



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket Nutzensteigerung für Anwender des SIS: EP5: Raumbezug mit Streifenreferenzierung

**Paquet de recherche Augmentation des bénéfices SIR:
EP5: Référencement spatial avec les voies de circulation**

**Research package Higher benefit of RIS: EP5: Lane based
spatial referencing**

BISconsult GmbH
Emile Bernard

Infrastructure Management Consultants GmbH
Dr. Rade Hajdin

**Forschungsprojekt VSS 2011/715 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

August 2018

1637

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

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

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

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

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

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

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

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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket Nutzensteigerung für Anwender des SIS: EP5: Raumbezug mit Streifenreferenzierung

**Paquet de recherche Augmentation des bénéfices SIR:
EP5: Référencement spatial avec les voies de circulation**

**Research package Higher benefit of RIS: EP5: Lane based
spatial referencing**

BISconsult GmbH
Emile Bernard

Infrastructure Management Consultants GmbH
Dr. Rade Hajdin

**Forschungsprojekt VSS 2011/715 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

August 2018

1637

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Emile Bernard, Msc. Bauingenieur ETH-Z, Informatiker Universität Bern

Mitglieder

Rade Hajdin, Dr. sc. ETH-Z, dipl. Ing. Bauingenieur TU Belgrad

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Bau- und Geotechnik (Erhaltung)

Begleitkommission

Präsident

Jean-Pierre Bolli, Techdata SA, Lausanne

Mitglieder

Luzia Seiler, ASTRA, Abt. Strassennetze, Standards und Sicherheit der Infrastruktur

Rainer Koch, Rosenthaler & Partner AG, Muttenz

Dirk Goebbels, Gruner Wepf AG, Zürich

Urs Bachmann, Kanton Bern, BVE-TBA_DLZ, Bern

Martin Probst, bbp geomatik ag, Gümligen

Jürg Bodenmann, vico group, Chur

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	9
	Summary	11
1	Einleitung	13
1.1	Motivation	13
1.2	Grundlage	13
1.2.1	Forschungspaket Nutzensteigerung von SIS	13
1.2.2	Pflichtenheft	15
1.3	Struktur des Berichts	15
1.4	Begriffe und Abkürzungen	15
1.5	Räumliches Basisbezugssystem RBBS	16
2	Zielsetzungen	17
3	Situationsanalyse	19
3.1	Kontakte mit Experten	19
3.1.1	Online-Umfrage	19
3.1.2	Gespräche mit den Experten	20
3.2	Stand Normierung, Forschung und Entwicklung	21
3.2.1	ISO TC 211	21
3.2.2	ISO TC 204	21
3.2.3	EuroRoadS & INSPIRE	23
3.2.4	ADASIS	23
3.2.5	TLM Topografisches Landschaftsmodell	23
3.2.6	Verschiedene Fachbeiträge	26
4	Varianten Streifenreferenzierung	31
4.1	Modellkreuzung	31
4.2	Untersuchte Varianten	31
4.2.1	Überblick	32
4.2.2	Variante 1: SN 640 942	33
4.2.3	Variante 2: FA Trasse	34
4.2.4	Variante 3: Streifenachsen	35
4.2.5	Variante 4: Streifenachsen + Kreuzungsflächen 1	36
4.2.6	Variante 5: Streifenachsen + Kreuzungsflächen 2	37
4.2.7	Varianten 3 bis 5: Topologische Aspekte	38
4.3	Gegenüberstellung der Varianten	39
5	Modellbeschreibung	41
5.1	Verwendete Notationen	41
5.2	Beschreibung der Klassen	41
5.2.1	Streifenmodell mit Streifenkonnektivität	41
5.2.2	Streifenmodell mit Knotenkonnektivität	43
5.2.3	Zeitabhängige Verkehrsführung	44
5.2.4	Anbindung Fachdaten	47
5.3	Temporalisierung	47
6	Prototyp	49
6.1	Anwendungsfälle	49
6.2	Gebiet	49

6.2.1	Grundlagedaten	50
6.2.2	Details	52
6.3	Systemarchitektur	54
6.3.1	Softwarearchitektur	54
6.3.2	Grafisches User Interface GUI.....	54
6.4	Anwendung	54
6.4.1	Flächenberechnung (Infrastruktursicht)	54
6.4.2	Pfadberechnung (Verkehrssicht)	55
6.4.3	Fahrsimulation (Verkehrssicht)	55
6.5	Erfahrungen	55
6.5.1	Datenerfassung.....	55
6.5.2	Qualität der Basisdaten.....	56
7	Auswirkungen auf SN Normen	57
7.1	SN 640 91x Strasseninformationssystem	57
7.2	SN 671 941 Strassenverkehrstelematik	58
8	Umsetzung in MISTRA und VM-CH.....	59
9	Normenbausteine.....	61
9.1	Allgemeines	61
9.2	Begriffe.....	61
9.3	Modell.....	61
9.4	Auswahllisten	62
9.5	Empfehlungen zur Datenerfassung	62
	Anhänge.....	63
	Glossar.....	71
	Literaturverzeichnis.....	73
	Projektabschluss	75
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	79

Zusammenfassung

Mit der zunehmenden Automatisierung im Verkehrswesen und den erhöhten Anforderungen an die Qualität von Strassendaten steigt das Bedürfnis den Raumbezug von Strassendaten von Strassenachsen auf Verkehrsstreifen zu verfeinern. Starke Treiber dieser Tendenz sind das autonome Fahren, die Verkehrsnavigation, das Verkehrsmanagement, die Verkehrsmodellierung und –simulation. Doch auch im Bereich Strasseninfrastruktur fallen streifenbezogene Daten an.

Das Ziel dieses Projekts ist, eine Erweiterung des Modells für den Raumbezug von Strassendaten zu erarbeiten, welches es erlaubt Fachinformationen auf die Lage von Verkehrsstreifen anstatt wie bisher "nur" auf die Lage der Strassenachse zu beziehen. Dies erlaubt eine präzisere Lagebeschreibung von Fachinformationen, welche primär streifenbezogen sind, wie beispielsweise Nutzung, Zustand des Deckbelags, Signalisation, Abbiegerestriktionen, Verkehr und Unfallgeschehen.

Mit dem Forschungsprojekt werden verschiedene Zielgruppen (Sichten) angesprochen:

- Infrastruktursicht** → Bau, Erhaltung, Betrieb
- Verkehrssicht** → Verkehrsmanagement, -modellierung, -navigation, Sicherheit, autonomes Fahren

Die Streifenreferenzierung ist aktuell ein wichtiges Thema internationaler Normierungen. Das ISO Technical Committee 204 befasst sich mit Standardisierungen im Bereich Verkehr und intelligenten Transportsystemen ITS. Mit der ISO 17572 ist eine Normenreihe mit dem Thema «Location referencing for geographic databases» teilweise fertiggestellt oder noch in Arbeit, mit folgenden Teilen:

- ISO 17572-1:2015 General requirements and conceptual model
- ISO 17572-2:2015 Pre-coded location references (pre-coded profile)
- ISO 17572-3:2015 Dynamic location references (dynamic profile) AGORA-C
- ISO 17572-4: Lane level location referencing → noch in Arbeit

Gegenstand dieser Normenreihe ist vor allem die effiziente und lagegenaue Positionsbestimmung von Fahrzeugen auf Ebene Streifen und der bidirektionale Austausch von Daten zwischen Fahrzeugen und zentralen Navigationsdatenbanken von Service-Anbietern. Die Ergebnisse dieser Normen und Forschungsbeiträge werden in den Konzepten des vorliegenden Forschungsprojekts berücksichtigt.

Im Rahmen des Projekts wurde bei 17 Stellen bei Bund, Kantonen und Städten sowie bei Anbietern von Navigationsdaten eine umfassende Analyse des Ist-Zustands und der Anforderungen durchgeführt. Bei sechs Stellen werden bereits heute Streifendaten verwendet. Mangels existierender Standards ist die Art und Weise der Verwendung heute sehr heterogen. In keinem der untersuchten Fälle werden Streifen mit eigener Geometrie versehen.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden fünf Varianten für den Raumbezug mit Streifenreferenzierung ausgearbeitet. Diese Varianten gliedern sich grob in zwei Teile, nämlich den **Varianten ohne Streifengeometrie** sowie **Varianten mit Streifengeometrie**. Erstere sind heute bereits in verschiedenen Systemen, z.B. ASTRA Fachapplikation Trasse, im Einsatz und basieren auf einer Konvention mit Streifennummern links und rechts der Strassenachse. Die Varianten mit Streifengeometrie verwenden Streifenachsen quasi als neue, sekundäre Bezugsebene, welche dem RBBS überlagert wird. Die Variante 5 stellt die Maximalvariante dar mit Streifenachsen, Kreuzungsflächen und virtuellen Streifenachsen innerhalb von Kreuzungen.

Die Varianten mit Streifenachsgeometrie wurden modelliert und als UML Klassendiagrammen dokumentiert. Die Klassen Streifenachse und Streifenpunkt bilden die Grundelemente des Raumbezugs. Der Streifenpunkt ist mit dem RBBS verknüpft und stellt die Integrität

zwischen RBBS und der Streifenreferenzierung sicher. Die Topologie bei Streifen ist dual. Sie basiert in Längsrichtung auf der Konnektivität vom aktuellen Streifen zu Folgestreifen über Knoten sowie in Querrichtung über die auf der Strassenoberfläche markierten Trennlinien zwischen den Streifen. Die Modellierung wurde in einem zweiten Schritt erweitert mit dem Ziel auch zeitabhängige Verkehrsführungen wie die Nutzung von Pannestreifen in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens berücksichtigen zu können. Weiter wird am Beispiel des Oberflächenindex I1 des Strassenzustands gezeigt, wie das Modell für die Anbindung von Fachdaten erweitert werden kann.

Für die Feststellung der Machbarkeit wurde ein Prototyp als Web-Applikation erstellt. Dieser Prototyp ist für alle Interessenten zugänglich. Für die Infrastruktursicht wurde eine einfache Flächenberechnung, entweder für die gesamte Strasse oder für einen bis mehreren Streifen entlang einer Strassenachse, umgesetzt. Für die Verkehrssicht wurde eine Pfadberechnung zwischen zwei Positionen im Streifennetz mit einer Fahrsimulation entwickelt. Als Gebiet für den Prototyp wurde ein Ausschnitt im Kanton Genf im Bereich der N1A Bardonnex-Vengeron südlich des Flughafens gewählt. Die Daten umfassen 15 km National-, Kantons- und Gemeindestrassen mit ca. 90 km Fahr- und Nebenstreifen. Der Prototyp hat viele Erkenntnisse hervorgebracht, welche zur Optimierung der Modellbeschreibung beigetragen haben. Er hat gezeigt, dass die vorgeschlagene Lösung die Erwartungen an Streifenreferenzierung erfüllen kann.

Aufgrund der Erkenntnisse des Projekts empfiehlt das Projektteam die bestehenden SN Normen 640 911 bis 640 914 zu Raumbezug und Topologie sowie die Norm SN 671 941 zur Strassenverkehrstelematik zu erweitern und/oder neue Normen zu Raumbezug mit Streifenreferenzierung zu erstellen.

Die heutigen MISTRA Applikationen und andere Fachapplikationen sowie VM-CH müssten für eine streifenorientierte Referenzierung von Fachinformationen erweitert werden. Sobald ein Standard für Streifendaten verfügbar ist, wird empfohlen, diese Daten von externen Anbietern in das Basissystem zu integrieren, damit sie den Fachapplikationen zur Verfügung gestellt werden können. Wie die Abklärungen im Projekt gezeigt haben, könnten Streifendaten von privaten Anbietern bereits in einigen Jahren verfügbar sein.

Résumé

Avec l'automatisation croissante dans le domaine des transports et avec les exigences accrues en matière de qualité des données routières, la nécessité de renforcer le repérage spatial de l'axe de la route par un repérage sur le niveau des voies est devenu de plus en plus importante. Les moteurs derrière cette tendance sont la conduite autonome, la navigation, la gestion du trafic, la modélisation du trafic et la simulation. Cependant, les données relatives aux voies sont également largement utilisées dans le domaine de l'infrastructure routière.

Le but de ce projet est de développer une extension du modèle de repérage spatial des données routières, qui permet une référence au niveau de voie et «non seulement» au niveau de la route. Cela permet une description plus précise de la localisation des données routières, qui sont principalement liées aux voies, telles que l'utilisation, l'état de la route, la signalisation, les régulations du trafic, le volume du trafic et les accidents.

Le projet de recherche s'adresse à différents groupes cibles (points de vue):

Vue d'infrastructure → construction, maintenance, exploitation

Vue du trafic → gestion du trafic, modélisation, navigation, sécurité, conduite autonome

Le repérage au niveau des voies est actuellement un sujet important de normalisation internationale. Le comité technique de l'ISO 204 traite de la normalisation dans le domaine des systèmes de transport intelligents ITS. Avec ISO 17572, une série de normes portant sur le «repérage spatiale pour des bases de données géographiques» est partiellement achevée ou en cours, avec les parties suivantes:

- ISO 17572-1:2015 General requirements and conceptual model
- ISO 17572-2:2015 Pre-coded location references (precoded profile)
- ISO 17572-3:2015 Dynamic location references (dynamic profile) AGORA-C
- ISO 17572-4: Lane level location referencing → en cours de préparation

L'objet de cette série de normes est, avant tout, la détermination efficace et précise de la position des véhicules au niveau des voies et l'échange bidirectionnel de données entre les véhicules et les bases de données centrales de navigation des fournisseurs de services. Les résultats de ces normes et contributions à la recherche sont pris en compte dans les concepts de ce projet de recherche.

L'équipe du projet a réalisé une analyse complète de l'état et des besoins de 17 agences fédérales, cantonales et municipales, ainsi qu'une analyse des données provenant des fournisseurs de données de navigation. Dans six des organisations étudiées, les données sur les voies sont déjà utilisées aujourd'hui, mais en raison de l'absence de normes, le mode d'utilisation est très hétérogène. Dans aucun des cas examinés, les voies comprennent une géométrie spécifique à la voie.

Sur la base de ces résultats, cinq variantes de repérage spatial avec référence au niveau des voies ont été élaborées. Ces variantes peuvent être grossièrement divisées en deux parties, à savoir les **variantes sans géométrie de voie** et les **variantes avec géométrie de voie**. Les premiers sont déjà utilisés dans certaines bases de données routières d'aujourd'hui, comme dans l'application métier "Trassee" de l'OFFROU, avec une numérotation spécifique des voies à gauche et à droite de l'axe routier. Les variantes avec géométrie de voie utilisent des axes de voie comme un système de repérage secondaire, qui est superposé au SRB. La variante 5 représente la variante maximale avec des axes de voie, des zones de jonction et des axes de voie virtuelle à l'intérieur des zones de jonction.

Les variantes avec géométrie de voie ont été modélisées et documentées sous forme de diagrammes de classes UML. L'axe de la voie et le point de voie forment les éléments de base du repérage spatiale. Le point de voie est lié au SRB assurant l'intégrité entre le SRB et le repérage spatial au niveau de la voie. La topologie pour les voies est double. Elle est basée dans le sens longitudinal sur la connectivité de la voie actuelle aux voies suivantes

par des nœuds et dans le sens transversal sur les lignes de séparation entre les voies telles qu'indiquées sur la surface de la route. Ensuite, le modèle a été étendu pour prendre en compte la gestion du trafic en fonction du temps, telle que l'utilisation de voies d'urgence en fonction du volume de trafic. De plus, l'exemple de l'indice I1 d'état de la route montre comment les données métier peuvent être modélisées et reliées aux voies.

Pour déterminer la faisabilité, un prototype a été créé en tant qu'application Web. Ce prototype est accessible à toutes les parties intéressées. Pour la vue d'infrastructure, un simple calcul de surface, soit pour l'ensemble de la rue, soit pour des voies spécifiques le long d'un axe routier, a été réalisé. Pour la perspective du trafic, un calcul de trajectoire entre deux positions dans le réseau de voies a été développé, enrichi d'une animation de conduite d'un véhicule. Une zone dans le canton de Genève avec une section de l'auto-route N1A Bardonnex-Vengeron au sud de l'aéroport a été choisie comme zone pour le prototype. Les données comprennent 15 km de routes nationales, cantonales et municipales avec environ 90 km de voies principales et secondaires. Le prototype a donné de nombreux résultats qui ont contribué à l'optimisation de la description du modèle. Il a montré que la solution proposée pouvait répondre aux attentes de repérage spatial de voie.

Sur la base des résultats du projet, l'équipe de projet recommande d'étendre les normes SN existantes 640 911 à 640 914 sur le repérage spatial et la topologie ainsi que la norme SN 671 941 sur la télématique routière et / ou de créer de nouvelles normes de repérage spatiale avec référence de voie.

Les applications actuelles MISTRA et autres applications métiers ainsi que VM-CH peuvent être étendues à moyen terme. Une fois qu'un repérage spatial de voie standardisé est disponible, les données de voies de fournisseurs externes peuvent être intégrées dans le système de base et mises à la disposition des applications métiers ainsi que de VM-CH. Comme l'ont montré les enquêtes menées dans le cadre du projet, les données sur les données de voie provenant de fournisseurs privés seront disponibles dans quelques années.

Summary

With the increasing automation in the field of transportation and the increased demands with regard to the quality of road data, the need to enhance spatial reference of road data from axis to lane referencing has become more importance. Strong drivers of this trend are autonomous driving, traffic navigation, traffic management, traffic modelling and simulation. However, lane-related data is also widely used in the area of road infrastructure.

The aim of this project is to develop an extension of the model for spatial reference of road data, which allows for lane level instead of "just" road level location referencing. This allows a more precise location description of road data, which are primarily lane-related, such as usage, road condition, signaling, turn restrictions, traffic volume and accidents.

The research project is addressing different target groups (views):

Infrastructure view → construction, maintenance, operation

Traffic View → traffic management, modelling, navigation, security, autonomous driving

Lane level referencing is currently an important topic of international standardization. The ISO Technical Committee 204 deals with standardization in the area of traffic and intelligent transport systems ITS. With the ISO 17572, a series of standards with the topic "Location referencing for geographic databases" is partially completed or still in progress, with the following parts:

- ISO 17572-1:2015 General requirements and conceptual model
- ISO 17572-2:2015 Pre-coded location references (pre-coded profile)
- ISO 17572-3:2015 Dynamic location references (dynamic profile) AGORA-C
- ISO 17572-4: Lane level location referencing → still in progress

The subject of this series of standards is, above all, the efficient and accurate determination of the position of vehicles at lane level and the bidirectional exchange of data between vehicles and central navigation databases of service providers. The results of these standards and research contributions are considered in the concepts of this research project.

The project team carried out a comprehensive analysis of the status and requirements of 17 federal, cantonal and city agencies as well as an analysis of data from navigation data providers. Within six of the investigated organizations lane data is already in use today, however due to the lack of standards, the way of use is very heterogeneous. In none of the cases examined, lanes include lane specific geometry.

Based on these findings, five variants of spatial reference with lane level referencing were elaborated. These variants can be roughly divided into two parts, namely the variants **without lane geometry** and **variants with lane geometry**. The former are already in use in some of today's road databases like in ASTRA domain application "Trassee", with specific lane numbering to the left and right side of the road axis. The variants with lane geometry use lane axes as a kind of new, secondary reference system, which is superimposed on the RBBS. Variant 5 represents the maximum variant with lane axes, junction areas and virtual lane axes inside of the junction areas.

The variants with lane geometry were modelled and documented as UML class diagrams. The classes lane axis and lane point being the basic elements of the spatial reference. The lane point is linked to the RBBS ensuring the integrity between RBBS and lane level referencing. The topology for lanes is dual. It is based in longitudinal direction on the connectivity of the current lane to follower lanes via nodes and in the transverse direction on the divider lines between the lanes as marked on the road surface. In a second step the model was extended for taking into account time-dependent traffic management such as the use of emergency lanes as a function of traffic volume. Furthermore, the example of the road condition index I1 shows how domain data can modelled and linked to lanes.

To determine the feasibility, a prototype was created as a web application. This prototype is accessible to all interested parties. For the infrastructure view, a simple surface calculation, either for the entire street or for specific lanes along a road axis, was implemented. For the traffic perspective, a path calculation between two positions in the lane network was developed, enhanced with a vehicle driving animation. An area in the canton of Geneva with a section of the highway N1A Bardonnex-Vengeron south of the airport was chosen as the area for the prototype. The data comprises 15 km of national, cantonal and municipal roads with approx. 90 km of main and secondary lanes. The prototype has yielded many findings that have contributed to the optimization of the model description. It showed that the proposed solution could meet the expectations of lane referencing.

Based on the findings of the project the project team recommends to extend the existing SN standards 640 911 to 640 914 about spatial reference and topology as well as the standard SN 671 941 on road telematics and / or to create new standards on spatial reference with lane referencing.

The current applications MISTRA, other domain applications as well as VM-CH may be extended in the medium term. Once a lane referencing standard is available, lane data from external vendors could be integrated into the base system and made available to the domain applications as well as to VM-CH. As the investigations in the project have shown, lane data from private vendors will be available in a few years.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Bedarf von Strassendaten auf Streifenebene nimmt stark zu. Haupttreiber sind die Bedürfnisse für **autonomes Fahren**. Dieses stützt sich bisher vor allem auf Sensortechnik wie Kameras, Laser Scanner und Radar Sensoren ab, um damit den Verlauf der Streifen fest zu stellen und Hindernisse zu erkennen. Die Sichtweite der Sensortechnik ist in Verkehrsrichtung auf maximal 300 Meter beschränkt und durch Gebäude und Fahrzeuge teilweise verdeckt. In Querrichtung an Kreuzungen ist die Sicht sehr stark reduziert oder nicht möglich. Um den sog. «Elektronischen Horizont» zu erweitern braucht es die Unterstützung durch eine genaue Kartengrundlage, welche den Verlauf der Strasse nicht nur durch ihre zentrale Strassenachse, sondern für jeden einzelnen Streifen, inkl. der Information über die Trennlinien zwischen den Streifen enthält. Ein deutsches Konsortium bestehend aus den Automobilherstellern Audi, BMW, und Daimler mit Beteiligungen verschiedener IT-Firmen (u.a. Intel) ist aktiv geworden und hat den Navigationsdatenhersteller HERE übernommen mit dem Ziel einer verbesserten, dynamischen Kartengrundlage für das autonome Fahren [32] zu schaffen. Andere Hersteller von Navigationsdaten, Automobilhersteller und -zulieferer arbeiten ebenfalls intensiv an Technologien und Daten zur Unterstützung des autonomen Fahrens.

Ein weiterer wichtiger Treiber für Streifendaten sind Anforderungen hinsichtlich **Sicherheit zur Vermeidung von Kollisionen**. Auch daran sind vor allem die Automobilhersteller und damit letztlich auch der Konsument interessiert.

Mittelfristig wird der Bedarf auch aus der Sicht der Verkehrsmodellierung und -simulation vor allem für Mikro-Verkehrsmodelle zunehmen, welche bis heute primär auf einfache Knoten-Kanten-Modelle ohne Unterscheidung zwischen Fahrstreifen beruht.

Schliesslich werden auch Bereiche wie Verkehrsmanagement, Verkehrsmonitoring und Strassenerhaltung von der Verfügbarkeit von Streifendaten mit genauer Streifenachsgeometrie profitieren können.

Es kann davon ausgegangen werden, dass mittelfristig Streifendaten mit hoher Genauigkeit von den Herstellern von Navigationsdaten (HERE, TomTom), von GPS-gestützter Erfassung des Strassenzustands, von Videoaufnahmen sowie aus der Auswertung von Smartphone- und Fahrzeugdaten zur Verfügung stehen und auch für andere Zwecke nutzbar werden.

Mit dem Forschungsprojekt sollen verschiedene Zielgruppen / Sichten bedient werden.

Infrastruktursicht	→	Bau, Erhaltung, Betrieb
Verkehrssicht	→	Verkehrsmanagement, -modellierung, -navigation, Sicherheit, autonomes Fahren

Die Auswirkungen der Streifenreferenzierung auf bestehende Strasseninformationssysteme (SIS) und Anwendungen gilt es zu prüfen.

1.2 Grundlage

1.2.1 Forschungspaket Nutzensteigerung von SIS

Das vorliegende Forschungsprojekt ist Teil des Forschungspakets «Nutzensteigerung für die Anwender des Strasseninformationssystems SIS» (siehe [2]). Das Forschungspaket soll Grundlagen für die Verbesserung der Effektivität durch Erhöhung der Qualität der auf dem Strasseninformationssystem abgestützten Entscheidungen und eine

Verbesserung der Effizienz durch zeitgerechtere und einfachere Erarbeitung der Entscheidungsgrundlagen bereitstellen. Es besteht aus den Teilprojekten:

- VSS 2011/711 Zeitaspekte und Historisierung
- VSS 2011/712 Bezugssysteme in Agglomerationen
- VSS 2011/713 Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen
- VSS 2011/714 Bedingungen für Semantik erhaltende Transformationen
- VSS 2011/715 Raumbezug mit Streifenreferenzierung
- VSS 2011/716 Schnittstellen aus den Auswertungssystemen

Die Positionierung der Teilprojekte in Bezug auf der konzeptionellen Systemarchitektur von SIS ist aus der folgenden Grafik ersichtlich:

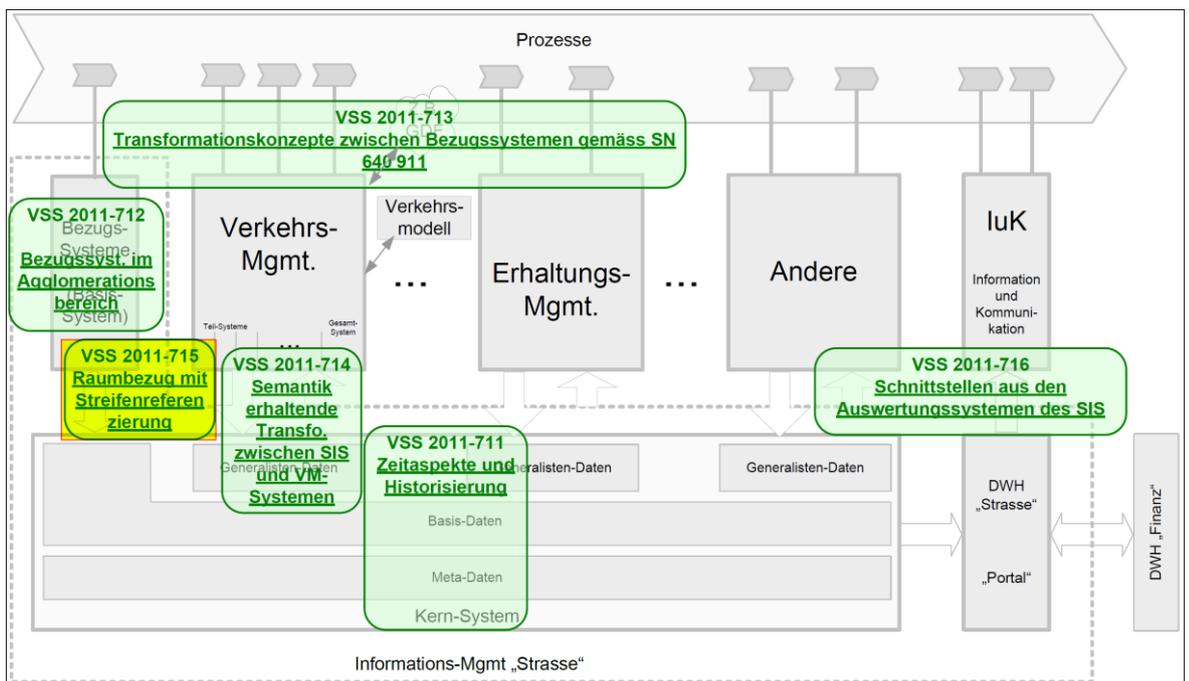


Abb 1 Eingliederung Teilprojekte in die konzeptionelle Systemarchitektur von SIS

Die Teilprojekte VSS 2011/711 [5], 2011/713 [6] und 2011/716 [7] sind abgeschlossen, die Schlussberichte stehen auf der [VSS-Mobility-Plattform](#) zum Download zur Verfügung.

Die Anforderungen an das vorliegende Teilprojekt 2011/715 «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» sind im ARAMIS-Formular Nr. 2 [1], im Pflichtenheft [3] und in den organisatorischen Bedingungen [4] beschrieben. Die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu den 5 anderen Teilprojekten sind in der nachfolgenden Tabelle kurz beschrieben:

Tab 1 Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu den anderen Teilprojekten

2011/711	Zeitaspekte und Historisierung gelten generell für alle Daten in SIS und somit auch für Streifendaten. In Kap. 5.3 werden die Auswirkungen näher untersucht.
2011/712	Streifendaten bauen auf dem räumlichen Basisbezugssystem auf, siehe hierzu Kapitel 1.5. Das Teilprojekt 2011/715 bildet die Grundlage für die Erweiterung im Agglomerationsbereich mit oft komplexen Streifenverläufen, Kreuzungen und Plätzen. Es ist unabdingbar, dass hier eine Übereinstimmung mit dem vorliegenden Teilprojekt vorhanden sein muss. Zu diesem Teilprojekt besteht eine direkte Abhängigkeit, die Ergebnisse müssen gegenseitig kompatibel sein.
2011/713	Transformationskonzepte gelten auch für Streifendaten, insbesondere bei der Transformation von topologischen Bezügen von und zu linearen und planaren Bezügen, z.B. zu Modellen der Verkehrssimulation.

2011/714	Semantik erhaltende Transformationen gelten, wenn es um den Datenaustausch mit Um- und Drittsystemen geht, ebenfalls für alle Daten in SIS. Beispiele sind der Raumbezug von Streifenachsen oder die Umwandlung von Streifennummern, welche sehr unterschiedlich gehandhabt werden.
2011/716	Dieses Teilprojekt zeigt wie Daten aus verschiedenen SIS Auswertungssystemen zugeführt werden und umfasst auch Streifenaxen.

1.2.2 Pflichtenheft

Basis für das vorliegende Projekt sind:

- Das technische Pflichtenheft gemäss [3]
- Die organisatorischen Bedingungen [4]

Auf diese Dokumente wird an verschiedenen Stellen in diesem Bericht Bezug genommen.

1.3 Struktur des Berichts

Im ersten Teil werden die Grundlagen, die Begriffe und Abkürzungen, die verwendeten Notationen und die Rahmenbedingungen beschrieben.

Kapitel 2 Zielsetzungen listet die Zielsetzungen des Projekts aus dem ARAMIS-Formular 2 [1] und dem Pflichtenheft [3] auf.

Die aktuelle Ausgangslage bei verschiedenen Behörden, Ämtern, Organisationen und Lieferanten wird im **Kapitel 3 Situationsanalyse** des Berichts dokumentiert. Hierzu gehören auch die relevanten internationalen Normen und Forschungsprojekte.

In **Kapitel 4 Varianten Streifenreferenzierung** werden mögliche Varianten der Streifenreferenzierung auf der Grundlage einer Modellkreuzung illustriert und beschrieben.

Kapitel 5 Modellbeschreibung dokumentiert das Klassenmodell in mehreren Komplexitätsstufen und beschreibt Aspekte der Temporalisierung.

Die Ergebnisse der vorgeschlagenen Streifenreferenzierung wurden anschliessend mittels eines Prototyps auf die Machbarkeit hin geprüft, dessen Ergebnisse werden in **Kapitel 6 Prototyp** beschrieben.

Eine weitere Zielsetzung ist die Auswirkungen auf die bestehenden SN Normen zu untersuchen sowie Empfehlungen für die Umsetzung in MISTRA und VM-CH abzugeben. Diese Themen werden in **Kapitel 7 Auswirkungen** und **8 Umsetzung in MISTRA und VM-CH** beschrieben.

Kapitel 9 Normenbausteine schliesst den Bericht ab.

1.4 Begriffe und Abkürzungen

Die Begriffe und Abkürzungen sind im Anhang Glossar aufgelistet und erläutert.

1.5 Räumliches Basisbezugssystem RBBS

Das räumliche Basisbezugssystem RBBS, dokumentiert in den Normen SN 640 911 [8], SN 640-911-1 [9] und SN 640 912 [10], bildet die Grundlage für den Raumbezug mit Streifenreferenzierung. Streifen sind räumlich mit den zugrundeliegenden Achsen und Achssegmenten über die Bezugspunkte verbunden. Die Streifenreferenzierung bildet eine zusätzliche Bezugsebene für Daten, welche sich auf einzelne Streifen statt auf die gesamte Strassenachse beziehen. Beispiele für solche Daten sind deren Nutzung durch verschiedene Verkehrsträger, Verkehrsdaten, Strassenbelag, Signalisation.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die wesentlichen Elemente des RBBS, soweit dies für den Raumbezug Streifenreferenzierung relevant ist.

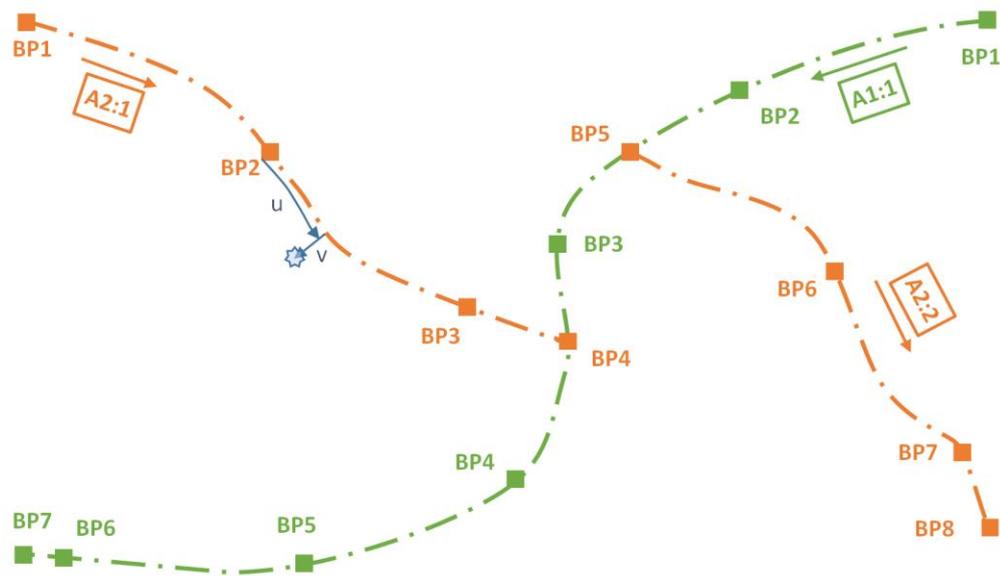


Abb 2 Räumliches Basisbezugssystem RBBS

Eine Achse (hier A1 und A2) besteht aus einem oder mehreren Achssegmenten mit demselben Strassenamen / -nummer. Ein Achssegment repräsentiert ein geometrisch zusammenhängendes Stück einer Strasse. Bei nicht richtungstrennten Strassen liegt die Achse in der Mitte der Fahrbahn. Bei richtungstrennten Strassen gibt es für jede Richtung eine separate Achse jeweils am linken Fahrbahnrand. Ein Achssegment wird im planaren System als Polylinie dargestellt.

Jedes Achssegment hat mindestens auf dem Anfangs- und Endpunkt eines Achssegments einen Bezugspunkt (z.B. hier bei Achssegment A2:1 die Bezugspunkte BP1 und BP4). Ein Achssegment hat in der Regel weitere Zwischen-Bezugspunkte. Die Abstände zwischen den Bezugspunkten betragen bei den Nationalstrassen ca. 1 km, bei den Kantonsstrassen ca. 200 m. Ein Bezugspunkt kann nur zu einer Achse gehören. Diese Zugehörigkeit wird informationstechnisch durch einen Fremdschlüssel, eine für die Achse eindeutige Bezeichnung modelliert. Ein Bezugspunkt hat als Attribut auch die Distanzangabe zum nächsten Bezugspunkt. Deshalb wird ein **Bezugspunkt auch Sektor** genannt. Ein Bezugspunkt wird im planaren System als Punkt dargestellt.

Ein Objekt im Strassenraum (in der Abbildung in blauer Farbe ein Punktobjekt z.B. Kandelaber) wird über den Fremdschlüssel zum vorangehenden Bezugspunkt und Angaben der Längsdistanz U und der Querabweichung V lokalisiert. Die Querabweichung V ist in Achsrichtung rechts positiv, links negativ. Linienförmige Objekte haben mindestens je für den Anfangs- und Endpunkt einen RBBS-Bezug, optional für weitere Zwischenpunkte.

2 Zielsetzungen

Das Ziel dieses Projekts ist es, eine Erweiterung des Konzepts für den Raumbezug von Strassendaten vorzuschlagen, welche es erlaubt Fachinformationen auf die Lage von Verkehrsstreifen anstatt wie bisher "nur" auf die Lage der Strassenachse zu beziehen. Dies erlaubt eine präzisere Lagebeschreibung von Fachinformationen, welche primär streifenbezogen sind, wie z.B. Verkehrsträger, Zustand des Deckbelags, Signalisation, Abbiegerestriktionen, Verkehrsmenge, Unfallgeschehen usw. Die Lage der Fachinformationen soll mit der Angabe des Streifens verfeinert werden können.

Die Detailziele aus dem Pflichtenheft sind:

- Untersuchung der spezifischen Anforderungen für den räumlichen und topologischen Raumbezug auf Ebene Streifen für das SIS und das Verkehrs- und Transportmanagement (VM).
- Untersuchung der Modelle für Streifenreferenzierung in den internationalen Normen (z.B. ISO-TC204).
- Vorschlag für die semantische und konzeptuelle Erweiterung der bestehenden räumlichen und topologischen Bezugssysteme im SIS und in VM.
- Bewertung der Auswirkungen auf die SN Normen für den räumlichen und topologischen Raumbezug.
- Vorschlag für die Umsetzung in MISTRA und VM-CH.

3 Situationsanalyse

3.1 Kontakte mit Experten

3.1.1 Online-Umfrage

Um den Status Quo und die Bedürfnisse bei der Verwendung von Streifendaten in Erfahrung zu bringen wurde Ende 2016 / Anfang 2017 eine Online-Umfrage durchgeführt mit dem Ziel die Ansprechpartner im Hinblick auf nachfolgende Einzelgespräche für das Thema Streifenreferenzierung zu sensibilisieren.

Die Umfrage wurde an 27 Stellen gesandt:

- ASTRA: MISTRA BS, FA Trasse, FA Kunstbauten und Tunnel, VM-CH, Verkehrssicherheit, VLZ Emmen
- Übrige Bund: Swisstopo, ARE Verkehrsmodellierung
- Kantone: Aargau, Bern, Basel-Stadt, Genf, Uri, Zürich
- Gemeinden: Pully
- Firmen: ESRI, GeoLogix, Gruner Wepf AG, Kontextplan, bbp geomatik ag (HERE Nav-Streets, TomTom MultiNet), iNovitas, Rosenthaler & Partner AG, Techdata AG, vico group, INSER SA

Dabei wurden folgende Fragen gestellt:

Tab 2 Fragebogen Online-Umfrage

- Verwenden Sie in Ihrem Fachbereich für die Lage der Strassendaten lineare Referenzierung?
 - Wir verwenden keinen räumlichen Bezug
 - Wir verwenden Landeskoordinaten
 - Wir verwenden das räumliche Basisbezugssystem RBBS gemäss SN 640'912
 - Wir verwenden die lineare Referenzierung von ESRI-ArcGIS
 - Andere ...
- Wie genau müssen Ihre Daten sein?
 - Genauer als 5 m
 - Genauer als 2 m
 - Genauer als 1 m
 - < ... m
- Gibt es in Ihrem Fachbereich Strassendaten, welche pro Fahrstreifen erhoben oder verarbeitet werden?
 - Ja
 - Nein
 - Unbekannt

Falls mit Ja beantwortet:

 - Welche Strassendaten aus Ihrem Fachbereich beziehen sich auf Fahrstreifen? Bitte listen Sie diese hier auf.
 - Wie werden die einzelnen Fahrstreifen bezeichnet?
 - Wie wird der Streifenbezug codiert und gespeichert?
 - Separate Achse pro Streifen
 - Strassenachse + Querabstand zur Mitte des Streifens
 - Strassenachse + Streifennummer von links nach rechts
 - Strassenachse + Streifennummer von rechts nach links
 - Weitere
 - Welche Verkehrsträger werden im Modell berücksichtigt?
 - Motorisierter Individualverkehr
 - Öffentliche Verkehrsmittel
 - Veloverkehr

-
- Fussgängerverkehr
 - Weitere
- Können Sie uns ausschliesslich für dieses Forschungsprojekt das Datenmodell sowie Musterdatensätze zur Verfügung stellen?
 - Ja
 - Nein
 - Zusätzliche Bemerkungen oder Anregungen:
-

17 von 27 angesprochene Stellen haben den Fragebogen beantwortet. Die Ergebnisse der Umfrage und der nachfolgenden Gespräche sind im nächsten Kapitel 3.1.2 zusammengefasst.

3.1.2 Gespräche mit den Experten

Auf der Basis der Online-Umfrage wurden insgesamt 12 Termine für Gespräche mit den Experten vereinbart. Zusammengefasst über die Ergebnisse der Online-Umfrage und der Gespräche verwenden folgende Stellen / Applikationen Streifen- und Fahrzeugdaten:

- ASTRA MISTRA BS: Im Basissystem sind keine Streifen- und Fahrzeugdaten enthalten. In der FA Verkehrsmonitoring wird der Verkehr pro Streifen und Fahrzeugklasse erfasst.
- ASTRA FA Trasse: Nutzungs- und Nebenstreifen für die Zuordnung von Fahrbahnnutzung, Fahrbahnbelag, Fahrbahnzustand und für Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Streifennummern werden in Verkehrsrichtung von rechts nach links nummeriert. Details siehe Anhang I.2 FA Trasse .
- ASTRA FA Kunstbauten und Tunnel: Streifen auf Brücken und in Tunneln.
- ASTRA VM-CH: Unterscheidung zwischen NS-Normalspur und ÜS-Überholspur, Streifen werden in Verkehrsrichtung von links nach rechts nummeriert.
- ARE Verkehrsmodelle: Pro Strecke wird ein Attribut über die Anzahl Streifen geführt. Eine Modellierung auf Stufe Streifen gibt es bisher nicht, kann auf Stufe Mikromodellierung (Kantone) von Interesse sein.
- Kanton Bern, TBA: Streifen werden bei richtungsgetrennten Strassen für die Zuordnung der Nutzung verwendet. Die Streifen werden in Digitalisierichtung von links nach rechts nummeriert.
- Kanton/Stadt Genf: Grafischer Kataster der Bodenbedeckung inkl. Signalisation und Markierung. Die einzelnen Fahrstreifen inkl. Trennlinien sind im Kataster ersichtlich. Eine Feature-Klasse «Streifen» z.B. als Flächenobjekt gibt es jedoch nicht.
- HERE NavStreets: Pro Strasse (Street) und Richtung ist die Anzahl Fahrstreifen als Attribut gespeichert. Streifenattribute zu Nutzung, Verkehrsrichtung, Beschränkungen, Trennlinien etc. werden in einer separaten Tabelle (Lane) geführt; ebenfalls die Konnektivität zwischen Streifen. Streifen werden in Digitalisierichtung von links nach rechts nummeriert.
- TomTom MultiNet: Pro Strasse (Road Element) ist die Anzahl Fahrstreifen als Attribut gespeichert. Streifeninformationen werden nur dort, wo für die Navigation erforderlich geführt. Hierzu gehören u.a. Verkehrsrichtung, LKW-Beschränkungen (Höhe, Breite, Gewicht), Trennlinien und Konnektivität. Streifen werden in Digitalisierichtung von rechts nach links nummeriert.

- iNovitas: Als Unternehmen für 3D-Videoaufnahmen hat iNovitas keine eigenen Daten, sondern macht Aufnahmen im Auftrag und übernimmt die Modelle ihrer Kunden. Strassen- und Streifenachsen können aus der Datenbank des Kunden in den Aufnahmen visualisiert werden.
- Von der Verkehrsleitzentrale VLZ Emmen ist keine Antwort eingegangen, sie verwendet ebenfalls streifenbezogenen Daten.

Mit Ausnahme von Kanton und Stadt Genf, welche Streifeninformationen implizit über die erfassten Trennlinien führen, werden Streifen nur attributiv geführt, ohne dedizierte Geometrie, z.B. in Form von Streifenachsen, Streifenflächen oder Begrenzungslinien.

3.2 Stand Normierung, Forschung und Entwicklung

3.2.1 ISO TC 211

Das ISO Technical Committee 211 befasst sich mit der Standardisierung im Bereich geografischer Informationen im Allgemeinen. Das TC 211 hat eine ganze Reihe von Standards herausgebracht, welche die Grundlage für die Modellierung, Codierung, Katalogisierung in geografischen Informationssystemen GIS bilden. Sie dienen unter anderem als Basis für fachspezifische Normierungen in Bereichen mit raumbezogenen Daten. Einen Überblick über die Tätigkeiten von TC 211 sowie über deren publizierten Normen gibt [16].

Die wichtigsten Normen sind:

ISO 19101:2002 Geographic information — Reference model

Die Norm beschreibt die Hauptklassen geografischer Daten auf einer hohen, allgemeinen Ebene mit den Datasets bestehend aus allgemeinen Klassen, Klassen raumbezogener Objekte und den Positionen raumbezogener Objekt sowie den Metadaten der Datasets.

ISO 19107:2003 Geographic information — Spatial schema

Diese Norm enthält einen Überblick über die grundlegenden raumbezogenen Informationstypen Punkt, Linie, Fläche und den topologischen Klassen unter anderem von Knoten-Kanten-Modellen wie sie im Bereich Strasse und Verkehr verwendet werden.

ISO 19137:2007 Geographic information — Core Profile of the spatial schema

Die Norm enthält eine Spezialisierung des Schemas von ISO 19107 und beschreibt ein vereinfachtes Kernprofil für die Erstellung von GIS-Applikationen

Wegen des allgemeinen Charakters der von ISO TC 211 erstellten Normen und zusätzlichen Dokumente enthalten diese keine spezifischen Vorgaben für den Bereich Strasse und Verkehr. Diese werden von der ISO TC 204 erarbeitet.

3.2.2 ISO TC 204

Das ISO Technical Committee 204 befasst sich mit Standardisierungen im Bereich Verkehr und intelligenten Transportsystemen ITS. Die Aktivitäten der einzelnen Working Groups sind in [24] beschrieben. Dazu gehören auch streifenbezogene Aspekte. Die Führung zum Thema Streifenreferenzierung liegt bei Japan. Das TC hat in diesem Zusammenhang bereits mehrere Normen erarbeitet, einige sind noch in Bearbeitung.

ISO 11270:2014 Intelligent transport systems -- Lane keeping assistance systems (LKAS) -- Performance requirements and test procedures.

Die Norm umfasst Anforderungen und Testprozeduren für Systeme, welche den Fahrer / die Fahrerin bei der Einhaltung des Fahrens innerhalb eines Streifens unterstützen. Dazu

gehören Mittel zur Erkennung der Lage eines Fahrzeuges innerhalb eines Streifens und Möglichkeiten die seitliche Lage zu beeinflussen. Die Kontrolle über das Fahrzeug liegt weiterhin vollumfänglich beim Fahrer / bei der Fahrerin, Streifenwechsel, werden nicht durch das autonome Fahren verhindert. Die Norm enthält keine Aussagen über die Modellierung der Streifen.

ISO 17361:2017 Intelligent transport systems -- Lane departure warning systems -- Performance requirements and test procedures

Die Norm umfasst die Anforderungen und Testprozeduren für Systeme, welche den Fahrer / die Fahrerin vor einem Verlassen eines Streifens warnen. Die Systeme benutzen Sensoren, welche die Streifenmarkierungen abtasten und erkennen. Die Kontrolle über das Fahrzeug liegt weiterhin vollumfänglich beim Fahrer / bei der Fahrerin, Streifenwechsel werden nicht verhindert. Die Norm enthält keine Aussagen über die Modellierung der Streifen.

ISO 17387:2008 Intelligent transport systems -- Lane change decision aid systems (LCDAS) -- Performance requirements and test procedures

Die Norm umfasst die Anforderungen und Testprozeduren für Systeme, welche den Fahrer / die Fahrerin bei Streifenwechsel vor möglichen seitlichen Kollisionen mit anderen Fahrzeugen, welche in derselben Richtung fahren, warnen. Die Norm enthält keine Aussagen über die Modellierung der Streifen.

ISO 17572 Intelligent transport systems (ITS) -- Location referencing for geographic databases

Gegenstand des Normenpakets 17572 sind Methoden zur Übermittlung von Positionen in einem Strassennetz zwischen Sender und Empfänger, typischerweise von einer Verkehrszentrale zu einem Fahrzeug. Sie enthält keine Vorgaben wie das Strassennetz in einem SIS zu strukturieren ist.

Part 1:2015 General requirements and conceptual model befasst sich mit den allgemeinen Anforderungen an den Raumbezug, enthält ein konzeptionelles Modell für die Location Reference Methode mit Beispielen und einer Beschreibung in UML. Die im Normenpaket verwendeten Begriffe werden den Begriffen der ISO/TC 211 gegenübergestellt. Zusätzlich ist eine Einführung in das TPEG-Format enthalten.

Part 2:2015 Pre-coded location references (pre-coded profile) Pre-coded location references sind vordefinierte Positionen (Orte) bei denen die Strassendatenbanken bei Sender und Empfänger identisch sind. Die Positionen von Sender und Empfänger verwenden dieselbe ID. Die Systeme TMC/ALERT-C und VICS sind Implementationen dieser Teilnorm. Beide Formate werden in UML, in ASN.1 und einem XML-Schema beschrieben.

Part 3:2015 Dynamic location references (dynamic profile) AGORA-C Bei Dynamic location references geht es um die Übermittlung von dynamischen nicht-vordefinierten Positionen in einem Verkehrsnetz. Beim heutigen Verkehrsfunk werden Verkehrsinformationen auf der Basis vordefinierter Orte (TMC-Locations) an das Navigationsgerät gesendet. Mit dynamischer Positionsbestimmung geht es darum, Ereignisse (Staus, Unfallorte ...) zentral mit hoher Genauigkeit in einer Kartendatenbank aufzubereiten und im TPEG-Format effizient und kompakt den Empfängern bereitzustellen.

Part 4: Lane-level location referencing Diese Teilnorm ist als Approved Work Item AWI noch in Bearbeitung und es gibt noch keine für die Vernehmlassung freigegebene Version. Sie steht vom Thema her in engem Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt. In die Norm werden auch die dynamischen Aspekte für das autonome Fahren, damit auch kurzfristige Änderungen des Streifenverlaufs einfließen. Verschiedene Mitglieder aus TC 204 Working Groups haben Fachartikel und Konferenzbeiträge zu diesem Thema verfasst. Diese Beiträge sind in Kapitel 3.2.4 dokumentiert.

ISO/AWI 21202 Intelligent transport systems -- Partially Automated Lane Change Systems (PALS) -- Functional / operational requirements and test procedures

Diese Norm ist als Approved Work Item AWI noch in Bearbeitung. Sie soll die Anforderungen und Testprozeduren für Systeme, welche den autonomen Streifenwechsel ermöglichen definieren und steht nur in indirektem Zusammenhang mit Fragen der Streifenmodellierung.

ISO/DIS 21717 Intelligent transport systems -- Partially automated in-lane driving systems (PADS) -- Performance requirements and test procedures

Diese Norm ist im Status eines Draft International Standard DIS noch in Bearbeitung. Sie soll die Anforderungen und Testprozeduren für Systeme, welche die autonome Einhaltung des Streifens sicherstellen, definieren und steht nur in indirektem Zusammenhang mit Fragen der Streifenmodellierung.

3.2.3 EuroRoadS & INSPIRE

INSPIRE steht für «Infrastructure for spatial information in Europe». Es hat zum Ziel eine europaweite Plattform für Geodaten zu schaffen und verpflichtet die beteiligten Länder Daten über WebDienste bereitzustellen. EuroRoadS ist ein Partnerprojekt von INSPIRE. Ziel des EuroRoadS-Projektes ist der Aufbau einer europaweiten Plattform für Strassendaten mit einer konsistenten Datenstruktur, einer Metadatenbank für die Beschreibung der Inhalte und Mechanismen für den Datenaustausch zu länderspezifischen SIS.

Die EuroRoadS-Organisation begründet ihre Initiative gemäss folgendem Zitat:

A well-functioning digital road infrastructure on a pan-European level is a fundamental basis for further development within the areas of intelligent transport systems, mobility management, traffic management, road maintenance, traffic safety, environmental and society planning and many other areas. Europe lacks a standardised, seamless, updated and quality assured digital road data infrastructure today.

Eine gut funktionierende digitale Straßeninfrastruktur auf gesamteuropäischer Ebene ist eine wesentliche Grundlage für die Weiterentwicklung in den Bereichen intelligente Verkehrssysteme, Mobilitätsmanagement, Verkehrsmanagement, Strassenerhaltung, Verkehrssicherheit, Umwelt- und Gesellschaftsplanung und vielen anderen Bereichen. In Europa fehlt es heute an einer standardisierten, nahtlosen, aktualisierten und qualitätsgesicherten digitalen Infrastruktur der Strassendaten (Übersetzung der Forschungsstelle).

Mit dem Thema Streifenreferenzierung hat sich EuroRoadS noch nicht befasst.

3.2.4 ADASIS

Das ADASIS-Forum (Advanced Driver Assistant Systems Interface Specifications) wurde 2002 unter der Führung von ERTICO gegründet und ist eine Industriepattform, in welcher sich Hersteller von Fahrzeugen, ADAS Komponenten, Navigationssystemen und Karten zusammengeschlossen haben um gemeinsam Spezifikationen für Schnittstellen zu definieren. Das Dokument [31] gibt einen Überblick über die Mitglieder und deren Tätigkeiten.

Spurhalteassistent und Spurwechselassistent sind typische Beispiele für Tätigkeiten von ADASIS. Die erarbeiteten Spezifikationen werden nicht publiziert, sondern stehen nur den Mitgliederfirmen des Forums zur Verfügung. Ein Modell für Streifenreferenzierung gehört nicht zum Inhalt der festgelegten Spezifikationen.

3.2.5 TLM Topografisches Landschaftsmodell

Im TLM (siehe Erfassungsrichtlinien [21]) Topic Strassen und Wege werden alle für den Transport von Personen und Waren existierenden, baulich getrennten Wege und Strassen ab einer vorgegebenen Länge 3-dimensional erfasst. Nicht baulich getrennte Trottoirs,

Fuss- und Radwege mit geringem Höhenunterschied zur Strasse ($< \pm 1\text{m}$) sind Bestandteil der Strasse und werden nicht separat erfasst. Der Umfang der Erfassung von Wegen und Strassen geht von 1m breiten Wegen bis hin zu Autobahnen sowie auch Plätzen, Autozügen und Fähren. Strassen werden linear als Achsen in der Mitte der Strasse erfasst.



Abb 3 TLM Erfassung Strassenachsen aus [21]

Bei richtungstrennten Strassen sowie Ein- und Ausfahrten wird der in Verkehrsrichtung linke Fahrbahnrand erfasst.

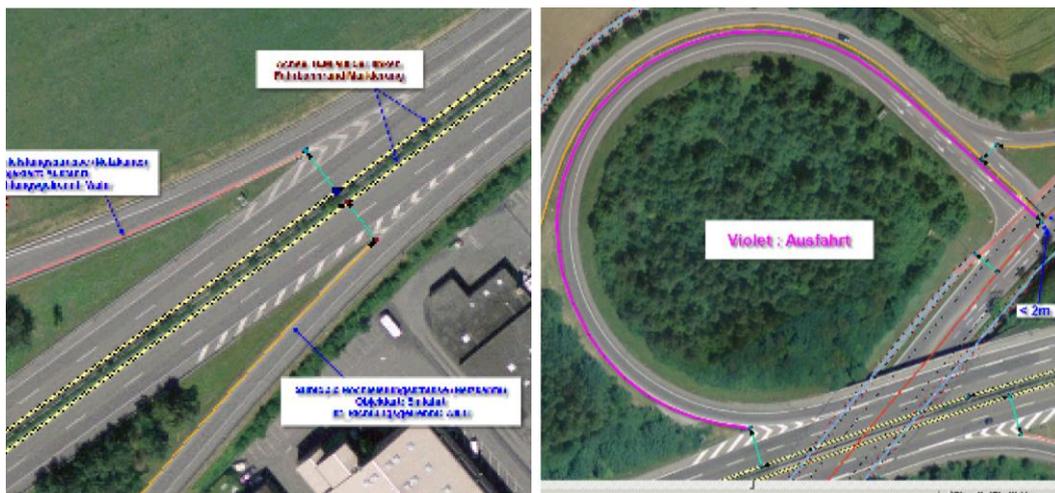


Abb 4 TLM Erfassung Achsen bei Autobahnen, Ein- und Ausfahrten aus [21]

Bei Kreuzungen bestehen zusätzliche Erfassungsregeln. Die Hauptachse bestimmt den Verlauf, die Nebenachsen werden an die Hauptachse angeschlossen. Bei Kreiseln wird der innere Fahrbahnrand erfasst.

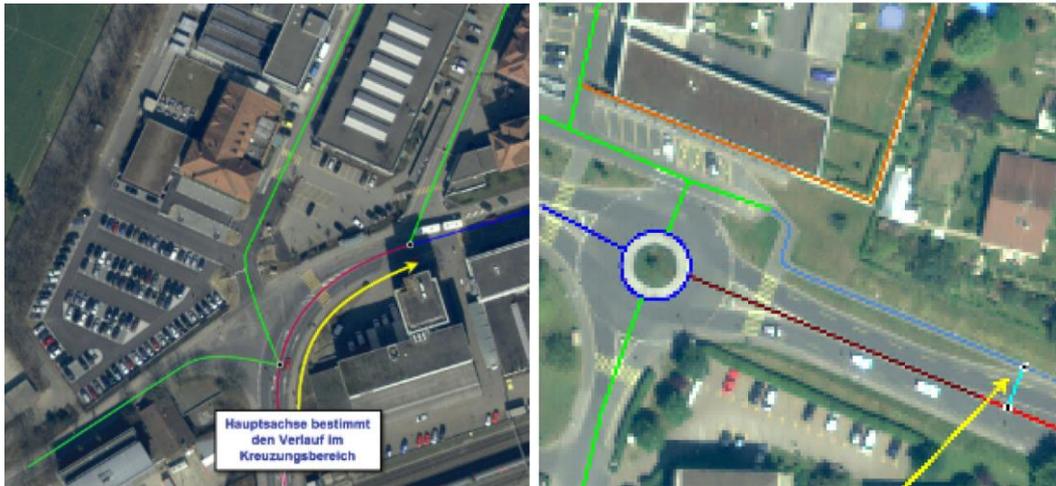


Abb 5 TLM Erfassung Achsen bei Kreuzungen und Kreiseln aus [21]

Bei Plätzen werden mehrere Verbindungsachsen erfasst.

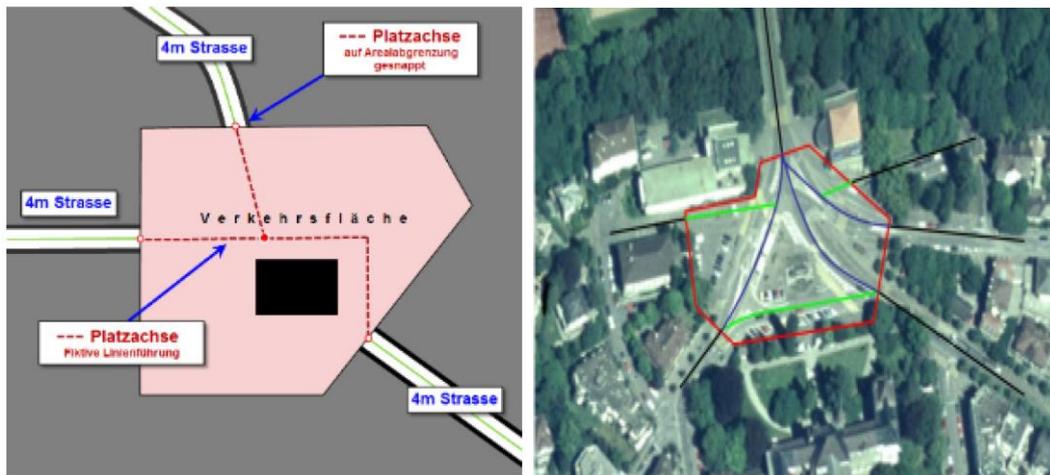


Abb 6 TLM Erfassung Achsen bei Plätzen aus [21]

Die Genauigkeit beträgt je nach Qualität der Luftbilder im Flachland $<50\text{cm}^1$, im Gebirge $<100\text{ cm}$.

Zu den Strassen und Wegen werden folgende Attribute erfasst:

- Anzahl Streifen bei Änderung $< 100\text{m}$ (momentan zurückgestellt)
- Befahrbarkeit J/N bei 2m_Weg und 3m_Strasse
- Belagsart Hartbelag / Naturbelag
- Eigentümer Bund / Kanton / Gemeinde
- Verkehrsrichtung in Bezug auf Digitalisierichtung der Achse TF (to-from), FT (from-to), C (closed).

Streifenachsen oder Trennlinien zwischen den Streifen werden nicht erfasst.

Der Wert der TLM-Daten für die Streifendaten liegt in der hohen Genauigkeit der Strassenachsen und der Homogenität über die ganze Schweiz. Eine Möglichkeit besteht darin, die Geometrie von Streifenachsen aus den Strassenachsen zu generieren, mit relativ hoher Zuverlässigkeit insbesondere ausserorts.

¹ Für vollautonomes Fahren ist eine Genauigkeit von $<25\text{cm}$ erforderlich.

3.2.6 Verschiedene Fachbeiträge

Der Konferenzbeitrag **Generating Enhanced Intersection Maps for Lane Level Vehicle Positioning [30]** befasst sich mit der präzisen Beschreibung der Strassen im Bereich von Kreuzungen. Dabei ist eine Erfassung auf Streifenebene vorgesehen. Als Hilfsmittel sieht der Autor die sog. «Enhanced Map» mit einer zusätzlichen Ebene auf Niveau Streifen (lane level intersection maps). In der nachfolgenden Abbildung sind die Fahrbahnen hellblau, die Streifenachsen der Strassen rot und die Streifenachsen im Kreuzungsbereich als dünne Linien dargestellt.

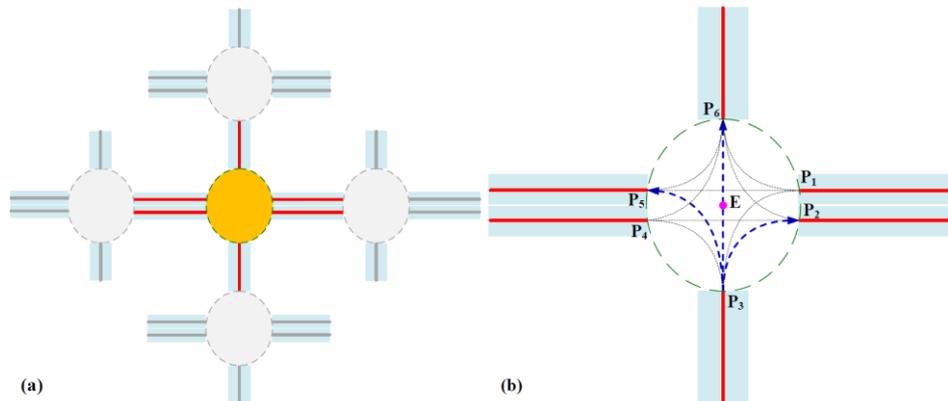


Abb 7 Kreuzung mit virtuellen Streifen aus [30]

Im Weiteren befasst sich der Beitrag mit der Frage wie Sensor-bestückte Fahrzeuge Positionsdaten übermitteln und dazu beitragen können die Genauigkeit von Streifenachsen zu verbessern. Ausserdem wird untersucht, inwieweit mit der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation in kooperativen Systemen Kollisionen vermieden werden können.

Der Artikel **A Proposal for Lane Level Location Referencing [26]** befasst sich mit der Frage wie Positionen von Fahrzeugen effizient und genau (± 25 cm) auf Ebene Streifen bestimmt werden können². Hierzu werden sogenannte Common Reference Point (CRP) auf mehreren Ebenen verwendet. Die CRP sind im sowohl im Kartenmaterial im Fahrzeug als auch in den Strassendatenbanken von Service Providern bekannt. CRP 1 sind Punkte, welche im Strassenraum für die Fahrzeugsensoren sichtbar sind. Aus diesen lässt sich mittels mindestens zwei CRP 1 der Punkt CRP 2 bestimmen und aus CRP 2 die Punkte CRP 3-1 für achsgenaue Positionsbestimmung und CRP 3-2 für streifengenaue Positionsbestimmung.

² Die Positionsbestimmung per GPS ist für das autonome Fahren zu ungenau.

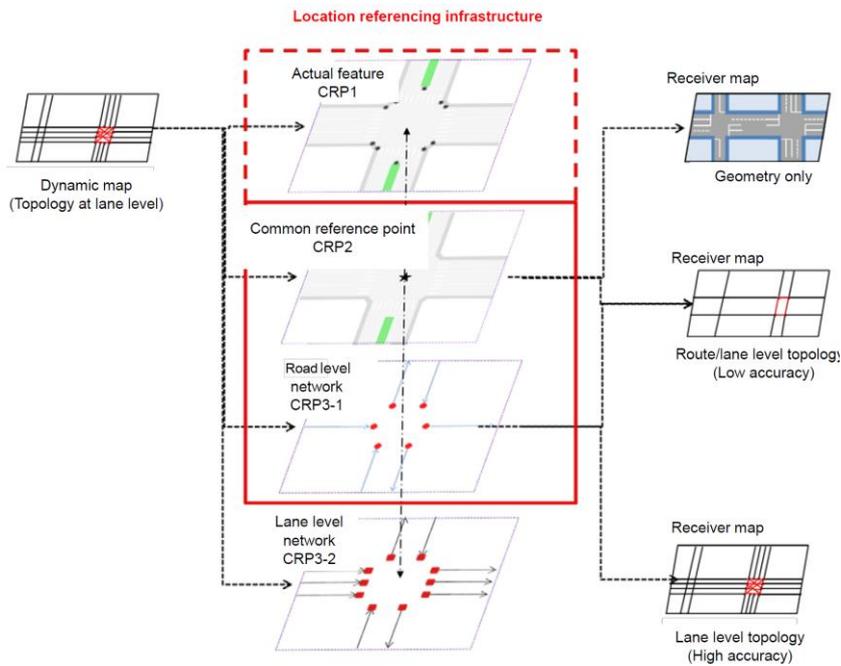


Abb 8 Positionsbestimmung über Common Reference Points CRP [26]

Die Position der Fahrzeuge kann über Sensoren aus den CRP 1 rechnerisch bestimmt und mit dem Kartenmaterial verglichen werden. Daraus ergeben sich die Abweichungen zur Sollposition des Fahrzeugs.

Der Beitrag **Use cases and basic concept proposal for Lane Level Location Referencing [27]** desselben Autors geht weiter in die Details und behandelt wie Positionsangaben im Hinblick auf das autonome Fahren bestimmt werden sowie die Anforderungen an Positionsangaben.

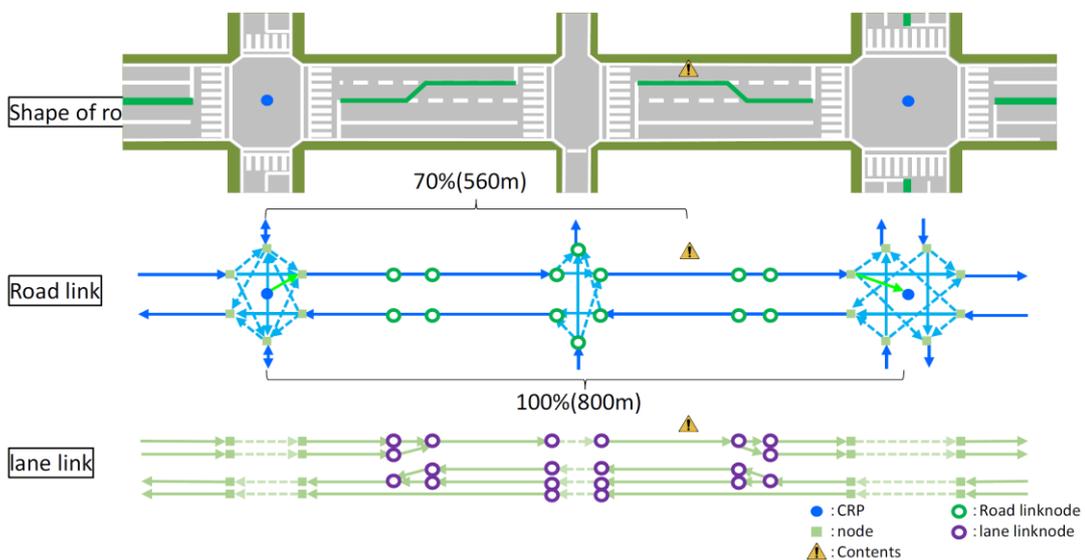


Abb 9 Beispiel Road Links und Lane Links bei Kreuzungen aus [27]

Das Beispiel gilt aufgrund der Herkunft des Autors für Linksverkehr. Die Common Reference Points CRP sind oben beim Beitrag [26] besprochen. Nodes sind die Verzweigungspunkte. Die grünen Kreissymbole sind die CRP3-1 auf Stufe Strassenachse, die violetten Kreissymbole sind die CRP3-2 auf Stufe Streifenachse.

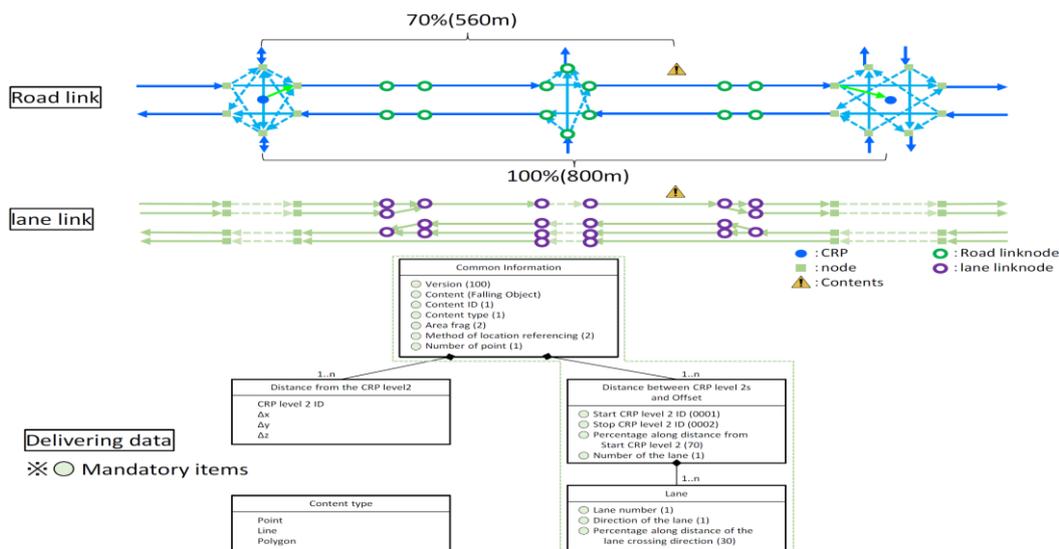


Abb 10 Konzept für den Austausch von Positionsangaben aus [27]

Die Längen werden in % der Distanz zwischen CRP angegeben.

Die Anforderungen hinsichtlich streifenbasierten Positionsangaben gemäss [27] sind:

- R-1: Die Anforderung an die Genauigkeit beträgt < 25 cm.
- R-2: Es muss davon ausgegangen werden, dass nicht alle Fahrzeuge über Streifenangaben verfügen.
- R-3: Die Angaben müssen in 3-D bekannt sein, damit auch Quergefälle berücksichtigt werden können.
- R-4: Es muss berücksichtigt werden, dass sich die Lage der CRP über die Zeit verändern kann, z.B. durch Erdbeben.

Der Artikel **An efficient lane model for complex traffic simulation [28]** befasst sich damit, wie Streifenachsen aus der Lage von Strassenachsen mit Querlagen automatisch für die Visualisierung des Verkehrs in Anwendungen für Verkehrssimulation erstellt werden können, wie nachstehende Grafik zeigt.

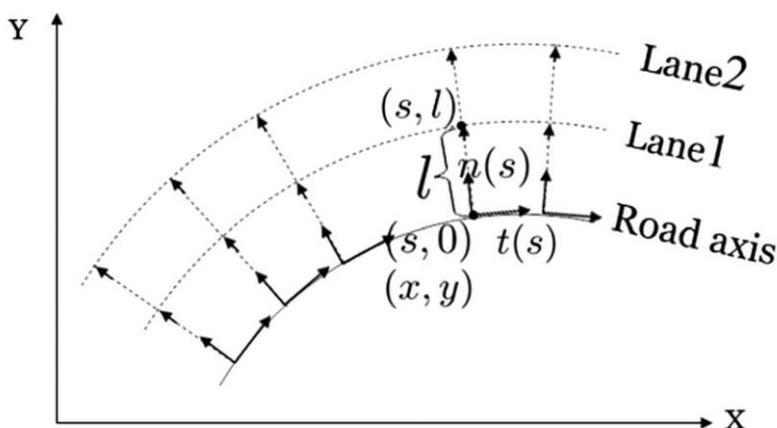


Abb 11 Streifenachsen generiert aus Strassenachsen aus [28]

Punkte mit linearen Koordinaten können performant in planare Koordinaten umgerechnet werden, was für die Verkehrssimulation essentiell ist. Umgekehrt ist die Transformation deutlich aufwändiger und nicht immer eindeutig, wie im Projekt AGRAM [33] nachgewiesen.

4 Varianten Streifenreferenzierung

Aufgrund der Tatsache, dass verschiedene Fachbereiche unterschiedliche Anforderungen an den Raumbezug mit Streifenreferenzierung haben, werden im Projekt verschiedene Varianten untersucht und in den nachfolgenden Kapiteln dokumentiert.

4.1 Modellkreuzung

Den Untersuchungen wurde die im Folgenden beschriebene einfache Modellkreuzung zugrunde gelegt.

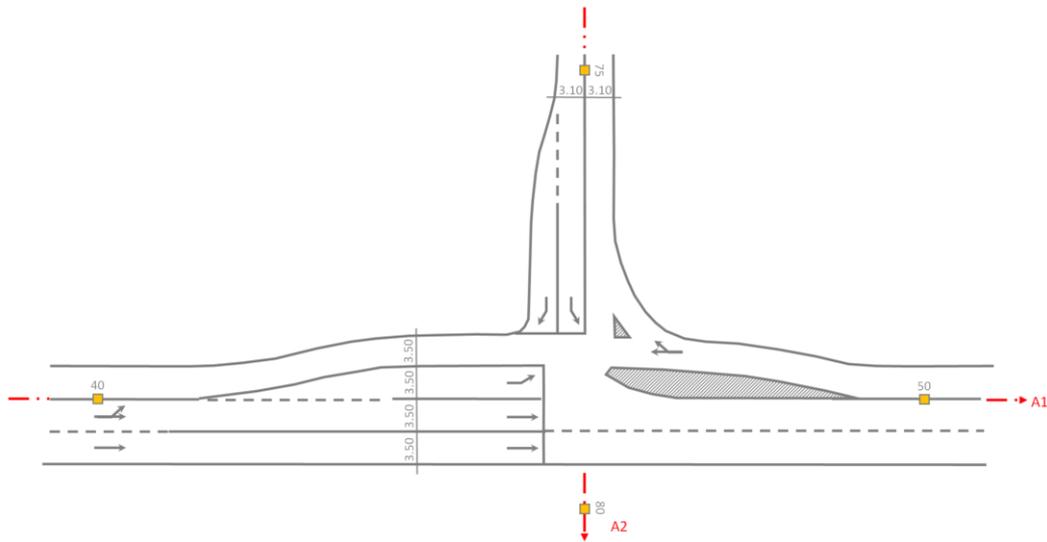


Abb 13 Modellkreuzung

Die Modellkreuzung ist die Kreuzung der zwei Strassenachsen A1 und A2 mit je dem abgebildeten Achssegment. Die Lage im linearen System des RBBS wird durch die Bezugspunkte, hier als gelbe Quadrate symbolisiert, definiert. Jeder Bezugspunkt enthält die Angabe über die reale Distanz zum nachfolgenden Bezugspunkt. Im planaren (kartesischen) System wird die Lage der Bezugspunkte durch ein Punkt-Feature XYZ, die Lage des Achssegments durch eine Polylinie definiert.

Die Geometrie ist durch die Breitenangaben, die Nutzungstreifen durch die Markierungen der Trennlinien beschrieben.

Die Modellkreuzung ist bewusst einfach gehalten, damit die Unterschiede zwischen den nachfolgend untersuchten Varianten klar ersichtlich werden. Komplexere Kreuzungen wurden im Prototyp, Kapitel 6 untersucht.

4.2 Untersuchte Varianten

Bei der Modellierung der Streifenachsen für SIS in der Schweiz werden im vorliegenden Projekt immer zwei Sichten berücksichtigt:

Infrastruktursicht	→	Bau, Erhaltung, Betrieb
Verkehrssicht	→	Verkehrsmanagement, -modellierung, -navigation, Sicherheit, autonomes Fahren

Es sollen nur Varianten untersucht werden, welche für beide Sichten Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten bringen.

4.2.1 Überblick

Die untersuchten Varianten lassen sich, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich, grob in solche ohne und mit Streifenachsen gliedern.

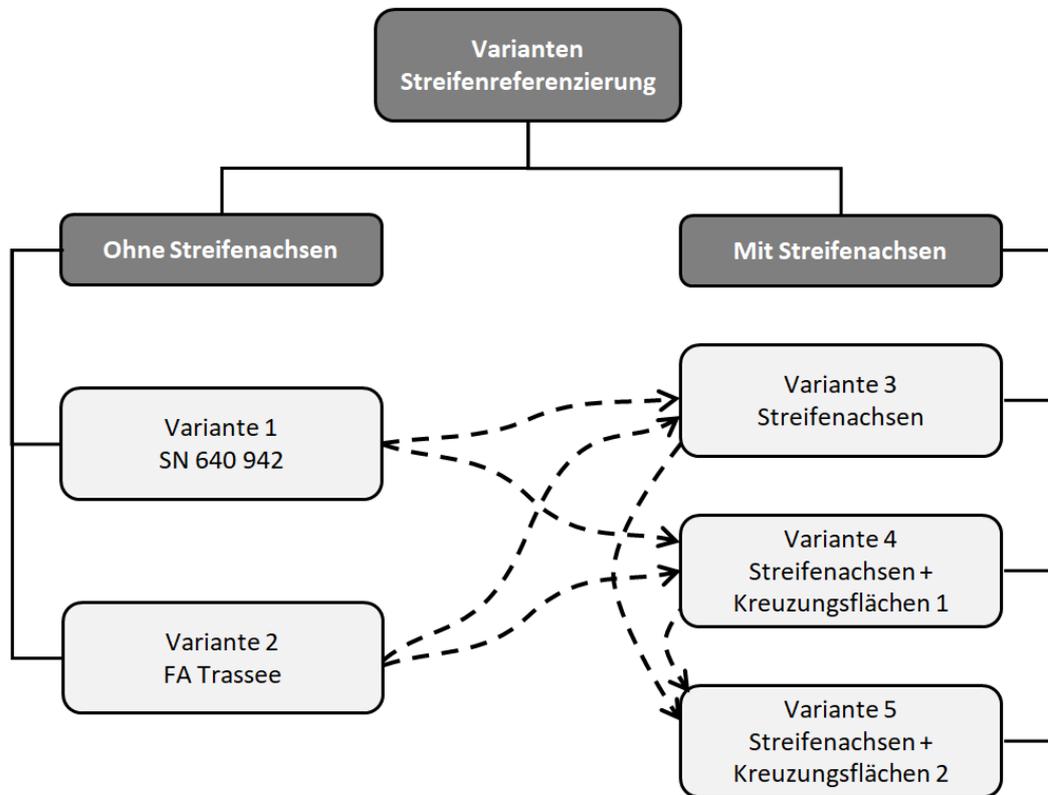


Abb 14 Überblick Varianten Streifenreferenzierung

Der Begriff Varianten ist in diesem Fall nicht ganz zutreffend, denn sie sind von den Zielgruppen und Anwendungsmöglichkeiten zu unterschiedlich. Varianten 1 und 2 dienen ausschliesslich der Infrastruktursicht, während die Varianten 3 bis 5 vor allem den Zielgruppen der Verkehrssicht dienen, ohne jedoch den Einsatz für die Infrastruktursicht zu verunmöglichen.

Die Varianten schliessen sich gegenseitig nicht aus. Dies wird mit den strichlierten Pfeilen zum Ausdruck ausgedrückt. Beispielsweise kann Variante 2 bei Bedarf zu Variante 3 oder 4 erweitert werden, ohne bisherige Daten und Funktionen zu verlieren. Varianten 3 und 4 können zu Variante 5 erweitert werden.

Bei den Varianten 3 bis 5 wurden für die Streifenachsen nur die linienförmige Geometrie untersucht. Eine Alternative wäre Streifenobjekte als Flächen zu erfassen. Dies wäre jedoch nicht im Sinn der Verkehrssicht und nicht im Einklang mit den aktuellen internationalen Forschungsvorhaben. Aus diesem Grund wurde diese Möglichkeit nicht weiterverfolgt.

Topologische Beziehungen sind nicht vorgesehen. Es wäre denkbar, wenn auch nicht ideal modelliert, für jeden Streifen ein Attribut Verkehrsrichtung zu erfassen und jeden Streifen mit den in Verkehrsrichtung möglichen Folgestreifen zu verknüpfen.

4.2.3 Variante 2: FA Trassee

Die Grundzüge von FA Trassee sind im Anhang I.2 beschrieben. In der nachfolgenden Abbildung die Anwendung auf die Modellkreuzung:

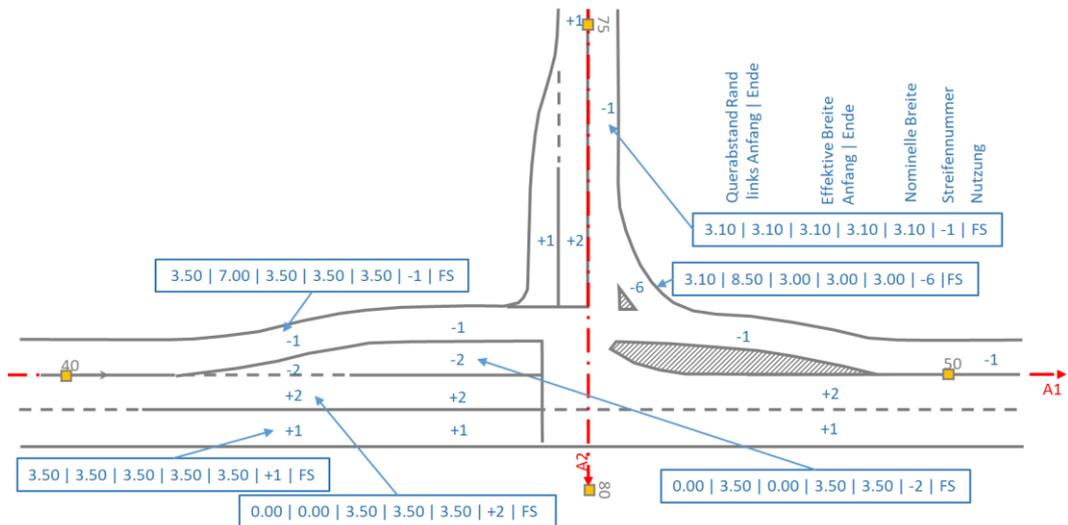


Abb 16 Streifenreferenzierung gemäss FA Trassee

Die Kriterien für die Objektbildung sind:

- Wechsel der Fahrbahngeometrie, z.B. durch markante Veränderung der Breite
- Veränderung der Nutzung

Attribute der Streifen sind:

- Querabstand des Streifenrandes links von der Strassenachse am Anfang / Ende in m.
- Effektive Breite am Anfang und Ende in [m]
- Nominelle Breite in [m]
- Die befahrbaren Streifen werden von +/- bis +/-5 von aussen nach innen fortlaufend nummeriert, weitere Streifen ausserhalb der Streifen von +/-6 bis +/-8. Für Standstreifen sind die Nummern +/-9 reserviert. Positive Vorzeichen gelten für Streifen in Achsrichtung rechts der Achse, negative Vorzeichen für Streifen links der Achse.
- Nutzung (FS=Fahrstreifen; SS=Standstreifen; TS=Trennstreifen; IN=Insel usw.)
- Effektive Fläche in [m²] (nicht als geometrische Fläche ausgewiesen).

Bemerkungen:

- Streifen sind Bestandteile der Fahrbahngeometrie.
- Die RBBS-Bezüge sind nur auf Stufe Fahrbahngeometrie vorhanden.
- Streifen werden nur auf befahrenen Flächen erfasst.
- Die übrigen Flächen werden als Nebenstreifen erfasst.
- Im Bereich von Kreuzungen werden nur Streifen von einer Achse erfasst.
- Die Streifen haben keine eigene planare Geometrie.

Topologische Beziehungen sind nicht vorgesehen, denkbar, wenn auch nicht ideal modelliert, wäre für jeden Streifen ein Attribut Verkehrsrichtung zu erfassen und jeden Streifen mit den in Verkehrsrichtung möglichen Folgestreifen zu verknüpfen.

4.2.4 Variante 3: Streifenachsen

Bei dieser Variante wird den Streifen eine eigene von der Achssegmentgeometrie unabhängige Geometrie zugeordnet. Im Bereich der freien Strecke in Streifenmitte⁴, im Bereich von Kreuzungen als virtuelle Fortsetzung der Streifenachse bis zum Anschluss an die nächste Streifenachse.

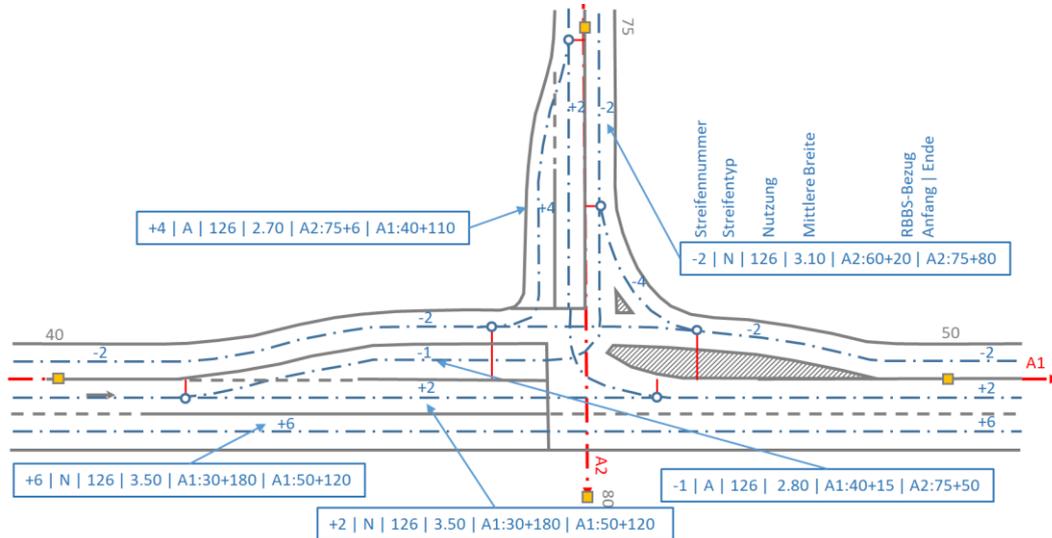


Abb 17 Variante 3 – Streifenachsen

In der Abbildung sind die Streifenachsen blau strichpunktiert. Jede Streifenachse wird am Anfang und Ende durch einen Streifenpunkt begrenzt (blaue Kreissymbole dargestellt). Die Streifenpunkte haben neben dem Bezug zur Streifenachse auch einen Bezug zum RBBS (Bezugspunkt, U und V). Der RBBS-Bezug ist in der Abbildung z.B. für Streifenachse 1 durch die Felder A1:30+180 (Achse A1, Bezugspunkt 30, Längsdistanz U) für den Anfangspunkt und A1:50+120 für den Endpunkt ersichtlich. Ausserdem dienen die Streifenpunkte dazu die Streifenachsen zu kalibrieren.

Die Kriterien für die Objektbildung sind:

- Wechsel Achssegment
- Markanter Veränderung der Breite
- Veränderung der Nutzung (zugelassene Fahrzeugtypen)
- Verzweigung

Attribute der Streifen sind:

- Streifennummer als schematischer Abstand der Streifenmitte von der Strassenachse in [m] mit Vorzeichen + rechts der Strassenachse, - links der Strassenachse
- Streifentyp (N=Normaler Fahrstreifen; A=Abbiegestreifen usw.)
- Nutzung (zugelassene Fahrzeugtypen)
- Mittlere Breite in [m]
- RBBS-Bezug am Anfang und Ende des Streifens über den Streifenpunkt.
- Streifenachsgeometrie inkl. Länge in [m]

Attribute der Streifenpunkte sind:

- Längsdistanz zum Streifenpunkt am Anfang der Streifenachse in [m].

⁴ Statt in Streifenmitte kann die linienförmige Streifenachsgeometrie auch auf den Streifenrand links oder rechts gelegt werden. Die international durchgeführten Forschungen gehen jedoch von einer Lage in Streifenmitte aus, sodass dies auch im vorliegenden Projekt beibehalten wird.

- RBBS-Bezug mit Bezugspunkt, Längsdistanz U auf der Strassenachse in [m] und Querabstand V zur Strassenachse in [m].
- Punktgeometrie

Die Transformation von Ortsangaben mit Bezug zu Streifenpunkten in RBBS-Bezüge ist mit der vorgesehenen Attribuierung eineindeutig möglich. Für die Transformation in umgekehrter Richtung muss die Nummer des Streifens, für den die Transformation erstellt werden soll, angegeben werden. Auch dann ist die Transformation eineindeutig.

Bemerkungen:

- Normale Fahrstreifen beziehen sich auf ein, Abbiegestreifen auf zwei Strassenachsen.
- Streifenachsen werden am Anfang und Ende durch Streifenknoten begrenzt.
- Normale Fahrstreifen, Standstreifen und Nebenstreifen werden identisch erfasst. Sie unterscheiden sich durch den Streifentyp und/oder durch die Nutzung.
- Zur Topologie siehe Bemerkungen in Kapitel 4.2.7

4.2.5 Variante 4: Streifenachsen + Kreuzungsflächen 1

Bei dieser Variante werden die Streifenachsen an Kreuzungen unterbrochen. Dies primär um für Flächenberechnungen sich überlappende Streifenflächen zu vermeiden und eine genauere Datengrundlage für Flächenberechnungen zu haben.

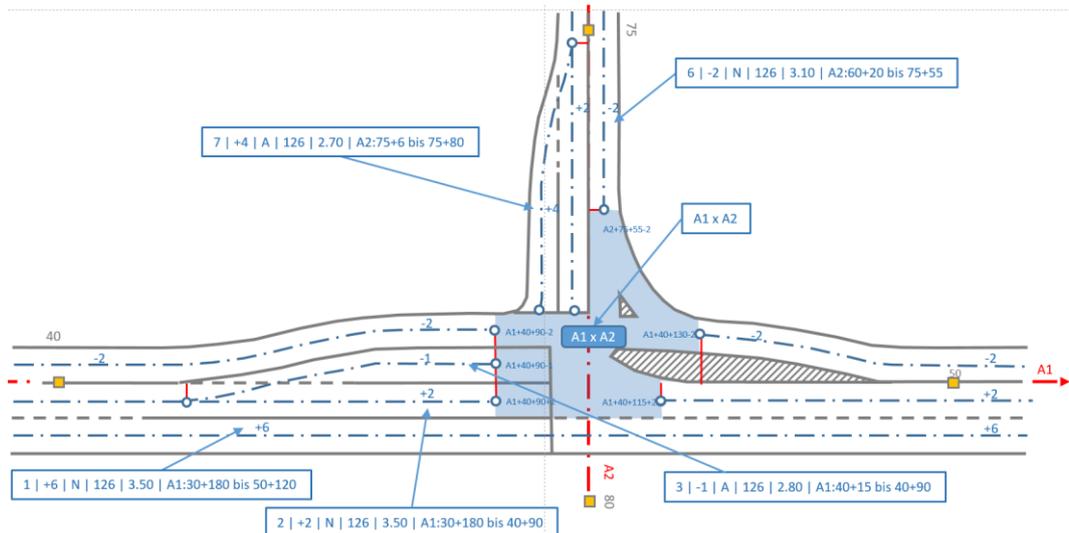


Abb 18 Variante 4 – Streifenachsen + Kreuzungsflächen 1

In der Abbildung ist die Kreuzungsfläche als blaue Fläche dargestellt.

Die Kriterien für die Objektbildung von Streifen sind wie bei Variante 3. Zusätzlich gilt:

- Streifen werden beim Anschluss an die Kreuzungsfläche beendet.

Die Attribute der Streifen und Streifenpunkte sind gleich wie bei Variante 3.

Die Attribute der Kreuzungsfläche sind:

- Name der Kreuzungsfläche
- Flächengeometrie inkl. Fläche in [m²]

Bemerkungen:

- Sämtliche Streifen beziehen sich auf eine Strassenachse.
- Streifenachsen werden am Anfang und Ende durch Streifenknoten begrenzt.
- Zusätzliche Streifenpunkte entstehen beim Anschluss der Streifenachse an die Kreuzungsfläche.

- Normale Fahrstreifen, Standstreifen und Nebenstreifen werden identisch erfasst. Sie unterscheiden sich durch den Streifentyp und/oder durch die Nutzung.
- Zur Topologie siehe Bemerkungen in Kapitel 4.2.7

Der Name bzw. konzeptionelle Schlüssel der Kreuzungsfläche wird aus dem offiziellen Namen der Kreuzung oder des Platzes gebildet, oder wenn kein offizieller Name vorhanden ist aus den Namen / Nummern der zwei an der Kreuzung beteiligten Strassenachsen.

Für die Festlegung der Ausdehnung der Kreuzungsflächen gibt es keine eindeutigen Regeln. Dies hängt stark von der Situation an der Kreuzung ab. Aus den Erfahrungen mit dem Prototyp können dennoch folgende Grundsätze festgehalten werden:

- Bereiche in denen sich die aus Streifenachse x nominelle Breite gebildeten virtuellen Flächen stark überlappen werden in die Kreuzungsfläche aufgenommen.
- Streifen die sich nahe der Kreuzung in der Breite stark verändern / aufweiten werden in die Kreuzungsfläche aufgenommen.
- Abbiegestreifen können sehr lang sein, deshalb sollten sie nicht vollumfänglich in die Kreuzungsfläche übernommen werden.
- Bei Streifen, welche die Kreuzung durchlaufen, wird empfohlen sämtliche Fahr- und Nebenstreifen einer Kreuzung in die Kreuzungsfläche aufzunehmen (entgegen der Abbildung, in welcher Streifen +6 unten ausserhalb der Kreuzungsfläche liegt).
- Grosse Plätze können aus mehreren Kreuzungsflächen und freien Strecken zusammengesetzt werden.
- Die Ausdehnung der Kreuzungsfläche in der Abbildung ist sicher eher minimal.

4.2.6 Variante 5: Streifenachsen + Kreuzungsflächen 2

Diese Variante entspricht der Variante 4, mit dem Unterschied, dass innerhalb der Kreuzungsfläche zusätzlich virtuelle Streifenachsen sogenannte Kreuzungsachsen verwendet werden.

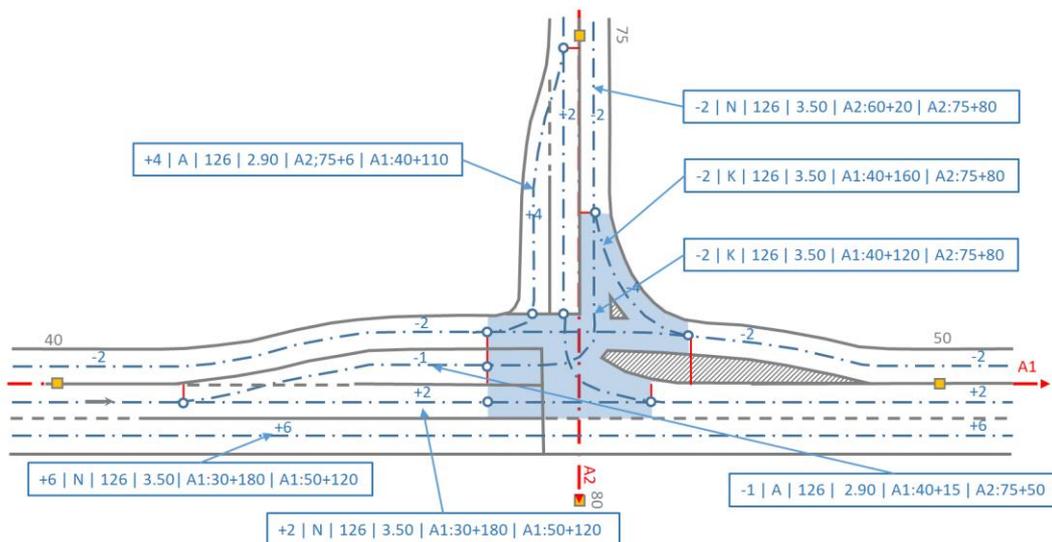


Abb 19 Variante 5 – Streifenachsen + Kreuzungsflächen 2

Die Streifenpunkte der Kreuzungsachsen, welche Streifen der A1 mit Streifen der A2 verbinden und umgekehrt, haben RBBS-Bezüge auf zwei verschiedenen Achsen.

Aus der Sicht der Datenerfassung ist dies die aufwändigste Variante. Der Vorteil gegenüber Variante 4 ist, dass die Trajekte der Fahrzeuge innerhalb der Kreuzung festgelegt sind. Die Streifenachsen allgemein und die virtuellen Kreuzungsachsen werden im Hinblick auf das autonome Fahren in den Navigationssystemen der Zukunft enthalten sein.

4.2.7 Varianten 3 bis 5: Topologische Aspekte

Die topologischen Aspekte der Varianten 3 bis 5 werden in **Abb 20** dargestellt und nachfolgend erläutert.

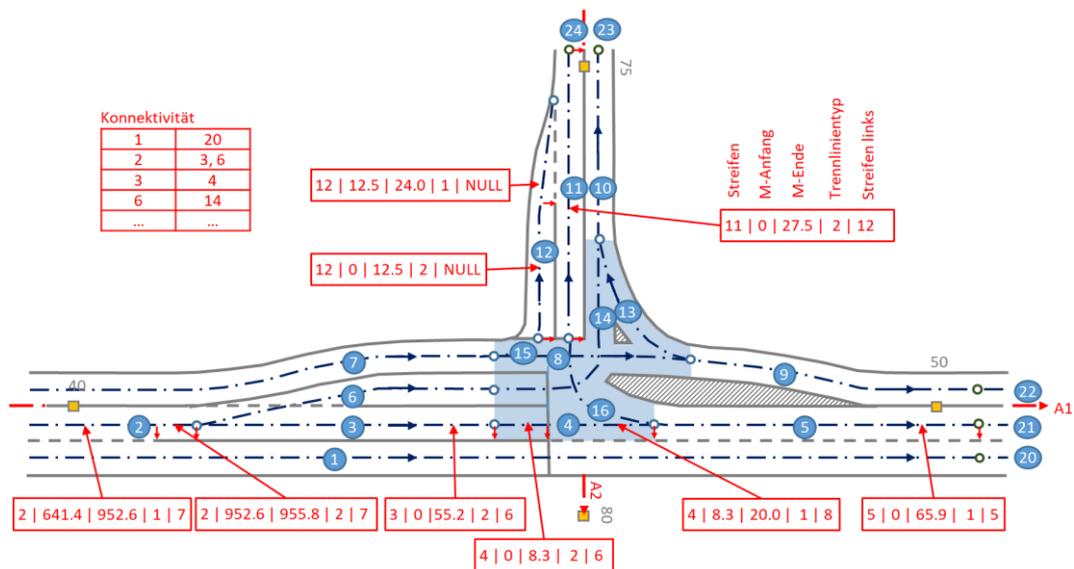


Abb 20 Varianten 3 bis 5 – Topologische Aspekte

Die Nummern in den Kreissymbolen sind eine eindeutige Identifikation der Streifen für die Bildung der Konnektivität. Sie werden zusätzlich zur Streifennummer gemäss den vorhergehenden Kapiteln benötigt.

Für die Bildung der topologischen Beziehungen braucht es Erweiterungen der bisher betrachteten Strukturen, welche im Folgenden erläutert werden.

Zusätzliche Streifenattribute:

- Eindeutige Identifikation für die Bildung der Konnektivitäten (s. oben)
- Neues Attribut Verkehrsrichtung mit Wertebereich 0 – 3 (0 = geschlossen in beiden Richtungen; 1 = Offen in Achsrichtung; 2 = Offen entgegen Achsrichtung; 3 = Offen in beiden Richtungen)

Zusätzliche Tabelle «Konnektivität» für die topologische Beziehung in Verkehrsrichtung (Längsrichtung), welche für jeden Streifen die in Verkehrsrichtung möglichen Folgestreifen enthält (s. oben rechts in der Abbildung). Die Attribute der Tabelle sind:

- Identifikation des aktuellen Streifens.
- Identifikationen der Folgestreifen in Verkehrsrichtung.

Zusätzliche Tabelle «Trennlinie rechts» für die topologische Beziehung in seitlicher Richtung (Querrichtung) mit folgenden Attributen:

- Identifikation des aktuellen Streifens.
- Längsdistanz vom Anfangspunkt der Trennlinie zum Streifenpunkt am Anfang des Streifens.
- Längsdistanz vom Endpunkt der Trennlinie zum Streifenpunkt am Anfang des Streifens.
- Trennlinientyp (0 = Fahrbahnrand; 1 = Leitlinie; 2 = Sicherheitslinie einfach usw.)
- Identifikation des Nachbarstreifens links

Aus der Sicht der SN 640 914 [13] entsprechen die Streifen einem Toponetz, mit dem Unterschied, dass sie über eine eigene Geometrie verfügen und Anfangs- und Endpunkt, ausser bei der Variante 4, nicht zwingend auf derselben Achse liegen.

Die Streifenachsgeometrie hat eine von der Verkehrsrichtung unabhängige Digitalisierrichtung, in der Abbildung verläuft die Digitalisierrichtung der A1 von links nach rechts. Aus

diesem Grund braucht es eine Angabe über die Verkehrsrichtung. Bei Streifen, welche je nach Tageszeit die Verkehrsrichtung ändern, braucht es weitere zeitabhängige Angaben (siehe Kapitel 5 Modellbeschreibung für Details). Es ist wichtig sämtliche Streifenachsen eines Achssegments in derselben Richtung zu erfassen, weil sonst Inkonsistenzen in der Topologie mit den Trennlinien entstehen.

Die Streifenkonnektivität⁵ wird in Verkehrsrichtung erfasst, d.h. jedem Streifen ist hinterlegt welche Folgestreifen in Verkehrsrichtung befahren werden können.

Da der Streifenwechsel nicht nur in Längsrichtung möglich ist, sondern auch in Querrichtung über Trennlinien zwischen den Streifen, braucht es Informationen über die Abgrenzung links und rechts eines Streifens. In der Modellierung wurde entschieden, zu jedem Streifen Trennlinien rechts des Streifens mittels linearer Referenzierung auf die Streifenachse zu legen und zu jeder Trennlinie den Fremdschlüssel zum benachbarten Streifen auf der linken Seite abzulegen. Im Beispiel in **Abb 20** wird dies für die Streifenachsen 1, 11 und 12 beispielhaft aufgezeigt. Trennlinien werden in Digitalisierichtung der Streifenachsen und nicht in Verkehrsrichtung erfasst.

Die Topologie auf Ebene Konnektivität einerseits und Trennlinien andererseits führen zu Redundanzen und können auch zu Widersprüchen führen. So kann beispielsweise der Streifenwechsel zwischen zwei Streifen, welche in der Konnektivität explizit als verbunden erfasst wurden, durch die Trennlinie verboten werden. Um solche Widersprüche zu vermeiden, sollen Verzweigungsknoten nur dann eingesetzt werden, wenn:

- Es sich um zwei räumlich aufeinanderfolgende Streifen handelt oder
- Die Streifen zu verschiedenen Achssegmenten gehören.

In **Abb 20** wurde der Verzweigungsknoten bei der Verzweigung der Streifenachsen 11 und 12 wie er in **Abb 18** und **Abb 19** enthalten ist, aufgelöst, womit die topologische Verbindung nur noch über die Trennlinie vorhanden ist. Beim Fall der Verzweigung von Streifen 2 auf Streifen 3 und 6 wurde die Redundanz zur Dokumentation der Problematik belassen. Fazit: Verzweigungsknoten sollten nur dort eingesetzt werden, wo keine Redundanz entsteht. Im Prototyp wurden die meisten Redundanzen vermieden, einige wurden jedoch belassen um die Auswirkungen zu dokumentieren. Zusätzlich müssen die Typen der topologischen Beziehungen priorisiert werden, z.B. Konnektivität in Längsrichtung geht vor Querrichtung.

Das Weglassen des Verzweigungsknoten führt logischerweise dazu, dass die geometrische Konnektivität verloren geht, was jedoch als unproblematisch anzusehen ist.

4.3 Gegenüberstellung der Varianten

Die Varianten ohne und mit Streifenachsen richten sich an verschiedene Zielgruppen mit unterschiedlichen Anforderungen. Die Varianten ohne Streifenachsen richten sich an die Zielgruppe Infrastruktur, die Varianten mit Streifenachsen an die Zielgruppe Verkehr. Aus diesem Grund ist eine Gegenüberstellung dieser Grundvarianten wenig sinnvoll. Die Frage ist eher, ob die Varianten mit Streifenachsen der Zielgruppe Infrastruktur einen zusätzlichen Nutzen bringt, z.B. für rasche überschlägige Flächenberechnungen, Routenbestimmungen für den betrieblichen Unterhalt, Sondertransportrouten usw.

Bei den Varianten 3 bis 5 werden Strassenachsen mit zusätzlichen Streifenachsen überlagert. Ähnlich wie die Bezugspunkte bei Strassenachssegmenten haben Streifenachsen sogenannte Streifenpunkte auf dem Anfangs- und Endpunkt von Streifenachsen. Auch Zwischenpunkte sind möglich. Streifenbezogene Informationen, wie z.B. die Trennlinien zwi-

⁵ Anstelle der Streifenkonnektivität können topologische Verbindungen in Längsrichtung auch über Knoteninformationen (Knotenkonnektivität) hergestellt werden. Diese Alternative wird in Kapitel 5.2.2 behandelt.

schen den Streifen werden auf die Streifenpunkte bezogen und nur indirekt auf die Bezugspunkte der Strassenachssegmente. Die Streifenachsen bilden somit eine zweite Ebene des RBBS.

Die Variante 3 ist relativ direkt und einfach. Für jeden Streifen wird eine Streifenachse erfasst, welche die Kreuzungen durchlaufen. Die Variante ist für die Verkehrssicht naheliegend. Nachteil dieser Variante ist, dass die Flächenberechnung aus der Multiplikation von Streifenachslänge mit der nominellen Breite im Bereich von Kreuzungen zu überlappenden Flächen führt und damit unbrauchbar wird. Ausserdem sind die Streifen im Bereich von Kreuzungen auf der Fahrbahn oft nicht markiert, die Trajektorie der Streifenachsen ist daher nicht klar bestimmbar. Es wäre von Vorteil, insbesondere für die Anforderungen des autonomen Fahrens, zu wissen, welche Bereiche von Streifenachsen klar bestimmbar (real) sind und welche nicht (virtuell).

Variante 4 eliminiert den Nachteil der unbrauchbaren Flächenberechnung von Variante 3 indem Kreuzungen als Flächen erfasst werden, was eine möglichst genaue Berechnung von Streifenflächen auf der freien Strecke und der Flächen von Kreuzungen ermöglicht.

Variante 4 hat wegen den fehlenden Streifenachsen im Kreuzungsbereich zwei wichtige Nachteile:

- Die Flächenberechnung pro Streifen wird unterbrochen.
- Es können keine Trennlinien erfasst werden. Streifenwechsel in Querrichtung im Kreuzungsbereich können somit nicht simuliert werden.

Aus der Sicht der Datenerfassung im GIS oder CAD ist Variante 3 am einfachsten zu digitalisieren. Sie führt zu durchschnittlich längeren Streifenachsen als bei den Varianten 4 und 5 und somit zu einer geringeren Anzahl Streifen und Streifenpunkten. Ein Nachteil bei Variante 4 ist die fehlende Trajektorie innerhalb der Kreuzungen, welche aus der Sicht des autonomen Fahrens notwendig wird.

Variante 5 versucht die Nachteile der Varianten 3 und 4 aufzuheben. Sie erfasst reale Streifenachsen auf der freien Strecke und virtuelle Streifenachsen innerhalb der Kreuzungsflächen. Nachteil ist der erhöhte Aufwand für die Datenerfassung. Die Anzahl der Streifenachsen, Streifenpunkte, Konnektivitäten und Trennlinien ist hier am höchsten.

Im Rahmen des Prototyps wurden an den einzelnen Kreuzungen zwischen Varianten 3 bis 5 variiert, damit fundierte Aussagen zu den Vor- und Nachteilen gemacht werden können.

5 Modellbeschreibung

5.1 Verwendete Notationen

Grafiken [Klassendiagramm aus Wikipedia](#):

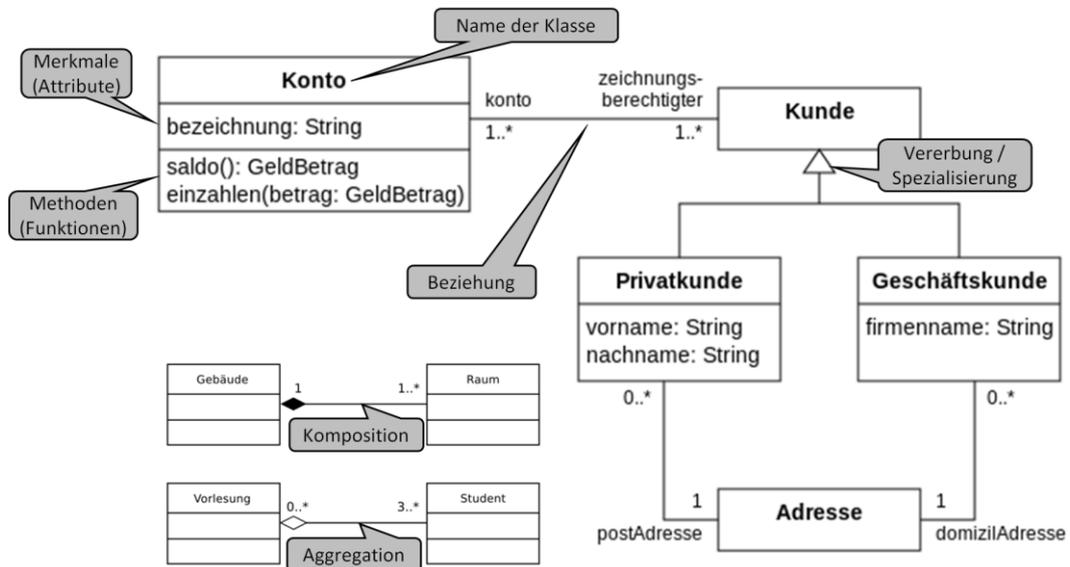


Abb 21 Erläuterung Klassendiagramm

Beziehung: Zu einem Konto hat es 1 bis mehrere zeichnungsberechtigte Kunden, ein zeichnungsberechtigter Kunde hat Zugriff auf 1 bis mehrere Kontos.

Vererbung / Spezialisierung: Ein Kunde kann Privatkunde oder Geschäftskunde sein. Attribute und Methoden werden von Kunde an Privatkunde und Geschäftskunde vererbt.

Komposition: Ein Gebäude besteht aus 1 bis mehreren Räumen. Ein Raum ist fester Bestandteil von Gebäude. Wird das Gebäude gelöscht, wird auch der Raum gelöscht.

Aggregation: Eine Vorlesung findet statt, wenn mindestens 3 Studenten teilnehmen. Ein Student besucht 0 bis mehrere Vorlesungen. Wird eine Vorlesung gelöscht, bleibt der Student bestehen.

5.2 Beschreibung der Klassen

5.2.1 Streifenmodell mit Streifenkonnektivität

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Modell für eine Minimallösung der Implementation der Varianten 3 bis 5 mit Streifenkonnektivität ohne Streifenknoten.

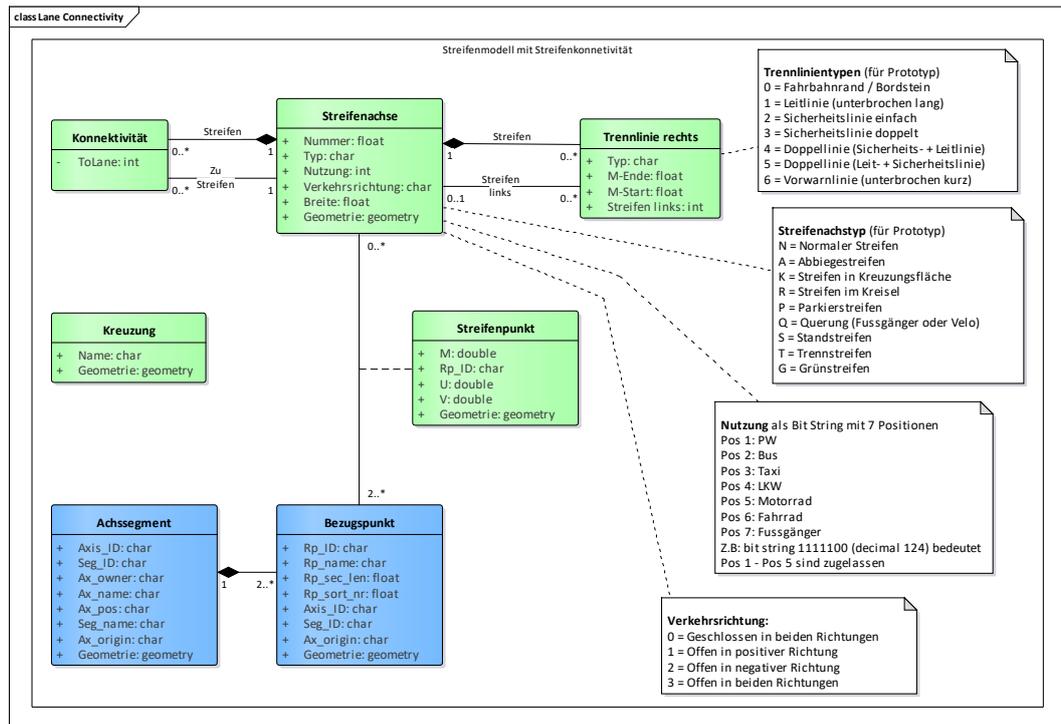


Abb 22 Klassendiagramm Streifenmodell mit Streifenkonnetivität

Die für die Streifenreferenzierung notwendigen Klassen sind in grüner Farbe abgebildet, die Klassen des RBBS in blau. Die RBBS-Klasse «Achse» ist nicht abgebildet, «Achssegment» ist eine Komposition von «Achse». Die Hauptklassen der Streifenreferenzierung sind «Streifenachse» und «Kreuzung», die Klassen «Konnektivität», «Trennlinie rechts» und «Streifenpunkt» sind abhängige Klassen.

Das Attribut M des Streifenpunktes enthält die Längsdistanz vom Anfangspunkt der Streifenachse und dient der Kalibrierung der Streifenachse. Der Streifenpunkt auf dem Anfangspunkt der Streifenachse hat immer die Länge 0, der Streifenpunkt auf dem Endpunkt der Streifenachse die Länge der Streifenachse. Diese Längenangaben erleichtern den Umgang von Streifenachsen im Rahmen der linearen Referenzierung in GIS. Dies ist ein Unterschied zum Konzept der Bezugspunkte im RBBS, bei dem die Sektorlänge die Längsdistanz zum nächsten Bezugspunkt enthält und der letzte Bezugspunkt eines Achssegments die Länge 0 hat.

Die Zeitattribute «Gültigkeit-von» und «Gültigkeit-bis» sind nicht enthalten, können jedoch, falls Temporalisierung notwendig, in allen Klassen ergänzt werden.

Die Aufzählungstypen in den weissen Kästchen in der Abbildung rechts enthalten eine vorläufige, sicher nicht abschliessende Auswahl, für den Zweck des Prototyps. Die Aufzählungstypen Streifenachstyp und Nutzung können in der Praxis zu einem Textkatalog zusammengefasst werden, damit nicht mögliche Kombinationen ausgeschlossen werden können.

In Anhang I.4 sind Regeln für die Erfassung der Daten beschrieben.

Die Nutzung, d.h. der auf den Streifen zugelassenen Fahrzeugtypen, wurde für den Prototyp mit einem Bitstring mit 7 Positionen implementiert.

Personenfahrzeuge								
Bus	1	1	1	1	0	0		
Taxi	0	1	1	0	0	0		
Schwerverkehr	0	0	0	0	0	0		
Motorrad								
Fahrrad								
Fussgänger								
Integer-Wert								

= 124 Gemischt ohne Fahrrad
 = 48 Bus- und Taxistreifen
 = 1 Fussweg, Trottoir

Abb 23 Implementation Nutzung für Prototyp

5.2.2 Streifenmodell mit Knotenkonnektivität

Dieses Modell verwendet auf Ebene Streifen eine Knoten-Kanten-Struktur. Die Konnektivität wird über die Attribute Knoten-von und Knoten-bis in Verkehrsrichtung hergestellt.

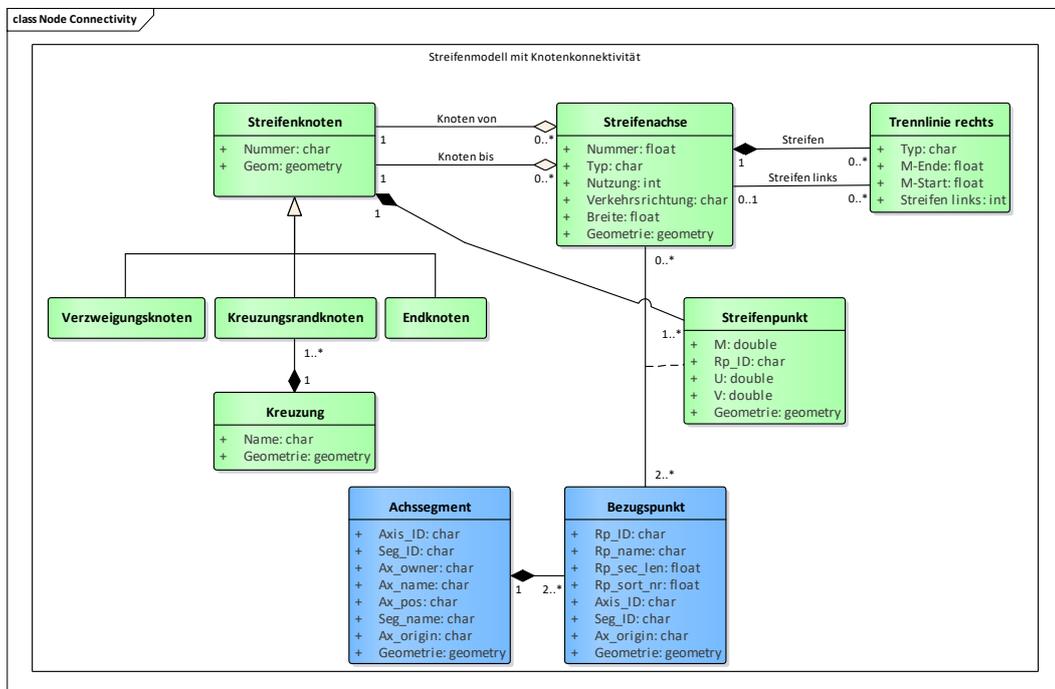


Abb 24 Klassendiagramm Streifenmodell mit Knotenkonnektivität

Im Vergleich zum Streifenmodell mit Streifenkonnektivität entfällt die Klasse «Konnektivität». Neu hinzu kommt die Klasse Streifenknoten mit folgenden Attributen:

- Knotennummer als eindeutige Identifikation
- Knotengeometrie als punktförmiges Objekt

Es besteht die Möglichkeit den Knoten mit den Spezialisierungen «Verzweigungsknoten», «Kreuzungsrandknoten» und «Endknoten» zusätzliche spezifische Attribute zuzuordnen, z.B. kann eine Zuordnung von Kreuzungsrandknoten zu Kreuzung erfolgen.

Die Aufzählungstypen sind identisch wie beim Streifenmodell mit Streifenkonnektivität.

Der Unterschied zwischen dem Modell mit Streifen- und Knotenkonnektivität besteht primär in der Art wie die Konnektivität im Streifenetz gebildet wird. Wie im Kapitel 4.2.7 beschrieben, ist der Streifenwechsel einerseits in Längsrichtung, andererseits in Querrichtung (geht nur über Streifenkonnektivität) möglich. Es ist daher konsistenter beide topologischen Beziehungen über Streifenkonnektivität zu lösen.

Bei der Knotenkonnektivität ist zu beachten, dass die Verbindung zum Folgestreifen nicht zwingend auch eine geometrische Verbindung ist, sondern auch Sprünge möglich sein müssen.

5.2.3 Zeitabhängige Verkehrsführung

Die Verkehrsregimes auf den Nationalstrassen enthalten diverse zeitabhängige Verkehrsführungen wie die Nutzung von Standstreifen für den Normalverkehr während Stosszeiten, Wintersperren, Nachfahrverbote, LKW-Fahrverbote in der Nacht und an Sonn- und Feiertagen, LKW-Überholverbot usw. Hierzu folgende Modellerweiterung:

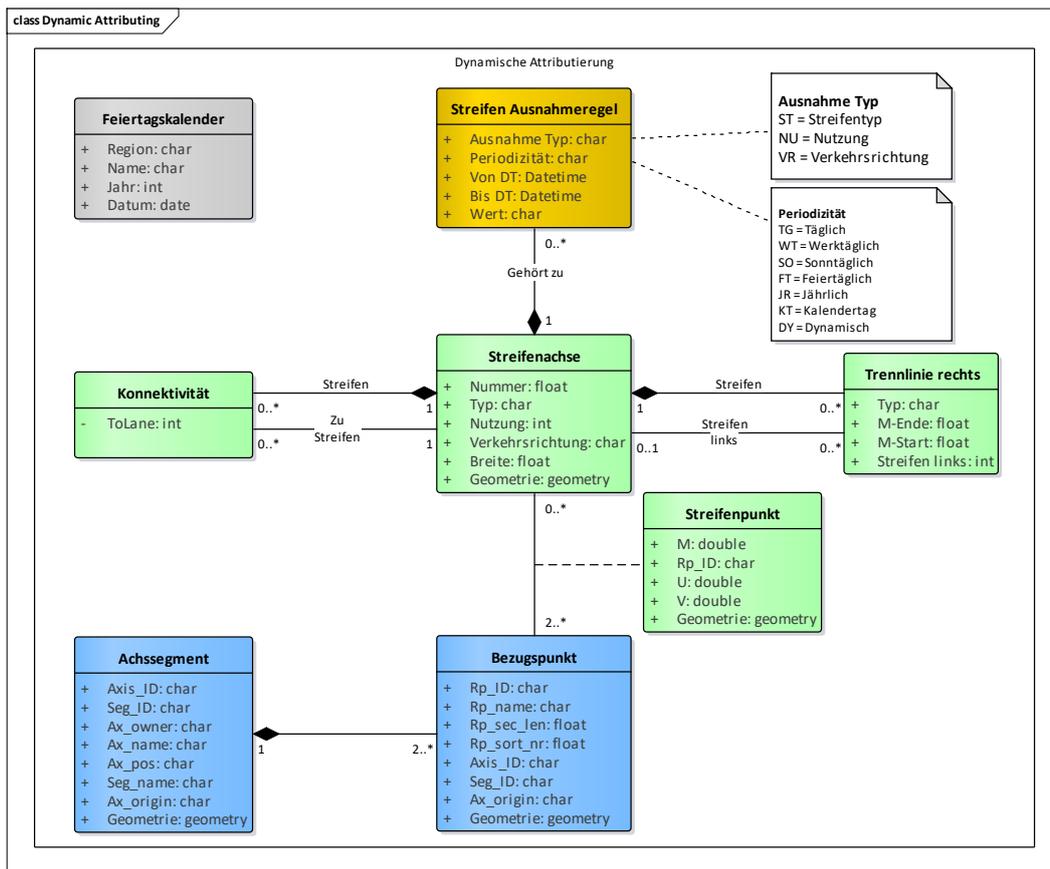


Abb 25 Modellerweiterung zeitliche Verkehrsregulierung

Die Ausnahmeregeln werden in der Klasse «Streifen Ausnahmeregel» definiert mit folgenden Attributen:

- Ausnahmetyp, d.h. auf welches Attribut in der Klasse Streifen bezieht sich die Ausnahmeregel (ST = Streifentyp; NU = Nutzung; VR = Verkehrsrichtung)
- Periodizität (TG = täglich; WT = werktäglich; SO = sonntäglich usw.)
- Datum und Zeit für den Beginn des Intervalls in dem die Ausnahmeregel gilt.
- Datum und Zeit für das Ende des Intervalls in dem die Ausnahmeregel gilt.
- Wertangabe, welche während des Intervalls gültig ist.

Die Aufzählungstypen in den weissen Kästchen in der Abbildung rechts enthalten eine vorläufige Auswahl für den Zweck dieses Projekts. Beim Aufzählungstyp Periodizität ermöglicht der Typ DY = Dynamisch Ausnahmeregeln in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens zu definieren, z.B. für die Steuerung der Freigabe des Pannestreifens als Fahrstreifen.

Die Modellerweiterung soll an einigen konkreten Beispielen erläutert werden. In der folgenden Tabelle sind einige Streifen aufgelistet, welche Ausnahmeregeln unterliegen:

Tab 3 Streifen mit Ausnahmeregeln

Streifen							
ID	Nummer	Streifentyp	Nutzung	Richtung	Breite	Geometrie	Kommentar
1	9	S	124	2	3.80	blob	Freigabe Standstreifen zu Hauptverkehrszeiten
2	-2	N	126	3	3.40	blob	Nachfahrverbot
3	2	N	124	1	3.20	blob	Nacht-, Sonntags-, Feiertagsfahrverbot LKW
4	1.5	N	126	1	2.80	blob	Wintersperre

Die ID enthält einen eindeutigen Schlüssel des Streifens, dieser wird hier vor allem zur Erläuterung aufgeführt. Die in **Tab 3** aufgeführten Werte für Streifentyp, Nutzung und Richtung enthalten die Werte für den normalen Werktagsverkehr. Falls für einen Streifen Ausnahmeregeln definiert sind, gelten diese innerhalb des in der Regel definierten Zeitintervalls. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ausnahmeregeln zu den vorgenannten Streifen.

Tab 4 Ausnahmeregeln⁶

ID	AttrTyp	Periodizität	Intervall von	Intervall bis	Wert	Erläuterung
1	ST	WT	00.01.1900 06:30	00.01.1900 08:30	N	Normalstreifen
1	ST	WT	00.01.1900 17:00	00.01.1900 19:00	N	Normalstreifen
2	VR	TG	00.01.1900 22:00	00.01.1900 05:00	0	geschlossen in beiden Richtungen
3	NU	TG	00.01.1900 22:00	00.01.1900 05:00	116	Gemischt ohne LKW und Velo
3	NU	SO	00.01.1900 05:00	00.01.1900 22:00	116	Gemischt ohne LKW und Velo
3	NU	FT	00.01.1900 05:00	00.01.1900 22:00	116	Gemischt ohne LKW und Velo
4	VR	JR	01.12.2017 00:00	28.02.2018 23:59	0	geschlossen in beiden Richtungen

Erläuterungen:

- Der Streifen 1 mit Streifentyp Standstreifen S wird werktäglich WT von 6:30-8:30 und von 17:00-19:00 als normaler Fahrstreifen N benutzt.
- Für Streifen 2 gilt ein generelles Nachfahrverbot, deshalb wird die Verkehrsrichtung VR täglich von 22:00-05:00 mit dem Wert 0 für geschlossen in beiden Richtungen.
- Auf Streifen 3 gilt für LKW ein Nacht-, Sonntags- und Feiertagsfahrverbot. Deshalb wird der Wert für die Nutzung NU in den angegebenen Zeitintervallen von 124 (gemischt mit LKW ohne Velo) auf 116 (gemischt ohne LKW und Velo) zurückgesetzt.
- Für Streifen 4 gilt eine Wintersperre, die Verkehrsrichtung VR wird für das angegebene Zeitintervall auf 0 für geschlossen in beiden Richtungen gesetzt.

Ein etwas komplexeres Beispiel ist die Verkehrsführung im Bareggunnel, bei dem die Verkehrsrichtung in der mittleren Tunnelröhre je nach Verkehrsaufkommen umgestellt werden kann.

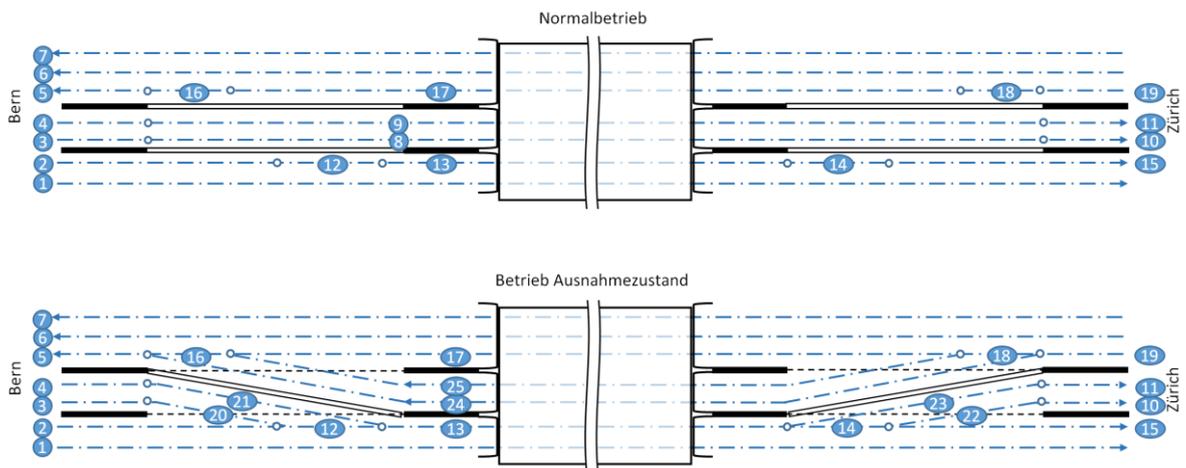


Abb 26 Umstellung Verkehrsrichtung Baregg

⁶ Die Beispiele wurden in Excel erstellt. Excel verwendet für eine Zeitangabe ohne Datum den Datumswert 01.01.1900 (Excel-Nullpunkt).

Die blauen Kreissymbole mit den Nummern enthalten eine eindeutige Streifen-ID nur zur Erläuterung in diesem Dokument. Sie sind nicht zu verwechseln mit der Streifennummer gemäss dem Streifenmodell in den Kapiteln 5.2.1 und 5.2.2, welche sich aus dem Querabstand von dem Achssegment ableitet.

Eine Möglichkeit diese Ausnahmeregeln mit dem Modellvorschlag abzubilden ist die betroffenen Konnektivitäten (in Verkehrsrichtung) für beide Zustände vollständig zu erfassen und die Werte für die Verkehrsrichtung je nach Regime als Ausnahmeregel anzupassen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Daten für den normalen Betrieb übersichtshalber nur für den Teil links des Tunnels aufgeführt.

Tab 5 Streifen und Konnektivitäten Baregg Normalbetrieb

Streifen							Konnektivitäten	
ID	Nummer	Streifentyp	Nutzung	Richtung	Breite	Geometrie	Streifen von	Streifen nach
1	7.50	N	126	1	3.80	blob		
2	3.25	N	126	1	3.70	blob		
3	6.75	N	124	1	3.80	blob		
4	2.50	N	124	1	3.70	blob		
5	-3.50	N	126	2	3.70	blob		
6	-7.25	N	126	2	3.70	blob		
7	-11.00	N	126	2	4.00	blob		
8	6.75	N	124	1	3.80	blob		
9	2.50	N	124	1	3.70	blob		
12	3.25	N	126	1	3.70	blob		
13	3.25	N	126	1	3.70	blob		
16	-3.50	N	126	2	3.70	blob		
17	-3.50	N	126	2	3.70	blob		
20	6.75	N	124	0	3.80	blob		
21	2.50	N	124	0	3.60	blob		
24	6.75	N	124	0	3.80	blob		
25	2.50	N	124	0	3.70	blob		
							2	12
							12	13
							3	8
							4	9
							17	16
							16	5
							3	20
							20	12
							4	21
							21	13
							24	5
							25	16

Die Werte Streifentyp, Nutzung und Richtung gelten für den normalen Zustand. Man beachte, dass die für die Ausnahmeregel definierten Streifen 20 bis 25 für die Richtung den Wert 0 aufweisen und somit nicht befahrbar sind.

Als Szenario für den Ausnahmebetrieb wurde ein Grossanlass am 3. Juli 2018 angenommen, bei dem am Vormittag mit einem sehr grossen Verkehrsaufkommen von Bern in Richtung Zürich gerechnet wird. Dieses Verkehrsaufkommen wird mit den Regeln für den Normalbetrieb gemäss obigen Tabellen abgedeckt. Gegen Abend zwischen 16 und 22 Uhr bewegt sich der Verkehr in die umgekehrte Richtung. Die Verkehrsrichtung im mittleren Tunnel wird umgekehrt. Für den Zustand nach der Umstellung der Verkehrsrichtung gelten die Ausnahmeregeln gemäss der folgenden Tabelle.

Tab 6 Ausnahmeregeln Baregg für den Ausnahmezustand

Streifen ID	AttrTyp	Periodizität	Intervall von	Intervall bis	Wert
8	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	0
9	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	0
20	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	1
21	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	1
24	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	2
25	VR	KT	03.07.2018 16:00	03.07.2018 22:00	2

Man beachte, dass hier die Richtung für die Streifen 8 und 9 auf 0 gesetzt und somit nicht mehr befahrbar sind. Die Richtungswerte für die Streifen 20 und 21 in Richtung Zürich werden in positiver Richtung befahrbar. Die Richtungswerte für die Streifen 24 und 25 in Richtung Bern werden in entgegengesetzter Richtung befahrbar.

5.2.4 Anbindung Fachdaten

Streifenbezogene Fachdaten sollen in separaten Klassen gespeichert und mit den Streifen verknüpft werden. Ein Beispiel ist der Strassenzustand, z.B. die Fahrbahnoberfläche. Dieser wird meist maschinell pro Streifen erhoben und als berechneten Indexwert I1 zwischen 0 (sehr gut) und 5 (sehr schlecht) in diskreten Abschnitten zwischen 10m und 100 m gespeichert.

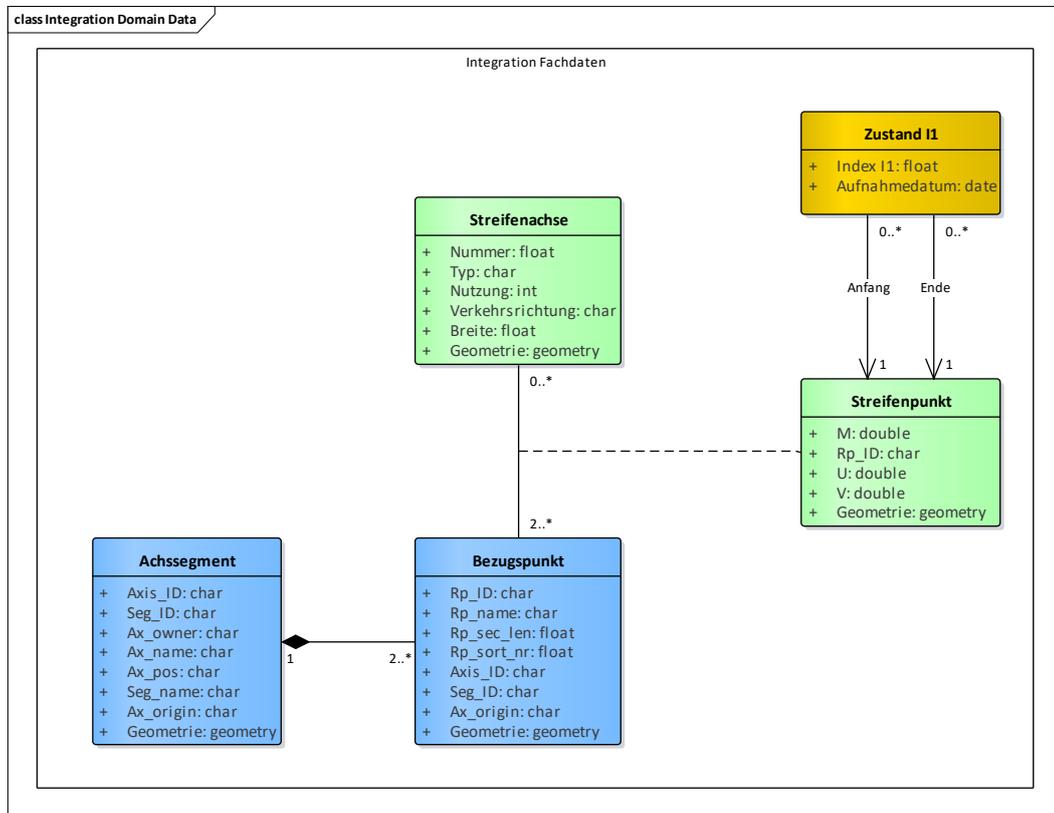


Abb 27 Integration Fachdaten

Bei linienförmigen Fachdaten wie hier am Beispiel des Oberflächenindex I1 des Fahrbahnzustands beziehen sich Anfangs- und Endpunkt der Linie auf Streifenpunkte. Bei der Aufnahme der Fachdaten mit planarer Geometrie, werden die Bezüge zu den Streifenpunkten rechnerisch durch einen Verschnitt mit der Streifenachsgeometrie gebildet. Voraussetzung ist eine genügend genaue Übereinstimmung der Geometrie der Fachdaten mit der Streifenachsgeometrie (< 1.0m) oder eine Zuordnung der Streifenbezeichnung in den Fachdaten mit der Nummer der Streifenachse. Bei der Aufnahme der Fachdaten in RBBS-Koordinaten werden die Bezüge zu Streifenpunkten rechnerisch ermittelt ebenfalls mit Zuordnung zur betreffende Streifenachse.

5.3 Temporalisierung

Falls Wert gelegt wird über die Kenntnis vergangener oder zukünftiger Streifenkonfigurationen, z.B. in Zusammenhang mit der Auswertung früherer Verkehrs- oder Unfalldaten, können Streifen und Knoten sowie mit ihnen auch die Informationen über Nutzung, Verkehrsrichtung, Konnektivitäten und Trennlinien temporalisiert werden.

Die Anwendung der Temporalisierung wird im Forschungsbericht [5] «Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP1: Zeitaspekte und Historisierung» erläutert.

Die Implementation erfolgt, wie in den SN-Normen vorgesehen, durch Datumsangaben für Gültigkeit-von und Gültigkeit-bis⁷. Bei einer Temporalisierung wird eine neue Version eines Objekts erstellt. Bei der aktuellen Version wird Gültigkeit-von auf das Datum der Änderung gesetzt, Gültigkeit-bis bleibt leer. Bei der zuletzt gültigen Version des Objekts wird Gültigkeit-bis auf das Datum der Änderung gesetzt. Wird ein Objekt gelöscht, so wird Gültigkeit-bis auf das Löschdatum gesetzt.

Durch welche Ereignisse und wie umfangreich eine Temporalisierung ausgelöst wird, ist Gegenstand der Implementation in einem SIS. Nachfolgend sind die Ereignisse, welche zwingend zu einer Temporalisierung führen müssen, aufgeführt:

Tab 7 Ereignisse, welche eine Temporalisierung auslösen

Ereignis	Temporalisierung von
1. Raumbezug Achssegment wird verändert, neue Bezugspunkte, Veränderung Sektorlängen.	Streifenachsen, Streifenpunkte, Trennlinien, Konnektivitäten müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
2. Achssegmentgeometrie wird verändert.	Streifenachsen, Streifenpunkte, Trennlinien, Konnektivitäten müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
3. Raumbezug der Streifenachsen wird verändert, neue Streifenpunkte, Veränderung der Sektorlängen der Streifenpunkte.	Streifenachsen, betroffene Streifenpunkte, Trennlinien, müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
4. Streifenachsgeometrie wird verändert.	Streifenachsen, Streifenpunkte und Trennlinien müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
5. Streifenorientierung wird verändert.	Streifenachsen, Streifenpunkte, Trennlinien, Konnektivitäten müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
6. M-Wert eines Streifenpunkts wird verändert.	Streifenpunkt wird temporalisiert. Trennlinien müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
7. Streifennummer oder Streifentyp oder Nutzung oder Breite wird verändert.	Streifenachse wird temporalisiert.
8. Verkehrsrichtung der Streifenachse wird verändert.	Streifenachse und Konnektivitäten werden überarbeitet und temporalisiert.
9. Ausdehnung der Trennlinie wird verändert	Betroffene Trennlinie und benachbarte Trennlinien müssen überarbeitet und temporalisiert werden.
10. Trennlinientyp wird verändert.	Betroffene Trennlinie wird temporalisiert.
11. Kreuzungsfläche wird geometrisch verändert.	Kreuzungsfläche wird temporalisiert, angrenzende Streifenachsen, Streifenpunkte und Trennlinien müssen überarbeitet und temporalisiert werden.

⁷ Gültigkeit-von und Gültigkeit-bis stimmen nicht mit dem Systemzeitpunkt der Erfassung/Änderung im SIS überein. Letzterer sollte immer als Datums-Zeitangabe zusätzlich erfasst werden. Der Wissenszeitpunkt, wie er früher verwendet wurde, ist mit dem Systemzeitpunkt abgedeckt.

6 Prototyp

6.1 Anwendungsfälle

Realisiert wurden je ein Anwendungsfall für die Infrastruktur- und Verkehrssicht.

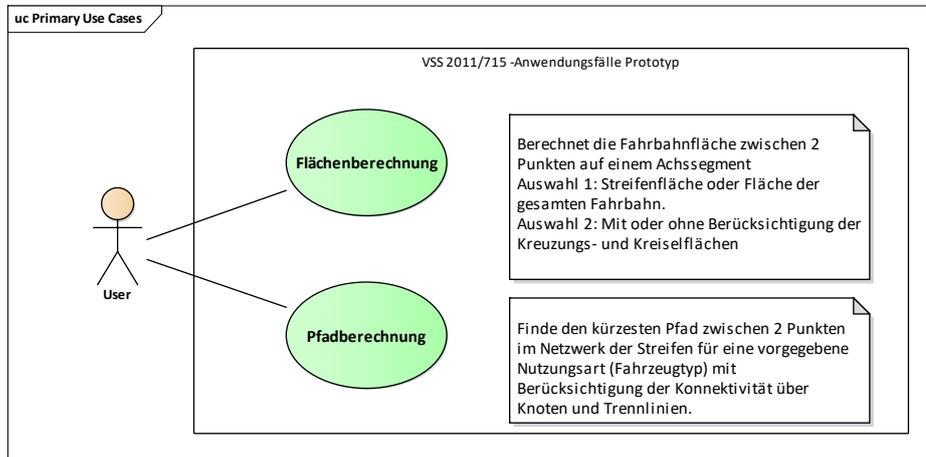


Abb 28 Anwendungsfälle Prototyp

6.2 Gebiet

Als Gebiet für den Prototyp wurde der Kanton Genf ausgewählt. Gründe hierfür waren einerseits ein komplexes Strassennetz mit vielen Streifen und andererseits die Verfügbarkeit genauer Strassendaten des Kantons Genf und von Navigationsdaten HERE und TomTom.

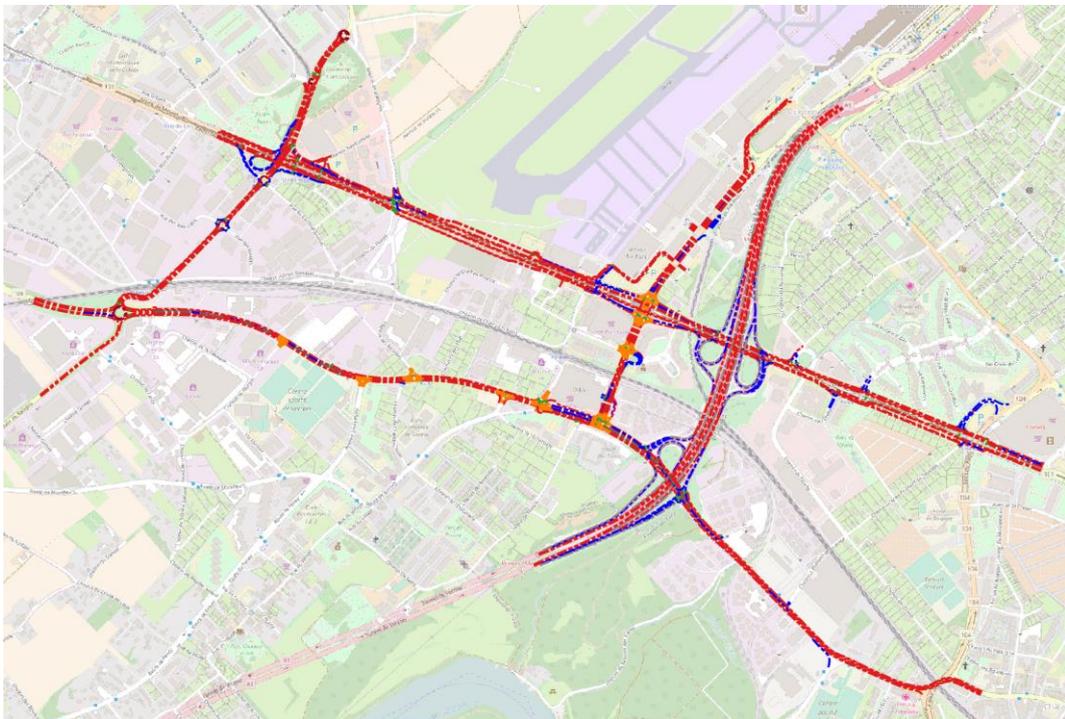


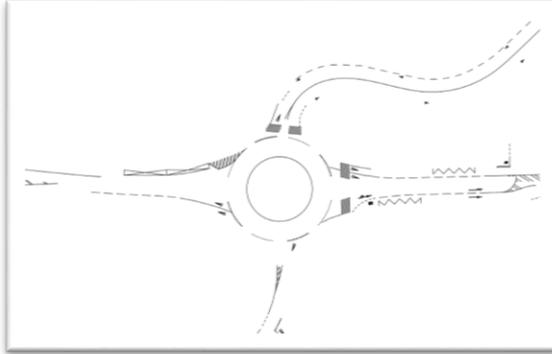
Abb 29 Übersicht Gebiet Prototyp

6.2.1 Grundlagedaten

Der Prototyp wurden folgende Grundlagedaten verwendet.

Tab 8 Grundlagedaten Prototyp

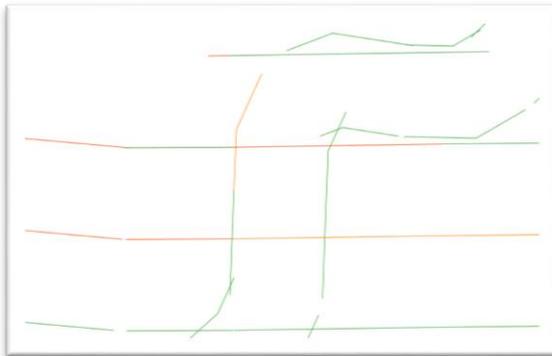
Strassenmarkierungen von SITG, Datei: OTC_MARQUAGE_LIGNE.shp



Bodenbedeckungsdaten von SITG, Dateien: CAD_DOMROUTIER_OBJETS_NIV_1.shp, CAD_DOMROUTIER_OBJETS_NIV0.shp, CAD_DOMROUTIER_OBJETS_NIVa.shp



Strassenzustandsdaten Index 1, Datei : v10/gc_sge_indice_i1.gdb



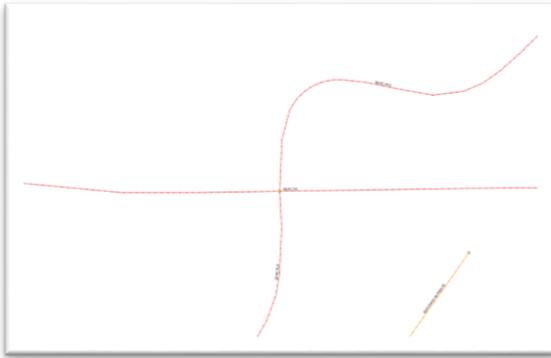
Strassenachsen und Bezugspunkte MISTRA vom ASTRA

Dateien NS: Axes_National_Ref_Geometry_MainAxe.shp, Axes_National_Ref_Points_MainAxe.shp

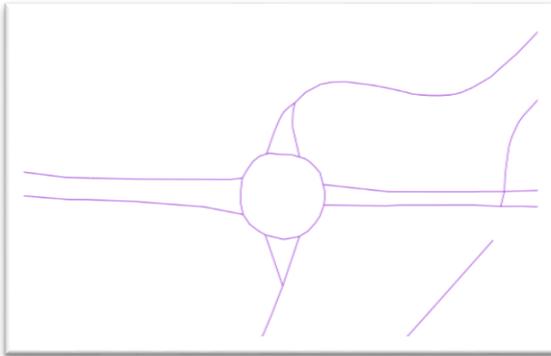
Dateien Rampen NS: Axes_National_Ref_Geometry_RampAxe.shp, Axes_National_Ref_Points_RampAxe.shp

Dateien KS: Axes_Cantonal_Ref_Geometry.shp, Axes_Cantonal_Ref_Points.shp

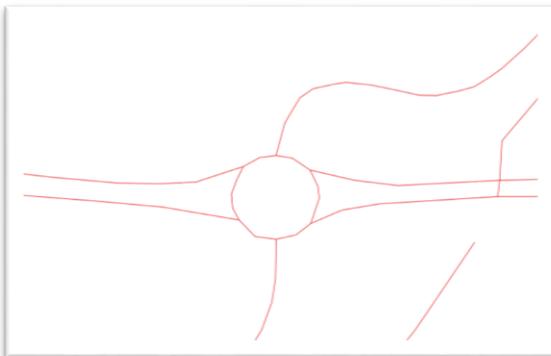
Dateien GS: Axes_Communal_Ref_Geometry.shp, Axes_Ref_Points_Unknown.shp



Navigationsdaten TomTom Multinet von bbp geomatik ag, Dateien: chech225_____nw.shp, chech225_____jc.shp



Navigationsdaten HERE NavStreets von bbp geomatik ag, Dateien: Streets.shp



Hintergrunddaten OpenStreetMap



Hintergrunddatei Google Satellite



6.2.2 Details

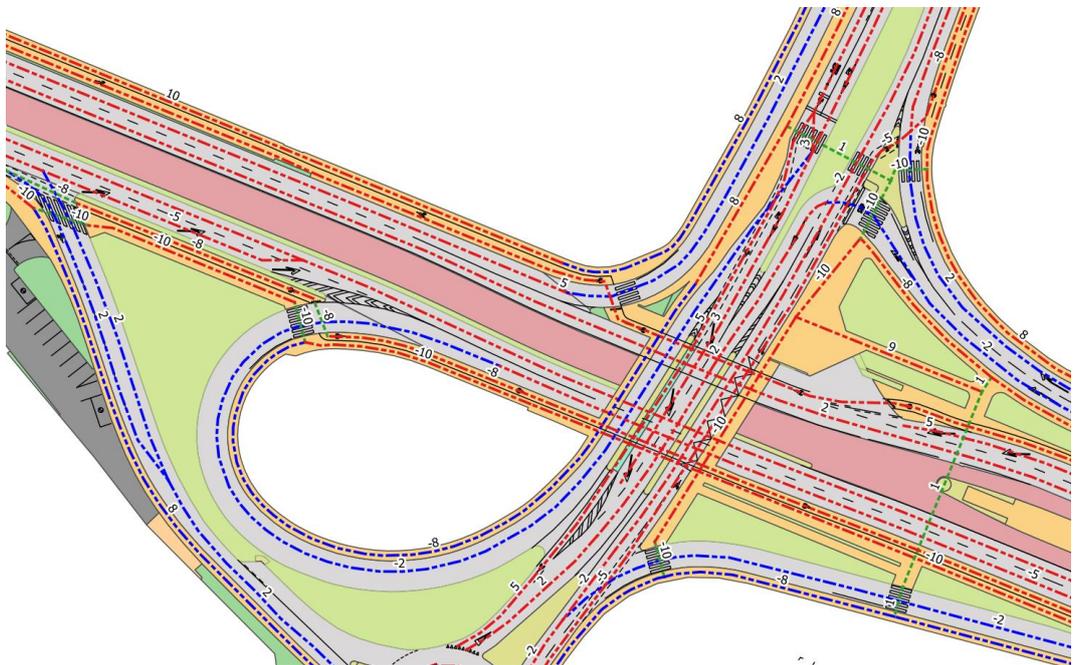


Abb 30 Kreuzung mit durchgehenden Streifenachsen gemäss Variante 3

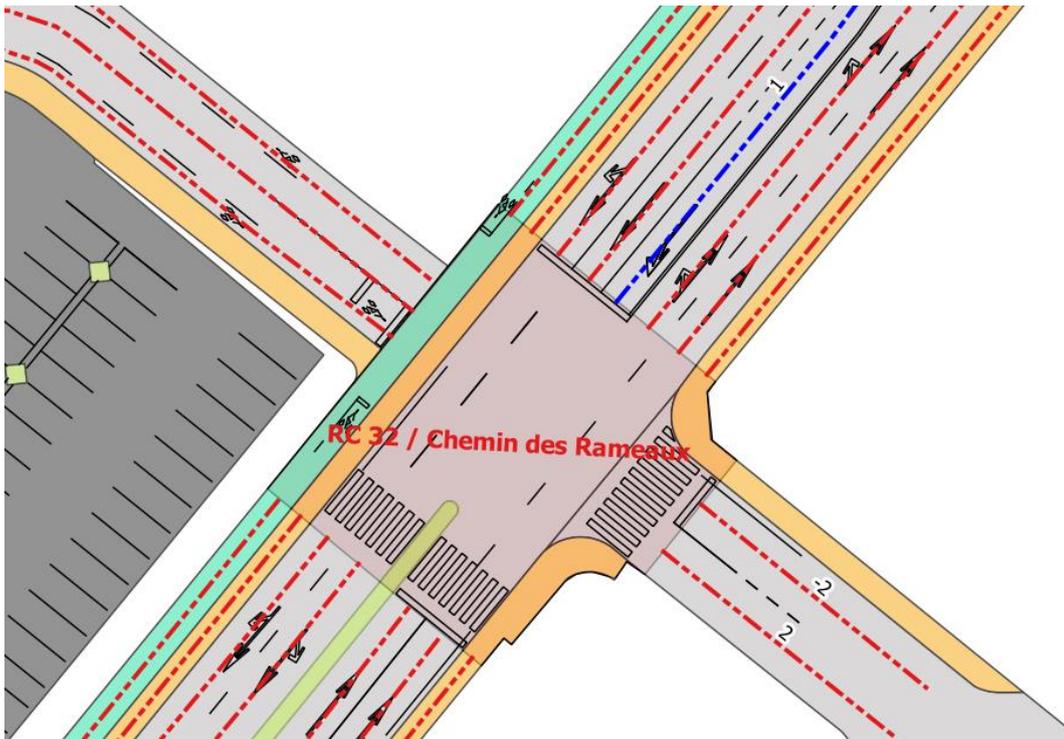


Abb 31 Kreuzung mit Kreuzungsfläche ohne Kreuzungsachsen gemäss Variante 4

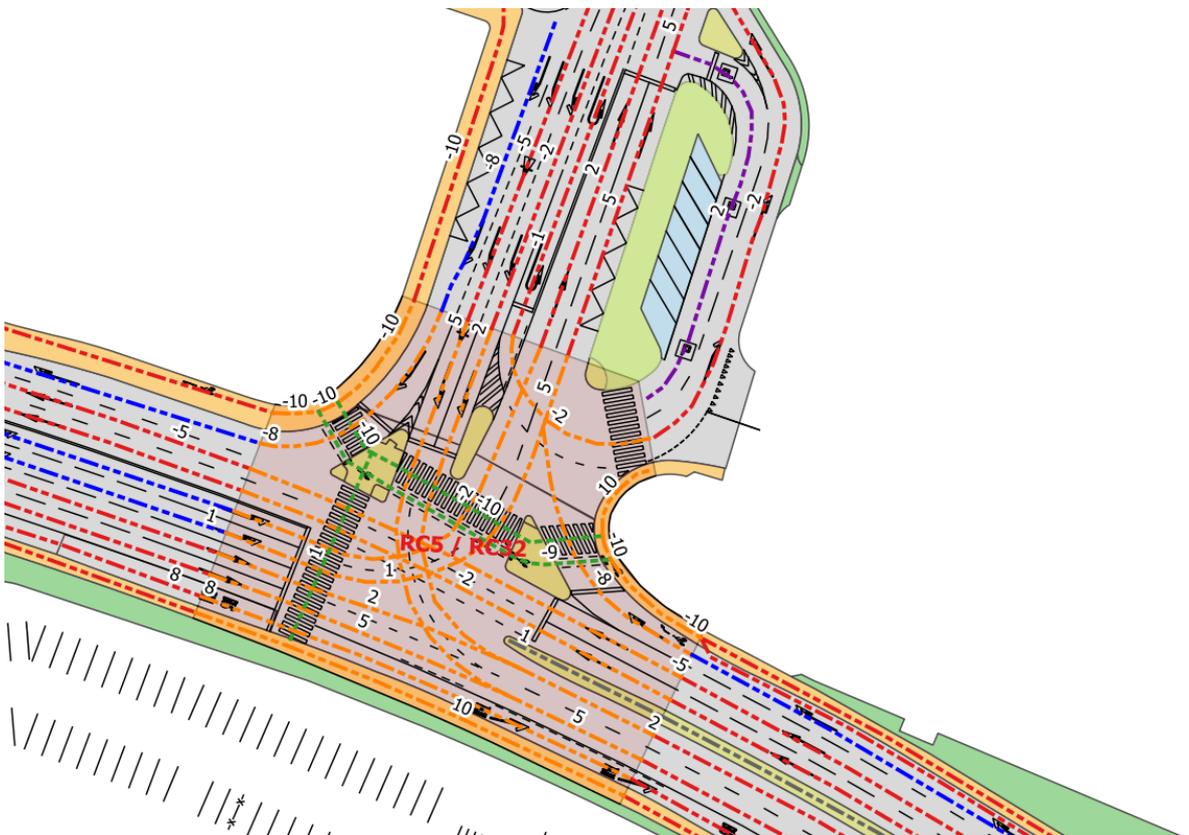


Abb 32 Kreuzung mit Kreuzungsfläche und virtuellen Kreuzungsachsen gem. Variante 5

6.3 Systemarchitektur

6.3.1 Softwarearchitektur

Die Software-Architektur für den Prototyp ist im Anhang I.3 dokumentiert. Der Programmcode und die Streifendaten können von der Forschungsstelle bezogen werden.

6.3.2 Grafisches User Interface GUI

Der Prototyp ist eine Web-Applikation und kann mit einem WebBrowser⁸ über die URL <http://imc-ch.ch/streifenreferenzierung/> aufgerufen werden.

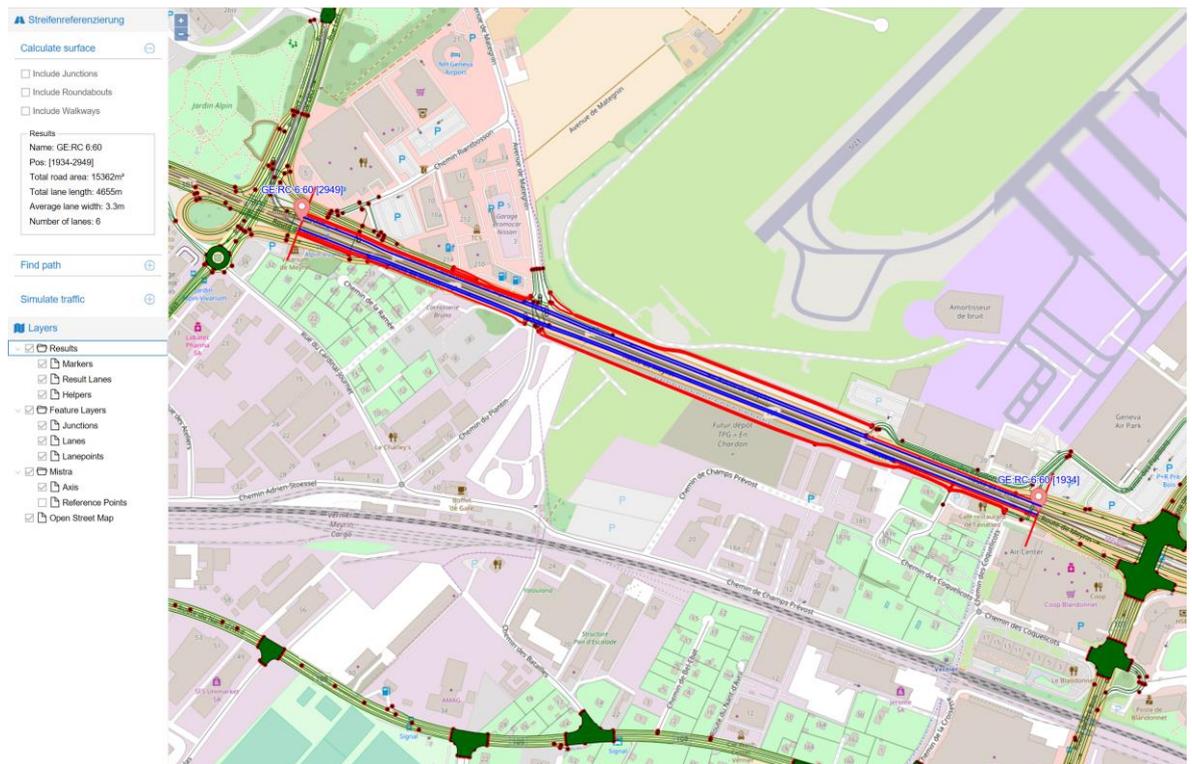


Abb 33 Prototyp Benutzeroberfläche

6.4 Anwendung

6.4.1 Flächenberechnung (Infrastruktursicht)

Öffnen Sie den Bereich «Calculate Surface». Positionieren Sie die beiden Marker ⁹  an den gewünschten Stellen auf einem Achssegment. Falls eine gültige Position gefunden wurde, wird der Name des Achssegments und die Längsdistanz U oben rechts neben dem Marker beschriftet und das Kreissymbol im Innern des Markers wird grün. Die Flächenberechnung funktioniert pro Achssegment, sie funktioniert nicht, wenn der Start- und Endemarker auf verschiedenen Achssegmenten positioniert werden.

⁸ Das Projektteam hat mit den Browsern Chrome und Internet Explorer 11 gearbeitet.

⁹ Falls die Marker im gewählten Bildausschnitt nicht sichtbar sind, können sie mit der «Reset markers» Schaltfläche in die Mitte des Bildschirms geholt werden.

Results
 Name: GR:RC 5:0
 Pos: [1743,2649]
 Total road area: 22169m²
 Total lane length: 7801m
 Average lane width: 2.8m
 Number of lanes: 56

Das Resultat der Flächenberechnung wird im Navigationsbereich links angezeigt. Das Feld Name zeigt den Namen des Achssegments, das Feld Pos die Längsdistanz U zwischen Anfangs- und End-Marker.

Die Flächenberechnung kann mit verschiedenen Möglichkeiten differenziert werden:

- Mit «Include Junctions» und «Include Roundabouts» können die Kreuzungs- bzw. Kreiselflächen als Ganzes in der Berechnung berücksichtigt werden. Sind diese Optionen ausgeschaltet werden nur die Streifenanteile der Kreuzung bzw. Kreisell berücksichtigt.
- Mit gedrückter CTRL-Taste können die zu berücksichtigenden Streifen einzeln selektiert werden.
- Mit der Option «Filter Lanes» kann die Berechnung auf Streifen für einzelne Fahrzeugarten und Streifennummern eingegrenzt werden.

6.4.2 Pfadberechnung (Verkehrssicht)

Öffnen Sie den Bereich «Find path». Wählen Sie zunächst die Nutzungsart (Fahrzeugtyp) für den Sie die Pfadberechnung durchführen möchten. Dadurch werden nur diejenigen Streifen aktiviert, welche für die vorgesehene Nutzung möglich sind. Positionieren Sie den blauen Start-Marker und den roten Ziel-Marker auf einen Streifen irgendwo im Streifenetz. Anschliessend berechnet das System den kürzesten Pfad zwischen den gewählten Positionen. Die Berechnung kann einige Sekunden dauern, beachten Sie die besetzt-Animation im oberen Bereich der Karte.

6.4.3 Fahrsimulation (Verkehrssicht)

Mit der zusätzlichen Funktion «Start animation» wird die Fahrt eines Fahrzeuges als Animation angezeigt. Zoomen Sie hierzu soweit hinaus bis alle Streifen sichtbar werden. Die Funktion generiert einen zufälligen Start- und Endpunkt, zeigt den Pfad und lässt ein Fahrzeug dem Pfad entlang fahren.

6.5 Erfahrungen

6.5.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung wurde mit dem GIS-System QGIS gemacht. Die Erfassung der Streifenendaten für den Prototyp war mit einem Aufwand von ca. 140 Stunden relativ hoch. Dies entspricht einer Streifenlänge von ca. 650 m pro Stunde inkl. der Erfassung der Streifenpunkte, der Codierung der Konnektivitäten und der Erfassung der Trennlinien zwischen den Streifen.

Für die Erfassung der Streifenachsen stand der gute und genaue Kataster der Strassendaten mit Bodenbedeckung und der horizontalen Markierung von SITG zur Verfügung. Dadurch konnten die Streifenachsen durch Bildung von parallelen Linien zu den Strassenrändern und Markierungen präzise erfasst werden.

Die Datenerfassung könnte mit Bereitstellung geeigneter Spezialwerkzeuge wesentlich beschleunigt werden. Zum Beispiel durch:

- Automatische Generierung von Streifenpunkten am Anfang und Ende einer Streifenachse mit Bestimmung des RBBS-Bezuges.
- Automatische Generierung der Streifenbezüge von Trennlinien.
- Grafikerunterstützte Codierung der Konnektivitäten in Längsrichtung.

Mittelfristig werden Fahrzeug- und Drohnengestützte Methoden zu einer wesentlichen Leistungssteigerung bei der Datenerfassung führen.

Die Erfahrungen aus der Datenerfassung für den Prototyp sind im Anhang I.4 beschrieben.

6.5.2 Qualität der Basisdaten

Für den Prototyp wurden vor allem die folgenden Basisdaten verwendet:

- MISTRA Strassenachsen und Bezugspunkte von Nationalstrassen, Kantonsstrassen und Gemeindestrassen. Diese Grundlage war für die Herstellung von RBBS-Bezügen bei den Streifenpunkten unerlässlich. Probleme bereitete die z.T. ungenaue Lage der Achsgeometrie, wenn z.B. Streifen rechts der Strasse links der MISTRA-Achse liegen. Dabei stellt sich für den Datenerfasser die Frage, ob die Streifen mit einer positiven Nummer versehen werden soll, was bei guter Qualität der Daten der Fall wäre, oder ob die Streifen gemäss Anweisung mit einer negativen Nummer versehen werden soll. Auch die Frage wie der Querabstand der Streifenachse von der Strassenachse eingegeben werden soll ist problematisch. Hier zeigt sich deutlich die Problematik der Propagation von Fehlern von den Basisdaten in die Fachdaten.
- Die Daten der SITG mit Bodenbedeckung und horizontaler Markierung. Diese Daten waren für die Erfassung der Streifenachsen von zentraler Bedeutung. Vor allem die hohe Genauigkeit bei der Abbildung der Bodenbedeckung und der Kataster der horizontalen Markierung mit den Trennlinien waren wichtige Grundlage.
- Die Daten mit dem Oberflächenindex I1 des Strassenzustands vom Kanton Genf für den Anwendungsfall Flächenberechnung im Prototyp.
- OpenStreetMap OSM als Kartenhintergrund. Diese Kartengrundlage weist eine hohe Genauigkeit auf und eignet sich deshalb sehr gut als Hintergrund. OSM könnte zusammen mit Luftbildern oder Satellitenaufnahme als alternative Grundlage für die Erfassung von Streifenachsen verwendet werden.
- Die Daten von HERE und TomTom dienten primär als Vergleichsdaten sind aber für die Erfassung von Streifenachsen zu ungenau.
- Die Daten von Google Satellite dienten ebenfalls als Vergleichsdaten. Als Basis für die Digitalisierung von Streifenachsen waren diese Daten jedoch nicht geeignet, weil im grossmassstäblichen Bereich 1:500 bis 1:2'000 sehr grosse Ungenauigkeiten auftreten.

7 Auswirkungen auf SN Normen

7.1 SN 640 91x Strasseninformationssystem

Das Forschungsprojekt sowie auch die Recherche internationaler Normen und Fachliteratur haben ergeben, dass die Verfeinerung des linearen Raumbezugs von der Achsreferenzierung hin zu Streifenreferenzierung ein sehr aktuelles und wichtiges Thema ist. Wie in Kapitel 5 beschrieben kann der Raumbezug auf Ebene Streifen als sekundäres, das RBBS überlagerndes Bezugssystem betrachtet werden. Hierzu folgende Analogien:

Tab 9 Analogie RBBS zu Raumbezug mit Streifenreferenzierung

RBBS	Raumbezug mit Streifenreferenzierung
Strassenachse	Streifenachse. Sie liegt generell in der Mitte des Streifens, auch bei richtungsgetrennten Strassen.
Achssegment	Keine Analogie, eine Streifenachse gilt immer für eine zusammenhängendes Stück Streifen.
Bezugspunkt / Sektor	Streifenpunkt. Beim Thema Sektor / Sektorlänge haben sich die Forschungsarbeiten an die lineare Referenzierung in GIS-Systemen orientiert, d.h. der erste Streifenpunkt hat die Länge 0, die Länge der Folgepunkte entspricht der realen Länge zum Anfangspunkt des Streifens. Streifenpunkte hat es zwingend immer auf dem Anfangs- und Endpunkt einer Streifenachse. Zwischenstreifenpunkte sind möglich jedoch nicht zwingend notwendig. Bei langen Streifen kann es sinnvoll sein einen Zwischenstreifenpunkt dort zu setzen, wo es auf der Achse einen Zwischenbezugspunkt hat.
Ort	Streifenort. Anfangs- und Endpunkt z.B. einer Trennlinie sind Streifenorte.
Bezugsdistanz U	Längsdistanz M
Seitlicher Abstand V	Offset (im Forschungsprojekt nicht angewandt)
Strecke als Teilstück eines Achssegments, das durch zwei Orte begrenzt wird.	Strecke als zusammenhängendes lineares Objekt, das durch zwei Streifenorte begrenzt wird. Die Streifenorte müssen nicht notwendigerweise dieselbe Streifenachse referenzieren, wohl aber Streifenachsen desselben Achssegments.
Markierung / Versicherung	Nicht notwendig
Dynamik RBBS	Dynamik Streifenreferenzierung. Die physische Existenz von Streifen ist meist von der horizontalen Markierung auf der Fahrbahnoberfläche abhängig. Diese ist wesentlich volatiler als der Verlauf einer Strasse.
Achsgeometrie mit Unterscheidung zwischen Horizontalgeometrie und Vertikalgeometrie.	Streifenachsgeometrie nur als Horizontalgeometrie.
Referenzgeometrie	Keine Analogie. Streifenachsgeometrie muss eine Lagegenauigkeit von < 1m aufweisen.
Darstellungsgeometrie	Keine Analogie. Bei kleinmassstäblichen Darstellungen, z.B. < 1:10'000, ist die Darstellung parallel verlaufender Streifen nicht mehr sinnvoll. Stattdessen können Streifenachsen mit einem Offset abgebildet werden.
Kalibrierung	Kalibrierung durch Einpassen auf dem zugrundeliegenden Achssegment. Die Länge des Streifens wird über die M- und U-Werte von Anfangs- und Endstreifenpunkt auf das Achssegment kalibriert. Damit können Streifenorte korrekt in RBBS-Orte transformiert werden.
Netz	Streifennetz
Knoten	Streifenknoten mit der Unterscheidung zwischen Verzweigungs-, Kreuzungsrand- und Endknoten
Knotenort	Streifenpunkt ist gleichzeitig auch der Ort eines Streifenknotens. Dies im Gegensatz zum RBBS bei dem Bezugspunkte und Knoten per Definition nicht übereinstimmen.

Abschnittsnetz / Streckennetz	<p>Streifenabschnittsnetz / Streifenstreckennetz</p> <p>Von den Datenlogik her können beide in SN 640 914 aufgeführten Netztypen, soweit sinnvoll, anstatt auf Achssegmenten auch auf Streifenachsen gebildet werden, z.B. bilden die Zustandaufnahme der Strassenoberfläche, welche pro Streifen in Abschnitte konstanter Länge, z.B. 50 m, aufbereitet werden ein Streifenstreckennetz.</p>
Sekundäre Bezugssysteme	<p>Das Streifenetz kann selber als sekundäres Bezugssystem mit definiertem Bezug zum RBBS betrachtet werden. Der Begriff «Sekundäres Bezugssystem» müsste bereinigt werden.</p>
Knotenhierarchie	<p>Ein im Projekt als Kreuzungsfläche definiertes Objekt kann als komplexer hierarchischer Knoten im Sinne von SN 640 914 bezeichnet werden, mit den Kreuzungsrandknoten als «Einfache Knoten».</p>

Das Projektteam empfiehlt die Streifenreferenzierung in die SN Normen aufzunehmen. Möglich wäre die Schaffung einer neuen Norm «Strasseninformationssystem -- Raumbezug mit Streifenreferenzierung». Alternativ kann die bestehende Normenreihe SN 640911 bis SN 640914 um den Aspekt der Streifenreferenzierung erweitert werden.

7.2 SN 671 941 Strassenverkehrstelematik

Die SN 671 941 baut betreffend Bezugssysteme auf der Normenreihe SN 640 91x gemäss dem vorangehenden Kapitel auf. Die Begriffe werden in dieser Norm nochmals aufgeführt. Es wird differenziert zwischen planaren, linearen und topologischen Bezugssystemen. Ein wesentlicher Teil der Norm befasst sich mit Transformationen von Positionen zwischen den Bezugssystemtypen. Mit den Streifenetzen kommt eine neue Bezugsebene hinzu.

Aus diesen Gründen und insbesondere, weil die Streifenreferenzierung im Bereich Strassenverkehrstelematik ein sehr zukunftsorientiertes Thema ist, empfiehlt das Projektteam die Norm 671 941 mit dem Thema Streifenreferenzierung zu erweitern.

8 Umsetzung in MISTRA und VM-CH

Streifenbezogene Daten werden bereits heute in diversen MISTRA Fachapplikationen und in VM-CH:

- FA Trasse für die Zuordnung von Fahrbahnnutzung, Fahrbahnzustand und Fahrzeug-Rückhaltesysteme.
- FA Kunstbauten und Tunnel für die Beurteilung der Befahrbarkeit durch Sondertransporte
- FA Verkehrsunfälle für die Zuordnung von Verkehrsunfällen
- FA Verkehrsmonitoring für die Zuordnung der Verkehrszählerdaten
- FA Langsamverkehr für die Nutzung der Wege
- VM-CH für die Verkehrslenkung und -steuerung

Die Liste ist nicht abschliessend, zeigt aber die Bedeutung, welche streifenbezogene Daten bereits heute haben.

Damit die Streifendaten konsistent angewandt werden, muss zuerst ein Standard zu deren Verwendung definiert werden, z.B. durch die Überarbeitung der entsprechenden SN Normen gemäss Kapitel 7 oder Erstellung einer Richtlinie. Ist diese Grundlage erstellt, empfiehlt das Projektteam die heutigen Applikationen zu erweitern:

- MISTRA Basissystem: Bereitstellung von Streifendaten mit festgelegter Streifennummerierung, Angabe von Nutzung, Verkehrsrichtung und ev. Breiten, Streifenpunkten auf denen Bezüge definiert werden, Streifenachsgeometrien 2D ev. 3D, Kreuzungsflächen, Konnektivitäten und Trennlinien. Die Angabe, welche Streifendaten als Basisdaten mit Datenhoheit im Basissystem oder als Generalistendaten mit Datenhoheit in Fachapplikationen verwaltet werden, wird an dieser Stelle offengelassen. Beides wäre möglich.
- VM-CH und Fachapplikationen, welche Streifendaten verwenden, durch Übernahme der für die Fachapplikation notwendigen Streifendaten.

Der ganze Prozess wird eine geraume Zeit in Anspruch nehmen:

- Bereitstellung eines Standards 2-3 Jahre
- Bereitstellung von Streifenachsdaten durch Dritte 3 – 8 Jahre
- Einarbeitung von Streifendaten in das MISTRA Basissystem 5 – 10 Jahre
- Anwendung in den Fachapplikationen und VM-CH 5 – 10 Jahre

9 Normenbausteine

9.1 Allgemeines

Wie in Kapitel 7 empfiehlt das Projektteam bestehende Normen mit dem Thema Streifenreferenzierung zu ergänzen und/oder gesonderte Normen zu erstellen. Bei gesonderten Normen ist es möglich eine einzige, das ganze Thema Streifenreferenzierung umfassende Norm zu erstellen oder, ähnlich wie dies bei den heutigen Normen zum Raumbezug und zur Topologie von Strassenachsen mit den Normen [10] bis [12] der Fall ist, auf einzelne Normen aufzuteilen. Es ist Aufgabe der VSS Fachkommission 4 und der Normierungs- und Fachkommission 4.6 die entsprechenden Arbeiten einzuleiten.

9.2 Begriffe

In einem ersten Teil müssen die Begriffe erläutert werden. Im Forschungsprojekt haben sich einige Begriffe etabliert, müssen aber für die Normierung überprüft werden. In der nachfolgenden Tabelle werden die wichtigsten verwendeten Begriffe aufgeführt und kommentiert.

Tab 10 Begriffe der Streifenreferenzierung

Begriff	Kommentar
Streifen	Dieser Begriff wurde in bestehenden Normen bereits verwendet und ist unbestritten.
Streifenachse	Ist die Mittelachse eines Streifens.
Streifenachsgeometrie	Ist die Bezugsgeometrie der Streifenachse.
Streifenknoten	Eine Unterscheidung zwischen Knoten auf Ebene Achse und Knoten auf Ebene Streifen ist für das Verständnis sinnvoll. Im Prototyp wurde auf diese Klasse ganz verzichtet, stattdessen wurde die Topologie über Streifenkonnektivität implementiert. Eine Vermischung mit dem Knotenhierarchiekonzept komplexer Knoten auf Ebene Achsen wäre für das Verständnis wenig förderlich und würde eine Umsetzung in SIS erschweren.
Streifenpunkt	Hier geht es einerseits um die Herstellung der RBBS-Bezüge und um die Kalibrierung der Streifenachsen. Alternative Begriffe sind Streifenort oder Streifenknotenort.
Kreuzung	Ist eher umgangssprachlich, doch einleuchtend und gegenüber Autobahnkreuzung und Autobahnanschluss klar abgrenzbar. Alternativ wäre Knoten oder Knotenpunkt denkbar.
Trennlinie	Ist der Oberbegriff für die Abgrenzungslinie zwischen benachbarten Streifen als Leitlinie, Sicherheitslinie usw.
Streifennetz	Hier ist die Abgrenzung zum Achsnetz wichtig. Die Bildung einer Netzhierarchie wie in wie in [12] ist nicht notwendig.
Konnektivität	Wurde im Prototyp synonym für Streifenkonnektivität verwendet.
Streifenkonnektivität	Drückt die Konnektivität im Streifennetz in Längsrichtung aus. Beschreibt die zum aktuellen Streifen möglichen Folgestreifen in Verkehrsrichtung ohne dass zwingend eine geometrische Verbindung vorhanden sein muss.
Knotenkonnektivität	Ist ein alternatives Modell zur Streifenkonnektivität gemäss Kapitel 5.2.2. Die Topologie wird in der Klasse Streifen mit Attributen Knoten-von und Knoten-bis in Verkehrsrichtung beschrieben.
Trennlinienkonnektivität	Beschreibt die Konnektivität in Querrichtung über die Trennlinien hinweg. Ein alternativer Begriff wäre «Langer Knoten».

9.3 Modell

Ein weiterer Baustein ist das Klassenmodell gemäss Kapitel 5.2.1 oder 5.2.2 mit der Erweiterung für zeitabhängige Verkehrsführung gemäss Kapitel 5.2.3 und der beispielhaften Erweiterung für die Anbindung von Fachdaten gemäss Kapitel 5.2.4.

Zur Beschreibung der Klassen gehört auch die Beschreibung der Attribute sowie Regeln für deren Wertbestimmung. Bei der Klasse Streifen insbesondere die Festlegung der Streifennummer, Nutzungsarten und Breite.

9.4 Auswahllisten

Um Wildwuchs bei Implementierungen zu vermeiden schlägt das Projektteam auch vor, die Werte von Auswahllisten vorzugeben. Dies gilt insbesondere für:

- Streifentyp
- Verkehrsrichtung
- Trennlinientyp
- Ausnahmetyp
- Periodizität

Die in den Klassenmodellen gemäss **Abb 22** und **Abb 25** und im Prototyp verwendeten Auswahllisten sind ein Vorschlag und müssen überprüft und bereinigt werden. Im Anhang I.4 sind hierzu einige Hinweise aus den Erfahrungen mit dem Prototyp enthalten.

9.5 Empfehlungen zur Datenerfassung

In diesem Baustein sollen Empfehlungen für die Datenerfassung aufgeführt werden, zu folgenden Themen:

- Objektbildung bei Streifen, Festlegung der Streifennummer, Bestimmung der mittleren Breite, Spezialfälle Kreuzungs- und Kreiselstreifen, Digitalisierichtung im Kreuzungsbereich, Erfassung der Streifenpunkte mit RBBS-Bezügen
- Ausdehnung von Kreuzungsflächen
- Erfassung von Trennlinien und deren lineare Referenzierung auf die Streifenachse. Spezialfall nicht markierter Trennlinien im Kreuzungsbereich

Im Anhang I.4 sind die Erfahrungen aus dem Prototyp beschrieben, welche als Vorgaben für die Empfehlungen verwendet werden können.

Anhänge

I	Beschreibung Datenbestände mit Streifen	65
I.1	SN 640 942	65
I.2	FA Trasse	65
I.3	Software-Architektur Prototyp	67
I.4	Regeln für die Datenerfassung	68
I.4.1	Bemerkungen zu den Basisdaten	68
I.4.2	Erfassung von Streifen	68
I.4.3	Erfassung von Streifenpunkten	69
I.4.4	Erfassung von Konnektivitäten (in Längsrichtung).....	69
I.4.5	Erfassung von Trennlinien (Konnektivität in Querrichtung)	69
I.4.6	Erfassung von Kreuzungsflächen	70
I.4.7	Spezialfall Kreisel	70

I Beschreibung Datenbestände mit Streifen

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diejenigen Normen und Datenbestände beschrieben, welche heute bereits mit Streifenreferenzierung im Einsatz sind.

I.1 SN 640 942

Die SN 640 942 «Katalog für Strassendaten – Geometrie und Nutzung des Strassenraums» [14] wird in diversen SIS angewandt. Sie enthält Regeln für die Beschreibung des Geometrischen Profils der Strasse, der Informationen für die Fahrbahnnutzung und der Nebestreifen. Das **Geometrische Profil** enthält Angaben über die Breite der Fahrbahn an einem bestimmten Ort auf der Fahrbahnachse, den Bezug zum RBBS und die Zeitattribute (Beginn und Ende Gültigkeit).

Die **Fahrbahnnutzung** (Nutzungsstreifen) enthält Angaben über die mittlere Breite des Streifens, die Nutzungsrichtung, den Nutzungstyp (zugelassene Fahrzeugtypen), den Querabstand von der Achse am Anfang und Ende des Streifens und den RBBS-Bezug am Anfang und Ende. Die Fahrbahnnutzung ist nicht am Geometrischen Profil angehängt und hat eigene RBBS-Bezüge.

Die **Nebestreifen** gelten für nicht mit PW befahrbaren Streifen. Sie sind datenmässig identisch mit den Nutzungsstreifen, haben aber das zusätzliche Attribut Belagsschichttyp.

Die Norm wurde im vorliegenden Projekt als eine eigenständige Variante für die Streifenreferenzierung untersucht. Die Anwendung der Norm auf die Modellkreuzung aus Kapitel 4.1 ist in Kapitel 4.2.2 beschrieben.

I.2 FA Trasse

In der Fachapplikation Trasse des ASTRA wird eine im Vergleich zur SN 640 942 abgewandelte Version der Streifenreferenzierung verwendet (siehe [20], Kapitel 5 Geometrie und Nutzung).

Geometrie und Nutzung werden als zusammengehörend betrachtet. Die Geometrie umfasst die gesamte beanspruchte Breite bestehend aus Fahrbahnbreite, Breite links und Breite rechts.

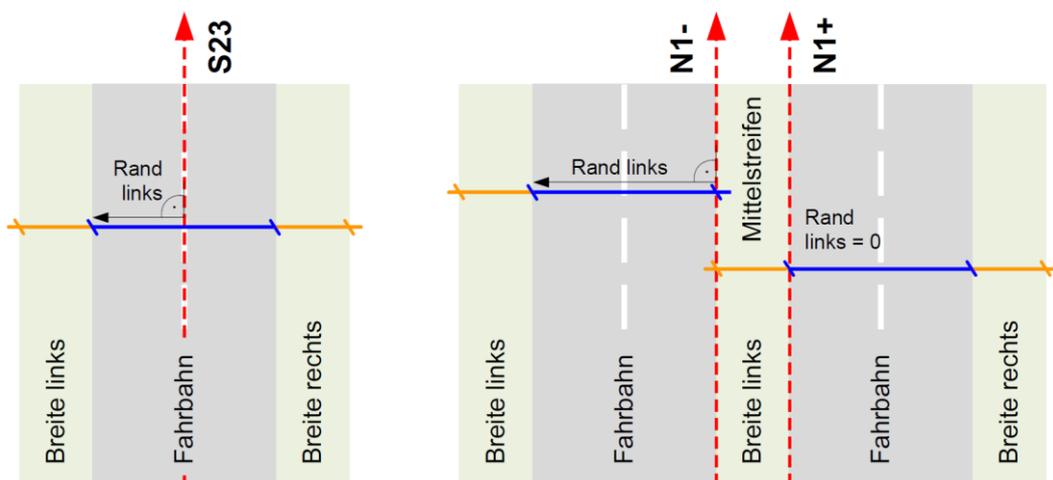


Abb 34 Geometrieobjekt gemäss FA Trasse aus [20]

Breite links und Breite rechts beziehen sich auf Bereiche ausserhalb der Fahrbahn, welche jedoch auch zum Strassenkörper gehören (Neben-, Grünstreifen usw.).

Bei grösseren, sprunghaften Veränderungen der Gesamtbreite, typischerweise bei der Veränderung der Anzahl Streifen oder der Veränderung der Nutzung eines Streifens, wird ein neues Geometrieobjekt gebildet.

Die **Geometrie** hat folgende Attribute:

- Anfangs- und Endort als RBBS-Bezug
- Länge gerechnet in m
- Querabstand vom Rand links zur Achse am Anfang und Ende in m
- Fahrbahnbreite Anfang und Ende in m
- Fläche gerechnet in m²
- Breite links Anfang und Ende in m
- Breite rechts Anfang und Ende in m
- Anzahl Streifen in der Fahrbahn
- Anzahl Fahrstreifen in der Fahrbahn

Mit der **Nutzung** werden die Streifen innerhalb der Fahrbahn beschrieben. Dabei wird der Nutzungstyp differenziert nach Fahrstreifen, Standstreifen, Busstreifen, Radstreifen usw. Die Länge der Streifen ergibt sich aus dem übergeordneten Geometrieobjekt.

Jeder Streifen erhält eine Nummer gemäss folgender Konvention:

- -9 Standstreifen links (aussen)
- -8 Weiterer Streifen links von -7 (aussen)
- -2 Erster Streifen rechts von -1 (innen), z.B. Überholstreifen bei 2-spuriger Autobahn
- -1 Äusserster Fahrstreifen (innen, gegen Verkehrsrichtung)
- 0 Streifen mit nicht richtungsgetrennter Nutzung
- +2 Erster Streifen links von +1 (innen) z.B. Überholstreifen bei 2-spuriger Autobahn
- +1 Äusserster Fahrstreifen (innen, in Verkehrsrichtung)
- +8 Weiterer Streifen rechts von +7 (aussen)
- +9 Standstreifen rechts (aussen)

Die Ziffern 1 bis 5 sind für normale Fahrstreifen reserviert, die Nummerierung erfolgt von aussen nach innen, der Streifen in Verkehrsrichtung rechts hat immer die Ziffer +1. Streifen ausserhalb der Fahrbahn werden von 6 bis 8 von innen nach aussen nummeriert. Der Wert +/- 9 ist für Standstreifen reserviert.

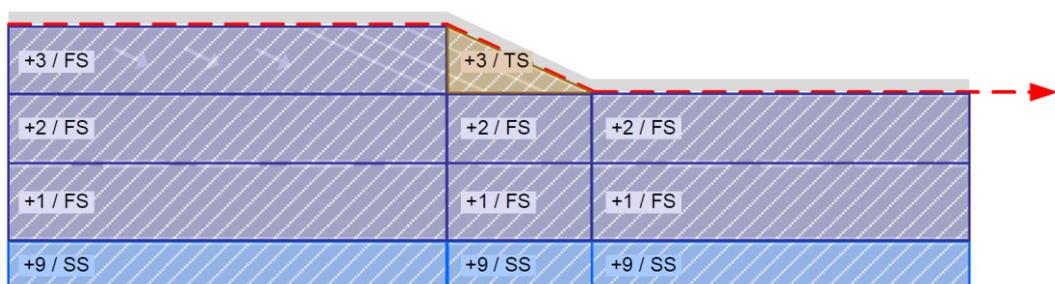


Abb 35 Nutzungsstreifen in FA Trasse aus [20]

Die Nutzung (Streifen) hat folgende Attribute:

- Querabstand vom Rand links bis zur Achse am Anfang und Ende in m
- Streifenbreite am Anfang und Ende in [m]
- Fläche gerechnet in [m²]
- Nominelle Breite in [m]
- Streifennummer
- PMS-Relevanz
- Nutzungstyp

Nebenstreifen (Grünstreifen, Fusswege, Radwege, Radstreifen, Trennstreifen usw.) werden in FA Trasse gesondert behandelt. Sie befinden sich im Geometrieobjekt innerhalb Breite links und Breite rechts. Der Querabstand von Nebenstreifen wird von Streifenmitte aus ermittelt. Nebenstreifen haben dieselben Attribute wie Fahrstreifen plus zusätzlich den Belagstyp.

I.3 Software-Architektur Prototyp

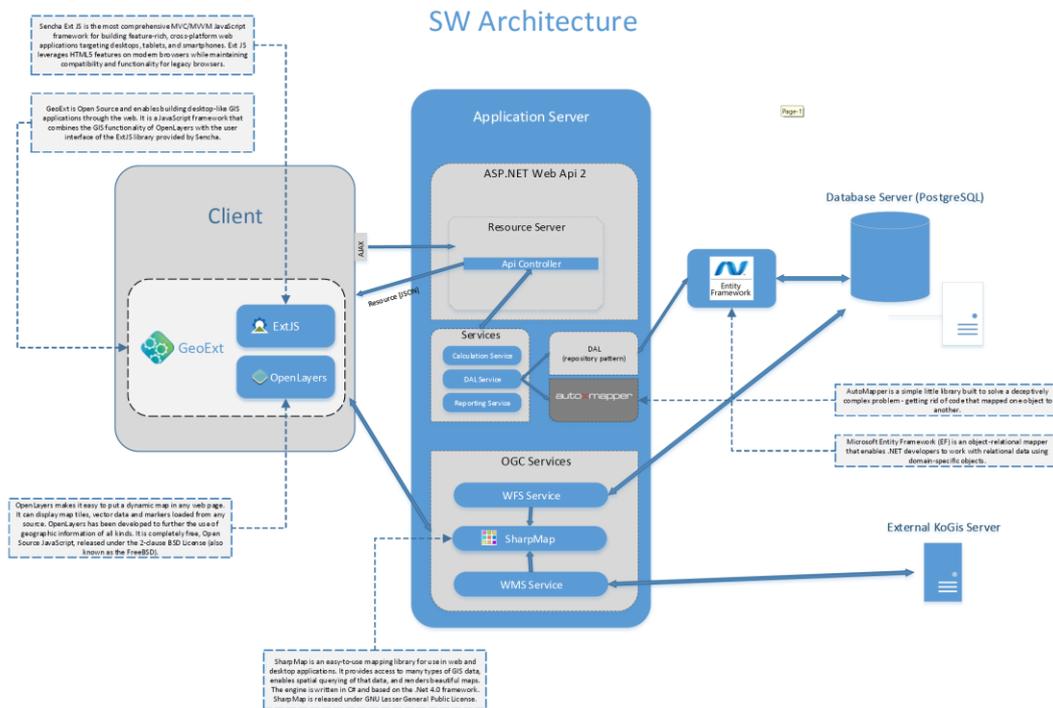


Abb 36 Software-Architektur Prototyp

Erläuterungen:

- GeoExt ist Open Source und ermöglicht den Aufbau von Desktop-ähnlichen GIS-Anwendungen über das Internet. Es ist ein JavaScript-Framework, das die GIS-Funktionalität von OpenLayers mit der von Sencha bereitgestellten Benutzeroberfläche der ExtJS-Bibliothek kombiniert.
- Sencha Ext JS ist ein umfassendes MVC / MVVM-JavaScript-Framework zum Erstellen funktionsreicher, plattformübergreifender Webanwendungen für Desktops, Tablets und Smartphones. Ext JS nutzt HTML5-Funktionen in modernen Browsern, während Kompatibilität und Funktionalität für ältere Browser erhalten bleiben.
- OpenLayers macht es einfach, eine dynamische Karte in jede Webseite einzufügen. Es kann Kartenkacheln, Vektordaten und Markierungen anzeigen, die von einer beliebigen Quelle geladen wurden. OpenLayers wurde entwickelt, um die Nutzung geographischer Informationen zu fördern. Es ist kostenlos und baut auf Open Source JavaScript, veröffentlicht unter der 2-Klausel BSD-Lizenz (auch als FreeBSD bekannt) auf.
- AJAX-SharpMap ist eine einfach zu verwendende Mapping-Bibliothek zur Verwendung in Web- und Desktop-Anwendungen. Es bietet Zugriff auf viele Arten von GIS-Daten, ermöglicht die räumliche Abfrage dieser Daten und stellt Karten bereit. Die Engine ist in C# geschrieben und basiert auf dem .NET 4.0-Framework. SharpMap ist unter GNU Lesser General Public License veröffentlicht.
- AutoMapper ist eine Bibliothek, die entwickelt wurde, um das Problem zu lösen - den Code loszuwerden, welcher ein Objekt einem anderen zugeordnet hat.
- Microsoft Entity Framework (EF) ist ein objektrelationaler Mapper, der es .NET-Entwicklern ermöglicht, mit relationalen Daten unter Verwendung von domänenspezifischen Objekten zu arbeiten.

I.4 Regeln für die Datenerfassung

I.4.1 Bemerkungen zu den Basisdaten

- OpenStreetMap und die Daten der Bodenbedeckung von SITG sind von guter Qualität und bilden eine gute Grundlage für die Erfassung der Streifendaten.
- Google Satellite ist im kleinmassstäblichen Bereich (1:1000 bis 1:10'000) gut verwendbar, zwischen 1:500 und 1:1000 wird das Bild jedoch verschoben, bei Massstäben grösser 1:500 gar nicht mehr dargestellt. Trennlinien sind aus Google Satellite, ausser bei starkem Schattenwurf und in Tunnels, gut erkennbar.
- Die Lage der MISTRA-Achsen ist leider meist eher ungenau und weicht von der Realität oft 1 - 3 Meter ab, wie die nachfolgende Abbildung zeigt. Dies führt zu Problemen



bei der Festlegung der Streifennummer, welche als schematischer Querabstand von der Achse definiert ist. In diesen Fällen wird empfohlen die Querabstände von einer Achsführung aus zu bestimmen, welche «korrekt» wäre. Im Beispiel in der Abbildung die Streifen obenrechts anstatt den gemessenen Werten (+7; +4; +1; -2; -5) die eigentlich korrekten Werte (+5; +2; -1; -4; -7) zu verwenden.

- Es ist von Vorteil, wenn Achssegmente über Kreuzungen möglichst durchlaufen, d.h. nicht unterbrochen werden. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Streifen.

I.4.2 Erfassung von Streifen

- Grundlage sind die Achsen. Ohne Achsen keine Streifen. Die Achsen sind wichtig, damit die gegenseitige Lage benachbarter Streifen aus den RBBS-Bezügen bestimmt werden kann.
- Kreiseln haben in den meisten Fällen keine eigene Achse. Die RBBS-Bezüge von Anfangs- und Endpunkt der Kreiselpstreifenachse können auf eines der anschliessenden Achssegmente bezogen werden.
- Die Digitalisierichtung der Streifen muss mit der Digitalisierichtung der Achssegmente übereinstimmen, unabhängig von der Verkehrsrichtung. Nur so ist die gegenseitige Lage benachbarter Streifen bestimmbar.
- Nach den Erfahrungen mit dem Prototyp wird die Differenzierung gemäss folgenden Streifentypen empfohlen: Normaler Fahrstreifen, Standstreifen, Trennstreifen, Nebestreifen (für Rad- und Fusswege), Querungen (Fussgängerstreifen, Radquerungen), Kreuzungstreifen, Kreiselpstreifen. Nicht zwingend nötig ist die Differenzierung nach Abbiegestreifen. Stattdessen können normale Fahrstreifen verwendet werden.
- Der Streifentyp definiert die Funktion eines Streifens und sollte nicht mit der Nutzungsart wie z.B. Busstreifen verknüpft werden.
- Bei Streifen im Kreuzungsbereich, wo Anfangs- und Endpunkt nicht auf demselben Achssegment liegen, muss für die Digitalisierichtung eine Entscheidung getroffen werden. Dieser muss in der Folge bei allen Streifen zwischen diesen beiden Achssegmenten identisch sein.
- Alternativ kann der Kreuzungstreifen in der Mitte aufgetrennt und in zwei in entgegengesetzter Richtung verlaufende Teile erfasst werden. Dies führt jedoch zu einem Mehraufwand bei der Datenerfassung.
- Streifennummerierung: Grundsätzlich repräsentiert die Streifennummer schematische Querabweichung der Streifenachse von der Achse in m (links negativ, rechts positiv). Der Wert ist eine Dezimalzahl, es können somit auch nicht ganzzahlige Werte verwendet werden, was die Flexibilität erhöht. Wichtiger als eine möglichst genaue Angabe der Querabweichung ist jedoch, dass aufeinanderfolgende Streifen derselben Fahrspur

- möglichst denselben Wert haben. Dadurch werden Auswertungen über grössere Strecken vereinfacht. Deshalb empfiehlt das Projektteam ganzzahlige Streifennummern.
- Bei Nebenstreifen wie Rad- und Fusswege, Trottoirs empfiehlt es sich unabhängig von der Querabweichung hohe absolute Werte zu verwenden, z.B. 8/-8, 10/-10, 12/-12. Dies lässt genügend Raum für Fahrstreifen des motorisierten Verkehrs.
 - Bei Querungen wird, wenn sie nicht in der Verlängerung von normalen Nebenstreifen sind, sondern die Hauptachse überqueren, der Wert 1 verwendet.
 - Die Verkehrsrichtung in Bezug auf die Digitalisierrichtung des Streifens ist für topologische Auswertungen wichtig.
 - Die Breite als Kriterium für Objektbildung sollte nur bei wirklich markanter Veränderung, z.B. > 1m angewandt werden. Ansonsten führt dies zu einer zu starken Stückelung.
 - Für überschlägige Flächenberechnungen ist es wichtig die mittlere Breite eines Streifens so zu bestimmen, dass das Produkt aus Länge x Breite möglichst genau der Fläche entspricht.

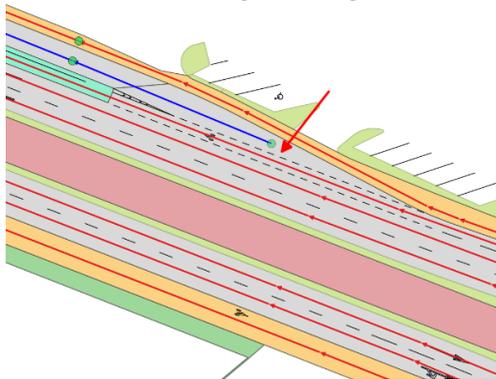
I.4.3 Erfassung von Streifenpunkten

- Auf jeden Anfangs- und Endpunkt eines Streifens muss ein Streifenpunkt mit den RBBS-Bezügen gesetzt werden. Sie dienen als Träger der RBBS-Bezüge und zur Kalibrierung der Streifenachsen.
- Die Transformation von linearen Positionen auf Streifen in RBBS-Bezüge, z.B. bei der Positionierung von Trennlinien, führt bei stark gekrümmten Achsen und bei Streifen mit grossem Querabstand zu Fehlern. Die Länge von Trennlinien auf der Streifenachse kann von der auf dem Achssegment projizierten Länge deutlich abweichen. Dies ist insbesondere bei Rampenachsen der Fall. Um diesen Fehler zu reduzieren können für die Kalibrierung der Streifenachse zusätzliche Streifenpunkte zwischen Anfangs- und Endstreifenpunkt platziert werden.

I.4.4 Erfassung von Konnektivitäten (in Längsrichtung)

- Die Erfassung von Konnektivitäten zu Folgestreifen erfolgt immer in Verkehrsrichtung.
- Die Konnektivität-längs muss nicht zwingend auch eine geometrische Verbindung sein, sondern kann auch Sprünge aufweisen.
- Bei Streifenachsen, welche in beiden Richtungen befahren werden, müssen die Konnektivitäten in beiden Richtungen erfasst werden.

Konnektivität in Längsrichtung sollte dann eingesetzt werden, wenn zwei aufeinanderfolgende Streifen sich stossen oder wenn Streifen zu verschiedenen Achssegmenten gehören. Ist dies nicht der Fall, ist Konnektivität über Trennlinien vorzuziehen. In der Abbildung links haben die blaue und rote Streifenachse keinen gemeinsamen Knoten, die Konnektivität wird über die dazwischenliegenden Trennlinien hergestellt.



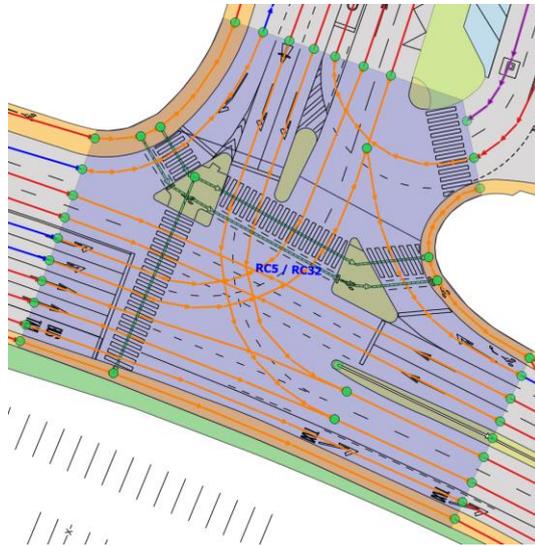
I.4.5 Erfassung von Trennlinien (Konnektivität in Querrichtung)

- Trennlinien müssen nur bei mehrstreifigen Fahrbahnen erfasst werden.
- Parallel verlaufende Streifen müssen in derselben Richtung digitalisiert werden, sonst funktioniert die Zuweisung von Trennlinien nicht korrekt.
- In gewissen Situationen, vor allem im Kreuzungsbereich, fehlen markierte Trennlinien. Für diesen Fall können spezielle virtuelle Trennlinientypen verwendet werden.

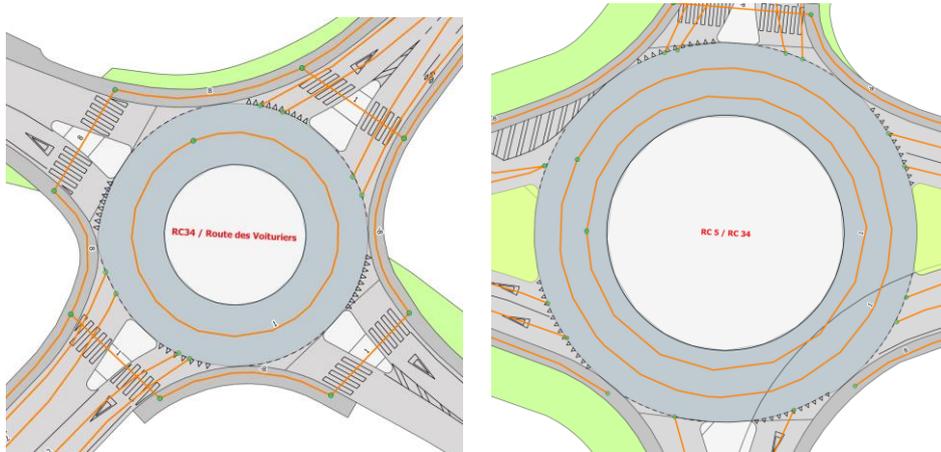
- Trennlinien in Kreiseln müssen nur bei mehr-streifigen Kreiseln zwischen den Streifen erfasst werden. Bei ein-streifigen Kreiseln müssen keine Trennlinien erfasst werden. Die Konnektivitäten zwischen dem äusseren Kreiselpstreifen und den anstossenden Fahrstreifen werden über Konnektivität in Längsrichtung hergestellt.
- Der Wert NULL für Streifen-links ist auch ein gültiger Wert und bedeutet, dass der aktuelle Streifen linksseitig keinen Nachbarstreifen hat.
- Falls benachbarte Streifen gegenläufig sind, was im Kreuzungsbereich nicht immer vermieden werden kann, so soll keine Nachbarschaft eingetragen werden, d.h. als Streifen-links wird NULL eingetragen.

I.4.6 Erfassung von Kreuzungsflächen

- Grundregel für die Ausdehnung der Kreuzungsflächen: ab da wo sich die Strassenfläche durch Aufweitungen oder Verengungen stark ändert und eine Flächenberechnung der einzelnen Streifen durch Länge x Breite zu ungenauen Ergebnissen führen würde.
- Bei Nebenstreifen am Rand der Kreuzungsfläche wird empfohlen, diese in die Kreuzungsfläche miteinzubeziehen. Dies erleichtert die Datenerfassung.



I.4.7 Spezialfall Kreisel



- Kreisel werden als Kreuzungsfläche geometrisch als Ring erfasst.
- Bei einstreifigen Kreiseln ist die Zuordnung von Trennlinien nicht erforderlich. Die Topologie wird ausschliesslich über Konnektivität in Längsrichtung erfasst.
- Bei mehrstreifigen Kreiseln werden zwischen den Streifen Trennlinien erfasst. Für die Ränder innen und aussen ist die Erfassung von Trennlinien nicht erforderlich.

Glossar

Begriff	Bedeutung
Achse	Achse einer Strasse, Gruppe von Achssegmenten i.d.R. mit einheitlichem Namen/Nummer.
Achssegment	Achse eines zusammenhängenden Stücks Strasse, Bestandteil einer Achse
ADAS	Advanced Driver Assistant Systems
ADASIS	Advanced Driver Assistant Systems Interface Specifications. Das ADASIS-Forum ist der ERTICO unterstellt und definiert Spezifikationen für den Austausch von Daten.
AGORA-C	Die ISO-Norm 17572-3 (AGORA-C) Intelligent Transport Systems ITS – Location Referencing for Geographic Databases. Beinhaltet ein Format für den Austausch von geografischen Daten für Navigationssysteme.
AGRAM	Acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance, Forschungsprojekt VSS 2000/362.
ALERT-C	Siehe TMC
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
ASN.1	Abstract Syntax Notation. Beschreibungssprache zur Definition von Datenstrukturen.
AWI	Approved Work Item, ein Begriff im Rahmen der ISO Normierung
Bezugspunkt / Sektor	Fixpunkt einer Achse. Jedes Achssegment hat mindestens auf dem Anfangs- und Endpunkt eines Achssegmentes je einen Bezugspunkt und optional weitere Zwischenpunkte.
CAD	Computer Aided Design. Software für die Erstellung von technischen Zeichnungen.
DIS	Draft International Standard, ein Begriff im Rahmen der ISO Normierung
ERTICO	ERTICO – ITS Europe ist eine Organisation der EU, welche die Forschung im Bereich IST-Standardisierung unterstützt.
EuroRoadS	EuroRoadS ist ein Partnerprojekt von INSPIRE mit dem Ziel eine Infrastruktur für Strassendaten in Europa bereitzustellen.
FA	Fachapplikation, Software zur Verwaltung der Daten eines Fachbereichs
GIS	Geographic Information System. Grafisches Software für die Verwaltung von raumbezogenen Daten.
GPS	Global Positioning System
GTT	Gestion du trafic et du transport
HERE	Hersteller von Navigationsdaten (ehem. NavTeq, ehem. Nokia) im Besitz von Deutschen Autoherstellern und diversen IT-Firmen.
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe. Hat zum Ziel eine europaweite Plattform für Geodaten zu schaffen.
ISO	International Standardization Organization
ITS	Intelligent Transportation Systems ITS ist eine von der EU Kommission gegründete Organisation zur Verbesserung der Verfügbarkeit und Sicherheit auf den Strassen. IST ist der ERTICO unterstellt.
KUBA	Kunstabauten- und Tunneldatenbank
MISTRA	Management Informationssystem Strassen
MISTRA-BS	MISTRA Basissystem
Multinet	Navigationsdatenprodukt von TeleAtlas, heute TomTom
NavStreets	Navigationsdatenprodukt von NavTeq, heute HERE
OFROU	Office fédéral des routes
RBBS	Räumliches Basisbezugssystem

RDS-TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC). Eine in Europa definierte Methode für die Übermittlung von Positionen in einem Strassennetz.
ROSATTE	Pilotprojekt für die Verarbeitungskette für die Aufbereitung und Übermittlung von sicherheitsrelevanten Daten.
SIR	Système d'information routière
SITG	Système d'Information du Territoire à Genève (SITG)
SIS	Strasseninformationssystem
SN	Schweizer Norm (SN)
SRB	Système de repérage spatial
TBA	Tiefbauamt
TC	Technical Committee zur Ausarbeitung von ISO-Normen
TLM	Topografisches Landschaftsmodell von swisstopo
TMC	Traffic Message Channel (auch ALERT-C genannt) für die Übertragung von Verkehrsmeldungen auch ausserhalb von UKW-Empfangsbereichen, z.B. an Navigationssysteme.
TomTom	Hersteller von Navigationsdaten (ehem. TeleAtlas)
TPEG	Transport Protocol Experts Group TPEG ist ein Protokoll für den Transfer von Verkehrsinformationen (Strassenzustand, Wetter, Benzinpreise, PP ...)
UML	Unified Modelling Language. Grafische Modellierungssprache für das Design von Software, u.y. mit Klassen- und Anwendungsfalldiagrammen.
VICS	Vehicle Information and Communication System. Eine in Japan definierte Methode für die Übermittlung von Positionen in einem Strassennetz.
VM-CH	Verkehrsmanagement in der Schweiz (VM-CH) <i>gestion du trafic en Suisse (VM-CH)</i>
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) <i>centrale nationale suisse de gestion du trafic (VMZ-CH)</i>
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
VUGIS	Fachapplikation Verkehrsunfälle des ASTRA
WG	Working Group, Arbeitsgruppe innerhalb eines TC
XML	Extensible Markup Language ist eine Sprache zur Darstellung strukturierter Daten im Format einer Textdatei. Als Beschreibung der Inhalte der XML-Textdatei wird ein XML-Schema verwendet.

Literaturverzeichnis

Auftragsdokumente

-
- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Strassen ASTRA, Formular Nr. 2 VSS 2011/715 «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» vom 14.04.2016
-
- [2] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Initialprojekt für das Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS» Schweizerische Eidgenossenschaft (1985), Bericht Nr. 1344, Februar 2011. <http://www.mobilityplatform.ch/>
-
- [3] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Forschungsprojekt «Raumbezug mit Streifenreferenzierung (Abbiegebeziehungen)» (VSS 2011/715), Pflichtenheft, April 2016
-
- [4] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Forschungsprojekt «Raumbezug mit Streifenreferenzierung (Abbiegebeziehungen)» (VSS 2011/715), Organisatorische Bedingungen, April 2016
-

Schlussberichte der fertiggestellten Teilprojekte

-
- [5] 2011/711 Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP1: Zeitaspekte und Historisierung», Bericht Nr. 1516, Juni 2015, <http://www.mobilityplatform.ch/>
-
- [6] 2011/713 Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP3: Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen», Bericht Nr. 1542, Dezember 2015, <http://www.mobilityplatform.ch/>
-
- [7] 2011/716 Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, «Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS/DWH)», Bericht Nr. 1508, April 2015, <http://www.mobilityplatform.ch/>
-

Normen

-
- [8] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 911 «Strasseninformationssystem, Linearer Bezug; Grundnorm», Ausgabe 2006, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [9] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 911-1 «Strasseninformationssystem, Übersicht über die Bezugskonzepte», Ausgabe 2017, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [10] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 912 «Strasseninformationssystem: Linearer Raumbezug; Räumliches Basis-Bezugssystem RBBS», Ausgabe 2006, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [11] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 913 «Strasseninformationssystem: Linearer Bezug; Achsgeometrien» <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [12] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 914 «Strasseninformationssystem: Linearer Bezug; Netze und ihre Topologie», Ausgabe 2006, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [13] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 914-1 «Strasseninformationssystem: Linearer Bezug – Netze und ihre Topologie: Netz- und Segmentattribute sowie Netzkombination», Ausgabe 2015, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [14] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 640 942 «Katalog für Strassendaten; Geometrie und Nutzung des Strassenraums», Ausgabe 1993, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [15] Verband Schweizerischer Strassenfachleute VSS, SN 671 941 «Strassenverkehrstelematik – Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen», Ausgabe 2008, <http://www.vss.ch/topnavigation/search/>
-
- [16] ISO TC 211 Standards Guide Geographic Information / Geomatics, Ausgabe 01.06.2009, http://www.iso211.org/Outreach/ISO_TC_211_Standards_Guide.pdf
-
- [17] ISO 17572-1:2015 Intelligent transport systems (ITS) – Location referencing for geographic databases – Part 1: General requirements and conceptual model.
-
- [18] ISO 17572-2:2015 Intelligent transport systems (ITS) – Location referencing for geographic databases – Part 2: Pre-coded location references (pre-coded profile).
-
- [19] ISO 17572-3 (AGORA-C), Intelligent transport systems (ITS) – Location referencing for geographic databases, Part 3: Dynamic location references (dynamic profile).
-

Fachliteratur

-
- [20] Bundesamt für Strassen ASTRA, MISTRA Trasse, Datenerfassungshandbuch, Version 1.9.0, Ausgabe 2016, Kapitel 5 Strassenraum
-
- [21] Swisstopo, TLM Erfassungsrichtlinien, internes Dokument
-
- [22] TomTom, MultiNet 3.6.6, Data Specifications and Data Model, Section 2.30 Lane Information
-
- [23] HERE, NAVSTREETS Street Reference Manual, Version 6.1, Kapitel 6.1 Streets
-

-
- [24] ITS Standardization Activities in Japan 2016, Society of Automotive Engineers of Japan Inc, http://www.jsae.or.jp/01info/its/2016_bro_e.pdf
-
- [25] TN-ITS Transport Network ITS Spatial Data Deployment Platform; Purpose, status and prospects, Kees Wevers, Ausgabe 2014, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/events/2014/Joint_BELGIUM-UNECE_ITS/20_ITS_Nov2014_Kees_Wevers_Ertico.pdf
-
- [26] Center for Spatial Information Science, University of Tokyo, Discussion Paper No 142, « A Proposal for Lane Level Location Referencing », Autor Saturo Nakajo, Ausgabe ca. 2016, <http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/dp/142.pdf>
-
- [27] Center for Spatial Information Science, thUniversity of Tokyo, Japan "Use cases and basic concept proposal for Lane Level Location Referencing", Saturo Nakajo, November 2017, <http://itsworldcongress2017.org/wp-content/uploads/2017/11/NAKAJO.pdf>
-
- [28] "An efficient lane model for complex traffic simulation" aus Computer Animation and Virtual Worlds, John Wiley & Sons, Ausgabe 2015, Autoren Tianlu Mao, Hua Wang, Zhigang Deng, Zhaoqi Wang
-
- [29] Kaetsu University Tokyo, Fachartikel zum Thema "Road Data Input System using Digital Map in Roadtraffic Simulation", Ausgabe ca. 2008, Autor Mitsuhiro Namekawa, https://www.mssanz.org.au/MODSIM07/papers/55_s53/RoadDatas53_Namekawa_.pdf
-
- [30] 14th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013), Beitrag "Generated Enhanced Intersection Maps for Lane Level Vehicle Positioning based Applications", Konferenz 2015, Autor: Jiang Liu, https://ac.els-cdn.com/S187704281302394X/1-s2.0-S187704281302394X-main.pdf?_tid=f8081274-fe27-11e7-9435-00000aacb361&ac-dnat=1516483508_c8f263a26d705625b2112e7552260bac
-
- [31] ERTICO ADASIS Forum, The ADAS Horizon Concept, Artikelsammlung, Ausgabe ca. 2015, http://34wszq12mo2w2jpl6x1a6p41.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/sites/13/2014/09/Adasis_Forum_Leaflet-2014_v2.pdf
-
- [32] HERE Websites zu HD Live Map <https://360.here.com/2016/01/05/here-introduces-hd-live-map-to-show-the-path-to-highly-automated-driving/> und auf Youtube https://www.youtube.com/watch?v=8dyo_S3Vxlw
-
- [33] AGRAM, VSS Forschungsbericht 1047, Projet Agram, Etude de l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance, Ausgabe 2003, <http://www.mobilityplatform.ch/>
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: Datum

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2011/715
 Projekttitel: Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP5: Raumbezug mit Streifenreferenzierung
 Enddatum: 30.04.2018

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Mit der zunehmenden Automatisierung im Verkehr und den erhöhten Anforderungen an die Qualität von Strassendaten steigt das Bedürfnis Daten, welche bisher auf die Strassenachse bezogen wurden, detaillierter auf Streifen zu beziehen. Starke Treiber dieser Tendenz sind das autonome Fahren, Verkehrsnavigation und Verkehrsmanagement, doch auch die Bereiche Strasseninfrastruktur und Betrieb können daraus Nutzen ziehen. Das Ziel dieses Projekts ist, eine Erweiterung des Modells für den Raumbezug von Strassendaten zu erarbeiten, welches es erlaubt Fachinformationen auf Verkehrsstreifen anstatt wie bisher "nur" auf die Strassenachse zu beziehen. Dies erlaubt eine präzisere Lagebeschreibung von Fachinformationen, welche primär streifenbezogen sind wie z.B. Nutzung, Zustand des Deckbelags, Signalisation, Abbiegerestriktionen, Verkehrsmenge, Unfallgeschehen usw.

In einer ersten Projektphase wurde eine umfassende Analyse des IST-Zustands und der Anforderungen bei Bund, Kantonen und Städten sowie bei Lieferanten von Strassendaten durchgeführt. Parallel dazu wurde der Stand der internationalen Normierung und Forschung untersucht, welche ergab, dass die streifengenaue Positionsbestimmung sowohl bei der ISO als auch in der Automobilindustrie ein sehr aktuelles und wichtiges Thema ist.

In der zweiten Phase des Projekts wurden verschiedene Varianten für den Raumbezug mit Streifenreferenzierung mit und ohne Streifenachsen analysiert und modelliert. Die Varianten mit Streifenachsen richten sich vor allem an die Zielgruppe Verkehr. Dabei bilden die Streifenachsen eine sekundäres, das räumliche Basisbezugssystem RBBS überlagerndes Bezugssystem.

Parallel zur Modellierung wurden die erarbeiteten Konzepte im Rahmen eines Prototyps als Web-Applikation auf Machbarkeit hin überprüft.

Abschliessend wurden die Auswirkungen auf die SN-Normen und die Umsetzung in den heutigen Applikationen MISTRA und VM-CH untersucht und dokumentiert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die gesteckten Ziele wurden erreicht. Kosten und Termine wurden eingehalten. Es ist gelungen die Ergebnisse internationaler Arbeiten in die Ergebnisse einfließen zu lassen. Damit ist sichergestellt, dass eine zukünftige Zusammenarbeit auf internationaler Ebene möglich sein wird und bei Bedarf Daten, z.B. von Lieferanten von digitalen Karten, in die Strasseninformationssysteme von Bund und Kantonen zu integrieren.

Folgerungen und Empfehlungen:

Das Projektteam empfiehlt die bestehenden SN Normen 640 911 - 914 zum linearen Raumbezug und zur Topologie von Strassennetzen sowie auch die Norm SN 671 941 zur Strassenverkehrstelematik mit den Aspekten der Streifenreferenzierung zu erweitern und in Analogie zu den bestehenden Normen für den Linearen Raumbezug RBBS (640 912 - 640 914) neue Normen für den Raumbezug mit Streifenreferenzierung zu erstellen. Das vorliegende Forschungsprojekt macht hierzu konkrete Vorschläge.

Publikationen:

Forschungsbericht VSS 1011/715 "Forschungspaket Nutzensteigerung für Anwender des SIS: EP5: Raumbezug mit Streifenreferenzierung" April 2018

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bernard

Vorname: Emile

Amt, Firma, Institut: BISconsult GmbH

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das definierte Ziel des Forschungsprojektes war die Analyse der Machbarkeit einer Streifenorientierten Referenzierung von Fachinformationen, unter Berücksichtigung der aktuellsten Untersuchungen in der Schweiz und im Ausland. Die Forschungsergebnisse geben einen guten Überblick wieder, aufbauend auf einem weit gefassten Ist-Zustand bis hin zu einem Lösungskonzept mit Prototyp.

Die Unterscheidung nach den Zielgruppen "Infrastruktur" und "Verkehr" ist wesentlich, da im Rahmen des Forschungsprojektes klar aufgezeigt wurde, dass eine für beide Sichten gemeinsame Modellierung kaum möglich ist.

Umsetzung:

Die Umsetzung des im Forschungsprojektes erarbeiteten Konzeptes ist nicht sofort möglich. Wir befinden uns im untersuchten Bereich immer noch im Forschungsstadium, in welchem lediglich vielversprechende Lösungen identifiziert und evaluiert werden. Die Forschungsarbeiten müssen nun weitergeführt werden. Der vorliegende Forschungsbericht stellt dazu eine gute und interessante Grundlage für die weiteren Schritte dar.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt sind eine erste Grundlage. Die Umsetzung der aufgezeigten Konzepte braucht jedoch ihre Zeit. Der Druck auf die Forschung, insbesondere durch den Bereich des autonomen Fahrens, wird weiterhin steigen und den Bedarf die Forschungsarbeiten für Streifenbasierte Referenzierungen erhöhen.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt bedingen keine Änderung der bestehenden Normen. Es wird jedoch empfohlen diese zu erweitern oder eine neue Normenserie zu erarbeiten.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Böllli

Vorname: Jean-Pierre

Amt, Firma, Institut: Techdata SA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

J.P. Böllli

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

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