen sich ausgehend vom aktuellen Stand der Signalisation planen. So können beispielsweise bereits im Planungszustand Widersprüche zwischen der permanenten Signalisierung und dem Baustellen- oder Umleitungsszenario erkannt werden und Gegenmassnahmen wie das Abmontieren oder Abdecken von Signalen vorgesehen werden.

#### **Verkehrsplanung (langfristig)**

Die Planung von Schwerlasttrouten wird durch ein Kataster der vorhandenen Signale vereinfacht. Hier sind insbesondere die Signale Höchstgewicht und Achsdruck von Interesse. Eine Steigerung der Planungssicherheit ergibt sich in Kombination mit einem digitalisierten Strassennetz, das Informationen zu Kurvenradien und Strassen- oder Fahrbahnbreiten enthält, und Plänen bzw. Orthophotos.

Umgekehrt können Schwerlasttrouten, die im Kataster bekannt sind, bei der Planung der Signalisierung dieser Strecke berücksichtigt werden. So kann bei der Auswahl der Signalbefestigung an Schwerlaststrecken bereits, darauf geachtet werden, dass ausreichender Abstand zum Lichtraumprofil gewährt wird oder das Signal einfach demontiert und wieder befestigt werden kann.

Ähnliche Nutzen und Wirkungen wie bei der Planung von Baustellen gibt es bei der langfristigen Veränderung der Signalisierung.

### **Verbesserung der Signalisierung durch Plausibilisierung**

Plausibilisierungen liefern Hinweise auf die folgenden Fragestellungen:

- Gibt es falsche Signale?
- Gibt es Signale, die zuviel oder unnötig sind?
- Gibt es verbesserungswürdige Signale?
- Fehlen Signale?

Mit Hilfe von Plausibilisierungen können diese Fragen teilweise beantwortet werden (siehe Kapitel 4.2.1). Es geht insbesondere darum, Signale an unterschiedlichen Standorten zu vergleichen und beispielsweise die Konsistenz und Durchgängigkeit einer Wegweisung zu überprüfen.

### **Verwaltung und Unterhaltsmanagement**

Mit Hilfe des Katasters lassen sich Signale, bis zu einem bestimmten Anschaffungsjahr leicht ausfindig machen und können überprüft und ersetzt werden. Auch wenn ein Signal ausgetauscht werden soll, weil z.B. die Dampflokomotive beim Signal 1.16 „Bahnübergang ohne Schranken“ gemäss SSV durch eine modernere ersetzt wird, können alle Signale 1.16 gefiltert werden.

Für den Unterhalt von Signalen können Intervalle für die Reinigung oder die Überprüfung angelegt werden. Wenn Angaben zum Zustand der Signale erfasst werden, kann ein primitives Unterhaltsmanagement für Signale umgesetzt werden.

### **Statistik (auch im Zusammenhang mit Unfällen)**

Das Kataster kann für statistische Auswertungen herangezogen werden. So lässt sich die Anzahl Signale eines Typs herausfinden. Mit Hilfe des Katasters kann die „Signaldichte“ an Strassenabschnitten ermittelt werden.

Statistische Auswertungen können mit anderen Auswertungen kombiniert werden. So bietet sich an, Vergleiche mit dem Unfallgeschehen vorzunehmen. Der Vergleich von Wildunfällen und dem Signal Wildwechsel zeigt, ob an sinnvollen Orten vor Wildwechsel gewarnt wird.

### **Sachverhaltfeststellung bei Rechtsstreitigkeiten**

Das Kataster kann bei Rechtsstreitigkeiten Angaben auf die Frage, welches Signal war zu einem bestimmten Zeitpunkt an welchem Ort in welchem Zustand, liefern. Inwieweit diese Informationen vor Gericht Bestand haben, ist nicht sicher. Jedoch dürfte ein nachgeführter Kataster zumindest Indizien für eine bestimmte Signalisierungssituation bieten.

### **Unterstützung von Ereignisdiensten**

Wechselverkehrszeichen und Lichtsignalanlagen können bei Bedarf mit Vorrecht für Ereignisdienste geschaltet werden. Ein Kataster bietet einen Überblick über die Möglichkeiten der einzelnen Anlagen und kann dadurch zur Optimierung von Rettungseinsätzen eingesetzt werden.

Wird zum Beispiel eine Lichtsignalanlagen mit eigener Phase für Ereignisdienste eingeführt oder wird die Schaltlogik verändert, kann im Kataster vermerkt werden, welche Einsatzdienste über den Vorgang informiert werden sollen.

## **3.2.2 Anforderungen**

Für ein funktionales Kataster sind die im Folgenden dargestellten Felder relevant (nähere Angaben zu den Feldern sind in Tabelle 2 aufgeführt). Je nach spezifischem Anwendungsfall werden nicht alle Angaben benötigt oder können weitere Felder hinzukommen.

- Art des Signals
- Standort des Signals
- Art der Aufstellung/Befestigung
- Räumliche Gültigkeit
- Zeitliche Gültigkeit
- Zustand (aktiv, verhängt)
- Zustandsbeschreibung
- Signalgrösse
- Homologationsdatum
- Erlass
- Rechtliche Hoheit
- Betriebliche Zuständigkeit
- Unterhaltsintervall, Reinigungsintervall
- Klappbar, beleuchtet, Wechselsignal
- Verknüpfung mit anderen Signalen
- Dynamik von Wechselverkehrszeichen, LSA
- LSA mit Unterstützung von Ereignisdiensten

## **3.3 Fahrerassistenz**

Verkehrssignale als Bestandteil von Systemen zur Navigation und Fahrzeugführerunterstützung können auf vielfältige Weise Beiträge zur Verkehrssicherheit leisten.

### 3.3.1 Beschreibung

#### Anzeige im Fahrzeug

Der Lenker kann sich für seinen aktuellen Streckenabschnitt alle relevanten Signale anzeigen lassen. Um eine Überforderung des Lenkers zu vermeiden, werden die Signale gefiltert, z.B. können nach Wunsch nur Gefahrensignale angezeigt werden. Durch das Filtern und die Auswahl der Signale, die im Fahrzeug angezeigt werden sollen, kann verhindert werden, dass Häufungsstellen von Signalen entlang der Strasse zu einem „digitalen Schilderwald“ führen. Die Anzeige der relevanten Signale im Fahrzeug soll den Lenker unterstützen und nicht zu einer Überforderung beitragen.

#### Warnungen

Über die bloss passive Information durch die Anzeige von Verkehrssignalen im Fahrzeug sind weiterreichende Ansätze denkbar. So können aktiv Warnungen durch das Fahrzeug abgegeben werden, wenn der Lenker beispielsweise schneller fährt, als es die aktuell gültige Höchstgeschwindigkeit zulässt. Ist an einer Kreuzung oder Einmündung das „Abbiegen nach links verboten“ (Signal 2.43 gemäss Schweizerischer Signalisationsverordnung) so kann eine Warnung durch das Fahrzeug erfolgen, wenn der Lenker den Blinker zum Linksabbiegen betätigt.

#### Intelligente Geschwindigkeitsanpassung

Werden dem Fahrzeug weiterreichende Rechte zur Beeinflussung der Fahrt zugestanden, kann das Fahrzeug z.B. vorgegebene Höchstgeschwindigkeiten selbst überwachen und einhalten. Diese intelligente Geschwindigkeitsanpassung (ISA – intelligent speed adaption) lässt ein Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit nur durch ein spezielles Verhalten des Lenkers zu, indem dieser z.B. mit Nachdruck zum Weiterbeschleunigen auf das Gaspedal drückt.

#### Hinweise auf Gefahrensignale

Passiert ein Lenker ein Gefahrensignal wie z.B. Rechtskurve (Signal 1.01) oder Doppelkurve so kann der Lenker aktiv auf das Signal hingewiesen werden.

#### Stoppautomatik

Vorschriftssignale, die für bestimmte Strassenabschnitte ein generelles Befahren oder die Benutzung mit speziellen Fahrzeugen verbieten, können technisch mit einer Stoppautomatik umgesetzt werden. Beim Passieren eines Fahrverbots kann das Fahrzeug selbständig abbremsen und zum Stillstand kommen. Hier gilt es, einen sinnvollen Kompromiss zwischen Bevormundung des Lenkers durch das Fahrzeug und der Verkehrssicherheit zu finden. Das passieren eines Fahrverbots auf einem forstwirtschaftlichen Weg ist zwar illegal, jedoch wird ein System, das eine solche Fahrt grundsätzlich verhindert, kaum die nötige Akzeptanz der Lenker finden. Viel mehr Sinn macht es hingegen, den automatischen Stopp einzuleiten, damit ein Signal „Einfahrt verboten“ (2.02), das unmittelbar in der Nähe einer Autobahn steht, nicht passiert werden kann. Die Kombination aus Einfahrt verboten und Autobahn führt zum automatischen Stopp und verhindert somit Geisterfahrten. Dieses automatische Eingreifen des Fahrzeugs in den Fahrtablauf wird mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Akzeptanzprobleme hervorrufen.

### 3.3.2 Nutzen / Wirkung

Die beschriebenen Massnahmen zielen hauptsächlich auf eine Erhöhung der Verkehrssicherheit ab. Der Lenker wird beeinflusst durch:

- Hinweise auf Gefahren
- Warnung vor der Übertretung von Vorschriften (z.B. Befahren eines Abschnitts mit festgelegter Höchstbreite mit einem breiteren Fahrzeug)
- Warnung vor der Übertretung von Fahrordnungen
- Übertretung von Vortrittssignalen (z.B. Warnung bei hoher Annäherungsgeschwindigkeit zu einem Stoppsignal)

Eine weitere Wirkung liegt in der Homogenisierung des Verkehrsflusses: Lenker ohne genauere Ortskenntnis verlieren teilweise den Überblick, ob sie sich innerorts oder ausserorts befinden. Durch die Anzeige der zulässigen Geschwindigkeit sind sie über diese im Bild und können dementsprechend ihre Geschwindigkeit anpassen. Zugleich kann die intelligente Geschwindigkeitsanpassung das Übertreten der zulässigen Geschwindigkeit erschweren, so dass es in der Summe beider Effekte zu einer Angleichung der Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge kommen kann. Damit ist es möglich die Ressource Strasse besser zu nutzen und möglicherweise gleichzeitig den Energieverbrauch zu senken.

### 3.3.3 Anforderungen

Für Fahrerassistenzsysteme sind die folgenden Anforderungen (Beschreibung in Tabelle 2) zentral.

- Art des Signals
- Standort des Signals
- Räumliche Gültigkeit
- Zeitliche Gültigkeit
- Dynamik von Wechselverkehrszeichen, LSA

## 3.4 Routen- und Tourenplanung

### 3.4.1 Beschreibung

#### Routenwahl anhand von Fahrzeugparametern und Streckenbeschränkungen

Die Kombination aus digitalem Strassennetz und Verkehrssignalen führt zu einer besseren Routenwahl. Vor allem für den Güterverkehr bieten sich hier Vorteile, wenn Restriktionen von Fahrzeuggewicht, -länge, -breite und -höhe bereits bei der Routenwahl berücksichtigt werden können. Für Gefahrguttransporte können je nach Gefahrstoff die Signale „Verbot für Fahrzeuge mit gefährlicher Ladung“ (Signal 2.10.1 gemäss SSV), „Verbot für Fahrzeuge mit wassergefährdender Ladung“ (Signal 2.11), Tunnel (Signal 4.07) oder „Wasserschutzgebiet“ (Signal

4.10) relevant sein. Für Gefahrguttransporte können sich Routen ergeben, die von den Routen von Fahrzeugen mit vergleichbaren Dimensionen abweichen.

Einerseits lässt sich diese verbesserte Routenwahl in Navigationsgeräten umsetzen, die im Fahrzeug eingesetzt werden. Andererseits kann das beschriebene Vorgehen auch bei der Planung von Transporten in der Zentrale eines Unternehmens eingesetzt werden. Hier bietet sich z.B. die Möglichkeit, durch die Auswahl eines leichteren Fahrzeugs einen Ort auf einem kürzeren Weg zu erreichen, wenn der ursprüngliche Weg mit einem „Höchstgewicht“ (Signal 2.16) eingeschränkt ist.

### **3.4.2 Nutzen / Wirkung**

Die Qualität der Routenwahl und Transportplanungen kann gesteigert werden. So verhindert die fahrzeug- und ladungsspezifische Navigation die Übertretung von Vorschriften (z.B. Befahren eines Abschnitts mit festgelegter Höchstbreite mit einem breiteren Fahrzeug)

- Vermeidung von Mehrkilometern durch fahrzeugspezifische Optimierung der Routenwahl

### **3.4.3 Anforderungen**

Für die Routen- und Tourenplanung sind die folgenden Anforderungen (Beschreibung in Tabelle 2) zentral.

- Art des Signals
- Standort des Signals
- Räumliche Gültigkeit
- Zeitliche Gültigkeit

## **4 Datenerfassung, -Aufbereitung, -Kontrolle und -Nachführung**

### **4.1 Datenerfassung**

#### **4.1.1 Feldbegehung**

Verkehrssignale können mit Hilfe klassischer Vermessungsmethoden erfasst werden. Als Beispiele können die Aufnahme von Polygonzügen mit Hilfe von Tachymetern oder die Erfassung der Signalstandorte mit Hilfe von GPS genannt werden. Die Merkmale der Signale sind vor Ort manuell aufzunehmen.

##### **Eignung**

Die Methode der Feldbegehung kommt für einzelne Verkehrssignale in Frage und hat da den Vorteil, dass die dafür erforderliche Ausrüstung relativ kostengünstig ist. Völlig undenkbar ist eine vollständige Erfassung aller Verkehrssignale in der Schweiz oder schon nur der Signale einer bestimmten Kategorie mittels Feldbegehung. Der zeitliche Aufwand und damit der Einsatz an Personalressourcen wären viel zu hoch.

#### **4.1.2 Behördenmeldungen**

Die Behörden, welche für die Signalisation zuständig sind, können die Angaben zu den vorhandenen oder neu zu realisierenden Signalen und Markierungen aufzeichnen und fortlaufend einer zentralen Stelle Meldung erstatten. So weit die Signalisation in Strassenplänen eingetragen ist, können solche Pläne zur Erfassung der Standorte verwendet werden.

##### **Eignung**

Um den gegenwärtigen Stand der Signalisation zu erfassen, sind Behördenmeldungen kaum geeignet. Es gibt in der Schweiz keine einheitliche Praxis bei der Dokumentation von Signalisationen. Viele Signale basieren auf einem behördlichen Erlass. Dieser ist aber oft nur in Papierform verfügbar und enthält keine genauen Angaben zu den Standorten der aufgestellten Signale. Für eine ganze Reihe vorhandener Verkehrssignale dürfte überhaupt keine Aufzeichnung vorhanden sein. Wenn Behördenmeldungen für die Bestimmung des Status Quo verwendet werden sollten, müssten die Behörden die in ihrem Zuständigkeitsgebiet vorhandenen Signale nacherfassen oder zumindest die vorhandenen Aufzeichnungen überprüfen und komplettieren. Dabei wäre es äusserst schwierig, angesichts der vielen oft auch sehr bescheiden dotierten Behörden die notwendige Einheitlichkeit, Vollständigkeit und Qualität der Daten zu erreichen.

### 4.1.3 Mobile Mapping

Mobile Mapping bezeichnet allgemein die Technologie, Kartendaten von einem Fahrzeug aus im Feld zu erfassen und zu verifizieren. Spezifischer definiert bedeutet Mobile Mapping die Integration von sowohl Navigationssensoren wie auch Bilderfassungssensoren zeitlich synchronisiert auf einer gemeinsamen mobilen Plattform.

Mobile Mapping basiert auf der Kombination von Navigations- und Bilddaten: Ein Lokalisierungsgerät, optische Kameras und möglicherweise ein 3D-Laserscanner werden auf einem Fahrzeug montiert, um in langsamer Fahrt durch die Strassen automatisch Objekte zu erfassen und präzise örtlich zuzuordnen. Neben den Bildsensoren können weitere Sensoren z.B. für die Erfassung von Längs- und Querneigung eingesetzt werden.

Die Bestimmung der Lage und Ausrichtung des Fahrzeugs erfolgt über Satellitennavigation (heute ausschliesslich GPS, in der Regel unter Berücksichtigung von differentiellen Korrekturen eines DGPS-Zusatzdienstes), präzisiertem Kilometermesser und Inertialnavigation (Kreiselkompass etc.). Wenn es darum geht, die Lage von Objekten in Bezug auf das Fahrzeug zu ermitteln, um in Kombination mit der bekannten Lage des Fahrzeugs absolute Positionen der untersuchten Objekte zu erhalten, gibt es zwei Verfahren: Durch die bekannten Abstände der optischen Sensoren auf dem Fahrzeug und deren räumliche Orientierung können die aufgenommenen Bilder photogrammetrisch ausgewertet werden, indem Objekte auf an unterschiedlichen Orten vom Fahrzeug aus aufgenommenen Bildern identifiziert und in ihrer Lage auf dem Bild verglichen werden. Alternativ können die Richtung und Distanz von Objekten relativ zum Fahrzeug mittels 3D-Laserscanner bestimmt werden. Wesentlich ist, dass die Messdaten für die beschriebenen Verfahren sich aufzeichnen lassen, während das Fahrzeug in Bewegung ist. Während einer Messfahrt werden fortlaufend Daten aufgenommen und können durch eine genaue Zeitreferenz so aufeinander bezogen werden, dass sich die auf den Bildern auftauchenden Objekte alle lokalisieren lassen.

Die Auswertung der Daten kann während der Fahrt im Fahrzeug, aber auch nachträglich erfolgen. Entscheidend ist, wie auf den Bildern die Objekte identifiziert werden. Heute ist die manuelle Prüfung üblich, bei der die Bilder von Menschen durchgesehen und darauf die relevanten Objekte - entsprechend dem Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind dies Verkehrssignale und Markierungen - markiert werden.

Technisch möglich ist auch eine automatische Auswertung. Seit den Neunzigerjahren wurde an verschiedenen Orten begonnen, entsprechende Techniken zu entwickeln, wobei das Projekt „Intelligent Vehicle and Highway Systems (IVHS)“ in den USA und das Forschungsprojekt PROMETHEUS (PROgramM for an European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) in der EU eine wichtige Rolle spielten. Eine Übersicht über die wichtigsten Aktivitäten ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt [7].



Stelle und Jahr der Untersuchung	Erkennungsmerkmale	Bestimmungsmethode	Verfolgung	Sample-Grösse	Detektionsrate %	Bestimmungsrate %	Bildfrequenz (Hz)	Experimentell / kommerziell?
Uni Koblenz-Landau 1995	Form & Farbe	Neurale Netz.	Nein	20 000	-	98	3 (TIP)	Exp.
Daimler-Chrysler 1999	Form	Neurale Netz.	Nein	1000	95	90	6	Exp.
Aglaia ~2000	Form & Farbe	Matching	Ja	-	-	-	10	Exp.
Uni Prag 1999	Form	Statist. Klassifiz.	Nein	1100	-	84-98	-	Exp.
Uni Osaka 2002	Form & Farbintensität	OCR	Ja	~ 100	97	46	< 3	Exp.
Nationale Uni Taiwan 2003	Form & Farbe A Priori Karte	Neurale Netz.	Ja	-	-	-	-	Exp.
Universitäten Spanien 2006						60-95		Exp.
Vislab 2007	Farbe, dann Form	Neurale Netz.	Ja					Exp.
Hella-Aglaia 2007								Kom.
SiemensVDO 2007				Nur Geschwindigkeit	>90	>99	20	Kom.
Uni Arkansas 2007	Farbe	SIFT	Ja	160 versch. Signale				Exp.

**Tabelle 3: Wichtigste Entwicklungen von Systemen zur automatischen Bildauswertung für Verkehrssignale. Erklärungen zu dieser Tabelle befinden sich im Text.**

Für viele Aktivitäten zeichnen Universitäten verantwortlich. Es gibt aber auch bereits ein paar kommerzielle Anwendungen aus der Industrie. Die Aufgabe ist für all die entwickelten Systeme ähnlich: es geht darum, auf Bildern mögliche Verkehrssignale automatisch zu erkennen und dann zu bestimmen, um welches

Verkehrssignal es sich handelt. Für beide Schritte ist eine möglichst hohe Zuverlässigkeit gefordert. Einige Systeme betrachten nur einzelne Bilder, andere nutzen aus, dass das gleiche Verkehrssignal auf mehreren aufeinander folgenden Bildern erscheint, verfolgen also das Signal über eine Bildsequenz. Bei der Erkennung von Kandidaten für Verkehrssignale kann auf Formen oder Farben auf dem Bild oder auf beides abgestellt werden. Für die Bestimmung des Signals gibt es eine ganze Reihe von Methoden: Neuronale Netzwerke, Matching, statistische Klassifizierung, OCR (Optische Charakter Erkennung) und SIFT (Scale Invariant Feature Transform).

Im Sinne von Beispielen soll auf zwei Aktivitäten nachfolgend noch genauer eingegangen werden:

- **Siemens VDO** hat ein System entwickelt und bietet dieses Autoherstellern an, welches in Echtzeit Signale zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit erkennt und zum Beispiel die Fahrer warnt, wenn sie diese Geschwindigkeit überschreiten [12]. Die von Siemens VDO eingesetzten Verfahren sind nicht bekannt. Aus einer Vergleichsstudie kann aber gefolgert werden, dass die Detektionsrate (Finden eines Verkehrssignals) über 90% und die Bestimmungsrate (Zuweisen des korrekten Verkehrssignals) über 99% liegt [14].



**Abbildung 1: Das Geschwindigkeitswarnsystem von Siemens VDO. Der mittels automatischer Bildauswertung erkannte Geschwindigkeitswert wird neben dem aktuellen Geschwindigkeitswert mit einem sogenannten „Head-up Display“ auf die Windschutzscheibe projiziert, um vor einer Übertretung zu warnen.**

- Die Universität Arkansas hat ein experimentelles System zur Erfassung der Verkehrssignale für Strassendatenbank entwickelt. 160 verschiedene Signale können erkannt werden. Die Auswertung erfolgt in der Nachbearbeitung zuvor aufgenommener Bilder. Bilder mit korrekten Farben und in guter Qualität sind die Voraussetzung, da bei der Detektion nur auf die Farbe abgestellt wird. Wo nicht das genaue Verkehrssignal bestimmt werden kann, ist es unter Umständen möglich, auf der Basis von Form und Farbe die Kategorie anzugeben.

## Eignung

Mobile Mapping erlaubt eine sehr effiziente Erfassung der Daten und ist deshalb insbesondere bei grossen zu erfassenden Datenmengen, etwa bei einer Erhebung des Status Quo der Signalisation in der Schweiz, gut geeignet. Die Schwierigkeit wird allerdings darin bestehen, die Fehlerrate möglichst weit zu senken. Sowohl bei

der manuellen als auch bei der automatischen Erfassung kann es immer geschehen, dass ein Signal übersehen oder falsch interpretiert wird.

Schon eher fraglich ist der Einsatz von Mobile Mapping bei der Nachführung. Es ist möglich, regelmässig Erfassungskampagnen durchzuführen, aber notwendig ist dann ein Abgleich mit den bestehenden Daten und es geht darum, die relativ wenigen Änderungen aus der Masse der erfassten Daten herauszufiltern. Zudem werden die Änderungen jeweils erst bei der nächsten Kampagne erkannt und da die Aufbereitung der Daten auch Zeit beansprucht, ist der Datenbestand nie ganz aktuell.

Die automatische Bildauswertung ist für Verkehrssignale heute noch zu wenig weit entwickelt, um als alleinige Methode genügend gute Resultate zu liefern. Es ist aber hier in den nächsten Jahren ein bedeutender Entwicklungsschub zu erwarten.

#### 4.1.4 Versuche mit Mobile Mapping

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurden Versuche mit Mobile Mapping durchgeführt. Es wurden Bildsequenzen ausgewertet, welche aus einer Kampagne mit Mobile Mapping in der Schweiz der Firma Tele Atlas stammen und welche Tele Atlas der Forschungsstelle freundlicherweise für Versuchszwecke zur Verfügung stellte.

##### 4.1.4.1 Manuelle Auswertung

Einige Bildsequenzen wurden exemplarisch manuell ausgewertet. Zweck war, die Eignung des Verfahrens zu bestimmen, aber auch zusätzliche Informationen darüber zu erhalten, wie in der Schweiz Verkehrssignale eingesetzt werden, insbesondere um das entwickelte Datenmodell (siehe Kapitel 5.1) zu überprüfen.

Für die manuellen Auswertungen wurden Bildsequenzen einer Autobahn und einer Stadt herangezogen.

Die Testauswertung umfasst die folgenden Parameter:

Parameter	Beschreibung, Ausprägungen
Timestamp	Zeitstempel, wird zur Georeferenzierung benötigt
Signalnummer	Signalnummer gemäss SSV
Bedeutung	Inhalt gemäss SSV
Start/Ende	Beginn oder Ende einer Signalisation, die durch entsprechende Verkehrssignale angezeigt wird
Auf Signal	Das Verkehrssignal ist auf der Tafel eines anderen Signals, z.B. „Nummertafel für Autobahnen und Autostrassen“ auf Wegweisern
Gültigkeit Fahrstreifen	Gibt an auf welche(n) Fahrstreifen sich das Verkehrssignal bezieht: Bei mehrstreifigen Querschnitten wird von rechts nach links mit positiven Zahlen nummeriert. Ausfahrstreifen werden

	mit negativen Zahlen von links nach rechts nummeriert. Beispiel: 3, 2, 1, -1, -2 Bezieht sich das Signal auf alle Fahrstreifen steht „Q“ (Querschnitt).
Anzahl	Gibt an, ob ein Verkehrssignal mehrfach vorkommt, z.B. auf beiden Seiten der Fahrbahn vorkommt.
Aufstellort	Gibt die Lage des Signals relativ zur Fahrbahn an: R: rechts L: links RL: rechts und links F: Fahrbahn B: (Signal-) Brücke
Seite / Oben	Lage des Signals aus Sicht des Lenkers: O: oben, über der Fahrbahn S: seitlich U: unten, auf der Fahrbahn
Befestigung	Beschreibt den Träger des Verkehrssignals: 1F: eine Stange 2F: zwei Stangen 4F: Gitterkonstruktion mit 4 Befestigungspunkten am Fundament B: Signalbrücke
Beleuchtung	Das Verkehrssignal kann durch eine integrierte oder zum Signal bzw. dessen Befestigung gehörende Lichtquelle beleuchtet oder angestrahlt werden.
Grösse H	Geschätzte Höhe des Verkehrssignals bzw. der Verkehrstafel
Grösse B	Geschätzte Breite des Verkehrssignals bzw. der Verkehrstafel
Strassenname	Name der Strasse bei Auswertungen innerorts
Text auf Signal	Texte auf der Signaltafel, die über die in der SSV vorgesehenen Texte hinausgehen.
Symbol auf Signal	Zeichen auf Signaltafeln, die über die in der SSV vorgesehenen Symbole hinausgehen.
Richtungspfeil	Gibt die Richtung von Signalen oder Wegweisern an, sofern dies nicht aus dem Signaltyp hervorgeht.
Bemerkung	Ergänzende Angaben
Bezug	Verknüpft mehrere inhaltlich zusammengehörende Signale an einem Ort zu einer Signalisation

**Tabelle 4: Parameter bei der manuellen Erfassung von Mobile Mapping Daten**

Die manuellen Erfassungen auf Autobahnen umfassen auch Abschnitte im urbanen Bereich, die eine hohe Komplexität der Signalisation aufweisen. Insbesondere für die räumliche Gültigkeit und den Bezug zu bestimmten Fahrstreifen ergaben sich Erweiterungen des Modells gegenüber Strassen im nachgeordneten Netz oder im Innerortsbereich.

Timestamp	Signalnummer	Bedeutung	Start/Ende	auf Signal	Gültigkeit Fahrstreifen	Anzahl	Aufstellort	Seite / Oben	Befestigung	Beleuchtung	Grösse H	Gösse B
11:30:00.808												
11:30:40.343	4.77	3 Fahrstreifen parallel			Q	2	LR	S	1F		80	50
11:31:37.601	Touristik	Châtel-St-Denis Les Paccots et la region			Q	1	R	S	2F		200	350
11:31:50.552	4.77	Verengung 3 auf 2 Fahrstreifen			Q	2	LR	S	1F		80	50
11:31:50.552	5.01	Distanztafel 600 m			Q	2	LR	S	1F		25	20
11:31:58.391	4.60	Ankündigung Anschluss			Q	1	R	S	4F		100	250
11:31:58.391	4.59	Nummerntafel für Anschluss 2			Q	1	R	S	4F		40	80
11:32:07.593	4.77	Verengung 3 auf 2 Fahrstreifen			Q	2	LR	S	1F		80	50
11:32:07.593	5.01	Distanztafel 200 m			Q	2	LR	S	1F		25	20
11:32:09.979	6.07	Abweispfeile			3		F	U				
11:32:14.750	4.72	Kilometertafel 6			Q	1	R	S	1F		15	30
11:32:16.114	5.01	Distanztafel 200 m			Q	2	LR	S	1F		25	20
11:32:18.158	6.03	Leitlinie	E		3/2	1	F	U				
11:32:19.181	4.61	Vorwegweiser bei Anschluss Châtel-St-Denis 500m			Q	1	R	S	2F	J	300	300
11:32:21.907	Touristik	Pays de Fribourg			Q	1	R	S	2F		300	300
11:32:32.473		Kantonswechsel Freiburg			Q	1	R	S	1F		25	15
11:32:41.675	6.03	Leitlinie	S		1/-1	1	F	U				
11:32:45.083	4.62	Wegweiser bei Anschluss Châtel-St-Denis			-1	1	B	O	B	J	300	250
11:32:45.083	4.59	Nummerntafel für Anschluss 2			-1	1	B	O	B		40	80
11:32:45.083	6.69	Einspurtafel über Fahrstreifen			2/1	1	B	O	B	J	300	400
11:32:45.083	4.56	Nummertafel für Europastrassen E27		6.69	2/1	1	B	O	B	J	30	40
11:32:45.083	4.58	Nummertafel für Autobahnen und Autostrassen 12		6.69	2/1	1	B	O	B	J	30	40

**Tabelle 5: Manuelle Auswertung von Mobile Mapping Daten einer Autobahn**

Neben den manuellen Erfassungen von Verkehrssignalen auf Autobahnen, wurden Aufnahmen im städtischen Bereich vorgenommen. Hier zeigt sich eine Problematik bei der Abgrenzung: Welche Signale gehören zu welcher Strasse? Im Bereich von Kreuzungen und Kreiseln gibt es Signale, die inhaltlich zusammengehören und gemeinsam eine Signalisation bilden, die aber an unterschiedlichen Strassen liegen. Bei der Erfassung und Auswertung muss sichergestellt sein, dass diese gemeinsame Signalisation erkannt und entsprechend behandelt wird.

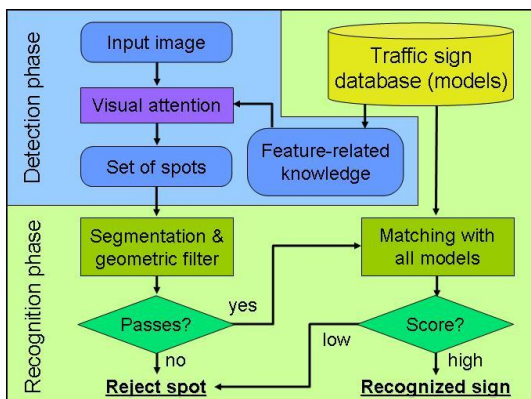
Timestamp	Signalnummer	Bedeutung	Start/Ende	auf Signal	Gültigkeit Fahrstreifen	Anzahl	Aufsichtsort	Seite / Oben	Befestigung	Beleuchtung	Grösse H	Grösse B	Strassenname	Text auf Signal	Symbol auf Signal	Richtungs Pfeil	Bemerkung
11:29:03.379	6.03	Leitlinie	vorhanden		2		F	U					Längfeldweg				
11:29:05.070	2.50	Parkieren verboten			2	1	R	O	Laterne mit Seitenarm	per Laterne	80	40					
11:29:05.070	5.04	Wiederholungstafel		2.50	2	1								Beidseitig			
11:29:10.539	2.50	Parkieren verboten			2	1	R	O	Laterne mit Seitenarm	per Laterne	80	40					
11:29:10.539	5.04	Wiederholungstafel		2.50	2	1								Beidseitig Des deux côtés			
11:29:15.310	6.18	Halteverbotslinie			1	1	F	U									
11:29:15.647	2.50	Parkieren verboten			2	1	R	O	Laterne mit Seitenarm	per Laterne	80	40					
11:29:15.647	5.04	Wiederholungstafel		2.50	2	1								Beidseitig Des deux côtés			
11:29:15.647	4.45	Wegweiser für bestimmte Fahrzeugarten			1	1	R	O					Waren Anlieferung	Lastwagen	nach rechts		
11:29:15.647	4.45	Wegweiser			1	1	R	O	Laterne	Laterne	30	120	Industrie C2				
11:29:15.983	6.17	Fussgängerstreifen			2	1	F	U			80	60					
11:29:18.746	6.09	Radstreifen	Start		1		F	U									
11:29:24.851	6.09	Radstreifen	Ende		1		F	U									
11:29:26.205	6.18	Halteverbotslinie			1	1	F	U									
11:29:26.884	6.17	Fussgängerstreifen			2	1	F	U									
11:29:27.221	6.08	Bus-Streifen	Start		1		F	U						Taxi Bus	Fahrrad		
11:29:33.058	2.50	Parkieren verboten			2	1	L	O	Laterne mit Seitenarm	per Laterne	80	40					
11:29:33.058	5.04	Wiederholungstafel			2	1	L	O			30	10					
11:29:34.762	6.08	Bus-Streifen	Ende		1		F	U									
11:29:36.119	6.08	Bus-Streifen	Start		1		F	U									

**Tabelle 6: Manuelle Erfassung von Mobile mapping Daten einer Strasse innerorts**

### 4.1.4.2 Automatische Bildauswertung

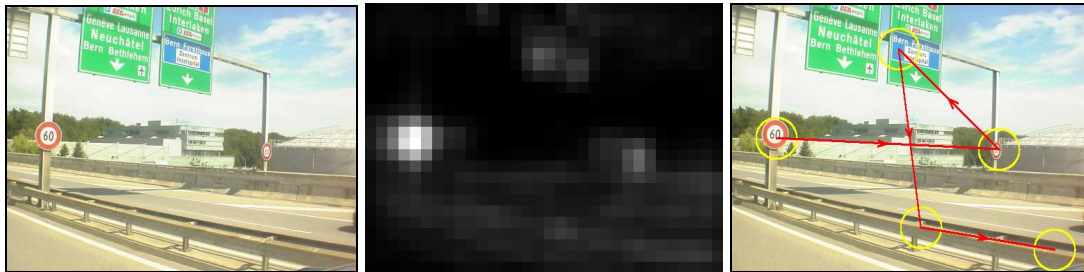
Weiter wurden Versuche mit automatischer Bildauswertung durchgeführt. Dazu wurden Bildsequenzen am Institut für Mikrotechnik der Universität Neuenburg mit einer experimentellen Software analysiert, welche am Institut entwickelt worden war und speziell auf die Anwendung für Verkehrssignale ausgerichtet wurde [8]. Diese Versuche hatten den Zweck, den Stand der Technik zu erkunden und den Aufwand abzuschätzen, der für eine praxistaugliche Lösung mit automatischer Auswertung erforderlich ist.

Das Verfahren der Universität Neuenburg besteht aus zwei Hauptschritten: zuerst werden mögliche Bereiche auf Bildern herausgefiltert, welche Verkehrssignale enthalten können. Diese Kandidaten werden dann im zweiten Schritt genauer analysiert um festzustellen, ob es sich um eines der bekannten Verkehrssignale handelt.



**Abbildung 2: Schematisches Vorgehen für die automatische Bildauswertung mit den zwei Hauptschritten (oberer und unterer gestrichelter Bereich).**

Für den ersten Schritt werden Formen und Farben untersucht. So ist zum Beispiel ein roter Kreisrand ein deutlicher Hinweis auf ein mögliches Verbotssignal. Es werden in jedem Bild Auffälligkeitsgebiete ausgeschieden und nach ihrer Plausibilität für das Vorhandensein eines Verkehrssignals eingestuft (Abbildung 3). Die Gebiete mit der höchsten Plausibilität werden dann dem zweiten Bearbeitungsschritt zugeführt.



**Abbildung 3: Erster Hauptschritt der automatischen Bildauswertung. Im Bild (links) werden Auffälligkeitsgebiete auf der Basis von Farbe und Form ermittelt (Mitte, helle Flecken) und diese werden dann nach Plausibilität für ein Verkehrssignal eingestuft (rechts, rote Linie vom am höchsten eingestuftem Gebiet bis zum am tiefsten eingestuftem).**

Für die Erkennung des Verkehrssignals im zweiten Hauptschritt wurden Musterverkehrssignale in einer Datenbank abgelegt und die ausgewählten Bildbereiche wurden mit diesen Mustern verglichen (Pattern Recognition). Dabei wurde eine sehr beschränkte Auswahl unter den Verkehrssignalen in den Kategorien der dreieckigen Signale mit rotem Rand, der runden Signale mit rotem Rand und der runden Signale mit blauem Hintergrund getroffen (Abbildung 4).

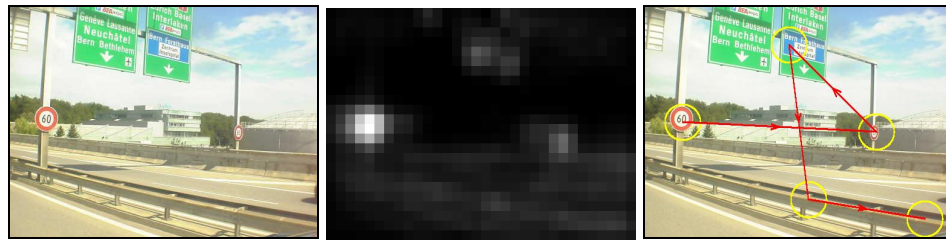


**Abbildung 4: Für die automatische Erkennung berücksichtigte Signale.**

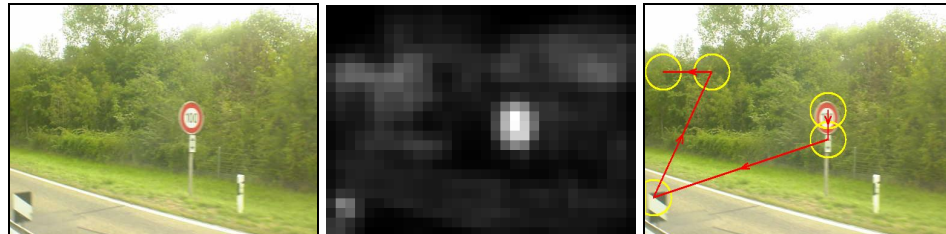
Die Versuche haben folgende Resultate ergeben:

- Es konnte noch keine hohe Zuverlässigkeit der Erkennung erreicht werden. Die Versuche waren aber auch nicht genügend umfangreich, um genaue Zuverlässigkeitszahlen zu bestimmen. Und vor allem war es im vorgegebenen Budgetrahmen nicht möglich, Optimierungen am System vorzunehmen. Wertvoll waren die Versuche trotzdem, weil sie ermöglichten, einige wesentliche Einflussfaktoren auf die Qualität der Erkennung zu ermitteln.
- Von grossem Einfluss auf die Detektionsrate sind die Lichtverhältnisse bei der Aufnahme der Bilder. Im Dämmerlicht aufgenommene Bilder ergeben eine wesentlich schlechtere Detektionsrate als bei Sonnenlicht oder gestreutem hellem Tageslicht (Bewölkung) aufgenommene Bilder.

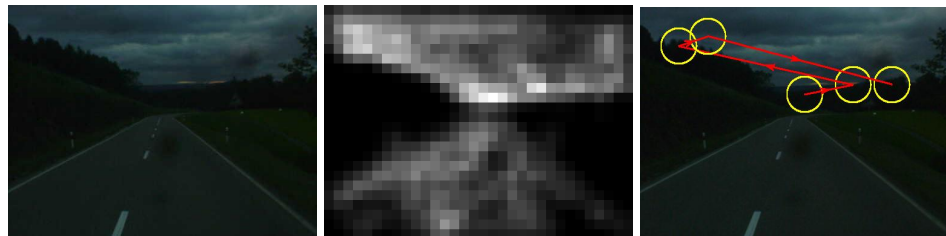




a) Sonnenschein. Die beiden Verkehrssignale werden als dominante Auffälligkeitsgebiete einwandfrei erkannt.



b) Bewölkt. Das Verkehrssignale wird korrekt erkannt.



c) Dämmerung. Das Verkehrssignale wird nicht erkannt.

**Abbildung 5: Abhängigkeit der Erkennung von den Lichtverhältnissen.**

- Die Detektionsrate hängt von der Grösse der Verkehrssignale auf den Bildern ab. Beim eingesetzten Verfahren ergibt eine mittlere Grösse (ca. 30x30 Pixel) die besten Resultate. Dass grössere Signale ein schlechteres Resultat ergeben, ist darauf zurückzuführen, dass sie bei der Suche nach Auffälligkeitsgebieten nicht mehr als ein geschlossenes Gebiet erkannt werden. Möglicherweise liesse sich dieser Mangel durch eine Weiterentwicklung des Verfahrens beheben. Eine denkbare Optimierung besteht darin, die Auffälligkeitsgebiete über mehrere Bilder zu verfolgen und die Plausibilitätswerte für ganze Bildsequenzen zu bestimmen. Für die Bestimmung des Verkehrssignals könnte dann das Bild ausgewählt werden, auf dem das Signal am grössten ist.
- Die Schärfe des Bildes hat nur einen untergeordneten Einfluss auf die Detektionsrate. Möglich ist aber, dass die Bestimmung des korrekten Verkehrssignals bei abnehmender Bildschärfe schwieriger wird.
- Der Aufwand für die automatische Bildauswertung wird grösser, je mehr verschiedene Verkehrssignale bestimmbar sein müssen. Eine automatische Erkennung aller in der Schweiz verwendeten Verkehrssignale ist heute noch nicht möglich, aber mit einer Weiterentwicklung der Systeme wahrscheinlich erreichbar.



## 4.2 Datenaufbereitung und Kontrolle

### 4.2.1 Plausibilitätstests und Konsistenzprüfungen

#### 4.2.1.1 Typisierung von Verkehrssignalen

Die Plausibilitätstests und Konsistenzprüfungen richten sich nach dem Typ des Verkehrssignals. Um nicht jeden Signaltyp einzeln untersuchen zu müssen, ist es sinnvoll, die Signaltypen nach verschiedenen Kriterien zu gruppieren. Dabei erweist sich die in der Studie „Elektronische Verkehrssignale – Voruntersuchung“ [4] vorgenommene Typisierung als sehr gut geeignet. Sie unterscheidet Typen nach der örtlichen Gültigkeit und nach der zeitlichen Gültigkeit und weist die Signale zusätzlich nach inhaltlichen Kriterien Gruppen zu. Diese Typisierung ist nachfolgend als Grundlage für die Untersuchung der Plausibilität und Konsistenz von Signalisationen kurz dargestellt.

Die örtliche Gültigkeit der Signale erstreckt sich bei den folgenden Typen auf verschieden grosse Bereiche und reicht dabei von der Information zu einem Punkt, über einen mit dem Signal genannten Abschnitt bis zu dem Beginn eines Intervalls, das erst durch ein weiteres Signal abgeschlossen wird:

- ▶ Typ A: Lokal an der Stelle des Signals (z.B. Stop-Signal)
- ▶ Typ B: Lokal in einer bestimmten Distanz vom Signal weg (z.B. Bahnschranken-Signal)
- ▶ Typ C: Von der Stelle des Signals an über eine gewisse (als Zusatzinformation angegebene) Strecke (z.B. Wildwechsel-Signal)
- ▶ Typ D: Vom Signal entlang der Strasse bis zu einem Signal, welches das vorhergegangene aufhebt (z.B. Hauptstrasse-Signal)
- ▶ Typ E: Signal gilt für ein Gebiet und wird an dessen Rand wieder aufgehoben (z.B. generelle Höchstgeschwindigkeit)

Die Typen A und B stehen zusammengefasst für Signale, die sich auf einen geographischen Punkt beziehen. Die Typen C und D beziehen sich beide auf Abschnitte, d.h. sie gelten in einem Bereich entlang der Strasse.

Auch was die zeitliche Gültigkeit betrifft, sind die folgenden Typen von Verkehrssignalen zu unterscheiden:

- ▶ Typ 1: Die Information gilt permanent (z.B. Rechtskurven-Signal).
- ▶ Typ 2: Die Information gilt je nach Zeitpunkt oder Situation. Die Gültigkeit kann sensorisch erfasst werden oder ist durch den Fahrzeugführer zu prüfen (z.B. Stau-Signal, Schleudergefahr)
- ▶ Typ 3: Die Information ändert sich zeitlich in fest vorgegebenem Rhythmus (z.B. zeitlich beschränktes Parkieren).
- ▶ Typ 4: Die Information wird in ihrer Gültigkeit situationsbedingt verändert (Wechselverkehrszeichen, z.B. variable Höchstgeschwindigkeiten).
- ▶ Typ 5: Die Information wird nur über eine bestimmte Phase signalisiert und gilt nur dann (z.B. Baustellen-Signal)

In der SSV [2] erfolgt die Gruppierung der Signale nicht streng nach funktionalen Kriterien. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine andere Einteilung in Kategorien vorgenommen.

In ihrer beabsichtigten Wirkung auf die Fahrzeuge bzw. Fahrzeugführer können die folgenden Gruppen von Verkehrssignalen unterschieden werden. Diese Gruppierung lässt sich auch für die Plausibilisierung von Signalen benutzen. Einzelne Signale enthalten Informationen aus mehreren Gruppen. Jede Gruppe ist durch spezifische zusätzliche Attribute charakterisiert. Die in den nachfolgenden Unterkapiteln angegebenen Nummern beziehen sich auf die Nummerierung in der SSV.

#### 4.2.1.1.1. Fahrbeschränkungen und Fahrverbote

**Zugeordnete Signale:** Allgemeines Fahrverbot in beiden Richtungen (2.01), Einfahrt verboten (2.02), ..., Verbot für Gesellschaftswagen (2.08), Verbot für Tiere (2.12), ..., Höchstlänge (2.20), Radweg (2.60), ... Busfahrbahn (2.64), Lichtsignal-System für die zeitweilige Sperrung von Fahrstreifen (2.65), Autobahn (4.01, 4.02), Autostrasse (4.03, 4.04), Abzweigende Strasse mit Verkehrsbeschränkung (4.55).

**Ortsparameter:** Die Signale sind grundsätzlich vom Typ A. Wer der Fahrbeschränkung unterliegt, darf von der Stelle des Signals an nicht mehr weiter fahren. In der Regel gilt die Information für Gebiete, wobei ein Aufheben der Information (vgl. Typ E) nicht notwendig ist, da die Fahrzeuge, für welche die Beschränkung gilt, das Gebiet gar nicht befahren dürfen, also gar nicht bis zur Aufhebungsinformation gelangen können, während für die übrigen Fahrzeuge die Aufhebungsinformation nicht relevant ist, weil sie ohnehin ungehindert fahren können. Die Aufhebungssignale für Autobahnen und Autostrassen sind nicht wegen der Fahrbeschränkungs-Information notwendig, sondern wegen der Geschwindigkeitsvorgabe-Information und der Vortrittsregelungs-Information. Das Lichtsignal-System für die zeitweilige Sperrung von Fahrstreifen hat Typ C oder D. Da Fahrzeuge auf benachbarten Fahrstreifen noch fahren können, muss hier bekannt sein, ab wo der gesperrte Fahrstreifen wieder befahrbar ist.

**Zeitparameter:** In der Regel sind die Signale vom Typ 1. Möglich sind auch Typ 3 (z.B. Nachtfahrverbote) und Typ 5 (Sperrungen oder Einbahnregelungen bei besonderen Ereignissen). Das Lichtsignal-System für die zeitweilige Sperrung von Fahrstreifen hat fest Typ 5. Für die Zukunft nicht auszuschliessen ist Typ 4 im Rahmen eines dynamisch gehandhabten Access-Control-Systems oder der temporären Benutzung von Standstreifen auf Autobahnen.

**Attribute:** Wesentliches Merkmal zur Typisierung dieser Gruppe sind die betroffenen Fahrzeugkategorien. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es bei einigen Signalen einfacher ist, die zugelassenen Fahrzeugkategorien anzugeben, während bei anderen besser die nicht zugelassenen angegeben werden.

Ein weiteres Merkmal ist, ob die Fahrverbote und -beschränkungen Ausnahmen zulassen. Ausnahmen können generell zugelassen werden (z.B. Zubringerdienst) oder von einer Bewilligung abhängig gemacht werden.

#### 4.2.1.1.2. Vorgaben zu Fahrzeugeigenschaften

**Zugeordnete Signale:** Verbot für Anhänger (2.09), ... Verbot für Fahrzeuge mit wassergefährdender Ladung (2.11), Schneeketten obligatorisch (2.48, 2.57), Tunnel (4.07).

**Ortsparameter:** Typ C. Schneekettenobligatorium Typ D oder Typ E.

**Zeitparameter:** Typ 1, Schneekettenobligatorium Typ 5.

**Attribute:** Es handelt sich um eine spezielle Gruppe von Fahrbeschränkungen, die nicht von der Fahrzeugkategorie, sondern von aktuell vorhandenen Fahrzeugeigenschaften abhängig ist. Wesentliches Merkmal ist die Art der Fahrzeugeigenschaft.

#### 4.2.1.1.3. Fahrtrichtungsvorgaben

**Zugeordnete Signale:** Fahrtrichtung rechts (2.32), ... Geradeaus oder Linksabbiegen (2.41), Kreisverkehrsplatz (2.41.1), Abbiegen nach rechts verboten (2.42), Abbiegen nach links verboten (2.43), Wenden verboten (2.46) Einbahnstrasse (4.08, 4.08.1), Vorwegweiser für bestimmte Fahrzeugarten (4.23).

**Ortsparameter:** Typ A und Typ B (mit Distanzangabe). Die Einbahnstrasse hat Typ C und ist in dem Sinn eine Fahrtrichtungsvorgabe, als sie das Wenden auf einer längeren Strecke verbietet.

**Zeitparameter:** In der Regel Typ 1. Typ 5 kann eingesetzt werden zur Verkehrsführung bei besonderen Ereignissen.

**Attribute:** Wesentliches Merkmal zur Typisierung dieser Gruppe sind die Fahrtrichtungen. Es können die verbotenen oder die zugelassenen Fahrtrichtungen angegeben werden.

Die Vorgaben können auf bestimmte Fahrzeugkategorien beschränkt werden.

#### 4.2.1.1.4. Vortrittsregelung

**Zugeordnete Signale:** Bahnübergang ohne Schranken (1.16), Strassenbahn (1.18), Fussgängerstreifen bzw. dessen Standort (1.12, 4.11), Stop (3.01), Kein Vortritt (3.02), Hauptstrasse (3.03, 3.04), ... Vortritt vor dem Gegenverkehr (3.10), Andreaskreuz (3.22-3.25), Autobahn (4.01, 4.02), Autostrasse (4.03, 4.04), Bergpoststrasse (4.05, 4.06).

**Ortsparameter:** In der Regel Typ A und Typ D (Hauptstrasse, Autobahn, Autostrasse). Manchmal auch als Vorankündigung - Typ B.

**Zeitparameter:** Typ 1.

**Attribute:** Wesentliches Merkmal zur Typisierung dieser Gruppe ist die vortrittsberechtigten Fahrtrichtung. Ein weiteres Merkmal sind die vortrittsberechtigten Fahrzeugkategorien und sonstigen Verkehrsteilnehmer (z.B. Fussgänger).

#### 4.2.1.1.5. Geschwindigkeitsvorgaben

**Zugeordnete Signale:** Höchstgeschwindigkeit (2.30, 2.53), Höchstgeschwindigkeit 50 generell (2.30.1, 2.53.1), Mindestgeschwindigkeit (2.31, 2.54), Zollhaltestelle (2.51), Zone mit Geschwindigkeitsbeschränkung (2.59.1, 2.59.2), Fussgängerzone (2.59.3, 2.59.4), Begegnungszone (2.59.5, 2.59.6), Autobahn (4.01, 4.02), Anzeige von Fahrstreifen mit Beschränkungen (4.77.1).

**Ortsparameter:** Typ C, Typ D und Typ E. Fahrstreifen mit Beschränkungen Typ C.

**Zeitparameter:** Typ 1, in Ausnahmefällen Typ 5 (z.B. bei Baustellen). Bei Verkehrsleitsystemen Typ 4.

**Attribute:** Wesentliche Merkmale sind, ob es sich um eine Höchst- oder (äusserst selten) eine Mindestgeschwindigkeit handelt und die Höhe dieser Geschwindigkeit. Auch können die Limiten auf bestimmte Fahrzeugkategorien beschränkt werden.

#### 4.2.1.1.6. Stopanweisungen

**Zugeordnete Signale:** Schranken (1.15), Lichtsignale (1.27), Zollhaltestelle (2.51), Polizei (2.52), Stop (3.01), Wechselblinklicht (3.20), Einfaches Blinklicht (3.21).

**Ortsparameter:** Typ A und Typ B.

**Zeitparameter:** Typ 1 für Stop, Typ 2 für Schranken, Lichtsignale, Zollhaltestelle und Blinklichter, Typ 5 für Polizei und provisorischen Stops und Lichtsignalanlagen.

**Attribute:** Ob permanent oder situationsabhängig.

#### 4.2.1.1.7. Halte- und Parkierungsvorgaben

**Zugeordnete Signale:** Halten verboten (2.49), Parkieren verboten (2.50), Autobahn (4.01, 4.02), Autostrasse (4.03, 4.04), Tunnel (4.07), Parkieren gestattet (4.17), .... Parkhaus (4.21), Parkplatz mit Anschluss an öffentliches Verkehrsmittel (4.25), Ausnahmen vom Halteverbot (5.10), Ausnahmen vom Parkierungsverbot (5.11).

**Ortsparameter:** In der Regel Typ C. Autobahn und Autostrasse Typ D.

**Zeitparameter:** In der Regel Typ 1. Parkieren mit Parkscheibe Typ 3. Andere Signale können durch Zusatztafeln auch zu Typ 3 werden.

**Attribute:** Ob Halte- oder Parkverbot. Zeitliche Beschränkung und Tarif in Abhängigkeit von der Zeit. Zugelassene Fahrzeugkategorien.

#### 4.2.1.1.8. Vorgaben zum Fahrverhalten

**Zugeordnete Signale:** Überholen verboten (2.44, 2.55), Überholen für Lastwagen verboten (2.45, 2.56), Mindestabstand (2.47), Fussgängerzone (2.59.3, 2.59.4), Begegnungszone (2.59.5, 2.59.6), Wasserschutzgebiet (4.10), Spital (4.14), Notfallspur (4.24).

**Ortsparameter:** Typ C oder Typ D/ Typ E (Überholverbot, Fussgängerzone, Begegnungszone).

**Zeitparameter:** Typ 1. Überholverbote können auch Typ 5 sein.

**Attribute:** Art der Vorgabe, bei Mindestabstand zusätzlich Mass. Betroffene Fahrzeugkategorien.

#### 4.2.1.1.9. Gefahrenhinweise und Warnungen

**Zugeordnete Signale:** Rechtskurve (1.01), ... Gefährliches Gefälle (1.10), Starke Steigung (1.11), Steinschlag (1.13), Baustelle (1.14), Kinder (1.23), ... Gegenverkehr (1.26), Flugzeug (1.28), .... Stau (1.31), Einbahnstrasse mit Gegenverkehr von Radfahrern (4.08.1), Wasserschutzgebiet (4.10), Abzweigende Strasse mit Gefahrenstelle (4.55), Vereiste Fahrbahn (5.13).

**Ortsparameter:** In der Regel Typ C.

**Zeitparameter:** Typ 1 (1.01 bis 1.11, 4.10), Typ 2 (1.13, 1.23 bis 1.26, 1.28 bis 1.31, 5.13).

**Attribute:** Art der Gefahr.

#### 4.2.1.1.10. Angaben zum Auffinden von Örtlichkeiten

**Zugeordnete Signale:** Ausstellplatz (4.15), Abstellplatz für Pannenfahrzeuge (4.16), Entfernung und Richtung eines Parkplatzes (4.22), Ortsbeginn auf Hauptstrassen (4.27), ...Betriebswegweiser (4.49), Verkehrsführung (4.52), ... Vorwegweiser bei Kreisverkehrsplatz (4.54), Nummerntafel für Europastrassen (4.56), ... Vororientierung über den Strassenzustand (4.76), Zeltplatz (4.79), ... Gottesdienst (4.91).

**Ortsparameter:** In der Regel Typ A. Entfernung und Richtung eines Parkplatzes, alle Vorwegweiser Typ B. Ortschaften Typ E.

**Zeitparameter:** Typ 1. Umleitungen Typ 5.

**Attribute:** Art und Bezeichnung.

#### 4.2.1.2 Örtliche Gültigkeit

Für die Plausibilisierung der örtlichen Gültigkeit ist ausschlaggebend, welchem der oben eingeführten Ortstypen eine Signalisation zugeordnet ist.

Signale vom Typ B, die in einer bestimmten Distanz vom Signal gelten, müssen in der Regel mit einem der folgenden Signale auftreten: Distanztafel (5.01) oder Anzeige von Entfernung und Richtung (5.02). In einigen Situationen lässt sich auch direkt überprüfen, ob ein Signal vom Typ A oder B ist. Wenn das Stop-Signal zum Beispiel nicht direkt bei der Kreuzung aufgestellt ist, dann ist es vom Typ B und benötigt ein Zusatzsignal mit Distanzangabe.

Signale vom Typ C, die über eine gewisse Strecke gelten, müssen je nach Situation mit dem Signal Streckenlänge (5.03) auftreten. Die Signalisation die bei einem

Signal vom Typ D beginnt, gilt solange bis sie durch ein weiteres Signal aufgehoben oder geändert wird. Für die Signalisation einer Geschwindigkeitsbegrenzung bedeutet dies, dass sie mit einem Signal Höchstgeschwindigkeit beginnt. Das Ende der Signalisation kann durch die Signale Ende der Höchstgeschwindigkeit oder Freie Fahrt oder alle Signale erfolgen, die eine andere Höchstgeschwindigkeit vorschreiben.

Ähnlich gilt für Signalisationen, die aus Signalen vom Typ E bestehen, dass die Signalisation bei einem Signal beginnt und so lange gilt, bis ein Aufhebungssignal oder ein anderes Signal die Signalisation beendet. Signalisationen mit Signalen vom Typ D und E können in einem Routing-fähigen Netz geprüft werden, indem ein Algorithmus ausgehend vom Signal in der Richtung der Signalwirkung durch das Netz geht. Ist es möglich das Signal im gleichen Richtungssinn zu erreichen, ohne ein Aufhebungssignal (oder ein anderes Signal, das die Signalisation beendet) zu passieren, ist der Bereich oder das Gebiet nicht hinreichend definiert. D.h. die Aufhebung der Signalwirkung erfolgt nicht auf allen mit dem gültigen Verkehrssystem erreichbaren Wegen.

Das Verfahren zur Plausibilisierung der Signalisationen vom Typ E kann auch mit verkehrter Fahrtrichtung ausgehend von der Aufhebung einer Signalisation aus eingesetzt werden. So lässt sich erkennen, wenn zu einer Aufhebung ein entsprechendes Einführungssignal fehlt.

Weiterhin gilt auf Strassen ohne Fahrtrichtungstrennung für Signale vom Typ D und E fast immer, dass in der Gegenrichtung die Eigenschaft der Hinrichtung entgegengesetzt ändert. So fallen z.B. Ortsanfang und Ortsende in der Gegenrichtung zusammen.

### 4.2.1.3 Inhaltliche Plausibilitätsprüfung

Ankündigungen von Signalen „Vortritt-Signal in 50 m“ bedingen, dass ein solches Vortritt-Signal folgt. Die Distanzbaken vor einem Bahnübergang treten in der Regel auch in der Abstufung entsprechend der Distanz auf, d.h. die Signale mit drei, zwei und einem Streifen kommen entlang einer Strasse in dieser Reihenfolge vor.

Kreuzungs- und Einmündungsbereiche lassen je nach der Strassenkategorie unterschiedliche Verkehrssignale erwarten. Mit hoher Wahrscheinlichkeit treten in den folgenden Bereichen die nachstehenden Signale auf:

Autobahn - Autobahn: Verzweigungstafel, Erster Vorwegweiser bei Verzweigungen, Zweiter Vorwegweiser bei Verzweigungen, Einspurtafel über Fahrstreifen auf Autobahnen und Autostrassen, Trennungstafel

Autobahn - Kantonsstrasse: Ankündigung des nächsten Anschlusses, Wegweiser bei Anschlüssen, Ausfahrtstafel

Kantonsstrasse - Gemeindestrasse: Stop-Signal, Vortritt-Signal, Hauptstrasse

Gemeindestrasse – Gemeindestrasse: Stop-Signal, Vortritt-Signal, Verzweigung mit Strasse ohne Vortritt, Verzweigung mit Rechtsvortritt

Wenn ein Strassennetz mit Parametern vorliegt, wie sie in Navigationsnetzen verwendet werden, also z.B. Anzahl der Fahrspuren und Strassenart, lassen sich

wahrscheinliche Standorte von bestimmten Verkehrssignalen angeben. Solche Verkehrssignale sind beispielsweise: Autobahn oder Sackgasse.

Ähnlich wie Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Signale abhängig von der Strassenart bzw. Strassenkategorie sprechen können, kann man andere Signale ausschliessen. Auf Autobahnen treten zum Beispiel keine Vortrittssignale oder Signale für Fussgänger- oder Begegnungszonen auf.

Wenn keine primären Informationen zur Strassenart bzw. Strassenkategorie vorliegen, kann aus den Signalen Autobahn und Autostrasse Rückschlüsse gezogen werden. Signale an einer (gemeinsamen) Strasse und in räumlicher Nähe schliessen sich gegenseitig aus (Autobahn, Zone 30).

Die folgende Tabelle beinhaltet Beispiele von Beziehungen zwischen Signalen:

Signal1	Signalname1	Beziehung	Signal2	Signalname2
1.01	Rechtskurve	unmögliche Kombination	1.02	Linkskurve
1.03	Doppelkurve nach rechts beginnend	unmögliche Kombination	1.04	Doppelkurve nach links beginnend
1.1	Gefährliches Gefälle	unmögliche Kombination	1.11	Starke Steigung
1.16	Bahnübergang ohne Schranken	unmögliche Kombination	4.01	Autobahn
1.17	Distanzbaken	Signal bedingt gleiches im Umfeld	1.17	Distanzbaken
1.17	Distanzbaken	unmögliche Kombination	4.01	Autobahn
1.18	Strassenbahn	unmögliche Kombination	4.01	Autobahn
1.22	Fussgängerstreifen	Signal bedingt Ende-Signal	6.17	Fussgängerstreifen
1.22	Fussgängerstreifen	unmögliche Kombination	4.01	Autobahn
1.32	Radfahrer	unmögliche Kombination	4.01	Autobahn
2.08	Verbot für Gesellschaftswagen	unmögliche Kombination	2.64	Busfahrbahn
2.3	Höchstgeschwindigkeit	Signal bedingt Ende-Signal	2.53	Ende der Höchstgeschwindigkeit
2.30.1	Höchstgeschwindigkeit 50 generell	Signal bedingt anderes Signal	2.53.1	Ende der Höchstgeschwindigkeit 50 generell
2.31	Mindestgeschwindigkeit	Signal bedingt Ende-Signal	2.54	Ende der Mindestgeschwindigkeit
2.38	Linksabbiegen	unmögliche Kombination	2.43	Abbiegen nach links verboten
2.44	Überholen verboten	Signal bedingt Ende-Signal	2.55	Ende des Überholverbotes
2.45	Überholen für Lastwagen verboten	Signal bedingt Ende-Signal	2.56	Ende des Überholverbotes für Lastwagen

2.48	Schneeketten obligatorisch	Signal bedingt Ende-Signal	2.57	Ende des Schneeketten-Obligatoriums
2.59.1	Zonensignal (z. B. Tempo- 30-Zone)	Signal bedingt Ende-Signal	2.59.2	Ende-Zonensignal (z. B. Ende Tempo- 30-Zone)
2.59.3	Fussgängerzone	Signal bedingt Ende-Signal	2.59.4	Ende der Fussgängerzone
2.59.5	Begegnungszone	Signal bedingt Ende-Signal	2.59.6	Ende der Begegnungszone
2.6	Radweg	Signal bedingt Ende-Signal	2.60.1	Ende des Radweges
2.64	Busfahrbahn	hohe Wahrscheinlichkeit für	6.08	Bus-Streifen
3.01	Stop	Signal bedingt anderes Signal	6.1	Haltelinie
3.03	Hauptstrasse	Signal bedingt Ende-Signal	3.04	Ende der Hauptstrasse
4.01	Autobahn	Impliziert	2.05	Verbot für Fahrräder und Motorfahräder
4.01	Autobahn	Signal bedingt Ende-Signal	4.02	Ende der Autobahn
4.01	Autobahn	Impliziert	2.15	Verbot für Fussgänger
4.01	Autobahn	unmögliche Kombination	2.59.3	Fussgängerzone
4.03	Autostrasse	Signal bedingt Ende-Signal	4.04	Ende der Autostrasse
4.05	Bergpoststrasse	Signal bedingt Ende-Signal	4.06	Ende der Bergpoststrasse
4.18	Parkieren mit Parkscheibe	Signal bedingt Ende-Signal	4.19	Ende des Parkierens mit Parkscheibe
4.27	Ortsbeginn auf Hauptstrassen	Signal bedingt Ende-Signal	4.28	Ortsende auf Hauptstrassen
4.29	Ortsbeginn auf Nebenstrassen	Signal bedingt Ende-Signal	4.3	Ortsende auf Nebenstrassen
6.07	Abweispfeile	hohe Wahrscheinlichkeit für	4.77	Anzeige der Fahrstreifen (Beispiele)
6.3	Leitpfosten rechts	hohe Wahrscheinlichkeit für	6.31	Leitpfosten links

**Tabelle 7 - Beispiele für Plausibilisierungsbeziehungen zwischen Signalen. Die Signalnummern beziehen sich auf die Nummerierung gemäss Schweizerischer Signalisationsverordnung.**

Dabei treten die folgenden Beziehungstypen auf:

1. Signal bedingt gleiches im Umfeld
2. Signal bedingt Ende-Signal (an anderem Ort)
3. Signal bedingt anderes Signal
4. hohe Wahrscheinlichkeit für
5. unmögliche Kombination



## 6. impliziert

Für eine vollständige Übersicht der Beziehungen zwischen Signalen bietet sich eine Matrix an.

Signal 1	Signal 2	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	...	6.30	6.31
1.01 Rechtskurve		0	5	0	5	0	0	...	0	0
1.02 Linkskurve		5	0	5	0	0	0	...	0	0
1.03 Doppelkurve nach rechts beginnend		0	5	0	5	0	0	...	0	0
1.04 Doppelkurve nach links beginnend		5	0	5	0	0	0	...	0	0
1.05 Schleudergefahr		0	0	0	0	0	0	...	0	0
1.06 Unebene Fahrbahn		0	0	0	0	0	0	...	0	0
... ..		...	...	...	...	...	...	...	...	...
6.30 Leitpfosten rechts		0	0	0	0	0	0	...	4	4
6.31 Leitpfosten links		0	0	0	0	0	0	...	4	4

**Tabelle 8 - Matrix mit Plausibilisierungsbeziehungen zwischen Signalen. Die Signalnummern beziehen sich auf die Nummerierung gemäss Schweizerischer Signalisationsverordnung.**

## 4.2.2 Kompatibilität mit VSS-Normen

Mit Hilfe der folgenden VSS-Normen kann die Signalisierung überprüft werden:

- Strassensignale (SN 640 814b bis 640 830c)
- Signale, Anordnung (SN 640 845 bis 640 847)
- Temporäre Signalisation, Leiteinrichtungen (SN 640 885c bis 640 886 Anhang)
- Markierungen (SN 640 850a bis 640 868)

Aus dieser Überprüfung ergeben sich Anhaltspunkte zur Verbesserung der Signalisation vor Ort insbesondere bezüglich Signalstandorten, Signalgestaltung, Aufstellungsart und Ausgestaltung der Markierungen.

## 4.2.3 Richtigkeit

Richtigkeit bedeutet Angaben über die Fehlerhäufigkeit in den Daten zu einem Zeitpunkt machen zu können. Um die Richtigkeit zu überprüfen, muss in Stichproben eine unabhängige Erfassung vorgenommen und deren Resultat mit den in der Datenbank vorhandenen Daten verglichen werden. Erst wenn die so ermittelte Fehlerhäufigkeit unter einem vorgegebenen Wert liegt, können die Daten in der Datenbank freigegeben werden.

Fehler zu korrigieren, wird über die Freigabe hinaus eine laufende Aufgabe sein.

## 4.2.4 Räumliche Referenzierung

Für die räumliche Referenzierung ist es nahe liegend, sich auf die in der Schweiz im Bereich Strassen bestehenden Normen abzustützen. Für Objekte, welche sich auf einen Punkt referenzieren lassen, ist die Achse dieses Punktes zu bestimmen und die Koordinaten auf dieser Achse (u- und falls notwendig v-Koordinate) sind zu ermitteln. Je nach Art der Datenerfassung liegt die räumliche Referenzierung der Originaldaten in planaren Koordinaten (in der Regel vermutlich WGS84) vor und die

Umrechnung benötigt ein „Map-Matching“. Wichtig ist, dass insbesondere für die Verkehrssignale auch die Ausrichtung ermittelt wird, bezogen auf die Richtung der Achse, woraus folgt, für welche Fahrtrichtung das Signal relevant ist.

Noch zu erarbeiten sind klare Regeln, welcher Achse auf einen Punkt referenzierte Objekte vor allem im Bereich von Kreuzungen zuzuordnen sind (vgl. Kapitel 4.1.4.1). Es geht darum zu vermeiden, dass zum Beispiel der gleiche Wegweiser, der auf einer Kreuzung steht, in der Datenbank unter mehreren Achsen geführt wird oder gar nicht aufgenommen wird, weil unklar ist, wo er zuzuordnen ist.

Für Objekte, die im Raum eine Ausdehnung haben, dürften Fachnetze das Mittel der Wahl zur räumlichen Referenzierung sein. Die Gültigkeitsbereiche von Signalisationen und die Markierungen sind Beispiele solcher Objekte. Zusatzinformationen der Referenzierung wie die Ausdehnung quer zur Richtung der Achse oder die betroffene Fahrtrichtung sind als Attribute des Fachnetzes zu führen.

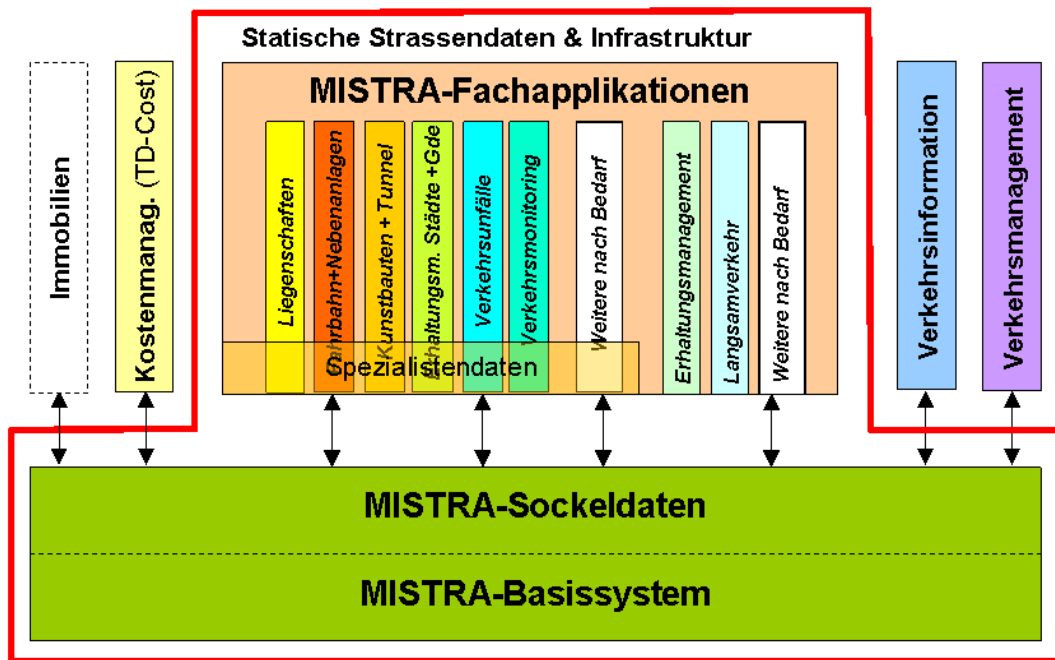
Ein Problem der räumlichen Referenzierung besteht darin, dass diese für das gesamte Strassennetz der Schweiz möglich sein muss, während normkonforme Achsen heute erst für einen Teil dieses Netzes vorhanden sind. Im Rahmen des Projektes MISTRA hat das Bundesamt für Strassen Daten zum gesamten Strassennetz der Schweiz erworben (vgl. Kapitel 2.2.1), welche es erlauben, auf allen Strassen Achsen zu definieren. Eine Lösung ist, diese MISTRA-Achsen zu verwenden, so bald sie zur Verfügung stehen. Denkbar wäre auch, bei einer Erfassung der Verkehrssignale mittels Mobile Mapping die Strassengeometrien mit zu erfassen und diese Geometrien dann zur Definition von Achsen zu verwenden.

### 4.3 Datenhaltung und Verbreitung

Grundsätzlich kommt für die Datenhaltung gebräuchliche Datenbanktechnik zur Anwendung und es braucht keine speziellen Techniken, welche hier weiter zu bestimmen wären. Eine Wahl besteht zwischen einer zentralisierten Datenbank für das ganze Gebiet der Schweiz und dezentralisierten Datenbanken. Wesentlicher als die technischen Aspekte ist die Frage einer zentralen oder verteilten Datenhoheit.

Es ist nicht notwendig, eine allein stehende neue Datenbank für die Signalisationsdaten aufzubauen. Das Bundesamt für Strassen ist gegenwärtig daran, unter der Projektbezeichnung Management Informationssystem Strasse und Strassenverkehr (MISTRA) eine Datenbank aufzubauen, welche in so genannten Fachapplikationen unterschiedlichste auf Strassen bezogene Daten verwalten kann. Die Signalisation kann problemlos eine solche Fachapplikation darstellen, wodurch sich die allen Applikationen zur Verfügung gestellten Sockeldaten (insbesondere für die räumliche Referenzierung) und die Funktionalitäten des MISTRA-Basissystems nutzen lassen. Umgekehrt können gewisse Signalisationsdaten als so genannte Generalistendaten aufbereitet und so anderen Fachapplikationen zur Verfügung gestellt werden. Besonders interessant ist dies für die Fachapplikation Verkehrsunfälle um zum Beispiel Unfallauswertungen nach Gesichtspunkten der Signalisation zu erlauben. Sicher einzubeziehen als Generalistendaten sind die örtlichen und zeitlichen Gültigkeitsbereiche der

Signalisationen. Ob auch die einzelnen Verkehrssignale und Markierungen in die Generalistendaten aufzunehmen sind, muss durch eine genauere Untersuchung des Aufwandes und der Nutzen abgeklärt werden.



**Abbildung 6: Struktur von MISTRA. Für die Verkehrssignale ist eine zusätzliche Fachapplikation mit Spezialistendaten vorzusehen, welche nach Bedarf auf die MISTRA-Sockeldaten zugreift.**

Wichtig ist bei der Datenhaltung eine Abstimmung mit dem benachbarten Ausland. Dies erlaubt, die Verkehrssicherheit auch im grenzüberschreitenden Verkehr zu verbessern. Um dies zu erreichen, müssen nicht nur die gleichen Anwendungen mit den Daten aus den Verkehrssignal-Datenbanken verschiedener Länder bedient werden können (was zumindest ein kompatibles konzeptionelles Datenmodell erfordert), sondern es braucht auch Absprachen zur Semantik der Daten und zur minimal zu erreichenden Datenqualität.

#### 4.4 Nachführung und Aktualisierung

Um positive Effekte durch die die Verwendung von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken erzielen zu können, wird vorausgesetzt, dass die Daten jederzeit aktuell sind. Einerseits bezieht sich dies auf wegfallende, neu dazukommende und veränderte Verkehrssignale. Andererseits ist damit auch die Überprüfung der bereits früher erfassten Daten gemeint. Die Aktualisierung der Daten ist ein wesentliches Thema, da die Erfahrungen aus Deutschland zeigen, dass sich 15 bis 20 Prozent aller erfassten Daten jährlich verändern.

### 4.4.1 Monitoring

Das Monitoring bezweckt festzustellen, wo eine relevante Änderung in der Signalisation stattfindet. Es ist ein kontinuierlicher Prozess und muss für das gesamte Gebiet, welches die Verkehrssignal-Datenbank abdeckt, umgesetzt werden. Es dient als Auslöser für die nachgelagerten Nachführungsprozesse.

Das Monitoring sollte lückenlos sein, also jede Änderung erkennen. Nur so kann sichergestellt werden, dass in den auf der Verkehrssignal-Datenbank basierenden Anwendungen keine Fehler auftreten. Zudem sollte das Monitoring zeitgerecht sein, d.h. die Änderungen so früh erkennen, dass die Möglichkeit besteht, noch vor dem Beginn der Gültigkeit die Daten zu erfassen, in die Datenbank aufzunehmen und den betroffenen Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

Für die Umsetzung des Monitoring gibt es verschiedene Optionen:

- Regelmässiges Abfahren des Streckennetzes mit speziell ausgerüsteten Fahrzeugen. Die Nachführung teilt sich in einzelne Nachführungskampagnen auf. Die Fahrzeuge benötigen eine Bildaufzeichnung, damit die neu erfassten Bilder mit den Bildern vorangehender Kampagnen verglichen werden können, um Unterschiede zu erfassen. Das Monitoringverfahren hat zwei untereinander gekoppelte Probleme: erstens muss ein sehr umfangreiches Netz abgefahren und die entsprechenden Daten müssen ausgewertet werden, um nur wenige Veränderungen zu erfassen. Ein Grossteil des Aufwandes fällt also nur dafür an festzustellen, dass sich nichts verändert hat. Zweitens sind die Daten nie aktuell, da Änderungen immer erst bei der nächsten Kampagne erfasst werden. Je aktueller die Daten sein sollen, desto häufigere Kampagnen sind notwendig und desto weniger Änderungen fallen bei jeder Kampagne an. Denkbar ist, dass die Kampagnen mit Erhebungen anderer Daten kombiniert werden, etwa mit den heute schon von den kommerziellen Anbietern von Strassendatenbanken durchgeführten periodischen Erhebungen.
- Mitteilung durch die zuständige Behörde. Allein die für die Signalisation zuständige Behörde kennt die Änderungen im Voraus. Mit der breit gefächerten Zuständigkeit in der Schweiz müssen Meldungen von sehr vielen Stellen gesammelt werden und es stellt sich die Frage, wie die Zuverlässigkeit des Monitoring in der Fläche sichergestellt werden kann.
- Meldung durch Verkehrsteilnehmer. So bald Verkehrsteilnehmern Anwendungen auf der Basis der Signalisationsdatenbank einsetzen, werden ihnen Diskrepanzen zwischen dem, was ihre Anwendung verwendet, und der tatsächlichen Signalisation auffallen. Es kann die Möglichkeit geschaffen werden, dass solche Diskrepanzen der für das Monitoring zuständigen Stelle gemeldet werden. Allerdings ergibt dies immer nur ein Feststellen der Änderung im Nachhinein. Die Anwendungen sind a priori fehlerhaft und nur die gemeldeten Fehler werden jeweils korrigiert.
- Meldung durch Lieferanten der Verkehrssignale. Der Vorteil dieser Option besteht darin, dass es wesentlich weniger Lieferanten von Verkehrssignalen gibt als Strassenbehörden, und dass sie mit dem Eingang von Bestellungen

frühzeitig erkennen können, im Bereich welcher Behörde neue Signale aufgestellt werden sollen. Das ist sicher nicht ein lückenloses Monitoring, kann aber als mit wenig Aufwand möglicher Unterstützungsbeitrag zu einem solchen dienen. Ein Nachteil dieser Option ist, dass Änderungen, welche nur im Wegfall von Signalen bestehen, nicht festgestellt werden. Auch ist ein Monitoring im Bereich der Markierungen auf diese Art nicht möglich.

#### 4.4.2 Nacherfassung

Für jede durch das Monitoring festgestellte Änderung müssen die Daten erfasst werden: welche Signale oder Markierungen werden aufgehoben, welche werden neu eingerichtet. Für die neuen Signale und Markierungen sind die gleichen Datentypen zu erfassen wie bei der Ersterfassung.

Für die Nacherfassung gibt es mehrere Optionen:

- Vermessung und manuelle Erfassung vor Ort. Der Standort der Signale kann mit gebräuchlichen Vermessungsmethoden (heute in der Regel auf der Basis von GPS) festgestellt werden. Die übrigen Daten zu Eigenschaften der Signale lassen sich durch Personal entweder direkt vor Ort oder auf der Basis der Meldungen aus dem Monitoring oder vor Ort erzeugten Bildern aufnehmen.
- Mobile Mapping (siehe Kapitel 4.1.3). Mit dieser Methode erfolgt die Erfassung schneller als mittels Vermessung, die erforderliche Ausrüstung ist aber kostspieliger. Möglich ist, die Ausrüstung für andere Zwecke einzusetzen und nur bei Bedarf damit Nacherfassungen von Signalisationen durchzuführen.
- Vergleich von Videoaufnahmen. Zur neuen Signalisation wird nur von einem Fahrzeug aus eine Videoaufnahme erstellt und diese dann mit Aufnahmen von einem Mobile Mapping z.B. aus der Ersterfassung abgeglichen, um die Standorte der Signale zu ermitteln. Diese Methode ist nicht für neue Strassenabschnitte einsetzbar, für welche noch keine Daten aus Mobile Mapping existieren. Sie kann in diesem Sinn als kostengünstige Ergänzung zu den anderen Methoden gesehen werden. Für den Abgleich der Videoaufnahmen sind passende Verfahren noch zu entwickeln.

Im Allgemeinen lohnt es sich, die Nacherfassung vom Monitoring zu trennen und nur an den durch das Monitoring erfassten Stellen eine Nacherfassung durchzuführen, da die relativ aufwändigen Einrichtungen zur Nacherfassung so gezielter einsetzbar sind. Allenfalls kommt in Betracht, bei einem Monitoring durch Abfahren des Streckennetzes gleich die Einrichtungen zur Erfassung mitzuführen, wodurch man sich die zusätzlichen Wege zu den zu erfassenden Signalen erspart.

Die Nacherfassung sollte mindestens den Qualitätsstandard der Ersterfassung erreichen. Falls die Zuständigkeiten für unterschiedliche Teile des Strassennetzes bei verschiedenen Stellen ist, dürfte dies kaum möglich sein. Allenfalls in Betracht zu ziehen wäre eine dezentrale Nacherfassung auf der Basis einheitlicher technischer Einrichtungen, welche die Prozesse klar vorgeben. Wenn eine

Beschränkung auf einen Hersteller für diese Einrichtungen nicht in Frage kommt, wäre die Einheitlichkeit am ehesten über eine Norm zu erreichen.

### 4.4.3 Aktualisierung

Die nacherfassten Daten müssen in die Signalisations-Datenbank aufgenommen werden und von da den verschiedenen Anwendungen zur Verfügung stehen. Selbstverständlich sind die Daten vor der Aufnahme zu kontrollieren und zu plausibilisieren (siehe Kapitel 4.2).

Es gibt zwei Optionen zur Aktualisierung:

- Die Änderungen bewirken einen Update der Datenbank. Die Anwendungen müssen sich immer die neuste Version herunterladen. Das Verfahren ist sehr einfach und fehlerresistent, bedingt aber häufigen Transfer grosser Mengen an Daten.
- Die Änderungen werden separat gehalten. Die Anwendungen verwenden immer die gleiche Version der Datenbank und führen darin die Änderungen nach. Dieses Verfahren ist effizient bezüglich Datentransfer, aber anspruchsvoll bezüglich korrekter Implementierung.

Es können auch beide Optionen angeboten und der Entscheid den Anbietern der verschiedenen Anwendungen überlassen werden. Das bedeutet, dass die Datenbank laufend nachgeführt, aber gleichzeitig eine Liste geführt wird mit allen Änderungen und jeweils der Version der Datenbank, ab welcher sie gültig sind. Ein Datenbezüger erhält dann erstmalig die aktuelle Version der Datenbank und ab da laufend die Änderungen. Wenn über eine gewisse Zeit die Updates unterbrochen sind, dann gibt er die letzten erhaltenen Änderungen bekannt und erhält ab da die Änderungsliste bis zum aktuellen Stand.

Zu berücksichtigen ist zusätzlich, dass die Fahrzeuge nur die Signalisationsinformationen in ihrer Umgebung benötigen, was weitere Optimierungsmöglichkeiten für die Aktualisierung eröffnet.

### 4.4.4 Möglichkeiten der Durchsetzung

Alle bisherigen Ausführungen deuten darauf hin, dass eine konsequente Nachführung nur möglich ist, wenn die für die jeweilige Strasse zuständige Behörde einbezogen wird. Es stellt sich deshalb die Frage, wie die Behörden dazu gebracht werden können, die Nachführung konsequent zu unterstützen. Hier gibt es verschiedene Optionen:

- Die Zuständigkeit für Verkehrssignale kann zentralisiert werden. Die zuständige Stelle übernimmt dann die Aufgabe der Datenbank-Nachführung. Eine etwas abgeschwächte Variante zu dieser Option besteht darin, dass für Änderungen an der Signalisation eine Bewilligungspflicht eingeführt wird und dass die für die Bewilligung zuständige Stelle die Nachführung übernimmt.

- Die Behörden können durch entsprechende Vorschriften zur Nachführung verpflichtet werden. Um eine einheitliche Praxis der Nachführung zu erreichen, sollten überall die gleichen Vorschriften gelten und sollten diese so umfassend sein, dass die Umsetzung keinen wesentlichen Spielraum mehr offen lässt. Unerheblich ist, ob die Vorschriften durch eine übergeordnete Stelle erlassen oder unter den Betroffenen vereinbart werden. Eine Variante ist auch, dass die Abgeltung gewisser Leistungen, etwa des Unterhalts der Verkehrssignale und Markierungen, an die Verpflichtung gebunden wird, die Nachführung zu unterstützen.
- Durch Anreize kann eine freiwillige Beteiligung gefördert werden. Die Behörden müssen durch die Beteiligung einen Vorteil haben. Zum Beispiel können ihnen Werkzeuge zur Verfügung stellen, welche ihnen bestehende Aufgaben erleichtern und als Nebenprodukt die Verkehrssignal-Datenbank speisen. Solche Aufgaben können sein: das Führen eines Inventars der Verkehrssignale, die Planung neuer Signalisationen oder die Wartung der Signale.

#### 4.4.5 Überwachung

Auch wenn ein funktionierendes Verfahren der Nachführung und Aktualisierung implementiert ist, können Fehler in Form von Diskrepanzen zwischen dem Informationsstand der Datenbank und der tatsächlichen Signalisation auftreten. Eine Überwachung kann dazu beitragen, dass solche Fehler möglichst rasch erkannt und behoben werden. Als Methoden stehen grundsätzlich alle im Kapitel 4.4.1 dargestellten Optionen des Monitoring und Kombinationen derselben zur Verfügung, wobei das Grundverfahren des Monitoring und die Überwachung voneinander unabhängig sein sollten. Wird zum Beispiel das Monitoring durch Behördenmeldungen umgesetzt, dann können Meldungen von Verkehrsteilnehmern oder von Lieferanten der Verkehrssignale zur Überwachung eingesetzt werden. Es können aber auch Bilder vom regelmässigen Befahren des Streckennetzes für andere Zwecke als die Erfassung der Signalisation beigezogen werden, um Fehler in der Verkehrssignal-Datenbank zu erkennen.

Die Überwachung kann nicht nur Fehler in der Nachführung, sondern auch solche der Ersterfassung der Verkehrssignale und Markierungen feststellen.

### 4.5 Rechtliche Probleme

Ein neues Problem, das mit dem Aufbau einer Signalisations-Datenbank auftaucht, ist die Rechtsverbindlichkeit der darin enthaltenen Daten. So lange die Information nur auf den Verkehrstafeln und in den Markierungen enthalten ist, kann diese Information als rechtsverbindlich betrachtet werden und sie lässt sich jederzeit vor Ort nachvollziehen. Problematisch sind dann einzig Inkonsistenzen innerhalb der Signalisation, welche zum Beispiel bei Verkehrsunfällen zu Haftungsansprüchen gegenüber den Behörden führen können. Wenn nun aber die Information einerseits auf den Verkehrstafeln, andererseits elektronisch vorhanden ist, stellt sich die Frage, wie mit Inkonsistenzen zwischen diesen beiden Quellen umgegangen wird.



Es erscheint unumgänglich, dass eine der beiden Quellen als rechtsverbindlich erklärt wird und nahe liegend ist, dass dies vorerst die Verkehrstafeln und Markierungen vor Ort sind. Folgerichtig sollte bei der Erfassung für die Datenbank auch von der Situation vor Ort ausgegangen werden. Wenn eine Signalisation auf einer behördlichen Anordnung beruht und diese Anordnung mit den aufgestellten Verkehrstafeln und mit den Markierungen falsch oder ungenügend umgesetzt wird, dann ist es trotzdem nicht gerechtfertigt, in der Datenbank die Information der Anordnung entsprechend aufzunehmen, sondern es ist zuerst die Signalisation vor Ort zu korrigieren.

Damit bleibt die Frage, wie weit die Stelle, welche die Datenhoheit besitzt, für Fehler in den Signalisationsdaten haftbar gemacht werden kann, bzw. wie weit ein Haftungsausschluss möglich ist. Dies zu klären, kann nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit sein. Da aber bei den auf den Daten basierenden Anwendungen vorausgesetzt werden darf, dass sie insgesamt (auch unter Berücksichtigung möglicher Fehler) einen Gewinn bezüglich Verkehrssicherheit bewirken, sollte eine Regelung der Haftungsfrage so, dass sie für die Einführung der Anwendungen kein Hindernis bedeutet, im Interesse aller Beteiligten sein.

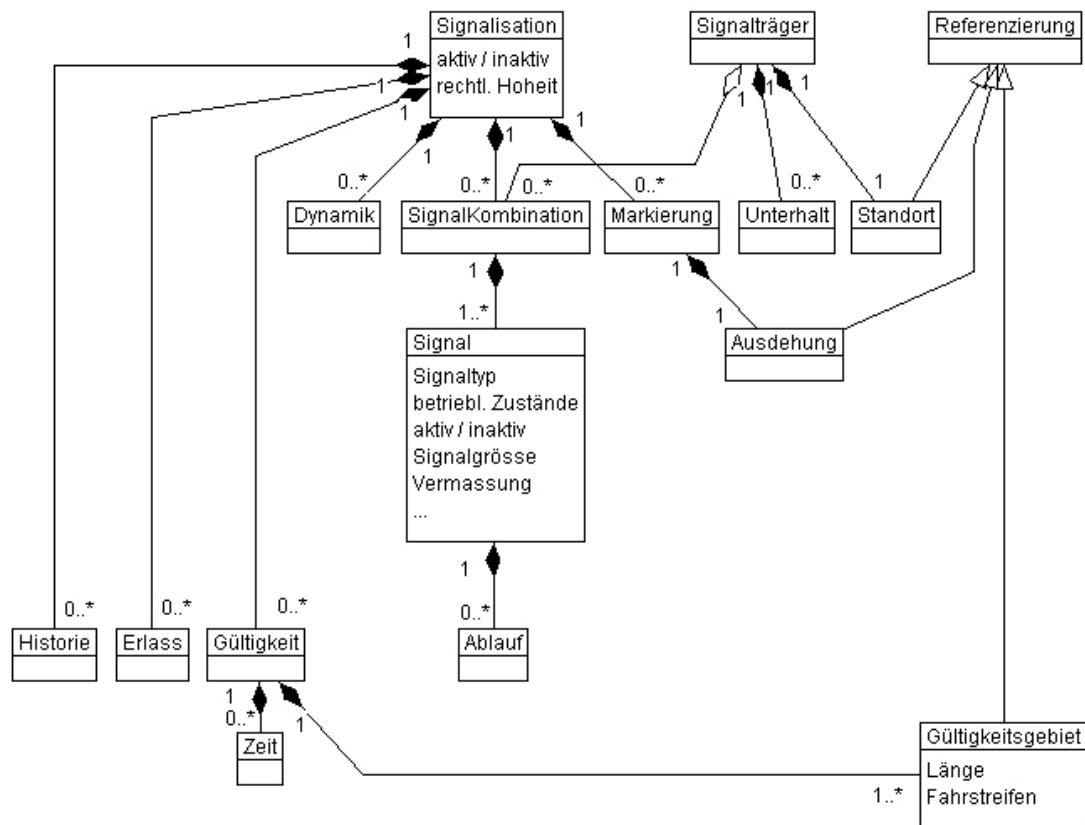
## 5 Datenstrukturen

### 5.1 Klassendiagramm

#### 5.1.1 Übersicht

Das folgende Klassendiagramm (Abbildung 7) zeigt die logischen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Elementen der Signalisation, wie sie in der Strassendatenbank vorhanden sein sollen.

Das Klassendiagramm entspricht dem gegenwärtigen Stand der Untersuchung und muss für eine konkrete Implementierung noch weiter ergänzt und verfeinert werden. Insbesondere sind die den einzelnen Klassen zugewiesenen Attribute noch unvollständig.

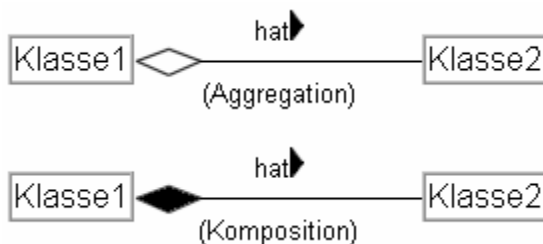


**Abbildung 7: Klassendiagramm der Signalisation.** Die Klassen sind als Rechtecke dargestellt, wobei im oberen Feld der Klassenname steht und im unteren Feld Attribute der Klasse aufgeführt sein können. Die Linien stellen Assoziationen dar. Weiterführende Erläuterungen zu diesem Diagramm sind in Kapitel 5.1.2 zu finden.

## 5.1.2 Erläuterungen

Die Informationen zu den Verkehrssignalen werden in der Datenbank in Form von Objekten gehalten. Jedes Objekt ist einer Klasse zugewiesen – einem abstrakten Gebilde, welches die Struktur der Objekte vorgibt. So wird erreicht, dass gleichartige Informationen immer gleich strukturiert werden. Zum Beispiel enthält die Information zu einer Markierung, in der Datenbank gehalten als ein Objekt der Klasse „Markierung“, immer eine Information zur Ausdehnung, welche nach der gleichen Methode referenziert wird. Einzelne einem Objekt zugewiesene Werte können in Form von Attributen gehalten werden. Die möglichen Attribute sind durch die Klasse vorgegeben. Es können als Mittel der Strukturierung aber auch Klassen durch so genannte Assoziationen verknüpft werden. Dadurch sind jedem Objekt der Klasse bestimmte Objekte anderer Klassen zugewiesen. Zum Beispiel kann es zu jeder Signalisation, repräsentiert durch ein Objekt der Klasse „Signalisation“, einen oder mehrere Erlasse geben, die, falls vorhanden, je durch ein Objekt der Klasse „Erlass“ repräsentiert sind.

Das vorliegende Klassendiagramm, welches die vorgeschlagenen Klassen und ihre Assoziationen für den Bereich der Verkehrssignale enthält, wurde mit Hilfe der Unified Modelling Language (UML) dargestellt [15], [16]. Die durch diese Modellierungssprache vorgegebenen Möglichkeiten für Assoziationen und ihre Merkmale sind nachfolgend kurz beschrieben:



**Abbildung 8 - UML: Aggregation und Komposition**

Aggregationen und Kompositionen sind spezielle Assoziationen, die "Teile/Ganzes"-Beziehungen und "Hat-eine"-Beziehungen darstellen. Bei der Aggregation können die "Teile" des "Ganzes" auch einzeln existieren, bei der Komposition nur, wenn auch das "Ganze" existiert (z.B. Signale auf einem Signalträger). Die Verbindungslinie erhält auf der Seite des "Ganzes" eine Raute, die bei der Aggregation ungefüllt und bei der Komposition gefüllt ist.



**Abbildung 9 - UML: Vererbung**

Der Pfeil ist bei der Vererbung (Inheritance) geschlossen und durchgezogen und zeigt von der abgeleiteten Unterklasse (= Subklasse) zur Oberklasse (= Basisklasse = Superklasse). Die Oberklasse ist eine Generalisierung der Unterklasse und umgekehrt ist die Unterklasse eine Spezialisierung der Oberklasse ("Oberbegriff"-Beziehung = "Ist-ein"-Beziehung).

Die an den beiden Enden der Assoziations-Linien eingetragenen Zahlen stellen die Multiplizität dar. Steht beispielsweise an einem Ende die Zahl 1, dann bedeutet dies, dass genau ein Objekt der diesem Ende angefügten Klasse einem Objekt der am gegenüberliegenden Ende angefügten Klasse zugewiesen werden muss. Die Bezeichnung 0..\* bedeutet, dass beliebig viele Objekte (möglicherweise auch keines) zugewiesen werden können.

### **5.1.3 Definitionen der Klassen**

#### **Signal**

Das Signal ist die auf einer einzelnen Tafel enthaltene Information, welche den Teilnehmern des Strassenverkehrs ortsspezifische Vorgaben macht oder Hinweise gibt zum Verhalten im Verkehr. Jedes Signal entspricht einem in der Schweizerischen Signalisationsverordnung (SSV) aufgeführten Signaltyp.

#### **Ablauf**

Im Fall von Wechselsignalen oder ein- und ausschaltbaren Signalen und fest vorgegebenen Zeiten der Zustände bzw. der Abfolgen gibt der Ablauf an, wann welcher Zustand vorhanden ist bzw. welcher Zustand auf welchen folgt. Der Ablauf muss konsistent sein zur Dynamik auf der Ebene der Signalisation.

#### **Signalkombination**

Eine Signalkombination verknüpft Signale auf einem Signalträger, die inhaltlich aufeinander bezogen sind und sich auf das gleiche Element der Strasse, zum Beispiel auf den gleichen Fahrstreifen beziehen. Sie besteht aus einem Hauptsignal und Zusatzsignalen.

Beispiele: Überholverbot und Streckenlänge, Schranken und Distanztafel

Mehrere Signale auf einem Signalträger bilden nicht zwingend eine Kombination.

Beispiel: Rechtskurve und Geschwindigkeitsbegrenzung

#### **Signalträger**

Einrichtung, auf welcher Signale angeordnet sind.

Beispiele: Ständer, Signalbrücke, Wandhalterung.

#### **Standort**

Der Standort ist der Ort, an dem ein Signalträger aufgestellt ist.

#### **Unterhalt**

Der Unterhalt enthält die notwendigen Angaben der für den Unterhalt zuständigen Stelle zu den einzelnen Signalträgern (z.B. zur Verwaltung der Reinigungen und Reparaturen).

## **Signalisation**

Die Signalisation ist die Zusammenfassung aller Verkehrssignale und Markierungen, welche dazu dienen, eine bestimmte Vorgabe bzw. einen Hinweis im Strassenverkehr den Verkehrsteilnehmern anzuzeigen. Signalisationen können nur insgesamt in Kraft und ausser Kraft gesetzt werden.

Beispiele: Wildwechsel mit Signalen an zwei Standorten für Hin- und Rückrichtung und je einer Distanztafel; Geschwindigkeitsbegrenzung, deren Wiederholung und deren Aufhebung; Vortrittsregelung an einer Kreuzung, welche auf allen auf Letztere zulaufenden Strassen signalisiert wird.

## **Gültigkeit**

Beschränkung des Einflusses einer Signalisation in örtlicher oder zeitlicher Sicht.

## **Gültigkeitsgebiet**

Gültigkeit einer Signalisation in Bezug auf den Ort. Es können drei Arten von Gültigkeitsgebieten unterschieden werden: Punkt, Linie und Fläche. Die Gültigkeit für Punkte und Linien kann auf eine Fahrtrichtung beschränkt sein.

## **Dynamik**

Für Signalisationen, deren Signale mehrere Zustände haben können oder ein- und ausschaltbar sind, beschreibt die Dynamik die vorgegebenen Möglichkeiten und Abstimmungen auf der übergeordneten Ebene der Signalisation. Beispiele: Angaben zu den möglichen Vorgaben und Kriterien einer Verkehrsbeeinflussungsanlage mit variabler Geschwindigkeitsbeschränkung, Angaben zu den Phasen einer Lichtsignalanlage.

## **Historie**

Die Historie enthält die Informationen zur Signalisation, wie sie zu früheren Zeiten in Kraft war, jeweils mit der Angabe, wann sie in Kraft und ausser Kraft gesetzt wurde.

## **Erlass**

Der Erlass ist der rechtsverbindliche Beschluss der zuständigen Stelle (Behörde oder Regierungsstelle) zur Installation einer Signalisation. Zur gleichen Signalisation kann es mehrere Erlasse geben.

## **Markierung**

Die Markierung ist eine farbliche Kennzeichnung auf der Verkehrsfläche (Strasse, Parkplatz etc.) zur Verkehrsführung.

## **Ausdehnung**

Die Ausdehnung gibt an, wo auf der Verkehrsfläche sich die Markierung befindet.

## **Referenzierung**

Die Referenzierung gibt die örtliche Beschränkung in der Anwendung oder Gültigkeit von Informationen an. Sie basiert in der Regel auf einem räumlichen Bezugssystem.

## 5.2 Verwendete Formate

Die Datenformate für die in die Strassendatenbank aufzunehmenden Informationen zu den Verkehrssignalen können zu einem späteren Zeitpunkt auf der Basis einer vertieften Untersuchung der Anforderungen festgelegt werden. Es ist auf die Kompatibilität mit den Datenformaten bestehender Anwendungen zu achten (vgl. auch Kapitel 5.3).

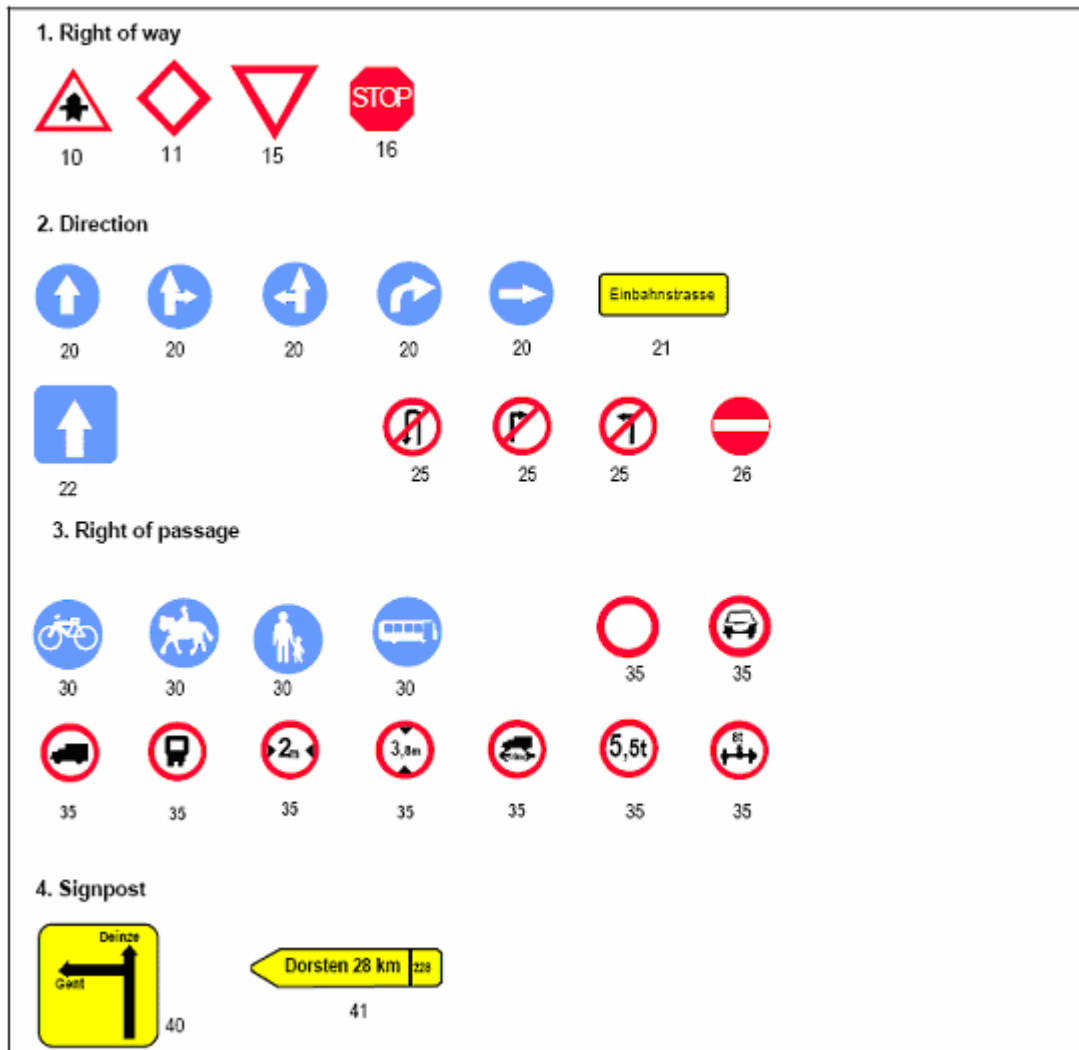
Für die räumliche Referenzierung sind die vorhandenen Normen zu berücksichtigen.

## 5.3 Übersicht XGDF im Bereich Verkehrssignale

Das Geographic Data Format (GDF) ist in einer internationalen Norm definiert [6] und wird beispielsweise verwendet für die kommerziell angebotenen Strassendatenbanken für die Fahrzeugnavigation. Gegenwärtig (Stand Herbst 2007) laufen unter dem Kürzel XGDF (Extended GDF) die Arbeiten an einer Erweiterung der GDF-Norm [5].

Schon die Version 4.0 von GDF, der aktuell gültige Vorgänger des sich in Entwicklung befindlichen XGDF, enthält in der Kategorie „Road Furniture“ das Objekt „Traffic Sign“. Es weist eine feste Position bezüglich eines „Road Elements“ und eine Richtung auf, in welcher es aufgestellt ist (plus oder minus bezüglich der vorgegebenen Richtung des Road Elements).

Es gibt in GDF keine vollständige Liste der Verkehrssignale, sondern eine Aufteilung in Klassen, eine Wiedergabe der auf den Verkehrssignalen abgebildeten Symbole (wobei längst nicht alle Symbole angegeben werden können) und Zusatzattribute für bestimmte Klassen und Symbole wie zum Beispiel numerische Werte bei Geschwindigkeitssignalen oder Gewichtsbeschränkungen. Alles, was so nicht abbildbar ist, muss gemäss Vorgabe von GDF in der Datenbank als freier Zusatztext angegeben werden.



**Abbildung 10: Klassen von Verkehrssignalen und Beispiele von Zuordnungen gemäss GDF 4.0. Die Bilder der Verkehrssignale stammen aus Deutschland und sind in der GDF-Spezifikation nur als Beispiele gedacht. Man könnte problemlos auch die Schweizer Verkehrssignale zuordnen.**

Zusätzlich zu den Verkehrssignalen enthält GDF 4.0 auch Merkmale, welche der Gültigkeit von Signalisationen entsprechen. So können für Road Elements z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrbeschränkungen oder spezielle Eigenschaften wie die Steigung angegeben werden – alles Informationen, die durch Verkehrssignale darstellbar sind. Ebenso können bei Kreuzungen Fahrrichtungsvorgaben und Vortrittsregelungen mit dem Feature „Manoeuvre“ angegeben werden. Das Problem ist, dass im Datenmodell kein Bezug besteht zwischen den Verkehrssignalen und den erfassbaren Eigenschaften bzw. Restriktionen, welche durch die Signale dargestellt werden.

Die einzigen Markierungen, welche in GDF 4.0 dargestellt werden können, sind (einfache und doppelte) Sicherheitslinien. Das dafür vorgesehene Objekt nennt sich „Divider“. Indirekt können auch Linien zwischen Fahrstreifen angezeigt werden, indem die Anzahl Fahrstreifen oder das Vorhandensein von Fahrstreifen für besondere Zwecke (Velostreifen, für Notfallfahrzeuge reservierte Streifen etc.) angegeben wird.

Die gegenwärtig laufende Entwicklung von XGDF sieht nur punktuelle Erweiterungen und keine grundsätzlichen Änderungen am Datenmodell im Bereich Verkehrssignale vor. So sollen die Grundattribute der Verkehrssignale und die Klassen unverändert bleiben. Bemerkenswert sind erste Vorschläge, Verkehrssignale mit den durch sie dargestellten Eigenschaften bzw. Restriktionen zu verbinden. Aus dem Projekt NextMAP kommt der Vorschlag, das Objekt „Manoeuvre“, welches Fahrtrichtungsvorgaben und Vortrittsregelungen abbildet, mit entsprechenden Verkehrssignalen zu verbinden oder bei Lichtsignalen anzugeben, für welche Einfallsachse auf welche Kreuzung sie gelten. Auch bei Fussgängerquerungen soll die Signalisation erfasst werden können.

Für die Verwendung des Datenmodells von XGDF im Bereich Verkehrssignale sind zusätzliche Neuerungen von Bedeutung, welche nicht speziell Verkehrssignale betreffen. So wurde in der Darstellung des Modells von den wenig bekannten NIAM-Diagrammen zum heute gebräuchlichen UML gewechselt, was nicht nur die Verständlichkeit erhöht, sondern auch die Möglichkeit bietet, Datenstrukturen und Transferformate (z.B. mit INTERLIS) automatisch zu erzeugen. Auch soll eine Harmonisierung in der Darstellung von geographischen Objekten mit den Normen von ISO TC211 erfolgen, was wiederum den Datenaustausch, z.B. mit GIS vereinfacht.



## 6 Einführungsstrategien

### 6.1 Motivation

Heute werden immer mehr Informationen in Form von elektronischen Daten erfasst, gespeichert und verbreitet. Das spart nicht nur Platz – was früher in riesigen Karteien und Bibliotheken aufbewahrt wurde, hat heute auf handlichen Datenträgern Platz – sondern macht die Informationen vor allem auch zugänglich für eine automatisierte Bearbeitung. Auch im Verkehrsbereich haben elektronische Daten auf breiter Front Einzug gehalten und wesentliche Effizienzgewinne ermöglicht. Erwähnt sei hier die Erfolgsgeschichte der Fahrzeugnavigation, welche die auf Papier gedruckten Strassenkarten schon weitgehend abgelöst hat und die Orientierungshilfen zum Erreichen eines Fahrziels nicht nur viel handlicher macht, sondern sich selbständig die für die gegebene Situation passende Information herausucht und optimiert aufbereitet optisch und akustisch dem Fahrer zur Verfügung stellt. Die Fahrzeugnavigation war auch die Leitanwendung, welche dazu geführt hat, dass die Strassen in ihren Verläufen und ihrer Verbindung zu Strassennetzen flächendeckend elektronisch erfasst wurden, wovon zahlreiche Folgeanwendungen profitieren.

Was sich im Verkehrsbereich bisher der Digitalisierung weitgehend entzogen hat, sind die Verkehrssignale. Wohl gibt es punktuell Bestrebungen zur elektronischen Erfassung, aber die Perspektive einer flächendeckenden und umfassenden Umsetzung der Verkehrssignale und Markierungen in elektronische Daten wurde bisher noch nirgends ernsthaft diskutiert. Dabei zeigt eine genauere Betrachtung, dass diese Perspektive keinesfalls als utopisch abgetan werden darf. Mit den heute zur Verfügung stehenden elektronischen Strassendaten besteht eine gute Grundlage, welche sich einfach um die Verkehrssignale und Markierungen ergänzen lässt. Die Technik des Map-Matching, welche eine ermittelte Fahrzeugposition in Bezug setzt zu in Strassendaten abgelegten Verläufen von Strassen, erlaubt es auch, automatisch die für das Fahrzeug aktuell relevanten Verkehrssignale zu bestimmen, worauf je nach Signal spezifische Anwendungen aufbauen können (siehe Kapitel 3.3).

Wenn die Digitalisierung der Verkehrssignale technisch immer realistischer wird, dann stellt sich immer noch die Frage, welchen Nutzen sie bringen könnte. Hier ist primär das Thema Verkehrssicherheit angesprochen. Das ergibt sich schon allein daraus, dass Verkehrssignale wesentliche Elemente sind, um die Verkehrssicherheit zu garantieren. Fahrer müssen sich an Verkehrssignale halten und beziehen aus diesen wertvolle Information für ein sicheres Fahren. Nun gibt es immer deutlicher erkennbar eine Entwicklung in Richtung Fahrerassistenzsysteme, welche immer mehr Aufgaben der Fahrer übernehmen. So lange sich die Fahrerassistenzsysteme auf kritische Situationen konzentrieren, welche unmittelbar zu einem Unfall führen können (zu nahes Auffahren, Übersehen eines Hindernisses etc.), spielen Verkehrssignale eine untergeordnete Rolle. Geht es aber darum, prophylaktisch die Entstehung solcher Situationen möglichst zu vermeiden, dann gewinnen die Verkehrssignale rasch an Bedeutung. Zum Beispiel kann ein

System, welches die Vorrtrittsregelung an einer Kreuzung kennt, zum vornherein verhindern, dass ein Fahrzeug den Vortritt missachtet und damit möglicherweise eine gefährliche Situation heraufbeschwört.

Dass eine Verkehrssignal-Datenbank zur Steigerung der Verkehrssicherheit bisher kein grosses Thema war, mag auch darauf zurück zu führen sein, dass wesentliche Einführungshürden bestehen. Da ist einmal ein Huhn-Ei-Problem: so lange keine solche Datenbank in Aussicht ist, wird die Entwicklung von darauf aufbauenden Anwendungen nicht vorangetrieben und so lange es keine Anwendungen gibt, lohnt sich die Installation der Datenbank nicht. Ein zweites Problem besteht darin, dass die Anwendungen sich in der Regel auf einen bestimmten Signaltyp beziehen, dass aber die flächendeckende Erfassung nur eines Signaltyps im Vergleich zum Nutzen sehr aufwändig ist. Werden in einem Schritt gerade alle Signaltypen erfasst, dann ist der Aufwand nur wenig grösser, aber der Nutzen nimmt um ein Vielfaches zu.

Es stellt sich die Frage, ob es für Verkehrssignal-Datenbanken, ähnlich wie für die erfolgreichen Strassendatenbanken, eine Leitanwendung gibt, die allein eine elektronische Erfassung lohnend macht und in deren Schlepptau weitere Anwendungen entstehen können. Aussichtsreichster Kandidat dürfte die intelligente Geschwindigkeitsanpassung sein, welche technisch schon weitgehend fertig entwickelt ist. Es braucht nur noch die Daten zu den Bereichen mit Geschwindigkeitsbeschränkungen. Dass aber diese Daten aus rein kommerziellem Interesse von der Privatwirtschaft erfasst und gepflegt werden, ist nicht zu erwarten. So positiv auch die Reaktionen der Testanwender sind, mit einem Verkaufsschlager rechnet bei der intelligenten Geschwindigkeitsanpassung niemand ernsthaft, selbst dann, wenn diese nur sehr sanft in Form einer Warnung bei Geschwindigkeitsüberschreitung implementiert wird. Hier ist die öffentliche Hand gefragt, welche auch ihren Beitrag zur Verkehrssicherheit zu leisten hat. Von ihr muss zumindest die Initiative ausgehen. Wenn sie aber schon bereit ist, ihre Rolle bei den Geschwindigkeitsbeschränkungen zu spielen, dann wäre es für sie klug, den Anlass zu nutzen für die vollständige Erfassung aller Verkehrssignale – zur Förderung weiterer für die Verkehrssicherheit nutzbringender Anwendungen. Sozusagen als Nebeneffekt gewinnen die zuständigen Behörden einen vollständigen Signalisationskataster, welcher ihnen die Aufgabe der Betreuung der Signalisationen wesentlich erleichtern kann.

Es geht sicher nicht darum, die physischen Verkehrstafeln durch elektronische Daten zu ersetzen. Die Verkehrssignal-Datenbank soll die Verkehrstafeln vor Ort ergänzen und besser nutzbar machen. Sicher wäre es aus der Sicht des Unterhalts attraktiv, wenn die Tafeln wegfallen könnten. Aber bis mit Anwendungen im Fahrzeug für alle Signale ein mindestens gleichwertiger Ersatz geschaffen und eine höhere Zuverlässigkeit erreicht ist, werden noch viele Jahre vergehen, und bis da ist behalten die Verkehrstafeln ihre Aufgabe.

## 6.2 Anforderungen

Die Anforderungen an die Daten zu Verkehrssignalen und Markierungen hängen von den konkreten Vorgaben insbesondere im Bereich Verkehrssicherheit ab, welche noch nicht bekannt sind. Nachfolgend sind nur Möglichkeiten ausgeführt,

was aus heutiger Sicht in eine Anforderungsliste aufzunehmen sinnvoll erscheint – ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Wenn die Verkehrssignal-Datenbank für Anwendungen im Bereich der Fahrerassistenz nutzbar sein sollen, dann müssen sich diese Anwendungen auf die vorhandenen Daten verlassen können. Letztere müssen folgende Eigenschaften haben:

- Sie müssen flächendeckend sein. Es darf nicht sein, dass eine Anwendung in einem Gebiet funktioniert, ihr dann aber, wenn das Fahrzeug in ein anderes Gebiet kommt, plötzlich die Daten fehlen. Die Anforderung bezieht sich zumindest auf das gesamte Gebiet der Schweiz. Noch eher vermittelbar ist, wenn die Anwendung im benachbarten Ausland nicht zur Verfügung steht, da das Überschreiten der Schweizer Grenze immer noch ein bewusst wahrgenommener Akt ist.
- Sie müssen richtig sein. Jeder Fehler – Verkehrssignale oder Markierungen, welche in der Realität vorhanden sind, in der Datenbank aber nicht, oder umgekehrt – führen zu einem falschen Verhalten der Anwendung. Damit vermindert sich nicht nur die Akzeptanz der Anwendung, es kann je nach Situation auch die Verkehrssicherheit gefährdet werden, da sich der Fahrer auf die Anwendung verlässt.
- Sie müssen aktuell sein. Ab dem Zeitpunkt, zu dem eine Änderung in der Signalisation in Kraft tritt, muss diese möglichst auch durch die Datenbank korrekt wiedergegeben werden. Die Aktualisierung muss langfristig sichergestellt werden, damit auch ein langfristiger Betrieb der Anwendungen gewährt werden kann.

Es kann auch bei der besten Spezifikation der Datenbank nicht ausgeschlossen werden, dass es Interpretationsspielraum gibt, dass also Verkehrssignale in analogen Situationen unterschiedlich erfasst werden können. Wichtig ist, dass auch durch organisatorische Massnahmen eine Einheitlichkeit der Datenerfassung garantiert wird. Betroffen ist hier sowohl die Ersterfassung als auch die Nachführung.

Noch genauer zu bestimmen ist, wie weit auch provisorische Signalisationen, z.B. bei Baustellen oder Veranstaltungen, in die Datenbank aufzunehmen sind. Die entsprechenden Abklärungen wären im Rahmen der vorliegenden Forschung verfrüht und können problemlos während der Umsetzung vorgenommen werden. Wichtig ist, dass es auch zu diesem Aspekt einheitliche Richtlinien gibt.

Im Rahmen der genannten Anforderungen muss der Aufbau und Betrieb der Datenbank möglichst wirtschaftlich sein. Klar ist, dass nicht alle Anforderungen absolut gelten können, sondern dass immer abzuwägen ist, ob ein Zusatzaufwand zur noch besseren Erfüllung einer Anforderung sich auch aus wirtschaftlicher Sicht lohnt.

## 6.3 Grundlagen

### 6.3.1 Rechtliche Grundlagen

Die rechtlichen Grundlagen für die Signalisation in der Schweiz finden sich im Strassenverkehrsgesetz (SVG) [1]. Artikel 3, Absatz 2 gibt den Kantonen die Befugnis, „für bestimmte Strassen Fahrverbote, Verkehrsbeschränkungen und Anordnungen zur Regelung des Verkehrs zu erlassen.“ Sie können diese Befugnis den Gemeinden übertragen. Ausnahmen bilden die Strassen im Eigentum des Bundes, für welche gemäss Artikel 2 Absatz 5 die vom Bundesrat bezeichneten Bundesbehörden bestimmen, „ob und unter welchen Bedingungen der öffentliche Verkehr gestattet ist.“

Artikel 5, Absatz 1 SVG legt fest: „Beschränkungen und Anordnungen für den Motorfahrzeug- und Fahrradverkehr müssen durch Signale oder Markierungen angezeigt werden, sofern sie nicht für das ganze Gebiet der Schweiz gelten.“ Weiter heisst es im Absatz 3: „Im Bereich der für Motorfahrzeuge oder Fahrräder offenen Strassen dürfen nur die vom Bundesrat vorgesehenen Signale und Markierungen verwendet und nur von den zuständigen Behörden oder mit deren Ermächtigung angebracht werden.“ Weiter ist festgelegt, dass diese Behörden die erforderlichen Signale aufstellen.

Die Regelung des SVG ist klar: Es ist für die verschiedenen Strassen ein zuständige Behörde zu bestimmen - je nachdem beim Bund, dem Kanton oder einer Gemeinde - welche für diese Strassen „Verkehrsbeschränkungen und Anordnungen“ erlassen kann. Diese Beschränkungen sind dann durch die Behörde im Rahmen der Vorgabe des Bundesrates zu signalisieren. Diese Vorgabe ist konkret in der SSV [2] enthalten. Sie umfasst aber nicht nur Signale und Markierungen, welche Verkehrsbeschränkungen und Anordnungen bezeichnen, sondern beispielsweise auch Gefahrensignale zur Warnung ortsunkundiger Fahrer und Hinweissignale. Auch solche Signale aufzustellen ist Sache der zuständigen Behörden.

Für eine Sammlung der Verkehrssignale in einer Datenbank gibt es heute keine Rechtsgrundlage. Trotzdem wäre es möglich, im Rahmen des bestehenden Rechts eine solche Datenbank aufzubauen:

- Private könnten sich zum Aufbau einer Datenbank mit Verkehrssignalen entschliessen. Motivation könnte sein, den Fahrern in den Fahrzeugen zusätzliche Komfortfunktionen zur Verfügung zu stellen. Rechtlich ist es zulässig, so wie andere Strassenattribute auch die Verkehrssignale zu erfassen und die entsprechenden Daten zu verbreiten. Allerdings könnte nicht von einer konsequenten Nachführung und einer hohen Datenqualität ausgegangen werden, da die zuständigen Behörden keineswegs verpflichtet wären, Änderungen an der Signalisation den Datenbankbetreibern zu melden.
- Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) kann sich zum Beispiel im Rahmen von MISTRA entscheiden, eine Verkehrssignal-Datenbank aufzubauen. Die Kosten für den Aufbau der Datenbank müssen sich durch einen

Effizienzgewinn bei der Erledigung von dem ASTRA zugewiesenen Aufgaben rechtfertigen. Mit der dem ASTRA ab 1. Januar 2008 neu zufallenden Verantwortung für Unterhalt und Betrieb der Nationalstrassen wäre für diese Strassen eine Rechtfertigung möglich, da sich Planung, Verwaltung und Unterhalt der Verkehrssignale durch einen Signalisationskataster in elektronischer Form vereinfachen. Mit den Kantonen wären aber bestenfalls freiwillige Vereinbarungen über ihre Beteiligung an der Datenbank möglich und die Kantone müssten ihre Gemeinden wiederum zur Lieferung der Nachführungsdaten verpflichten. Es ist davon auszugehen, dass mit einem solchen Vorgehen die Datenbank lückenhaft bleiben würde.

Wenn es darum geht, eine Datenbank aufzubauen, welche vollständige und aktuelle Daten enthält und damit eine brauchbare Grundlage für Anwendungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit darstellt, dann dürfte der freiwillige Ansatz, basierend auf dem bestehenden Recht, kaum zielführend sein. Es muss dafür eine neue Rechtsgrundlage geschaffen werden. Möglich sollte dies in erster Linie mit dem Argument der Verbesserung der Verkehrssicherheit sein, da hier der Staat eine allgemein anerkannte Aufgabe hat. Da die Verkehrssignale ohnehin schon unter staatlicher Hoheit stehen (was auch als Ausdruck eines staatlichen Beitrags zur Verkehrssicherheit gesehen werden kann), ist es nahe liegend, auch die Bereitstellung der Signalisations-Information in Strassendatenbanken dem staatlichen Aufgabenbereich zuzuweisen. Dazu gibt es wiederum mehrere Möglichkeiten:

- Die heute dezentralisierte Verantwortung für die Verkehrssignale könnte an eine zentrale Stelle übergeben werden. Sicher müssten die lokalen Behörden weiterhin wesentlichen Einfluss auf die Verkehrsbeschränkungen und Anordnungen haben, die signalisiert werden, aber die Idee könnte sein, durch eine zentrale Stelle die Handhabung der Verkehrssignale effizienter zu gestalten und zusätzlich eine aus Sicht der Verkehrsteilnehmer zweifellos erwünschte Vereinheitlichung zu erreichen. Gewisse Aufgaben wie zum Beispiel der Unterhalt der Signale könnten von der zentralen Stelle an lokale Behörden oder Organisationen delegiert werden.
- Ohne grundsätzliche Änderung der Zuständigkeiten könnten die Behörden dazu verpflichtet werden, Änderungen von Signalisationen einer zentralen Stelle zu melden und diese Stelle hätte wiederum die Aufgabe, die Signalisationsinformationen auf geeignete Weise öffentlich zugänglich zu machen.

### **6.3.2 Institutionelle Grundlagen**

Für die Verkehrssignal-Datenbank sind die Stellen zu bezeichnen, welche die Gesamtverantwortung übernehmen. Möglich ist ein zentraler oder ein dezentraler Ansatz. Da die Einheitlichkeit der Daten eine entscheidende Rolle spielt, ist die Benennung einer zentralen zuständigen Stelle klar vorzuziehen. Sie kann auch eher garantieren, dass die Datenbank in einem vernünftigen Zeitrahmen vollständig aufgebaut werden kann.

Mit dem vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) betreuten Projekt MISTRA gibt es einen bestehenden institutionellen Rahmen, der für die Datenbank bestens geeignet ist. Es kann die vorhandene Datenbank-Infrastruktur genutzt werden. Die Verkehrssignale können, wie dies in der Planung von MISTRA ohnehin vorgesehen ist, als Modul auf die vorhandene Sockeldatenbank aufgesetzt werden. Dies erlaubt nicht nur eine Verknüpfung mit andern Strassendaten, für die räumliche Referenzierung lässt sich auch das bereits implementierte Referenzierungssystem RBBS verwenden. Die Übernahme, Plausibilisierung, Darstellung und Auswertung der Daten kann als Fachapplikation „Verkehrssignale und Markierungen“ realisiert werden. Konkret kann diese Fachapplikation Signalisation in die Planung für die nächste Ausbauphase von MISTRA aufgenommen werden, welche angelaufen ist (Stand Herbst 2007).

Da die Hauptausrichtung der Datenbank Anwendungen im Bereich Verkehrssicherheit sind, ist eine institutionelle Einbindung in die Verkehrssicherheitspolitik wichtig. Da hier die Federführung beim ASTRA liegt, dürfte dies problemlos möglich sein. Auch eine teilweise Finanzierung des Aufwandes aus Mitteln zur Förderung der Verkehrssicherheit ist denkbar.

Eine Beteiligung der für die Signalisation zuständigen Strassenbehörden auf Gemeinde- und Kantonebene sollte unbedingt erreicht werden. Sicher kann eine solche Beteiligung dadurch gefördert werden, dass den Behörden ein Instrument zur Führung eines elektronischen Signalisationskatasters zur Erleichterung der Planung und Auswertung der Signalisationen sowie für den Unterhalt in die Hand gegeben wird. Zweck dieses Instruments aus der Sicht der Datenbank ist, das Monitoring darüber abzuwickeln und so immer auf einem aktuellen Stand zu sein. Wie weit über diesen Anreiz hinaus die Beteiligung der Strassenbehörden noch über Vereinbarungen oder eine Anpassung der rechtlichen Grundlagen abgesichert werden muss, bleibt abzuklären. Die auf dem Monitoring beruhende Nacherfassung braucht nicht den Strassenbehörden überlassen zu werden, sondern kann zentral organisiert werden, was auch die Einheitlichkeit der Daten verbessert.

Die Beteiligung der Kantone und Gemeinden erlaubt zusätzlich, die Datenbestände laufend abzugleichen, so dass nicht bei verschiedenen Stellen inkonsistente Verkehrssignaldaten vorhanden sind. In einem ersten Schritt sollten die bei den Kantonen oder Gemeinden bereits vorhandenen Datenbestände mit den neu zu erfassenden Daten abgeglichen werden.

### **6.3.3 Normen**

Die einzige bestehende Norm, welche Verkehrssignale in elektronische Daten abbildet, ist die GDF-Norm [6]. Auch wenn man die sich in Bearbeitung befindlichen Verbesserungen von XGDF einbezieht, kann die Norm sicher nicht eins zu eins für eine Verkehrsdatenbank verwendet werden. Nachfolgend sind die wichtigsten Mängel aufgeführt:

- Es fehlen einige Signalklassen, so dass es schwer möglich ist, alle Signale wie gefordert einer Klasse zuzuordnen. Zum Beispiel werden Signale mit Vorgaben zu Fahrzeugeigenschaften (Schneekettenobligatorium etc.) und

mit Stoppanweisungen (z.B. bei Bahnschranken) nicht entsprechenden Klassen zugeordnet (siehe Tabelle 9).

- Es gibt keine auch nur annähernd umfassende Liste, welche Signale welcher Signalklasse zuzuordnen sind.
- Die Signalklassen enthalten nur vereinzelt klassenspezifische Attribute (Beispiel „Direction“ bei der Klasse „Directional“) und die Signale lassen sich niemals vollständig mit Attributen charakterisieren. Die Lösung, Freitext anzufügen, ist für vollständig automatisierte Anwendungen unbrauchbar.
- Es fehlt die Möglichkeit, Signale mehreren Klassen zuzuordnen. So kann nicht der gesamte für Anwendungen relevante Inhalt der Signale abgebildet werden. Beispiel: Signal „Autobahn“.
- Es gibt in den meisten Fällen keinen Bezug zwischen Signal und der Signalisation, welcher dieses zugeordnet ist. Die örtliche Gültigkeit des Signals lässt sich so nicht abbilden.
- Eine Referenzierung von örtlichen Gültigkeitsbereichen ist nur auf ganze „Road Elements“ möglich. Das führt dazu, dass zu Referenzierungszwecken zusätzliche Road Elements eingeführt werden müssen, was umständlich und unpraktisch ist.
- Örtliche Gültigkeitsbereiche, welche über einen Strassenabschnitt hinausgehen, lassen sich nicht als Gesamtobjekt darstellen.
- Die Möglichkeiten zur Abbildung von Markierungen sind sehr beschränkt.

Vorschlag Voruntersuchung	XGDF	Bemerkungen
Fahrbeschränkungen und Fahrverbote	Right of Passage Route Prohibition (?)	Abgrenzung zwischen Right of Passage und Route Prohibition in XGDF unklar.
Vorgaben zu Fahrzeugeigenschaften		Fehlt in XGDF
Fahrtrichtungsvorgaben	Directional	Unterschied zwischen „Directional“ und „Directional Sign“ unklar.
Vortrittsregelung	Right of Way	
Geschwindigkeitsvorgaben	Variable Speed Sign	Fehlt in XGDF als eigene Klasse. Unklar, welcher Klasse zugeordnet. Variable Speed Sign enthält nur die Wechselgeschwindigkeits signale.

Stoppanweisungen		Fehlt in XGDF.
Halte- und Parkierungsvorgaben	Stopping Prohibition	
Vorgaben zum Fahrverhalten		Fehlt in XGDF als eigene Klasse. Unklar, welchen Klassen zugeordnet.
Gefahrenhinweise und Warnungen	Warning Sign	
Angaben zum Auffinden von Örtlichkeiten	Signpost	Höchstens teilweise Überschneidung.

**Tabelle 9: Vergleich der Verkehrssignal-Klassen zwischen dem Vorschlag aus der Voruntersuchung „Elektronische Verkehrssignale“ und XGDF.**

Auch wenn dem gegenwärtigen Entwicklungsstand entsprechend XGDF für eine Verkehrssignal-Datenbank nicht sehr geeignet ist, so liesse sich das XGDF-Datenmodell mit geringen Anpassungen so verbessern, dass es brauchbar würde. Ob diese Anpassungen kurz vor Fertigstellung der Norm noch eingebracht werden können, ist unklar. Sollte das nicht der Fall sein, dann liesse sich eine an XGDF angelehnte spezifische Norm für Verkehrssignale entwickeln und zumindest eine Übertragung von nach dieser spezifischen Norm erfassten Daten in XGDF (mit möglichen Informationsverlusten) wäre machbar. Auch wenn vorerst eine Schweizer Norm angestrebt würde, wäre eine Erweiterung auf eine internationale Norm oder die spätere Integration in XGDF erstrebenswert.

### 6.3.4 Technische Grundlagen

Auch wenn davon ausgegangen wird, dass für die Datenbank auf einer vorhandenen Datenbankinfrastruktur aufgebaut werden kann, einschliesslich der Prozesse zur Datensicherung, zur Datenbereitstellung für Benutzer und zur Archivierung (wobei MISTRA sicher die bevorzugte Lösung darstellt), dann gibt es trotzdem eine ganze Reihe von technischen Grundlagen, welche erst noch entwickelt und bereitgestellt werden müssen.

Wesentliches Element der technischen Grundlagen ist ein wirtschaftlich tragbares Verfahren zur Ersterfassung der Verkehrssignale. Kaum aussichtsreich erscheint ein Zusammenführen bestehender Informationsquellen, da dadurch die Daten äusserst uneinheitlich, lückenhaft und von zweifelhafter Qualität wären. Mit Mobile Mapping steht aber eine mittlerweile ausgereifte Technik zur Verfügung, welche sich für die gegebene Aufgabe bestens eignet: Die Erfassung aller Verkehrssignale auf dem gesamten Strassennetz der Schweiz kann mit ihr in einem überschaubaren Zeitrahmen abgeschlossen werden.

Eine Voraussetzung für die Erfassung ist, dass sämtliche relevanten Strassen in der Schweiz abgefahren werden. Möglich ist, dass zum Beispiel Feld- und Waldwege ausgeschlossen werden können, aber ein genügend präzises Abgrenzungskriterium ist noch zu erarbeiten. Die relevanten Strassen sind auf einer bestehenden Strassendatenbank zu markieren und mit einer automatischen



Verfolgung der für das Mobile Mapping eingesetzten Fahrzeuge kann überprüft werden, dass tatsächlich das gesamte Strassennetz abgefahren wird. Möglicherweise lohnt es sich auch, ein Werkzeug zur Tourenplanung einzusetzen, damit möglichst wenig unnütze Fahrten entstehen. Abzuklären ist, ob es durch auch mit Kameras nach hinten ausgerüstete Fahrzeuge möglich wird, zumindest kleine Strassen nur in einer Richtung zu befahren. Kritisch ist beim Mobile Mapping das Datenmanagement, da sehr grosse Mengen an Bilddaten entstehen (Gesamtdatenmenge in der Grössenordnung von Pentabytes!), die auf passenden Speichermedien abgelegt werden müssen und auf die der Zugriff sicherzustellen ist.

Technisch noch nicht genügend ausgereift ist die automatische Auswertung der beim Mobile Mapping aufgenommenen Bilder. Es scheint aber durchaus möglich, innerhalb von wenigen Monaten oder Jahren das Verfahren so weit zu entwickeln, dass es die notwendige Zuverlässigkeit erreicht. Eine Vorgehen könnte zum Beispiel darin bestehen, Qualitätsvorgaben festzulegen und einen offenen Wettbewerb auszuschreiben, bei welchem die beteiligten Teams einen bescheidenen Umsetzungsbeitrag erhalten und den Nachweis erbringen müssen, dass sie die Vorgaben erfüllen können, womit sie einen Preis erhalten. Der Auftrag zur automatischen Auswertung geht dann an das beste der erfolgreichen Teams. Erreicht kein Team die Vorgabe, dann wird eine manuelle Auswertung in Betracht gezogen.

Eine wichtige technische Frage ist, unter welchen Bedingungen das Mobile Mapping durchzuführen ist, damit auf den aufgenommenen Bildern die Verkehrssignale besser erkannt werden können. Es ist durchaus möglich, dass es günstiger ist, die Aufnahmen bei Nacht mit Scheinwerferlicht durchzuführen oder eine Infrarotkamera einzusetzen. Kritisch dürfte Nebel, Regen oder Schneetreiben sein.

Noch technisch umzusetzen sind die Verfahren zur Plausibilisierung der erfassten Daten. Bedeutende technische Schwierigkeiten sind hier aber nicht zu erwarten.

## 6.4 Pilotversuch

Da Vieles, das für eine Verkehrssignal-Datenbank umzusetzen ist, Neuland bedeutet, dürfte es angezeigt sein, es vor der Umsetzung zuerst im kleinen Massstab zu testen. Das Problem eines Pilotversuchs ist, das soll gleich vorneweg erwähnt werden, dass eine aufwändige Infrastruktur für Mobile Mapping aufzubauen ist, welche nur für kurze Zeit eingesetzt wird, um dann bis zur grossmassstäblichen Umsetzung wieder abgebaut oder auf Eis gelegt zu werden. Ideal wäre, wenn eine bestehende, nicht voll ausgelastete Einrichtung zum Mobile Mapping eingesetzt werden könnte.

Der Pilotversuch könnte folgenden Zwecken dienen:

- Überprüfung der technischen Machbarkeit. Die kritischen technischen Komponenten liessen sich austesten und die Durchgängigkeit der Abläufe könnte sichergestellt werden, wobei der Eingliederung in bestehende

Abläufe bei den beteiligten Strassenbehörden ein besonderes Augenmerk zukommen müsste.

- Konzipierung der Qualitätssicherung und Bestimmung von Zielwerten für die Datenqualität.
- Optimierung der Nachführungsprozesse. Erforderlich wäre zumindest eine Spezifikation der Software zur Aufzeichnung der Änderungen in der Signalisation, welche den zuständigen Strassenbehörden zur Verfügung gestellt werden soll. Auch wäre eine Wahl der Überwachungsverfahren zu treffen.
- Bereitstellung einer Testumgebung für Anwendungen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Anwendungsentwicklung frühzeitig initiiert wird.

Um brauchbare Aussagen für die Umsetzung zu liefern, sollte der Pilotversuch die Abläufe in einem beschränkten Gebiet vollständig durchspielen, wobei noch nicht erforderlich ist, diese so weit zu automatisieren, wie es für die Umsetzung benötigt wird. Das Gebiet sollte auch administrativ eine Einheit bilden, damit die institutionelle Einbindung möglichst vollständig realisiert werden kann. Ideal wäre zum Beispiel das Gebiet eines kleineren Kantons. Es wäre eine Pilotdatenbank aufzubauen und mit den erfassten Signalisationsdaten des Testgebiets zu versorgen. Es könnte sich daran zeigen, wie viele Situationen vor Ort gefunden werden, welche sich nicht in das Datenmodell der Datenbank einpassen lassen oder wo zusätzliche Festlegungen erforderlich sind. Auch könnten die aufgenommenen Daten in Stichproben mit der Situation vor Ort verglichen werden, um die Qualität der Erfassungsprozesse zu überprüfen. Dabei wären Situationen mit Änderungen an der effektiven Signalisation zu berücksichtigen, um die Aktualität der Datenbank und damit die Brauchbarkeit der Nachführungsprozesse zu testen.

## **6.5 Umsetzung**

### **6.5.1 Zeitliche Vorgaben**

Günstig ist, wenn für die Verkehrssignal-Datenbank frühzeitig ein Einführungstermin festgelegt wird, damit eine Planungssicherheit entsteht. Auf diesen Termin hin ist ein Zeitplan zu erstellen. Wesentliche Elemente darin sind die Ersterfassung, der Aufbau der Datenbank-Infrastruktur und die Implementierung der Nachführung.

### **6.5.2 Aufwandschätzung**

Für die Ersterfassung mittels Mobile Mapping lässt sich folgende sehr grobe Aufwandschätzung erstellen: Das gesamte Strassennetz der Schweiz hat eine Länge von ca. 71'000km. Wird es vollständig in beiden Richtungen abgefahren, dann sind 142'000km Strasse abzufahren. Schafft ein Fahrzeug pro Einsatzstunde im Durchschnitt 30km, dann sind für die Erfassung 4733 Fahrzeugstunden

erforderlich. Lässt sich ein Fahrzeug während 1600 Stunden pro Jahr einsetzen (limitierender Faktor dürften hier vor allem die Lichtverhältnisse sein), dann benötigt ein Fahrzeug ca. 3 Jahre für die vollständige Erfassung. Mit zwei Fahrzeugen ist die Erfassung in 1,5 und mit 3 Fahrzeugen in einem Jahr zu schaffen.

Um die Kosten der Erfassung zu reduzieren, können die erzeugten Bildsequenzen mit darauf lokalisierbaren Objekten zusätzlich für andere Zwecke zur Verfügung gestellt werden. Möglich wäre zum Beispiel eine dreidimensionale Erfassung der an die Strassen angrenzenden Gebäude (mittels Laserscanner), eine Erfassung des Zustandes der Strassen-Infrastruktur, eine vollständige Erfassung und Lokalisierung der Hausnummern für eine Adress-Datenbank oder die Erstellung von Wärmebildern mittels Infrarotkamera zur Abklärung der Energieeinsparpotenziale bei umliegenden Gebäuden.

Die Auswertung der erfassten Bildsequenzen kann parallel zur Erfassung erfolgen, so dass dafür keine zusätzliche Zeit beansprucht wird. Hier wurde angenommen, dass die Auswertung zumindest so weit automatisiert werden kann, dass sie mit der gleichen Durchschnittsgeschwindigkeit erfolgen kann, wie die Erfassung. Diese Annahme bedarf weiterer Abklärungen. Festzulegen ist, ob und wie eine Prüfung der erfassten Daten durch die zuständigen Strassenbehörden erfolgen soll. Sinnvoll wäre zum Beispiel ein Abgleich mit den vorhandenen Erlassen zu Signalisationen.

### 6.5.3 Etappierung

Es ist möglich, den Aufbau der Datenbank zu etappieren. In einer ersten Etappe können nur diejenigen Signaltypen aufgenommen werden, zu welchen konkrete Anwendungen bestehen oder in Vorbereitung sind (also zum Beispiel die Geschwindigkeits- und Fahrbeschränkungssignale). Weitere Signaltypen lassen sich dann später hinzufügen. Es ist aber zu bedenken, dass ein erneutes vollständiges Abfahren des Strassennetzes zur Erfassung der Signale für jede Etappe einen unverhältnismässigen Aufwand bedeuten würde. Möglich wäre, dass auf die Aufzeichnungen aus der ersten Erfassungskampagne zurückgegriffen wird. Voraussetzung ist aber, dass die Änderungen ab dem Zeitpunkt dieser Kampagne für die Signale aller Etappen lückenlos dokumentiert werden. Weiter ist zu bedenken, dass Signalkataster mit nur einer beschränkten Zahl von Signaltypen wenig hilfreich sind. Es wäre beispielsweise kaum nachvollziehbar, warum ein Signalträger erfasst wird, aber nur ein Teil der darauf angebrachten Signale.

Auch in Betracht zu ziehen ist eine Etappierung nach Strassentypen, indem zum Beispiel in einem ersten Schritt nur das übergeordnete Netz erfasst wird. Dadurch entfällt das Problem des Mehrfachaufwandes bei der Erfassung. Der Nachteil ist aber, dass die auf Verkehrssignale aufbauenden Fahrerassistenzsysteme nicht mehr flächendeckend nutzbar sind. Es müsste für diese Form der Etappierung zumindest abgeklärt werden, ob die beabsichtigten Anwendungen im Bereich Fahrerassistenz überhaupt noch einen Nettonutzen erzielen können, wenn sie auf einer befahrenen Strasse zur Verfügung stehen, auf der nächsten aber plötzlich nicht mehr.

Insgesamt zeigt sich, dass die Idee der Etappierung auf eine komplexe Problematik führt und dass die optimale Lösung durch eine weiterführende Abschätzung von

Aufwand und Ertrag verschiedener Varianten noch zu ermitteln ist. Sicher wäre es angenehm, wenn die Ertapierungsproblematik umgangen werden könnte, indem von Anfang an auf eine offensive Strategie gesetzt wird, bei der alle Signale flächendeckend in die Datenbank aufgenommen und möglichst viele Nutzen der Signalinformationen generiert werden.

## 6.5.4 Private Public Partnership

Mit dem Betrieb der Strasse stehen auch die Verkehrssignale in der Schweiz unter staatlicher Hoheit. Wenn es darum geht, die Information zur Signalisation in der Schweiz in einer verbindlichen Form elektronisch zur Verfügung zu stellen, so ist dies nur unter staatlicher Führung möglich, weil nur staatliche Stellen verbindlich feststellen können, wie diese Signalisation ist. Das hindert aber nicht daran, dass zur Erfüllung der Aufgabe Private beigezogen werden. Heute sind flächendeckende Signalisationsdaten, so weit sie existieren, bei den kommerziellen Anbietern von Strassendatenbanken insbesondere für die Fahrzeugnavigation vorhanden. Es ist deshalb nahe liegend, dass die staatlichen Stellen zur Erfüllung ihrer Aufgaben auf die Erfahrung und Dienste dieser privaten Anbieter zurückgreifen. In diesem Sinn drängt sich für die Aufnahme der Verkehrssignale in Strassendatenbanken eine „Private Public Partnership“ (PPP) auf.

PPP kann für die private Seite wie auch für die öffentliche Seite sehr gewinnbringend sein. Bei der Umsetzung sind aber Anforderungen zu berücksichtigen:

- Die staatliche Stelle muss jederzeit die vollständige Kontrolle über ihre hoheitlichen Aufgaben behalten, da sie für diese Aufgaben die Verantwortung übernehmen muss.
- Es ist zu vermeiden, dass durch die Zusammenarbeit Wettbewerbsverzerrungen entstehen, indem öffentliche Gelder dazu genutzt werden, privaten Firmen gegenüber der Konkurrenz Vorteile zu verschaffen.

Die zweite Anforderung ist im vorliegenden Fall von besonderer Bedeutung, da es bei der Erfassung der Signalisationsdaten zahlreiche mögliche Synergien mit andern Anwendungen gibt.

Für die Umsetzung im Bereich Signalisationsdatenbank sind zwei Bereiche zu unterscheiden: die Beschaffung der Daten und die Datennutzung. Es darf davon ausgegangen werden, dass die staatliche Stelle die Daten nicht selbst beschafft, sondern dies im Rahmen einer Ausschreibung spezialisierten Firmen überlässt. Dazu gibt es mehrere Optionen:

- Die staatliche Stelle erteilt einen Auftrag zur Erstellung der Daten für das Mobile Mapping (Bildsequenzen und Lokalisierungsdaten) und erwirbt dadurch die Rechte an diesen Daten. Sie erteilt separat einen Auftrag zur Auswertung der Daten bezüglich Verkehrssignalen.
- Die staatliche Stelle beschafft insgesamt die Signalisationsdaten und erhält damit die ausschliesslichen Rechte an diesen Daten, überlässt es aber dem Datenlieferanten, die Originaldaten des Mobile Mapping noch für andere Zwecke zu verwenden.

- Die staatliche Stelle erwirbt nur (nicht ausschliessliche) Nutzungsrechte an den Signalisationsdaten und überlässt es dem Lieferanten, diese (zusammen mit den Originaldaten des Mobile Mapping) weiter zu verwerten.

Was die Nutzung betrifft ist klar, dass die staatliche Stelle die Daten allen potenziellen privaten Nutzern zu gleichen Bedingungen zur Verfügung stellen muss, um nicht wettbewerbsverzerrend zu wirken.

## 7 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Mit den möglichen Anwendungen im Bereich der Verkehrssicherheit und den zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten für Signalkataster ist der Nutzen der Aufnahme von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken ausgewiesen.

**Empfehlung:** Für die Realisierung der Verkehrssignal-Datenbank ist Leitanwendung zu bestimmen, welche prioritär umzusetzen ist und den konkreten Nachweis des Nutzens von Verkehrssignalen in Datenbanken zur Verbesserung der Verkehrssicherheit erbringt. Aus heutiger Sicht kommt dazu in erster Linie die intelligente Geschwindigkeitsanpassung in Frage.

Der Aufbau einer Verkehrssignal-Datenbank ist wirtschaftlich dann am besten tragbar, wenn bei der Nutzung möglichst viele verschiedene Anwendungen kombiniert werden. Da nicht alle Anwendungen zeitgleich realisiert werden können, sollte der Aufbau als Langfrist-Investition in eine Verbesserung der Verkehrssicherheit gesehen werden.

**Empfehlung:** In die Datenbank sind alle wesentlichen Signaltypen im gesamten Gebiet der Schweiz in einem Schritt aufzunehmen. Von einer Etappierung ist möglichst abzusehen, es sei denn, eine vertiefte Untersuchung ergibt einen klaren wirtschaftlichen Vorteil für die Wahl einer Etappierungsvariante.

Die bestehenden Datengrundlagen sind für die sich aus den anvisierten Anwendungen ergebenden Qualitätsansprüchen ungenügend.

**Empfehlung:** Es ist eine vollständige Ersterfassung aller wesentlichen in der Schweiz aufgestellten Verkehrssignale und Markierungen durchzuführen. Ab dem Zeitpunkt der Ersterfassung sind die erfassten Daten konsequent nachzuführen und so jederzeit auf dem aktuellen Stand zu halten.

Die technischen Grundlagen für die effiziente Erfassung der Verkehrssignale und für den Einsatz der entsprechenden Daten in Fahrzeugen zur Steigerung der Verkehrssicherheit stehen heute weitgehend bereit. Weitere Verbesserungspotenziale bestehen insbesondere im Bereich der Automatisierung der Bildauswertung.

**Empfehlung:** Es ist ein Pilotversuch zur Erfassung und Verwendung von Signalisationsdaten in einem beschränkten Gebiet durchzuführen.

**Empfehlung:** In spezifischen Versuchen mit automatischer Bildauswertung für die Erfassung von Verkehrssignalen im Hinblick auf den Aufbau einer entsprechenden Datenbank ist die Eignung des Verfahrens vertieft abzuklären.

Das in der Privatwirtschaft vorhandene Wissen zur strassenseitigen Datenerfassung, Datennachführung und zum Aufbau von Strassendatenbanken ist eine wichtige Grundlage für die Signalisationsdatenbank.

**Empfehlung:** Für die Umsetzung der Datenbank ist eine geeignete Form der Private Public Partnership in Betracht zu ziehen, welche den staatlichen Stellen die Kontrolle über die staatlichen Aufgaben belässt und nicht

wettbewerbsverzerrend wirkt, dabei aber eine möglichst breite Nutzung der erfassten Daten unterstützt.

Ein passender institutioneller Rahmen für die Umsetzung der Verkehrssignal-Datenbank ist vorhanden. Die bestehenden rechtlichen Grundlagen genügen aber noch kaum, um eine konsequente Nachführung der Daten zu garantieren.

**Empfehlung:** Die Verkehrssignal-Applikation im Rahmen des Projektes MISTRA ist mit hoher Priorität zu realisieren.

**Empfehlung:** Die für die Signalisation zuständigen Strassenbehörden bei Bund, Kantonen und Gemeinden sind in den Nachführungsprozess so einzubinden, dass eine konsequente Aktualisierung der Daten garantiert werden kann.

**Empfehlung:** Die Schaffung geeigneter rechtlicher Grundlagen zur langfristigen Sicherstellung der benötigten Datenqualität für Anwendungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ist zu prüfen.

Die bestehenden Datenmodelle für Signalisationsdaten sind ungenügend.

**Empfehlung:** Die Umsetzungsarbeiten für die Verkehrssignal-Datenbank sind auf das in dieser Forschungsarbeit entwickelte Datenmodell zu basieren, wobei dieses Datenmodell weiter zu verifizieren und zu verfeinern ist.

Die Abstimmung der Signalisationsdaten mit dem benachbarten Ausland ist wichtig, um die grenzüberschreitende Verfügbarkeit und Interoperabilität von auf diesen Daten basierenden Anwendungen in den Fahrzeugen zu garantieren.

**Empfehlung:** Die Resultate dieser Forschungsarbeit bezüglich Datenmodells sind in die Arbeiten zur Erweiterung der bestehenden GDF-Norm im Rahmen von ISO TC204 einzuspeisen. Falls auf internationaler Ebene in diesem Bereich keine genügende Normierung möglich ist, ist eine Schweizer Norm zu entwickeln, welche mit der vorhandenen internationalen Normierung so weit wie möglich kompatibel ist.

## 8 Glossar

ASTAG	Schweizerischer Nutzfahrzeugverband
ASTRA	Bundesamt für Strassen
CEN	Comité Européen de Normalisation
DGPS	Differenzielles GPS
EK	Expertenkommission
EU	Europäische Union
GDF	Geographic Data File
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System, Lokalisierung
INTERLIS	Beschreibungs- und Transfermechanismus für Geodaten
ISO	International Organization for Standardization
its	Intelligent Transport Systems
KOGIS	Koordinationsstelle GIS beim Bund
LSA	Lichtsignalanlage
MISTRA	Management Informationssystem Strasse und Strassenverkehr
NextMAP	(EU-Forschungsprojekt)
NIAM	Nijssens Information Analysis Method
OCR	Optical Character Recognition
POI	Point of interest: interessanter Ort, z.B. Hotel, Sehenswürdigkeit, Tankstelle
PPP	Private Public Partnership
RBBS	Räumliches Basisbezugssystem
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SN	Schweizer Norm
SSV	Schweizerische Signalisationsverordnung
STRADA-DB	Schweizerische Strassen-Datenbank
SVG	Strassenverkehrsgesetz
SVT	Strassenverkehrstelematik
TC	Technical Committee
TCS	Touring Club Schweiz
Ug Log	Untergruppe Logistik
UML	Unified Modelling Language
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VESIPO	Verkehrssicherheitspolitik (des Bundes)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WGS84	World Geodetic System 1984
XGDF	eXtended GDF



## 9 Literaturverzeichnis

1. Schweizerische Eidgenossenschaft: Strassenverkehrsgesetz (SVG) vom 19. Dezember 1958. SR 741.01
2. Schweizerische Eidgenossenschaft: Signalisationsverordnung (SSV) vom 5. September 1979. SR 741.21
3. Koch R., Marschal C., Rosenthaler Ch., Konnen J., Mühlethaler F.: Architektur und Zeitaspekte von SVT-Daten. Schlussbericht zum Forschungsauftrag VSS 1999/261, Bundesamt für Strassen, Dezember 2005.
4. Mühlethaler, F., Matthews W.: Elektronische Verkehrssignale – Voruntersuchung, VSS 1999/306, 2003
5. van Essen, R.; Hiestermann V.: “X-GDF” — THE ISO MODEL OF GEOGRAPHIC INFORMATION FOR ITS, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission IV - Geo-databases and Digital Mapping, 2004-2008, Paper for ISPRS Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure, XXXVI(4/W6), Oct.14-16, 2005 Hangzhou,China  
[http://www.commission4.isprs.org/workshop\\_hangzhou/papers/59-64%20Rob%20Van%20Essen-A096.pdf](http://www.commission4.isprs.org/workshop_hangzhou/papers/59-64%20Rob%20Van%20Essen-A096.pdf)
6. International Standardization Organization (ISO): Intelligent transport systems — Geographic Data Files (GDF) — Overall data specification, ISO 14825:2004(E), 2004
7. Hügli H., Bur A.: Short Traffic Sign Recognition Survey. Technical report, Université de Neuchâtel, IMT, 2007
8. Bur A.: Traffic signs recognition experiments using the visual attention model. Technical report, Université de Neuchâtel, IMT, 2007
9. S. Escalera et. al.: Traffic sign classification using error correcting techniques. VISAPP 2007 – International Conference on Computer Vision Theory and Applications.
10. X. Baro, J. Vitra: Fast traffic sign detection on greyscale images. Recent Advances in Artificial Intelligence Research and Development, IOS Press, Amsterdam, 2004.
11. W. Benesova et. al.: A mobile system for vision based road sign inventory. Proc. 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2007)
12. Siemens VDO, Traffic sign recognition.  
[http://www.siemensvdo.com/products\\_solutions/cars/propilot/](http://www.siemensvdo.com/products_solutions/cars/propilot/)
13. Kelvin C.P. Wang, Weiguo Gong, Zhiqiong Hou: Automated Inventory and Analysis of Highway Assets. Final report, MBTC 2065 Project; March 13, 2007. URL:  
<[www.mackblackwell.org/web/research/ALL\\_RESEARCH\\_PROJECTS/2000s/2065-wang/MBTC%202065.doc](http://www.mackblackwell.org/web/research/ALL_RESEARCH_PROJECTS/2000s/2065-wang/MBTC%202065.doc)>
14. Moutarde F., Bargeton A., Herbin A., Chanussot L.: Robust on-vehicle real-time visual detection of American and European speed limit signs, with a modular Traffic Signs Recognition system. Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE, 13-15 June 2007 Pages1122 – 1126
15. Object Management Group: Unified Modelling Language: Superstructure. Version 2.1.1, Februar 2005.

16. Object Management Group: Unified Modelling Language: Infrastructure.  
Version 2.1.1, Februar 2005.