



Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP2: Bezugssysteme im Agglomerationsbereich

Paquet de recherche «Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route»: PI2: Systèmes de repérage dans les agglomérations

Research project «Increasing benefits for the users of the road and transport information system»: IP2: Referencing systems in agglomerations

IMC GmbH
Dr. Rade Hajdin
Jan Wunderlich
Dr. Andreas Fastrich

BISconsult GmbH
Emile Bernard

Forschungsprojekt VSS 2011/712 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Oktober 2020

1688

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 die Anwender des SIS: EP2: Bezugssysteme im Agglomerationsbereich

Paquet de recherche «Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route»: PI2: Systèmes de repérage dans les agglomérations

Research project «Increasing benefits for the users of the road and transport information system»: IP2: Referencing systems in agglomerations

IMC GmbH
Dr. Rade Hajdin
Jan Wunderlich
Dr. Andreas Fastrich

BISconsult GmbH
Emile Bernard

Forschungsprojekt VSS 2011/712 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Oktober 2020

1688

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Rade Hajdin

Mitglieder

Jan Wunderlich

Andreas Fastrich

Emile Bernard

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Bau- und Geotechnik

Begleitkommission

Präsident

Jean-Pierre Bolli

Mitglieder

Dirk Goebbels

Yan Cerf

Urs Bachmann

Emmanuel Schmassmann

Alexandre Bosshard

Jean-Luc Miserez

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	Ausgangslage.....	13
1.2	Ziele.....	14
1.3	Methodik und Lösungsansatz	14
2	Bezugssysteme	17
2.1	Lineares Raumbezugssystem.....	17
2.2	Planares Raumbezugssystem	17
2.3	Topologiebezugssystem	18
2.4	Beziehungen zwischen den Bezugssystemen.....	19
2.5	Transformationsmöglichkeiten	20
3	Bestehende Strasseninformations- und Raumbezugssysteme	21
3.1	Schweiz	21
3.1.1	Kanton Basel-Stadt	21
3.1.1.1	Strassen-Informationssystem – StrIS	22
3.1.1.2	Integrales Managementwerkzeug – I-MWZ	23
3.1.1.3	Gesamtverkehrsmodell der Region Basel – GVM-BS	24
3.1.1.4	Mobilitätsnetz Basel für das GVM-BS	25
3.1.2	PMS der Stadt Zürich	25
3.1.3	Verkehrsachsensystem, Routenplaner der Stadt Zürich	27
3.1.4	Stadt Bern: Erhaltungsmanagement der Strassen	28
3.1.5	MISTRA.....	28
3.1.5.1	MISTRA-BS.....	29
3.1.5.2	MISTRA-KUBA.....	30
3.1.5.3	MISTRA-TRASSEE.....	31
3.1.5.4	MISTRA-EMSG	31
3.1.5.5	MISTRA-LV	31
3.1.6	Amtliches Kataster	32
3.1.7	Leitungskataster.....	34
3.1.8	Verkehrsmodellierung im UVEK.....	35
3.1.9	TLM	35
3.1.10	Verkehrsnetz Schweiz.....	37
3.2	Deutschland	38
3.3	Allgemeine Raumbezugssysteme.....	41
3.3.1	OpenStreetMap	41
3.3.2	TomTom	42
3.3.3	NavTeq HERE.....	43
3.3.4	Google Maps	43
3.4	Vergleich Achsdefinitionen.....	43
4	Anforderungsanalyse	45
4.1	Rahmenbedingungen.....	45
4.1.1	Normen VSS	45
4.1.2	MISTRA-Konzept	45
4.1.3	Achsdefinition des TLM.....	46
4.1.4	VM-CH.....	47
4.1.5	EU- Normenwerke: INSPIRE	47
4.1.6	Vorhandene Daten über Bezugssysteme im Agglomerationsbereich	48
4.2	Anforderungen.....	48

5	Konzeption	53
5.1	Varianten.....	53
5.1.1	Variante Randsteinmitte.....	53
5.1.2	Variante TLM	53
5.1.3	Variante Fahrstreifenmitte.....	55
5.1.4	Variantenvergleich	55
5.1.5	Auswahl Bestvariante	56
5.2	Bezugssystem.....	58
5.2.1	Semantik	58
5.2.2	Klassenmodell.....	61
5.2.3	Funktionsmodell.....	62
5.2.3.1	Regeln für die Erfassung	63
5.2.3.2	Regeln für die Nachführung (Mutationen).....	64
5.2.3.3	Regeln für die Nachführung (Löschungen).....	65
5.3	Referenzierung Strassenobjekte	66
5.3.1	Semantik.....	66
5.3.2	Klassenmodell.....	67
5.3.3	Funktionsmodell.....	68
5.3.3.1	Regeln für die Erfassung	69
5.3.3.2	Regeln für die Nachführung (Mutationen).....	69
5.3.3.3	Regeln für die Nachführung (Löschungen).....	70
5.4	Netze und ihre Topologie	70
5.4.1	Semantik	70
5.4.2	Klassenmodell.....	72
5.5	Schnittstelle Streifenreferenzierung.....	73
5.5.1	Semantik	73
5.5.2	Klassenmodell.....	75
6	Validierung / Proof of Concept	77
6.1	Anwendungsfälle.....	77
6.2	Gebiet.....	78
6.3	Prototyp.....	78
6.3.1	Softwarearchitektur	78
6.3.2	Grafische Benutzeroberfläche GUI	79
6.4	Anwendung in der Praxis	79
6.4.1	Erfassung und Nachführung	79
6.4.2	Anwendung	80
6.4.3	3. Dimension	81
7	Schlusswort.....	83
7.1	Diskussion.....	83
7.2	Wichtige Erkenntnisse / Schlussfolgerungen.....	83
7.3	Empfehlungen	84
7.3.1	Normenbausteine.....	84
7.4	Weiterer Forschungsbedarf	85
	Anhänge.....	87
	Glossar.....	109
	Literaturverzeichnis.....	110
	Projektabschluss	113
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	116

Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt ist Teil des Forschungspakets „Nutzensteigerung für die Anwender des Strasseninformationssystems (SIS)“ und ordnet sich, wie in Abb. 1 dargestellt, in das Forschungspaket ein. Mit diesem Forschungspaket sollen insbesondere Raum- und Zeitbezugsaspekte sowie Fragen des Datenaustauschs für die optimale Nutzung des Strasseninformationssystems (SIS) geklärt werden. Schnittstellen bestehen insbesondere zum Projekt „Raumbezug mit Streifenreferenzierung“ mit dem die Kompatibilität der Konzepte sichergestellt werden musste.

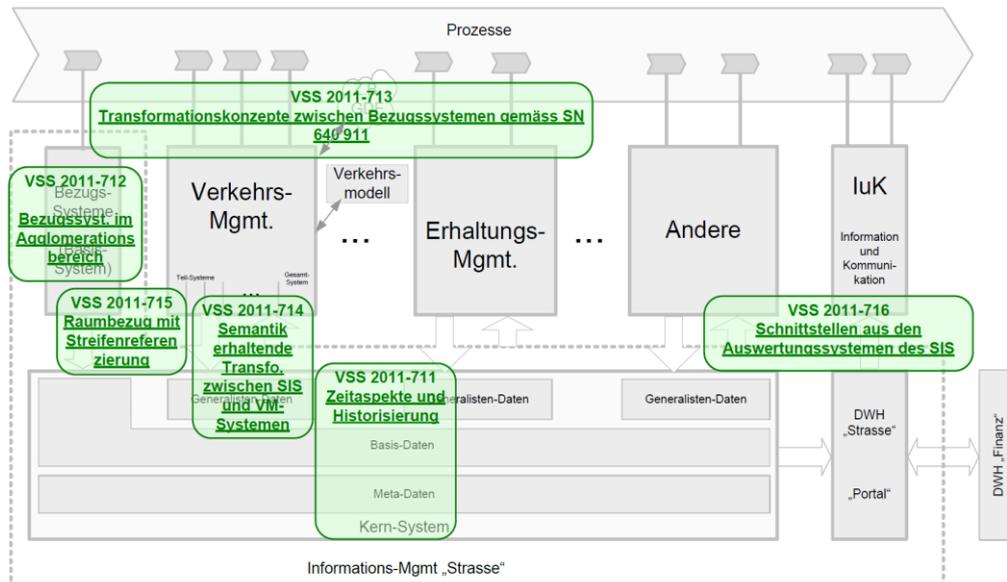


Abb. 1 Einordnung des Projekts in das Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS

Zielsetzung des Forschungsprojekts war die Entwicklung von Konzepten für den Aufbau und die Nachführung von Bezugssystemen für die Strasseninfrastrukturen des Agglomerationsbereichs. Diese Zielsetzung wurde in den vier methodischen Phasen: Situationsanalyse und Zielsetzung, Konzeption, Validierung der Praxistauglichkeit und Ergebniszusammenfassung bearbeitet. In der Situationsanalyse wurden bestehende Strasseninformations- und Raumbezugssysteme in der Schweiz und im internationalen Bereich analysiert. Damit wurde zum einen der derzeitige Stand der Praxis in den Städten und Gemeinden der Schweiz, d.h. die Grundlagen auf denen eine weitere Entwicklung aufbauen sollte, evaluiert, zum anderen konnten die offenen Fragen und die Anforderungen an ein Bezugssystem im Agglomerationsbereich spezifiziert werden. Darauf aufbauend wurden drei prinzipielle Varianten zur Definition der Achsen definiert:

- Variante Randsteinmitte: Pro Strasse wird eine Achse definiert, die mittig zwischen den Randsteinen am rechten und linken Rand der Strasse verläuft.
- Variante TLM: Es werden die von Swisstopo zur Verfügung gestellten TLM-Achsen verwendet. Bei baulicher Trennung innerhalb einer Strasse werden separate Achsen definiert.
- Variante Fahrstreifenmitte: Es wird pro Fahrstreifen eine Achse definiert.

Die Varianten wurden anhand der in einem Kriterienkatalog zusammengestellten Anforderungen gegenübergestellt und verglichen. Es wurden alle Varianten als prinzipiell geeignet befunden, zur weiteren Bearbeitung wurde jedoch die Variante Randsteinmitte, welche die Anforderungen am besten erfüllt, ausgewählt. Insbesondere die Variante TLM stellt eine

gute Alternative dar und liesse sich mit kleineren Anpassungen am entwickelten Konzept auch einsetzen.

Für die gewählte Variante wurden ein Klassen- und Funktionsmodell entwickelt und ein Regelwerk für die Erfassung und Nachführung der Achsen aufgestellt, in dem auch Spezialfälle wie Plätze, Kreisel und komplexe Kreuzungen abgedeckt werden. Es wurde aufgezeigt, wie verschiedene Objekte auf die Achsen referenziert werden können und auch hierfür ein Regelwerk aufgestellt. Bei der Konzeption wurde jeweils die Schnittstelle zur Streifenreferenzierung und damit die Einbindung in das Forschungspaket berücksichtigt.

Die Validierung der Konzeption erfolgte mit der praktischen Umsetzung in einem Prototypen. In einer Web-Applikation wurden verschiedene Beispielkreuzungen abgebildet und die Anwendungsfälle zur Referenzierung von Objekten implementiert.

Résumé

Ce projet fait partie du paquet de recherche « Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route (SIR) » comme indiqué dans la figure 1. Le paquet de recherche vise à éclaircir les aspects des références spatiales et temporels ainsi que questions de l'échange de données pour l'utilisation optimale du SIR. Il existe en particulier des interfaces avec le projet « Référencement spatial avec les voies de circulation » avec lequel la compatibilité a dû être garantie.

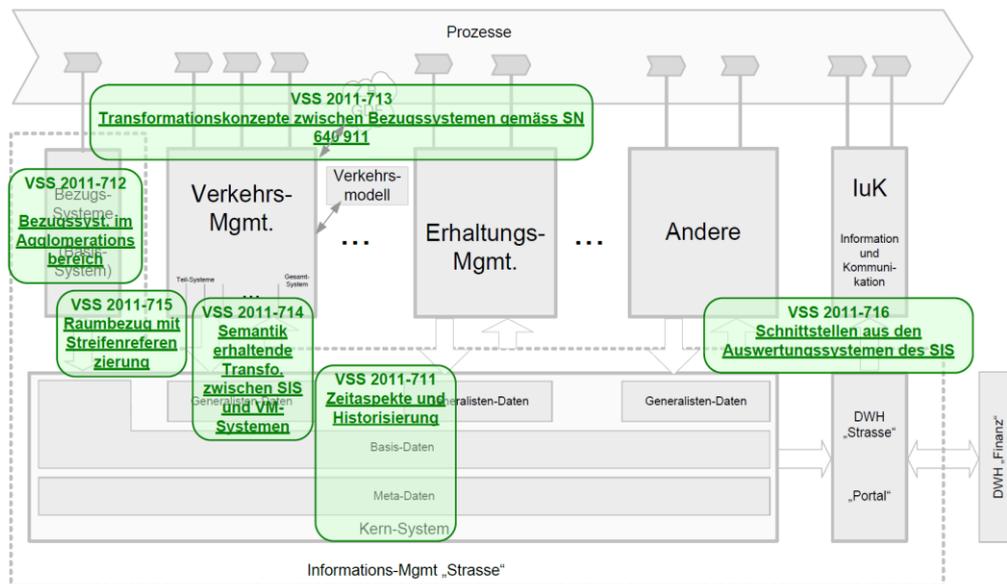


Figure 1 : Positionnement du projet dans le paquet de recherche Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route SIR

L'objectif du projet de recherche était le développement de concepts pour la construction et le suivi de systèmes de référence pour les infrastructures routières dans la zone de l'agglomération. Cet objectif a été atteint au cours des quatre phases méthodologiques : L'analyse de la situation et des objectifs, la conception, la validation de la praticabilité et la synthèse des résultats. Dans l'analyse de la situation, les systèmes d'information routière et de référence spatiale existants en Suisse et à l'étranger ont été analysés. Ainsi, d'une part, l'état actuel de la pratique dans les villes et communes de Suisse, c'est-à-dire les bases sur lesquelles le développement futur doit s'appuyer, a été évalué ; d'autre part, les questions ouvertes et les exigences pour un système de référence dans la zone de l'agglomération ont pu être précisées. Sur cette base, trois variantes principales pour la définition des axes ont été définies :

- Variante centre entre les bordures : Pour chaque route, un axe est défini qui se situe au centre entre les bordures des côtés droit et gauche de la route.
- Variante TLM : Les axes TLM fournis par Swisstopo sont utilisés. En cas de séparation constructive à l'intérieur d'une route, des axes séparés sont définis.
- Centre de la voie de circulation : Un axe par voie de circulation est défini.

Les variantes ont été comparées sur la base des exigences rassemblées dans un catalogue de critères. En principe, toutes les variantes ont été jugées appropriées, mais la

variante du centre entre les bordures répond le mieux aux exigences et a été sélectionnée pour un traitement ultérieur. En particulier, la variante TLM représente une bonne alternative et pourrait également être utilisée avec des adaptations mineures du concept développé.

Un modèle de classe et fonctionnel ont été développés pour la variante choisie et un ensemble de règles pour la saisie et le suivi des axes a été mis en place, qui couvre également des cas particuliers tels que les places, les ronds-points et les intersections complexes. Il a été montré comment différents objets peuvent être référencés sur les axes et un ensemble de règles a été mis en place à cet effet. Lors de la conception, l'interface avec le référencement avec les voies de circulation et donc l'intégration dans le paquet de recherche ont été prises en compte.

La validation du concept est faite par la mise en œuvre concrète dans un prototype. Dans une application Web, divers exemples de croisements ont été modélisés et les cas d'utilisation pour le référencement des objets ont été implémentés.

Summary

This project is part of the research package “Increasing benefits for the users of the Road and transport Information System”. Figure 1 shows how the project is integrated into the research package. This research package aims in particular to clarify spatial and temporal aspects as well as questions of data exchange for the optimal use of the Road and transport Information System (SIS). Links exist in particular with the project "Lane based spatial referencing", with which the compatibility of the concepts had to be ensured.

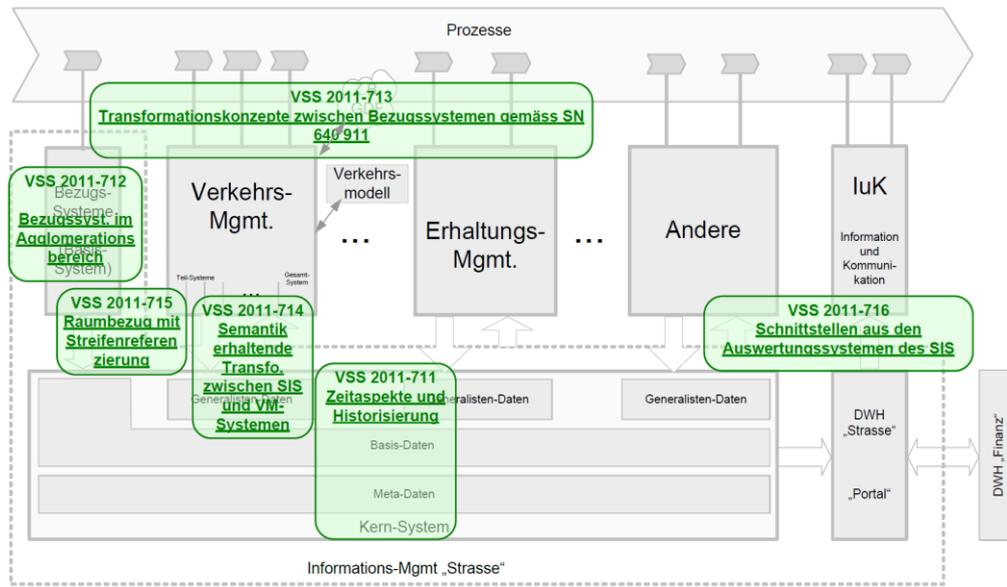


Figure 1 : Integration of the project into the research package Increased benefits for RIS users

The objective of the research project was the development of concepts for the setup and tracking of reference systems for the road infrastructures of the agglomeration area. This objective was achieved in four methodological phases: Situation analysis and objectives, conception, validation of practicability and summary of results. In the situation analysis, existing road information and spatial reference systems in Switzerland and internationally were analysed. Thus, on the one hand, the current state of practice in the cities and communities of Switzerland, i.e. the foundations on which further development should be based, was evaluated; on the other hand, the open questions and the requirements for a reference system in the agglomeration area could be specified. On this basis, three principal variants for the definition of the axes were defined:

- Alternative Between-the-Curbs: For each road, a single axis is defined which lies along the middle between the right and left curb of the street.
- Alternative TLM: TLM-Axes provided by swisstopo are used. In the case of a separation within a road, a separate axis is defined.
- Alternative Lane center: For each lane, a new axis is defined.

The alternatives were analyzed according to given criteria and compared. All alternatives were in principle deemed appropriate. The alternative Between-the-Curbs was chosen for further analysis as it fits the given criteria the best of all alternatives. The alternative TLM would also be an appropriate choice, and could fit the developed concept with only minor adjustments.

For the chosen alternative, class diagrams were developed. Furthermore, a framework for the data collection and updating of the axes was set up which also covers special cases such as squares, roundabouts and complex intersections. It was illustrated how different

objects can be referenced on the axes. A framework for this has also been set up. During the conceptualization phase, the interface between the concept and the Lane based spatial referencing model, and thus the research package as a whole, has been taken into account.

The concept's feasibility in practice was validated by using a practical application in a prototype. In a web-application, different intersection examples were illustrated and the different use cases for object referencing implemented.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Strassenverwaltungen werden immer mehr zu modernen Dienstleistern im Mobilitätsbereich. Die Daten zum Strassennetz werden nicht nur innerhalb einer Verwaltung verwendet, sondern auch zwischen den Verwaltungen des entsprechenden Strassennetzes sowie für ein übergeordnetes Strassennetz. Für das kantonsübergreifende Schwerverkehrsrouting sind beispielsweise Kenntnisse zu Höhen-, Breiten- und Gewichtsbeschränkungen für das gesamte Strassennetz notwendig, welches ebenfalls Gemeindestrassen umfasst.

Zur effizienten Bewältigung der Fachprozesse wird ein Strassennetz benötigt, welches eine lineare, planare und topologische Referenzierung der Fachobjekte auf Ebene der Agglomerationen unterstützt.

Die heute verfügbaren linearen und topologischen Konzepte zu Bezugssystemen sind auf den Einsatz der Strasseninformationssysteme im übergeordneten Strassennetz und somit weitgehend auf die Verhältnisse ausserorts ausgelegt. Im Agglomerationsbereich existieren erst erste Ansätze und Erfahrungen, die systematisch konzeptionell aufzubereiten sind.

Gegenstand des vorliegenden Forschungsprojekts ist die Erarbeitung von Konzepten für den Aufbau und die Nachführung der linearen und topologischen Bezugssysteme im Agglomerationsbereich.

In Hinsicht auf das Erhaltungsmanagement teilen sich die Meinungen ob ein linearer oder ein planarer Ansatz angewendet werden soll. So ist ein linearer Ansatz für gewisse Anwendungen wie die Abbildung von aneinanderlegenden Objekten (wie z.B. Fahrbahnabschnitte, Wasserleitungen) sicherlich nötig und für die Referenzierung von Punkten und Abschnitten auf Kantonsstrassen und Hausnummer zweckmässig. Auf der anderen Seite sollen auch flächenhafte Objekte wie Plätze und Parzellen abgebildet werden können, wozu sich ein planarer Ansatz besser eignet. Es existieren diverse Rahmenbedingungen und Bedürfnisse die zusammengetragen und berücksichtigt werden müssen. Bei den Arbeiten müssen Bedürfnisse berücksichtigt werden, welche eher modelltechnischer Natur sind, wie die Definition des Bezugssystems in grossen Plätzen, in komplexen Kreuzungen oder in komplexen Kreiseln sowie das Zusammenspiel der Bezugssysteme im übergeordneten Strassennetz mit den Bezugssystemen im Innerortsbereich. Weiterhin sind Bedürfnisse aus der Beziehung zwischen dem linearen Bezugssystem auf der Planungsebene mit dem Bezugssystem der amtlichen Vermessung auf der Ausführungsebene sowie Bedürfnisse von anderen Medien oder Verkehrsträger (ÖV, Gas, Wasser, Abwasser, usw.) zu berücksichtigen. Als Rahmenbedingungen sind natürlich die VSS Normen zu Strasseninformationssystemen, die MISTRA-Konzepte und -Lösungsansätze bezüglich Raumbezug der Fachapplikationen EMSG und LV sowie die Regeln für die Achsdefinitionen des TLM von Swisstopo usw. zu berücksichtigen (ASTRA, MISTRA).

Um praxistaugliche Konzepte für das Bezugssystem zu erarbeiten, werden die Rahmenbedingungen und Bedürfnisse analysiert, detailliert und in Hinsicht auf die praktische Anwendung validiert. Die Konzepte sollen z.B. die geläufige Referenzierung über Strassenamen und -nummern unterstützen. Weiter sollen sie die komplexen geometrischen Situationen der Fahrbahn (v. a. Kreuzungen und Plätze) abbilden können, aber auch als Referenzierung für eine Vielzahl an Teilsystemen verwendet werden können. Ausserdem sollen die Konzepte zu den, im Ausserortsbereich bereits bestehenden, Referenzsystemen kompatibel sein.

1.2 Ziele

Mit dem Forschungsprojekt sollen im Wesentlichen die folgenden Ziele erreicht werden:

- Zwecks Definition und Nachführung der Bezugssysteme im Agglomerationsbereich sind konzeptionelle Regeln ausgearbeitet und dokumentiert.
- Aufgrund der Analyse und Beschreibung von praxisnahen Beispielen sind Spezialfälle gelöst und dokumentiert.
- Zwecks Validierung ist die praktische Anwendung im Innerortsbereich nachgewiesen.
- Zwecks Abstimmung der Arbeiten und Nutzung von Synergieeffekten sind die Arbeiten des vorliegenden Forschungsprojekts mit jenen des Raumbezugs der Streifenreferenzierung (VSS 2011/715) [33] koordiniert.
- Zwecks Schaffung allgemein gültiger Standards ist ein Normenentwurf erarbeitet, in dem die Regeln für die Definition und Nachführung des Bezugssystems dargelegt werden.

1.3 Methodik und Lösungsansatz

Das Vorgehen in diesem Forschungsprojekt wurde in die folgenden vier Phasen unterteilt:

Phase 1: Situationsanalyse und Zielsetzung

Zu Beginn erfolgte eine nationale und internationale Literaturrecherche in den relevanten Bereichen der Datenmodellierung. Sie deckte die Bereiche der Standardisierung/Normierung und Forschung sowie die internationale Praxis ab.

Zur Analyse der schweizerischen Praxis erfolgte eine Umfrage im kommunalen Bereich. Dabei wurde diversen Organisationen ein Online-Fragebogen zugestellt. Je nach Rücklauf und den Antworten wurde die Thematik in einem persönlichen Interview weiter vertieft. Folgende Interview-Partner wurden befragt:

- Basel Stadt: In der Stadt Basel werden die Massnahmen der verschiedenen Teilsystemen und Wirkungsbereichen an der Infrastruktur auf Allmend gemäss dem Geschäftsmodell Infrastruktur koordiniert. Die Daten aus verschiedenen Verwaltungen und Betrieben fliessen zusammen. Ein gemeinsames Bezugssystem ist zur Verknüpfung für eine Ermittlung von übergreifenden Massnahmenvorschlägen unumgänglich.
- Stadt Zürich: Als weitere grosse Schweizer Stadt wurde die Stadt Zürich zur Verwendung von Bezugssystemen befragt. In der Stadt Zürich existiert das Grundmodell Werterhalt. In der Stadt Zürich ist die Berücksichtigung von verschiedenen Bedürfnissen im Strassenbereich alltägliches Geschäft. Eine Koordination zwischen den unterschiedlichen Gewerken steht für Baumassnahmen im Vordergrund. Ein gemeinsames Bezugssystem zur Datenreferenzierung scheint hier analog zu Basel Stadt unumgänglich.
- Stadt Bern: Als weitere grosse Schweizer Stadt wurde die Stadt Bern zur Verwendung von Bezugssystemen befragt.
- Kanton Zug

Den Abschluss dieser ersten Phase bildete eine Problemanalyse, Anforderungsanalyse und die Ableitung der Anwendung von Bezugssystemen im Agglomerationsbereich.

Phase 2: Konzeption

Diese Phase war aufgeteilt in die Themenbereiche Regeln für die Definition und die Nachführung des Bezugssystems. Parallel wurde in Phase 3 ein Prototyp erstellt um die Ergebnisse der Phase 2 auf ihre Realisierbarkeit prüfen zu können.

Regeln für die Definition des Bezugssystems: In einem ersten Schritt erfolgt die Erarbeitung der semantischen Ebene. Danach wird in einem zweiten Schritt das Modell konzeptuell ausgearbeitet und Spezialfälle behandelt. Die Praxistauglichkeit des Modells wird in einem dritten Schritt im Prototyp validiert und die Ergebnisse beurteilt. Nach erfolgreicher Validierung wird das endgültige Bezugssystem definiert.

Regeln für die Nachführung des Bezugssystems: In einem fünften Schritt erfolgt die Erarbeitung der semantischen Ebene der Nachführung. Im Anschluss erfolgt die Validierung der Praxistauglichkeit im Prototyp. Nach erfolgreicher Validierung werden die endgültigen Regeln definiert.

Phase 3: Validierung der Praxistauglichkeit mittels eines Proof-of-Concept

Die Phase 3 sollte die Erarbeitung der Konzepte von Phase 2 durch ein Proof-of-Concept und somit eine praxisnahe Umsetzung unterstützen. In einem ersten Schritt erfolgte die Definition der Spezifikationen einer Implementierung des Konzeptes in eine bestehende Fachapplikation im Bereich der Erhaltungsplanung. Anschliessend erfolgte die Umsetzung (zum Teil iterativ) der notwendigen Anpassungen und Implementierung des Konzeptes. In einem dritten und vierten Schritt (zum Teil zeitgleich) erfolgten unterschiedliche praxisnahe Anwendungen in Bezug auf die Validierung des Bezugssystems und für Transformationen zur Validierung der Nachführung auf semantischer Ebene. Hierbei wurden die Interviewpartner aus dem Innerortsbereich stark mit einbezogen, um die Machbarkeit der Umsetzung sowie die Erfüllung der Anforderungen in Fallbeispielen zu prüfen. Zusätzlich erfolgte noch eine Gesamtanalyse der Ergebnisse und die Validierung der Praxistauglichkeit. Das Proof-of-Concept stellt mit MS 4 das Ergebnis von Phase 3 dar.

Phase 4: Ergebniszusammenfassung

Für den Schlussbericht wurden alle Ergebnisse aus Phase 1-3 interpretiert und validiert. Anschliessend erfolgte die Ableitung der Erkenntnisse und die Folgerungen und den Empfehlungen. Anschliessend wurden Empfehlungen für die Anpassung oder Ergänzung von Normen erarbeitet.

2 Bezugssysteme

Die im Folgenden verwendeten Begriffsdefinitionen lehnen sich an die VSS 40914 [8] an.

Die meisten Daten – welche für das Strassenmanagement von Bedeutung sind – beziehen sich auf einen oder mehrere Orte im Strassenraum. Angesichts der Gegebenheiten des Strassenraums und der abzudeckenden Bedürfnisse müssen oft unterschiedliche Bezugssysteme verwendet werden.

Ein Bezugssystem definiert die Regeln für die eindeutige Beschreibung des Ortes und der räumlichen Ausprägung eines Objektes auf dem Strassennetz. Es dient zum Erheben, Abstecken, Lokalisieren und Kartieren von Informationen im Strassenbereich.

Der Bezug des Orts oder der Lage im Raum kann typischerweise aufgrund der drei folgenden Arten erfolgen: linearer Raumbezug, planarer Raumbezug und Topologiebezug. Zwischen den Bezugssystemen sind Transformationen möglich. Im Folgenden werden die erwähnten Bezugssysteme und die Transformationsmöglichkeiten kurz erläutert. Für detaillierte Beschreibungen wird auf die VSS 40914 verwiesen.

Die Beschreibungen der folgenden Abschnitte sind absichtlich generisch gehalten. Konkrete Umsetzungsbeispiele zu Raumbezugssystemen sind im Kapitel 3 beschrieben. Die Konzeption und Validierung eines Bezugssystems samt detaillierteren Beschreibungen ist in den Kapiteln 0 und 5.3.1 enthalten.

2.1 Lineares Raumbezugssystem

In einem linearen Raumbezugssystem werden die Koordinaten durch eine Längsachse und eine oder zwei Querachsen definiert. Die Achsen sind mit linearen Objekten wie Strassen, Gewässer und technische Netze (Wasser, Gas, Elektrizität) verknüpft. Üblicherweise werden die Koordinaten u entlang der Längsachse, v entlang der Querachse und w als Bezugshöhe gewählt [4]. Eine beispielhafte Abbildung eines linearen Raumbezugssystems ist in Abb. 1 ersichtlich.

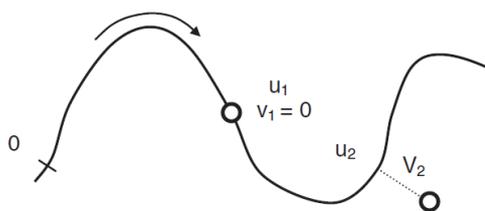


Abb. 1 Beispielhafte Abbildung eines lineares Raumbezugssystems [4]

Innerhalb von Strassendatenbanken werden Fahrbahnobjekte – insbesondere auf den Nationalstrassen und allgemein ausserorts – mittels eines linearen Raumbezugssystems referenziert. Die Referenzierung erfolgt beispielsweise über die Kilometrierung oder Bezugspunkten.

2.2 Planares Raumbezugssystem

Im planaren Raumbezugssystem wird ein Ort in einem in einer Ebene liegenden Koordinatensystem definiert. Ein Punkt $P(x,y)$ wird durch ein Koordinatenpaar bestimmt, dessen Achsen senkrecht aufeinander stehen und typischerweise x und y bezeichnet werden [4]. Eine beispielhafte Abbildung eines planaren Raumbezugssystems ist in Abb. 2 dargestellt.

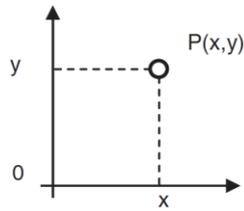


Abb. 2 Beispielhafte Abbildung eines planaren Raumbezugssystems [4]

Dieses Raumbezugssystem ermöglicht es, Objekte in einem zweidimensionalen Raum zu lokalisieren. Punktförmige, lineare und flächige Objekte können durch die Eckpunkte lokalisiert werden. Die amtliche Vermessung und Landeskarten verwenden planare Raumbezugssysteme. Sie eignen sich gut für Objekte, die unabhängig von Strassenachsen sind. Bei Absteckungsarbeiten bei Baustellen werden grundsätzlich planare Systeme verwendet.

2.3 Topologiebezugssystem

Ein Topologiebezugssystem setzt sich aus geordneten Knoten und Kanten (bzw. Abschnitten) zusammen. Zu diesen Elementen können planare und lineare Koordinaten definiert sein. Mit dem Topologiebezugssystem werden die topologischen Eigenschaften von Netzen beschrieben und die Objekte und Ereignisse positioniert. Die Topologie beschreibt die Beziehungen zwischen den Objekten. Das Positionieren ist der Vorgang zur Bestimmung der topologischen Lage eines Objektes und beschreibt den Bezug zu den topologischen Elementen des Strassennetzes.

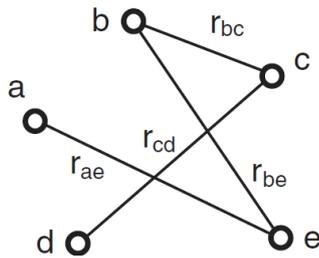


Abb. 3 Beispielhafte Abbildung zu den topologischen Beziehungen zwischen punktförmigen Objekten [4]

Verkehrsmodelle wie das nationale Personenverkehrsmodell definieren z.B. die Verkehrsbeziehungen anhand eines Topologiebezugssystems.

2.4 Beziehungen zwischen den Bezugssystemen

Je nach Bedarf kann der lineare Strassenraum auf den drei vorher beschriebenen Sichten beschrieben werden. Die Beziehungen sind in der folgenden Abbildung ersichtlich:

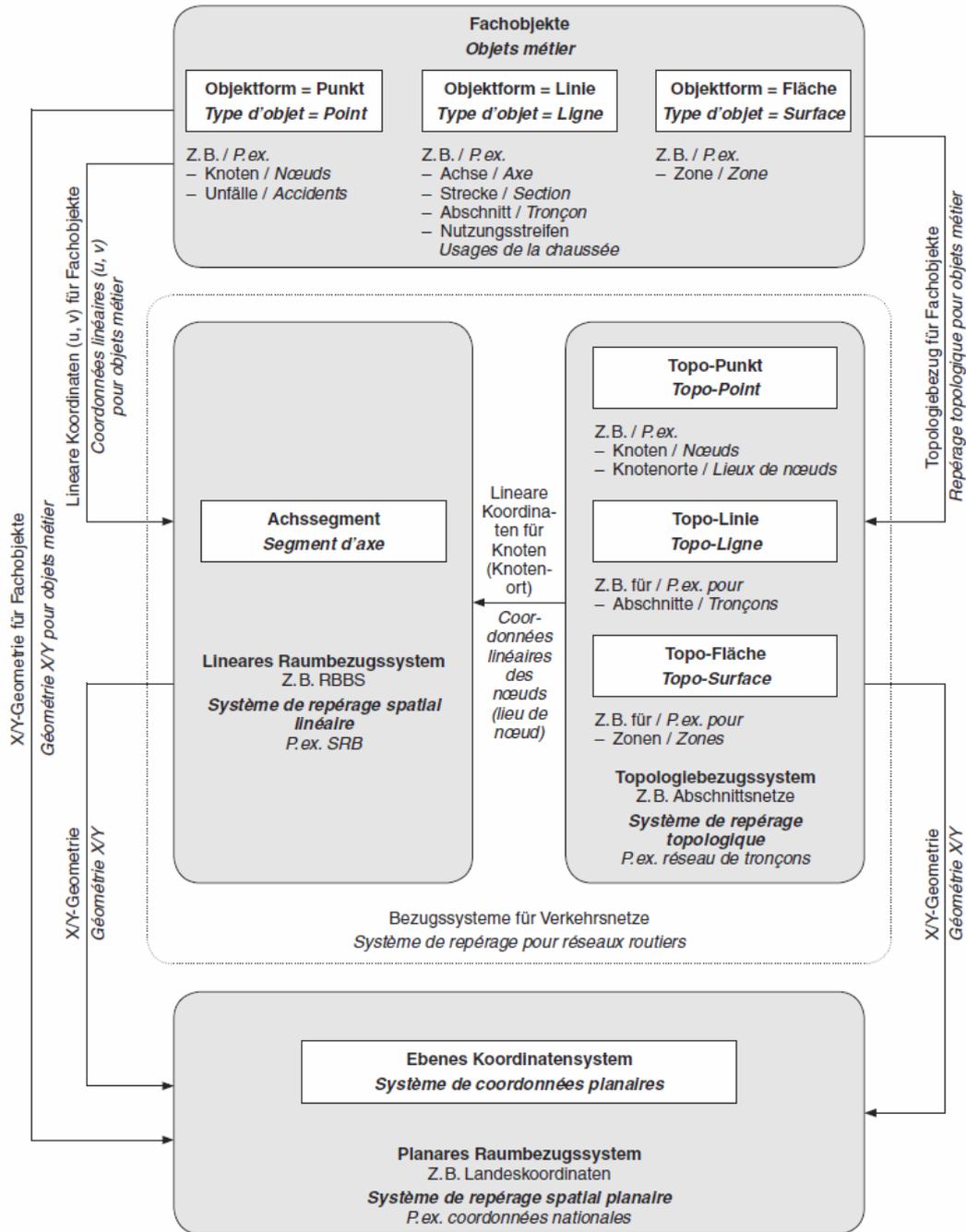


Abb. 4 Beziehungen zwischen den Bezugskonzepten [4]

Anhand der Abbildung wird dargestellt, dass der Raumbezug der Fachobjekte mittels eines planaren, linearen oder topologischen Bezugssystems definiert werden kann. In einem topologischen Bezugssystem definierte Fachobjekte können wiederum in ein lineares und ein planares Bezugssystem überführt werden. Und die mit einem linearen Bezugssystem definierten Fachobjekte können wiederum in ein planares Bezugssystem überführt werden.

2.5 Transformationsmöglichkeiten

Je mehr Informationen zu verschiedenen Themen zur Verfügung stehen, umso mehr besteht der Bedarf an der Möglichkeit des Austauschs von Daten. Es konnte bereits gezeigt werden, dass dies auch den Nutzen eines Strasseninformationssystems steigert [25], [28], [19], [15], [21].

Daten werden jedoch nicht immer im selben Bezugssystem erfasst. Möchte man nun verschiedene strassenbezogene Informationen, die mit verschiedenen Referenzsystemen beschrieben werden, zusammen auf einer Übersichtskarte darstellen, dann müssen alle Lokalisierungen ins Referenzsystem dieser Übersichtskarte umgerechnet (d.h. transformiert) werden. Die Norm VSS 71941 [11] beschreibt die Transformationsmöglichkeiten zwischen Bezugssystemen (vgl. Abb. 5).

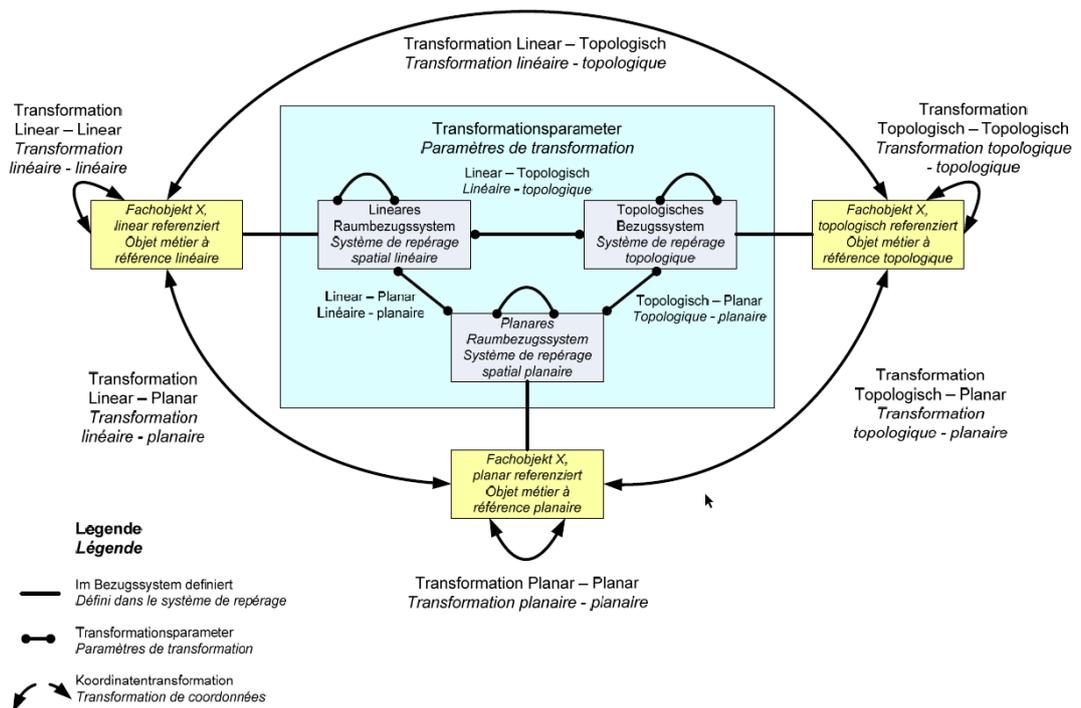


Abb. 5 Transformationsmöglichkeiten zwischen den Bezugssystemen [11]

Im Zuge des Forschungspakets „Nutzensteigerung für die Anwender des SIS“ wurden im Forschungsprojekt „EP3: Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen“ Transformationsalgorithmen zwischen den Bezugssystemen erarbeitet [19].

Eine amerikanische Lösung für das Zusammenführen von mehreren linearen Raumbezugssystemen stellt das MLRS (Multilevel Linear Referencing System) von dar [23].

3 Bestehende Strasseninformations- und Raumbezugssysteme

Es bestehen bereits etliche Strasseninformationssysteme (kurz SIS) im städtischen und kommunalen Bereich. Diese werden beispielsweise zur Unterstützung des Erhaltungsmanagements oder der Verkehrsplanung angewendet. Im Folgenden werden verschiedene nationale und internationale Systeme beschrieben, welche Fachobjekte darin wie modelliert werden sowie wie die Bezugssysteme angewendet werden. Darauf basierend werden Anforderungen an die Bezugssysteme abgeleitet.

Der Ablauf zur Analyse der Systeme war so, dass den Befragten erst der Online-Fragebogen gem. Anhang I.1 zugestellt wurde und die Befragten angeben konnten ob sie für ein Interview zur Verfügung stehen würden. Aufgrund der Bereitschaft für ein Interview und der Relevanz für das Forschungsprojekt wurde ein Interview durchgeführt. Innerhalb des Interviews wurde gezielt auf Fragestellungen eingegangen, welche für das Forschungsprojekt von Interesse sind.

Die Kontaktstellen, welche der Fragebogen zugestellt wurde, mit welchen Kontaktstellen ein Interview durchgeführt wurde sowie die Ergebnisse aus der Umfrage sind in Anhang 0 enthalten.

Der Fragebogen wurde an 35 Stellen und unter anderem auch an den schweizerischen Städteverband verschickt. Beantwortet wurde der Fragebogen von 29 Stellen.

3.1 Schweiz

3.1.1 Kanton Basel-Stadt

Systembeschreibung Geschäftsmodell Infrastruktur

Innerhalb des Kantons Basel-Stadt wird eine Vielzahl von SIS betrieben. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden SIS analysiert, welche in Bezug mit dem Geschäftsmodell Infrastruktur (kurz GMI) stehen.

Das Geschäftsmodell Infrastruktur basiert auf einer verbesserten Koordination der Teilsysteme Abwasserableitungsanlagen, Strassen, Gleisanlagen, Werkleitungen, Strassenbegleitgrün, Kunstbauten, Wasserbau und Lichtsignalanlagen und weiteren Teilsystemen. Mit der Koordination der Teilsysteme werden auch die Anspruchsteller der Infrastruktur Arealentwicklung, Mobilität, Stadtgrün, Ver- und Entsorgung und Stadtgestaltung koordiniert. Diese haben einen Einfluss auf die Erhaltungsplanung der Teilsysteme. Die Optimierung der Planung basiert primär auf folgenden Eckpfeilern:

- Integrierte und zentral gesteuerte Erhaltungsplanung aller Teilsysteme
- Integrierte und zentral gesteuerte Planung aller durch die Verwaltung vertretenen Ansprüche an die Infrastruktur
- Durchgehende Verbindlichkeit: „keine Arbeit ohne Auftrag“
- Durchgehendes Controlling

Mit der Umsetzung des Konzeptes soll folgendes erreicht werden:

- Eine deutliche Reduktion der Ausgaben für die Erhaltung der Infrastruktur bei bedarfsgerechter Qualität
- Eine deutliche Reduktion der Baustellendauer und eine deutliche Verlängerung der baustellenfreien Zeit pro Strassenstück oder Platz

Um die Informationsflut zu bewältigen war für die Umsetzung des Geschäftsmodells Infrastruktur die Anwendung von SIS und Schnittstellen zwischen diesen unabdingbar. In Hinblick auf das Forschungsprojekt wurden die folgenden SIS analysiert:

- Strassen-Informationssystem – StrIS
- Kanal-Informationssystem – KIBA
- Kunstbautendatenbank – KUBA
- Datenbank der Gleisanlagen
- System zur Verwaltung von Bau- Aufgrabungsbewilligungen
- Integrales Managementwerkzeug – I-MWZ
- Projektportfoliomanagement-Tool – PM-Tool
- Datenbank zur Verwaltung der Werkleitungen der Industriellen Werke Basel
- Gesamtverkehrsmodell der Region Basel – GVM BS
- Mobilitätsnetz Basel für das Gesamtverkehrsmodell der Region Basel

Aufgrund Bereitschaft für ein Interview zur Verfügung zu stehen und der Relevanz für das Forschungsprojekt wurden Interviews für die folgenden SIS durchgeführt:

- Strassen-Informationssystem – StrIS
- Integrales Managementwerkzeug – I-MWZ
- Gesamtverkehrsmodell der Region Basel – GVM BS
- Mobilitätsnetz Basel für das Gesamtverkehrsmodell der Region Basel
- „Gleisanalgen“ der BVB

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Untersuchungen weiter beschrieben.

3.1.1.1 Strassen-Informationssystem – StrIS

Systembeschreibung

Das Strassen-Informationssystem StrIS dient der Unterstützung des Erhaltungsmanagements von Strassen. Das System unterstützt die Verwaltung des Inventars, der Inspektionsergebnisse der geplanten und durchgeführten Massnahmen zur Fahrbahn und zu Trottoirs.

Als Software-Produkt wird noch StrIS der Firma Emch + Berger AG in Kombination mit Geomedia von Intergraph eingesetzt. Per 1.1.2018 wird das Produkt Logo der Firma Geologix eingeführt.

Aus dem System werden in regelmässigen Abständen Daten für das integrale Managementwerkzeug und das kantonale GIS in Form von esri-Shape-Files exportiert, welche einen planaren Raumbezug aufweisen. Informationen für das Projektportfoliomanagement-Tool und für das System zur Verwaltung von Bau- und Aufgrabungsbewilligungen werden von Hand in ein anderes System übertragen.

In separaten Datenbanken werden die Strassenentwässerungen, die Aufgrabungen, die Kunstbauten sowie die Routen für Ausnahmetransporte verwaltet. Für die Verwaltung der Strassenentwässerungen, der Aufgrabungen und der Kunstbauten werden planare Raumbezugssysteme verwendet. Auf diese Datenbanken und Objekte wird im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Zur Lokalisierung der Fachobjekte verwendet StrIS Strassenachsen und somit ein lineares Raumbezugssystem. Die Strassenachsen wurden vom TBA definiert und erfasst. Das Inventar wird mittels sogenannter Strassenabschnitte modelliert, die Inspektionsergebnisse werden mittels sogenannter Zustandsabschnitte modelliert. Mittels der dynamischen Segmentierung können die Strassen- und Zustandsabschnitte dynamisch auf den Strassenachsen lokalisiert werden.

Anforderungen und Regeln zum Bezugssystem

Das TBA-BS überarbeitet die Strassenachsen. Die Regeln für die Überarbeitung lagen zum Zeitpunkt des Interviews noch nicht in schriftlicher Form vor und werden anlässlich der Überarbeitung fortlaufend definiert. Das TBA-BS hat jedoch bezüglich der Regeln bereits klare Ideen. Im Folgenden werden erste semantische Regeln und Anforderungen zum linearen Bezugssystem aufgelistet:

- Grundsätzlich soll die Strassenachse mittig zu den Randsteinen verlaufen; davon ausgenommen sind ausserordentlichen Ausbuchtungen wie z.B. Busausbuchtungen. Dadurch ist sie unabhängig von den Verkehrsmarkierungen und stabiler gegenüber Änderungen.
- Eine Unterscheidung in positiver und negativer Richtung ist im städtischen Bereich nicht nötig.
- Die Richtung der Achse sollte der Hausnummerierung entsprechen.
- Die Genauigkeit soll i.d.R. 1-2 m in Längsrichtung und 0.2-0.3 m in Querrichtung betragen.
- Die Materialisierung des Bezugssystems soll im städtischen Gebiet nicht erfolgen da das Erheben im Feld mittels eines GPS-fähigen Tablets genau genug ist.
- Strassen sollen als Trapezoiden abgebildet werden können.
- Es sollen nur so viele Achsen wie nötig definiert werden. In der Regel wird eine Achse pro gleichnamige Strasse gebildet werden.
- Der Strassenname soll eine Eigenschaft der Achse sein, jedoch nicht sein eindeutiger Identifikationsschlüssel.
- Die Achsen sollen über den Kreuzungsbereich hinaus reichen, um Objekte im Kreuzungsbereich mittels beider sich kreuzenden Achsen lokalisieren zu können.
- Dasselbe Objekt soll auf mehreren Achsen referenziert werden können.
- Die Abbildung von Plätzen ist noch genauer zu untersuchen; grundsätzlich sollten sie nicht als separate Achsen behandelt werden.

3.1.1.2 Integrales Managementwerkzeug – I-MWZ

Systembeschreibung

Das integrale Managementwerkzeug dient zur Unterstützung der Erhaltungsplanung der Teilsysteme Strassen, Abwasseranlagen, Kunstbauten und Gleisanlagen. Aufgrund der georeferenzierten Inventar- und Zustandsdaten sowie vorgegebener Massnahmen der Teilsysteme simuliert das I-MWZ die Zustands- und Finanzbedarfsentwicklung und ermittelt daraus die Erhaltungsstrategie, welche minimale Lebenszykluskosten aufweist. Dabei werden die direkten Kosten – welche der Betreiber für die Realisierung zu bezahlen hat – sowie die indirekten Kosten, welche infolge eines schlechten Zustands eine verminderten Verfügbarkeit der Strasse oder Umweltrisiken mit sich ziehen. Aufgrund der Berechnungen werden die Zustands- und Finanzbedarfsentwicklung sowie vorgeschlagene Massnahmen ermittelt.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Die Fachobjekte werden als Flächen mit einem planaren Raumbezug von den Teilsystemen geliefert und mittels eines komplexen Algorithmus in der Software FME miteinander verschnitten. Nach dem Verschnitt werden mit dem I-MWZ Massnahmen an sog. Erhaltungsabschnitten vorgeschlagen. Die Erhaltungsabschnitte werden von den Teilsystemen als Flächen mit einem planaren Raumbezug vorgegeben und entsprechen i.d.R. einem Strassenabschnitt, welcher von Kreuzung zu Kreuzung reicht.

Anforderungen an das Bezugssystem

Aufgrund der angewendeten Methodik ergeben sich die folgenden Anforderungen an das Raumbezugssystem:

- Die Fachobjekte müssen über ein gemeinsames Raumbezugssystem lokalisiert werden können damit überlappende Bereiche miteinander verschnitten werden können.
- Die Genauigkeit soll i.d.R. 2 m in Längsrichtung und 0.5 m in Querrichtung betragen.
- Nebeneinanderliegende Objekte, welche sich längs auf einer Fahrspur befinden sollten entlang der Strassenachse identifiziert werden können.
- Topologische Informationen (z.B. aus den Berechnungsergebnissen eines Verkehrsmodells) sollten eindeutig mit den Strassenachsen verknüpft werden können. Damit sollen die indirekten Kosten, welche sich aufgrund der Baustellen ergeben eindeutig berücksichtigt werden können.

3.1.1.3 Gesamtverkehrsmodell der Region Basel – GVM-BS

Systembeschreibung

Das Modell ist eine wichtige Grundlage für die strategische Verkehrsplanung und dient der Beurteilung von Infrastrukturmassnahmen im ÖV und im MIV. Das Modell bildet das Verkehrsgeschehen bzw. das Mobilitätsverhalten in der Region Basel für die vier Verkehrsträger MIV, Fussgänger, ÖV und Velo ab. Der ÖV wird zusätzlich unterteilt in ÖV und Fussweg, ÖV und Auto (park&ride) sowie ÖV und Velo (bike&ride). Mit seiner Hilfe können unterschiedliche Szenarien zu Veränderungen infolge neuer Strassen, neuer ÖV-Linien oder neuer Siedlungselemente prognostiziert werden.

Der Modellierungsprozess weist folgende wesentliche Schritte auf:

- 1) Verkehrserzeugung: Die Stadt wird mit einem Hektometerraster in Zonen unterteilt. Für jede Zone wird das Quell- und Zielverkehrsaufkommen gerechnet.
- 2) Zielwahl: Aus Quell- und Zielverkehrsaufkommen sowie Widerstandsfunktionen (Fahrzeit, Treibstoffkosten, Wartezeiten, Billettpreise etc.) wird berechnet, wie viele Wege von jeder Zone in jede andere Zone stattfinden. Es resultieren die sog. Wegematrizen.
- 3) Verkehrsmittelwahl: Jede Wegbeziehung wird auf Basis von generalisierten Kosten auf die Verkehrsmittel MIV, ÖV, Velo und Fuss aufgeteilt.
- 4) Routenwahl / Umlegung: Die errechneten Wegbeziehungen je Verkehrsmittel sowie die Matrizen der Lieferwagen und Lastwagen werden auf das MIV-, ÖV- und Velo-Infrastrukturnetz umgelegt. Daraus resultieren Belastungen für Streckenabschnitte auf Strasse und Schiene.

Das GVM-BS basiert auf der Software TransCAD der Caliper AG.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Das Verkehrsmodell besteht auf einem Topologischen Modell von Knoten und Kanten. Als Grundlage für das Modell wurden TomTom-Achsen übernommen und wo nötig ergänzt. So mussten insbesondere beim Tram-Netz gewisse Anpassungen gemacht werden. Die Anpassungen wurden situativ auf pragmatische Weise gemacht. Die TomTom-Achsen wiesen den Vorteil auf über diverse Informationen zum Verkehr zu verfügen. So konnten z.B. die Geschwindigkeiten aufgrund unterschiedlicher Netz-Belastungen, Strassentypisierungen, Eisenbahnlinien, Anzahl Spuren, Abbiegeverbote, Velowege, Unfallschätzungen übernommen werden. Die Nachführung der Daten erweist sich jedoch als aufwendig, weil das berücksichtigte Gebiet bis Mulhouse/Freiburg reicht und folglich sehr

umfangreich ist; dementsprechend sind viele Stellen involviert, welche wiederum über unterschiedliche Standards verfügen.

Anforderungen

Aufgrund verschiedener Anfragen hat sich v.a. der Bedarf gezeigt die Berechnungsergebnisse, welche mit dem GMS-BS erzeugt wurden anderen mit den Daten aus anderen SIS zu kombinieren. Hierzu wurde das Mobilitätsnetz Basel erstellt, welches im folgenden Abschnitt weiter beschrieben wird.

3.1.1.4 Mobilitätsnetz Basel für das GVM-BS

Systembeschreibung

Die Simulationsergebnisse des GVM-BS müssen für verschiedene Fragestellungen zur Verfügung gestellt werden. Das Amt für Umwelt und Energie benötigt z.B. die Belastungszahlen für den Lärmkataster, das Lufthygieneamt benötigt Grundlagen zur Ermittlung der Emissionen auf den Strassenabschnitten. Das „Mobilitätsnetz BS“ soll als gemeinsame Grundlage zur Bereitstellung der Informationen, welche aus dem GVM-BS gewonnen werden dienen.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Das Mobilitätsnetz BS verwendet die Achsen der amtlichen Vermessung als lineare planare Geometrien und überträgt darauf die Ergebnisse aus den Simulationen des GVM-BS. Die Übertragung erfolgt aufgrund von geographischen Transformationen wie z.B. Nachbarschaftsanalyse. Besonders komplex erweisen sich Kreuzungsbereiche, Topologien mit mehreren Spuren. Die verschiedenen Problemstellungen werden fallweise behandelt. Für die Transformationen wird die Software FME verwendet.

Anforderungen

Es soll ein gemeinsames Bezugssystem bestehen, aufgrund dessen die Daten unterschiedlicher Quellen miteinander ausgetauscht und/oder aggregiert werden können.

3.1.2 PMS der Stadt Zürich

Systembeschreibung

Das Tiefbauamt der Stadt Zürich wendet für die Verwaltung von rund 740km Strassen und 600 Kunstbauten das Grundmodell Werterhaltung an [18], [17], [22]). Das Modell beinhaltet zwei Ansätze: die Objektsicht (bottom up) und die Netzsicht (top down). Bei der Objektsicht werden einzelne Strassenabschnitte separat betrachtet, der Zustand erhoben und die daraus resultierenden Erhaltungsmassnahmen geplant. Diese Massnahmen können unter Einbezug von beispielsweise Wasser, Abwasser oder Tram weiter koordiniert werden. Bei der Netzsicht wird die Gesamtheit aller Strassenabschnitte betrachtet. Der jährliche Wertverlust des Oberbaus wird mit Hilfe der Norm VSS 40986 [9] abgeschätzt und derjenige der Kunstbauten wird mit Gesamterneuerungskosten und durchschnittlichen Lebensdauern abgeschätzt. Im Modell wird der Wertverlust der Infrastruktur mit dem Investitionsvolumen in Gegenüberstellung gebracht und so die Entwicklung des durchschnittlichen Zustands abgeschätzt.

Modellierung der Fachobjekte

Das System Werterhaltung basiert auf Flächen. Bei der amtlichen Vermessung nach dem AV93 Standard wurden Informationen zur Bodenbedeckung¹ erfasst. Strassenflächen stellen einen Bodenbedeckungstyp dar. Auch komplizierte Kreuzungen oder Kreisel haben eine klar definierte Fläche und sind somit abbildbar. Die Bodenbedeckungsflächen unterscheiden zwischen Fahrbahn, Fussgängerbereich und Trambereich. Somit können auch die komplizierten Plätze wie Paradeplatz, Bellevue oder Central abgebildet werden. Mit der Methode über die Bodenbedeckungsflächen sind die Flächen für die verschiedenen Verkehrsteilnehmer genau bekannt und somit können die Kosten gut abgeschätzt werden.

Um die Strassenflächen zu verwalten, wurden vom Strassenzustand unabhängige Attribute zugeordnet. Zu den Stammattributen gehören die folgenden: Stadtquartier, Strassenname, Verkehrslastklasse (T1 bis T6) und Bodenbedeckungsfläche. Wenn diese vier Attribute gleich sind, wurden die Flächen zu «Abschnitten» verschmolzen. Dadurch konnte die Anzahl der Datensätze reduziert werden. Abschnitte beginnen und enden typischerweise an Kreuzungspunkten. Aufgrund des Zustands können die Strassenflächen weiter unterteilt werden.

Anwendung der Bezugssysteme

Die Definition der Bodenbedeckungsflächen erfolgt durch die Eckpunkte in Landeskoordinaten. Somit sind sie georeferenziert. Bei der Begehung der Strassen denkt man nicht in Landeskoordinaten, sondern arbeitet mit Strassenamen, Kreuzungen und Hausnummern. Diese Genauigkeit ist für die Zustandserhebung und Massnahmenplanung ausreichend.

Anforderungen

Die Erfassung der Zustandswerte erfolgt visuell nach der VSS-Norm VSS 40925B [10]. Ist der Strassenzustand auf einem vordefinierten Abschnitt nicht homogen wird der Abschnitt in mehrere Teilabschnitte unterteilt. Diese Teilabschnittsgrenzen werden vor Ort festgelegt, auf einem Plan eingezeichnet und mit den Attributen «von» und «bis» beschrieben. Diese Beschreibung kann beispielsweise über die Hausnummer erfolgen. Abb. 6 zeigt ein Beispiel von Abschnitten mit den erhobenen Zustandswerten.

Für die Auswertung der Informationen können Übersichtspläne erstellt werden, in welchen die verschiedenen Attribute farblich dargestellt werden. Bauvorhaben werden in den Plänen eingezeichnet, somit können Baustellen koordiniert werden. Die Auswertung beschränkt sich jedoch auf eine rein optische Ebene, das heisst, dass beispielsweise automatische Auswertungen entlang eines Strassenzuges nicht möglich sind.

¹ Die Informationsebene Bodenbedeckung der amtlichen Vermessung beschreibt welcher natürlich gewachsene oder bebaute Boden wo besteht. Der Detaillierungsgrad ist in einer amtlichen Weisung [14] zu finden.

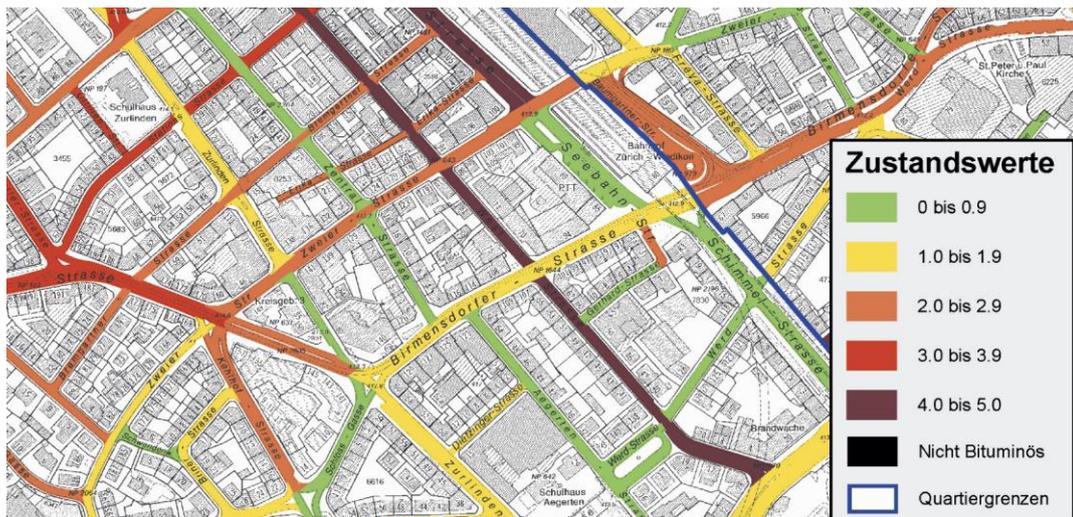


Abb. 6 Darstellung Zustandswerte pro Teilabschnitt im Grundmodell Werterhaltung [17]

Diskussion

Das Modell ist einfach gehalten und beschränkt sich auf wenige Kennzahlen. Die eingesetzten IT-Instrumente sind relativ simpel und praxistauglich [22]. Dies kann als Vorteil angesehen werden, da somit das Erfassen von Zustandsdaten vergleichsweise einfach ist. Gleichzeitig ist diese Einfachheit des Modells auch der grösste Nachteil. Die von den Fachleuten definierten Abschnitte können nicht miteinander verknüpft werden. Somit sind Auswertungen entlang eines Strassenzugs nicht automatisch möglich.

3.1.3 Verkehrsachsensystem, Routenplaner der Stadt Zürich

Systembeschreibung

Die Stadtverwaltung Zürich verfügt über ein einheitliches Verkehrsachsensystem. Das Verkehrsachsensystem ist ein digitales, georeferenziertes Abbild der Achsen des motorisierten und öffentlichen Verkehrs. Die geometrische Lage der Achsen basiert auf den "Lokalisationen" der Amtlichen Vermessung. Neben den Geometrien beinhaltet das Verkehrsachsensystem auch semantische Informationen zu den Achsen.

Darauf basierend wird innerhalb der Stadt Zürich z.B. ein Fuss- und Veloroutenplaner online angeboten. Er bietet die Möglichkeit nebst dem direkten auch über attraktive Wege zum Ziel zu führen. Bei den Fussrouten werden Zebrastreifen und Personenunterführungen für die Berechnung der direkten Route berücksichtigt. Fusswege entlang von Parkanlagen und Gewässern werden als attraktive Routen angezeigt. Bei den vorgeschlagenen direkten Velorouten ist die voraussichtliche Fahrzeit unter Berücksichtigung der Steigung massgebend. Als attraktive Routen werden solche angezeigt, die abseits der stark und schnell befahrenen Hauptverkehrsachsen verlaufen².

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Die Verkehrsachsen verwenden ein lineares Bezugssystem, welches auf dem Konzept der „dynamischen Segmentierung“ basiert. Das Verkehrsachsensystem setzt sich aus Basisdatensatz, dem Routendatensatz und einer Vielzahl von Routenereignistabellen zusammen. Der Basisdatensatz umfasst die Verkehrsachsen des IV und ÖV in Form von Linien. Der Routendatensatz baut auf der Geometrie des Basisdatensatzes auf und umfasst pro Strassenamen eine Achse mit einem integrierten Masssystem (auch Kilometrierung genannt). Die Achse und die Kilometrierung ermöglichen es, jeden Punkt oder Abschnitt auf

² Interview Jan Wunderlich mit Raphaël Duchoud und André Graf zum PMS der Stadt Zürich, 27.03.2017.

einer Achse anhand seiner relativen Position eindeutig zu lokalisieren. In den Routenerignistabellen werden die Attributdaten zu den Verkehrsachsen verwaltet. Die Routenergebnisse beziehen sich auf die Achsen und dessen Kilometrierung und werden unabhängig von der Geometrie gespeichert [34].

Regeln zur Bildung der Achsen

Die Regeln zur Bildung der Achsen sind in [35] beschrieben und lehnen sich an die Definition der Strassenachsen in der amtlichen Vermessung an.

3.1.4 Stadt Bern: Erhaltungsmanagement der Strassen

Systembeschreibung

Im Tiefbauamt der Stadt Bern wird das SIS Logo von Geologix für das Erhaltungsmanagement der Strassen verwendet. Hierzu wurden 2005 Strassenachsen erfasst. 2010 stellte sich der Bedarf von Strassenachsen für das Strassenlärmimmissionstool CADNA A heraus. Das GIS-Kompetenzzentrum hat die in Logo definierten Strassenachsen übernommen und pflegt diese weiter. Die Strassenachsen werden als lineares Bezugssystem verwendet. Mittels der Strassenachsen werden verschiedene Themen bereitgestellt und teilweise direkt auf dieser gepflegt³. Die Hauptanwendungsgebiete der Strassenachsen sind das Erhaltungsmanagement der Strassen und die Strassen-Lärmimmissionen.

Achsbandauswertungen sind in Logo möglich. Die Verknüpfung zwischen den Daten und der Realität erfolgt über Pläne (z.B. um anzugeben von wo bis wo eine Massnahme zu planen ist) mit Logo wird bis zur SIA Phasen Vorstudie unterstützt. Für die Planung/Projektierung wird Logo nicht mehr verwendet.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

In Logo werden die Fahrbahnabschnitte, Zustandsabschnitte, geplante und ausgeführte Massnahmen sowie Informationen zu Ausnahmentransporten verwaltet. Kunstbauten werden mittels planarer und linearer Koordinaten referenziert.

Für den Langsamverkehr werden eigene Achsen definiert wobei z.Z. dies nur für Trottoirs erfolgt. Die Achsen zu den Trottoirs wurden so definiert, dass die Flächen der amtlichen Vermessung übernommen wurden und die Mittellinie automatisch gebildet wurde. In Logo werden weiterhin die Verkehrszählungen und Gewässer verwaltet.

Regeln zur Bildung der Achsen

Die Regeln zur Definition der Achsen wurden von der Stadt Zürich übernommen; ein eigenes Regelwerk ist nicht vorhanden. Die Modellierung ist somit ähnlich zu jener der Amtlichen Vermessung⁴.

3.1.5 MISTRA

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat ein Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr (MISTRA) konzipiert, entwickelt und eingeführt. Es besteht aus einem Basissystem (MISTRA-BS) sowie verschiedenen Fachapplikationen wie z.B. MISTRA-KUBA, MISTRA-TRASSEE, welche vom MISTRA-BS Daten und Dienste beziehen. Im MISTRA-BS werden das räumliche Bezugssystem (RBBS), Flächen- und Fachnetze, das

³ Interview Jan Wunderlich mit Raphaël Duchoud und André Graf zum PMS der Stadt Zürich, 27.03.2017.

⁴ Interview Jan Wunderlich mit Daniel Michel, Marcel Beyeler und Martin Schmutz zum Strassenachsensystem im TBA-BE, 25.04.2017.

Inventar der Nationalstrassen und weitere, frei zu definierende Objekte (Assetobjekte) verwaltet [36].

3.1.5.1 MISTRA-BS

Systembeschreibung

Das MISTRA-BS stellt Basisdaten für Fachanwendungen und Dritte zur Verfügung. Unter Basisdaten sind Strassenachsen, Inventarobjekte der Nationalstrassen (und weitere Assetobjekte), administrative Einheiten (Flächen) und Fachnetze zu verstehen. Die Basisdaten werden zentral im MISTRA-BS verwaltet und stehen mittels Web-, Kartendiensten oder Datenexporten anderen Fachanwendungen und Dritten zur Verfügung. Weiterhin bietet das Basissystem Dienste an, um die Achsen, die darauf erfassten Bezüge sowie weitere Anwendungsfälle zu unterstützen.

Das MISTRA-BS liefert die folgend aufgeführte Inhalte u.a. an die folgenden Fachapplikationen [36]:

- Kunstbauten und Tunnel - KUBA: Strassenachsen und Inventarobjekte
- Trasse - TRA: Inventarobjekte, Baulinien, Projekte und Strassenachsen
- Verkehrsunfälle - VU: Strassenachsen und Flächen
- Erhaltungsmanagement im Siedlungsgebiet – EMSG: Strassenachsen

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Im MISTRA-BS werden Inventarobjekte, verschiedene Fachnetze und Projekte mittels linearer Koordinaten referenziert. Topologien können zur Abbildung des DTV, Geschwindigkeitsbegrenzungen gebildet werden.

Regeln zur Bildung der Achsen

Die Regeln zur Bildung der Achsen sind in der RBBS-Richtlinie [1] detailliert beschrieben und basieren weitgehend auf den VSS-Normen.

Die auf den Agglomerationsbereich angewendete Modellierung der RBBS-Achsen wird beispielhaft in Abb. 7 veranschaulicht.



Abb. 7 Anwendung der Regeln zur Modellierung der RBBS-Achsen an Kreuzung Glattalstrasse, Zürich-Seebach

3.1.5.2 MISTRA-KUBA

Systembeschreibung

Die MISTRA Kunstbauten-Datenbank (kurz KUBA) ist ein EDV-Werkzeug zur Erfassung, Bearbeitung und Auswertung von Inventar-, Inspektions- und Erhaltungsdaten von Kunstbauten im Strassennetz (wie Brücken, Durchlässe, Stützmauern, Lärmschutzwände, Galerien, bergmännische - sowie Tagbautunnel, usw.). Es dient als Grundlage für die Überwachung, den Unterhalt, die Verwaltung sowie die Befahrbarkeitsbeurteilung durch Sondertransporte dieser Bauwerke. Zusätzlich können den Bauwerken Beteiligte und Dokumente zugewiesen werden. Mittels mobiler Erfassungswerkzeuge können Inspektionsdaten im Feld erfasst werden. Weiterhin beinhaltet KUBA ein Managementsystem zur Ermittlung der Erhaltungsstrategie mit langfristig minimalen Kosten, worin ebenfalls die Zustandsentwicklung und der Finanzbedarf prognostiziert werden können und Erhaltungsmaßnahmen vorgeschlagen werden.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Die Bauanlagen und Bauwerke werden bis hin zu ihren Bauwerksteilen und Oberflächenschutz anhand sog. Infrastrukturobjekte modelliert. Ein Infrastrukturobjekt kann folglich zur Abbildung einer Bauanlage, eines Bauwerks, eines Bauwerkteils oder eines Oberflächenschutzes dienen. Die Überwachung und Erhaltung können ebenfalls auf all diesen Ebenen erfolgen.

Jedes Infrastrukturobjekt kann anhand eines planaren Punkt- und Flächenobjektes sowie der linearen Referenzierung eines Linienobjektes lokalisiert werden. Die lineare Referen-

zierung basiert auf dem RBBS von MISTRA. Zusätzlich können in KUBA eigene Objektachsen definiert werden, welche die lineare Referenzierung innerhalb eines Infrastrukturobjektes erlauben.

3.1.5.3 MISTRA-TRASSEE

Systembeschreibung und Modellierung der Fachobjekte

Die MISTRA Fachapplikation Trassee dient zur Erfassung, Bearbeitung und Auswertung des Fahrbahnaufbaus, der Fahrbahnmerkmale, der Geometrie und Nutzung, der Nebestreifen, des Fahrzeug-Rückhaltesystems sowie von Dokumenten und Fotos. Aus der erhobenen Geometrie und Nutzung, den Schichten des Fahrbahnaufbaus und den erhobenen Daten der Fahrbahnmerkmale leitet die Fachapplikation die jeweils aktuelle Sicht der Geometrie und Nutzung, der Fahrbahnoberfläche und der Fahrbahnmerkmale ab. Zusätzlich unterstützt Trassee einen PMS-Prozess, welcher die Teilprozesse „Mehrjahresplanung anlegen“, „Erhaltungsprojekte bilden und bewerten“, „Erhaltungsmassnahmen zuordnen“ sowie „Mehrjahresplanung auswerten“ umfasst.

Anwendung der Bezugssysteme

In Trassee werden die Fachobjekte mittels einer linearen Referenzierung lokalisiert, welche auf dem RBBS basiert. Es besteht die Möglichkeit Linien- und Flächenobjekte zu definieren. Die Linienobjekte werden anhand eines Anfangs- und Endpunkts definiert. Flächenobjekte werden anhand zusätzlicher Attribute zur Breite und Fläche definiert.

3.1.5.4 MISTRA-EMSG

Systembeschreibung

Die MISTRA Fachapplikation Erhaltungsmanagement im Siedlungsgebiet (kurz EMSG) unterstützt die Erfassung, Bearbeitung und Auswertung von Inventar-, Inspektions- und Erhaltungsdaten von Strassen. Zusätzlich unterstützt es die Erfassung, Bearbeitung und Auswertung von Massnahmen weiterer Teilsysteme mit dem Zweck diese untereinander zu koordinieren. Ein mobiles Erfassungswerkzeug erlaubt die Erfassung von Inspektionsergebnissen vor Ort.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

Die Strassen werden als Linienobjekte mit einem Anfangs- und Endpunkt modelliert. Für diese kann eine Breite erfasst und somit eine Fläche abgebildet werden. Die Linienobjekte werden anhand einer linearen Referenzierung lokalisiert, welche auf dem RBBS basiert. Eine Besonderheit von EMSG gegenüber anderen Fachapplikationen ist, dass die Achsen innerhalb von EMSG verändert werden können; in diesem Fall werden entsprechende Achsen jedoch nicht mehr anhand des Aktualisierungsmechanismus des Basissystems aktualisiert.

3.1.5.5 MISTRA-LV

Systembeschreibung

Mit der Fachapplikation Langsamverkehr (kurz LV) werden flächendeckend für die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein Geobasisdaten zum Langsamverkehr nach einheitlichen Richtlinien erhoben, nachgeführt und zur Verfügung gestellt.

Die Fachapplikation LV ermöglicht die Planung und Verwaltung der Netze, Routen und Signalisation der Wanderer, Velo- und Mountainbikefahrer sowie der Benutzer von fahrgähnlichen Geräten (FäG) und unterstützt damit die öffentliche Hand beim Vollzug der gesetzlichen Bestimmungen.

Die Fachapplikation LV unterstützt die Anwender bei der Umsetzung von Standards – z.B. bei der Signalisation – und bei kantonsübergreifenden Arbeiten.

Modellierung der Fachobjekte und Anwendung der Bezugssysteme

In der Fachapplikation können LV-Wege verwaltet werden. Ein LV-Weg kann ein Wander-, ein Velo-, ein MTB-, ein FäG- oder ein Fussverkehrsweg sein. Die LV-Wege werden mittels Linienobjekten abgebildet und anhand einer linearen Referenzierung lokalisiert, welche als Grundlage eine Geometrie verwenden. Da das TLM3D sehr vollständig ist, werden weitgehend TLM-Segmente verwendet und ein Mal pro Jahr aktualisiert. Weiterhin können eigene Transportstrecken definiert werden, wenn die nötigen TLM-Segmente noch nicht verfügbar sind.

Die LV-Wege können Bestandteil von Routen sein. Innerhalb einer Route wird die Abfolge der LV-Wege definiert. Die Geometrien des TLM bilden ein Knoten-Kantenmodell und sind die Basis für ein Netz mit entsprechenden Auswertungsmöglichkeiten.

Zusätzlich können Signalisationsstandorte verwaltet werden. Die Standortkategorie eines Signalisationsstandortes kann auf eine Route bezogen werden.

3.1.6 Amtliches Kataster

Die amtliche Vermessung ist ein nationales Produkt. Es liefert geometrische Daten zum Grundeigentum und stellt die Grundlage für viele weiteren geografischen Informationen und Anwendungen in Wirtschaft, Verwaltung und Privatleben dar.

Hauptaufgabe der amtlichen Vermessung ist das Erheben der Grundstücksgrenzen und das Nachführen dieser Daten. Gleichzeitig bildet sie die Grundlage für beinahe alle weiteren Geoinformationen, die für die unterschiedlichsten Anwendungen wichtig sind. So basieren die meisten schweizerischen geografischen Informationssysteme wie Orts-, Stadt- und Zonenpläne ebendiesen Daten. All diese Daten bilden zusammen ein nationales Produkt, für das einheitliche Standards definiert sind.

Die Datenerhebung erfolgt durch die folgenden fünf Haupterhebungsarten: Terrestrische Aufnahme (Datenaufnahme mit Tachymeter im Feld), Nivellement (eine genaue Methode zur Bestimmung von Höhenunterschieden), Global Navigation Satellite Systems (GNSS) (Positionierungssysteme mittels Satelliten, z.B. NAVSTAR GPS), Fotogrammetrie (Luftbilder des Geländes von Flugzeugen) und Laserscanning (Abtasten des Geländes bei Überflug mittels Laser).

Die erhobenen Daten werden in elf thematische Ebenen, sogenannte Informationsebenen, gruppiert. In Abb. 8 sind diese Ebenen dargestellt.



Abb. 8 Die elf Informationsebenen der Landesvermessung [30]

Aus der amtlichen Vermessung werden fünf direkte Produkte hergestellt. In Abb. 9 sind sie ersichtlich. Der Plan für das Grundbuch ist ein amtliches Dokument und bildet zusammen mit dem Grundbuch das schweizerische Katastersystem. Die in diesem Plan eingetragenen Grundstücksgrenzen haben Rechtswirkung. Im Basisplan wird die reale Welt abgebildet. Zusätzlich sind Höhendaten vorhanden. Dieser Plan liefert die Grundlage für Raum-, Stadt- und Zonenpläne und ist flächendeckend für die ganze Schweiz vorhanden. Das digitale Geländemodell wird aus den, bei der amtlichen Vermessung erfassten Höhen, abgeleitet. Es bildet die Oberfläche des gewachsenen Bodens schweizweit ab. Dieses Modell gewinnt für die Planung und Verwaltung von Strassen- und Eisenbahnnetzen, weiteren Infrastrukturnetzen sowie beim Umgang mit Naturgefahren von Bedeutung. Die amtliche Vermessung verwaltet auch die Gebäudeadressen. So wird jedes Gebäude mit einer Adresse eindeutig festgelegt. Diese Daten werden unter anderem von Strassennavigations-systemen, Gebäude- und Wohnregistern aber auch von GIS verwendet. Schliesslich wird noch der AV-WMS (Amtliche Vermessung Web Map Service) hergestellt. Dieser Web-Dienst ermöglicht einen direkten Zugriff für das Abrufen von Auszügen der Daten über das Internet.

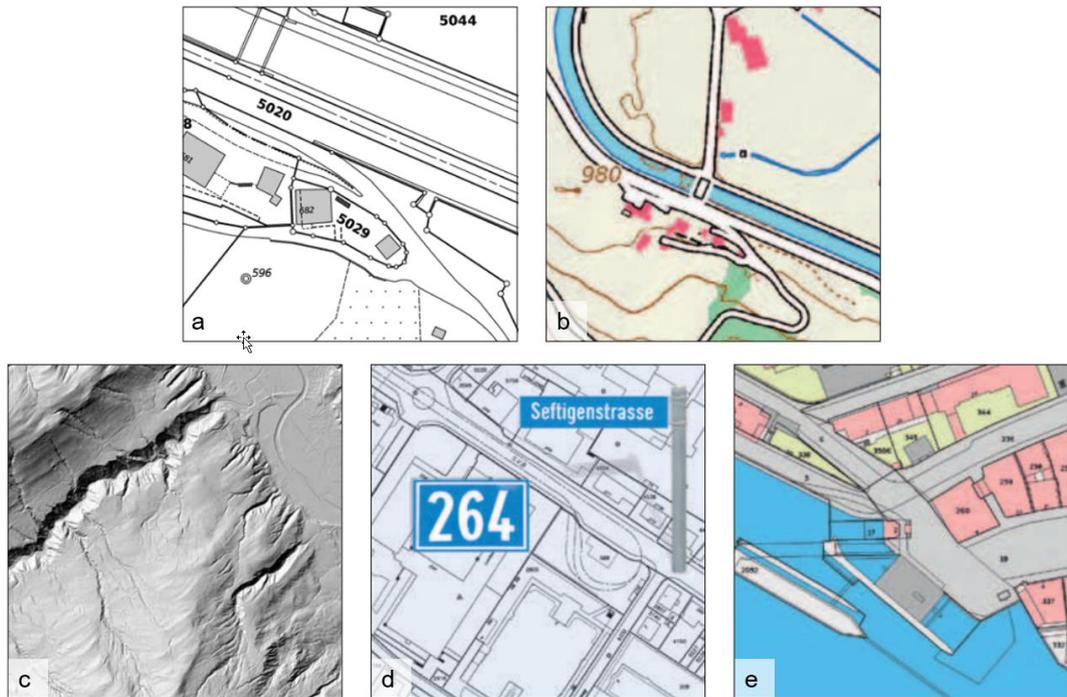


Abb. 9 Die fünf Produkte der amtlichen Vermessung: a) Plan für das Grundbuch, b) Basisplan der amtlichen Vermessung, c) Digitales Geländemodell, d) Gebäudeadressen, e) AV-WMS

Alle Daten der amtlichen Vermessung basieren auf den Koordinaten- und Höhensystemen der schweizerischen Landesvermessung. Seit 2016 werden die Koordinaten gemäss dem neuen Bezugsrahmen LV95 angegeben. Es handelt sich dabei um einen planaren Raumbezug.

3.1.7 Leitungskataster

Der unterirdische Raum wird für verschiedene Nutzungen benötigt. Die Lage unterirdische Infrastrukturobjekte ist jedoch nicht ohne weiteres erkennbar. Für Bauvorhaben, die beispielsweise dem Unterhalt oder den Erweiterungen von Leitungen dienen ist es zentral, dass die Lage aller Leitungen in einem Plan ersichtlich ist. Der Leitungskataster dient zu diesem Zweck. Sämtliche unter- und oberirdischen Ver- und Entsorgungsleitungen verzeichnet sind in diesen Planwerk verzeichnet. Bei den Leitungen kann es sich um Rohrleitungen (z.B. Trinkwasser, Abwasser, Fernwärme oder Gas) oder um Kabel (z.B. Strom, Telefon, Internet oder Kabelfernsehen) handeln. Im Leitungskataster werden die Leitungen entsprechend den Normen mit Informationen zu Lage, Art und Beschaffenheit verzeichnet.

Die Norm SIA 405 [12] regelt die Erhebung, Verwaltung und den Austausch von Katasterdaten. Die Daten der sechs Medien Abwasser, Elektrizität, Fernwärme, Gas, Kommunikation und Wasser können in der LKMap dargestellt werden. In der LKMap wird also den, von Leitungen beanspruchte Raum einheitlich dargestellt. Fachobjekte können als Punkte, Linien und Flächen erfasst werden. Zusätzlich können sie beschriftet werden.

Die geometrischen Leitungsdaten müssen einen Raumbezug mit schweizerischen Landeskoordinaten der amtlichen Vermessung haben. Der geometrische Verlauf der Leitung wird mit Stützpunkten in Landeskoordinaten definiert.

Heutzutage wird die Darstellung der dritten Dimension immer wichtiger. Weil Normtiefen schwierig einzuhalten sind und relative Höhen ab Terrain erfasst werden, würde eine dreidimensionale Darstellung des Katasters zu einem geringerem Schadenspotential führen.

So werden heute die Höhen von Werkleitungen auch in der absoluten Höhe über Meeresspiegel erhoben. In einer Machbarkeitsstudie prüft der Kanton Genf ein 3D-Werkleitungskataster.

3.1.8 Verkehrsmodellierung im UVEK

Die Bundesämter ARE (Leitung), ASTRA und BAV sind für die Verkehrsmodellierung im UVEK verantwortlich. Für den nationalen Personenverkehr wurde ein bimodales Modell für den öffentlichen Verkehr und den Strassenverkehr erstellt: das nationale Personenverkehrsmodell (NPVM). Zusätzlich gibt es ein nationales Güterverkehrsmodell. Die Modelle werden beispielsweise zur Analyse der Auswirkungen von Infrastrukturprojekten, zur Berechnung des Verkehrsaufkommens, zur Ermittlung von Veränderungen der Verkehrsbeziehungen, der Verkehrsströme sowie des Modalsplits und zur Identifizierung künftiger Engpässe im Verkehrsnetz eingesetzt.

Bei den Modellen handelt es sich um Verkehrsnachfragemodelle. Sie arbeiten auf makroskopischer Ebene. Die räumliche Segmentierung legt die Grösse der Quell- und Zielorte, und somit auch den Detaillierungsgrad des Modelles, fest. Diese Quell- und Zielorte werden als Verkehrszellen abgebildet. Verkehrszellen werden anschliessend mit Verbindungslinien untereinander verbunden und ergeben so das Netzmodell.

Momentan wird die Modellstruktur der NPVM überarbeitet. In der Evaluationsstudie wird vorgeschlagen 900-10'000 nationale und ca. 430 ausländische Verkehrszellen einzuführen.

3.1.9 TLM

Seit 2008 wird im Bundesamt für Landestopographie Swisstopo das *Topographische Landschaftsmodell*, kurz TLM, entwickelt. Dies ist ein dreidimensionales Landschaftsmodell der Schweiz und des Fürstentums Liechtensteins. Es bietet Informationen zu einer Vielzahl von natürlichen und künstlichen Objekttypen. Für jedes Objekt liegen sowohl die Geometrie als auch diverse Fachdaten vor.

Zurzeit befindet sich das TLM noch im Aufbau, die Fertigstellung wird in 2019 erwartet. Das momentan zur Verfügung stehende swissTLM3D ist bereist flächendeckend verfügbar entspricht aber noch nicht vollständig den Anforderungen. So ist bspw. die geforderte geometrische Genauigkeit noch nicht überall gegeben.

Es gibt verschiedene Produkte, die auf Daten aus dem TLM basieren aber nicht die gesamte Bandbreite an Objekttypen und Informationen bieten. Sie werden im Folgenden kurz vorgestellt:

- swissROUTES bietet Informationen zum Verkehr, dies beinhaltet sowohl Haltestellen und Linienführung des öffentlichen Verkehrs als auch Strassen und Wege.
- swissNAMES enthält alle in TLM enthaltenen Namen und stellt sie punktförmig dar.
- swissBUILDINGS stellt Gebäude in 3D dar.
- swissBOUNDARIES enthält alle Arten von politischen Grenzen von Gemeindegrenzen bis hin zu Landesgrenzen
- swissALTI bietet ein Höhenmodell der Schweizer Oberfläche ohne Bewuchs und Bebauung.



Abb. 10 TLM-Achsen in der Zürcher Altstadt

Abb. 10 zeigt beispielhaft die Erfassung von Wegen und Strassen sowie der Routen und Haltestellen des öffentlichen Verkehrs in der Altstadt von Zürich. Eine detailliertere Darstellung wie im TLM die Achsen an spezifischen Stellen modelliert wird bietet hingegen Abb. 11.

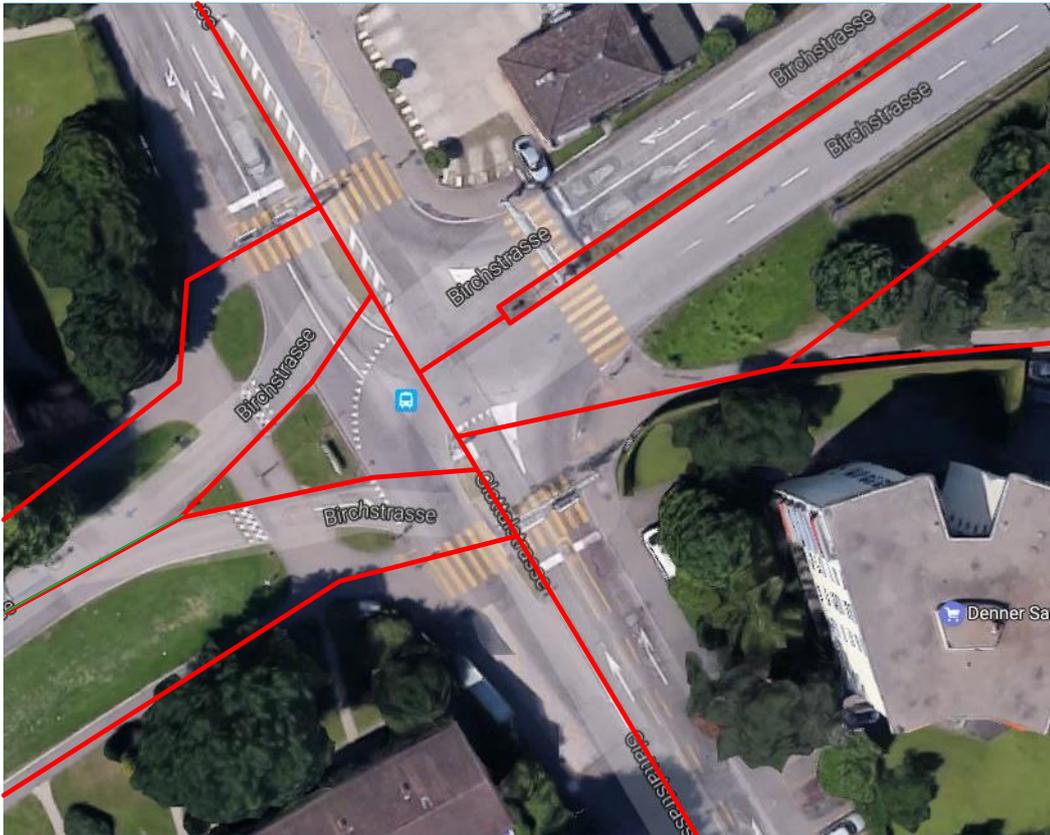


Abb. 11 TLM-Achsen an Kreuzung Glatttalstrasse, Zürich-Seebach

3.1.10 Verkehrsnetz Schweiz

Das langfristige Ziel ist es das TLM in ein verkehrsträgerübergreifendes und routingfähiges Verkehrsnetz der Schweiz und Liechtensteins weiterzuentwickeln. Die Studie *Verkehrsnetz CH auf Basis swissTLM* beschreibt Anforderungen und dazu passende Lösungsvorschläge sowie konkrete Massnahmen, die zu deren Umsetzung nötig oder zumindest hilfreich sind. Die Anforderungen gehen zum Teil sehr ins (technische) Detail und werden hier nicht vollständig wiedergegeben, sondern übersichtshalber zusammengefasst.

Die Anforderungen zum Datenmodell werden in sieben Bereiche untergliedert und wie folgt grob umrissen werden:

- Topologie: TLM muss um topologische Informationen erweitert werden, die eine Konnektivität aller Verkehrsträger ermöglichen.
- Lineares Referenzsystem: Fachinformationen sollen über eine lineare Referenzierung und richtungsbezogen mit den Achsen verbunden werden.
- Grenzregionen: Daten sollen über politische Grenzen jeglicher Art (Gemeinde, Kanton, Land) ausgetauscht werden können.
- Zeitliche Gültigkeit: Daten sollen mit einer zeitlichen Gültigkeit versehen werden (z.B. Streckensperrung im August 2018).
- Haltestellen: Die Modellierung der Haltestellen des öffentlichen Verkehrs soll in einer Form erfolgen, dass ein vollständiges Routing inklusive der Fusswege möglich ist,
- Logische Netze: Einführung logischer Netze zur Abbildung von Fachinformationen unabhängig von der Geometrie.
- Metamodell: Daten sollen in einem mehrsprachigen Metamodell verwaltet werden.

Zum Dateninhalt gibt es Anforderungen in fünf Bereichen:

- **Vollständigkeit:** Zumindest für die Schweiz sollen alle Daten flächendeckend verfügbar sein.
- **Interoperabilität:** Die Daten sollen mit bestehenden Verkehrsnetzen wie z.B. MISTRA ausgetauscht werden können.
- **Aktualität:** Die Daten sollen stets flächendeckend aktuell gehalten werden.
- **Aggregation:** Kleine Geometrielemente sollen soweit möglich zu längeren Geometrien (z.B. eine Strasse) aggregiert werden können.
- **Door2peak-Navigation:** Es soll ein Routing von der Haustür zur Bergspitze über Langsamverkehr, Privatverkehr, öffentlicher Verkehr inklusiver aktueller Informationen zur Verkehrslage möglich sein.

Eine vollständige Auflistung der Anforderungen befindet sich im Anhang 0.

3.2 Deutschland

Systembeschreibung

Der in Deutschland gültige Objektkatalog für das Strassen- und Verkehrswesen, kurz OKSTRA, ist ein umfassender Standard, der Bereiche des Strassenentwurfs, der Bestandsdokumentation und der Erfassung von Verkehrsdaten abdeckt [27]. Dieser Standard beschränkte sich bis 2005 auf das übergeordnete Strassennetz und verwaltete es gemäss ASB [16]. Mit dem Ziel das überörtliche Strassennetz um ein kommunales Modell zu erweitern und somit eine integrierte Repräsentierung des Strassennetzes zu ermöglichen, wurde OKSTRA kommunal entwickelt. OKSTRA kommunal definiert ein einheitliches, standardisiertes Ordnungssystem für kommunale Strassendaten und ermöglicht damit die Spezifikation standardisierter Schnittstellen [24].

Das OKSTRA kommunal stellt ein integrales Modell dar: Für alle Fachämter einer Kommune wird ein zentrales GIS- /Datenbanksystem eingesetzt, in dem alle relevanten Daten zur Strassennetzdokumentation vorhanden sind. Es ist mit dem übergeordneten OKSTRA kompatibel und enthält auch ein Knoten-Kanten-Modell. Der Anwender kann den Detaillierungsgrad, mit dem das Strassennetz beschrieben wird selbst wählen. Somit kann bei einer wenig umfangreichen Datenlage eine entsprechend gröbere Netzdokumentation erfolgen. Das Modell ist modular aufgebaut, somit kann jede Fachanwendung die jeweils relevanten Spezifikationen nutzen und es kann um eigene Erweiterungen ergänzt werden.

Netzbeschreibung sowie Modellierung und Referenzieren von Fachobjekten

Der Beschrieb des kommunalen Strassennetzes geschieht mit verschiedenen Teilmodellen: einem Strassenverzeichnis, Hausnummern, Verkehrsnutzungen, Flächenmodell, Knoten-Kanten-Modell, ASB-Netz-Referenzierung sowie Routing. Abb. 12 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Teilmodelle des OKSTRA kommunal und ihre Beziehungen untereinander. Einige dieser Teilmodelle können zur Referenzierung von Fachobjekten verwendet werden.

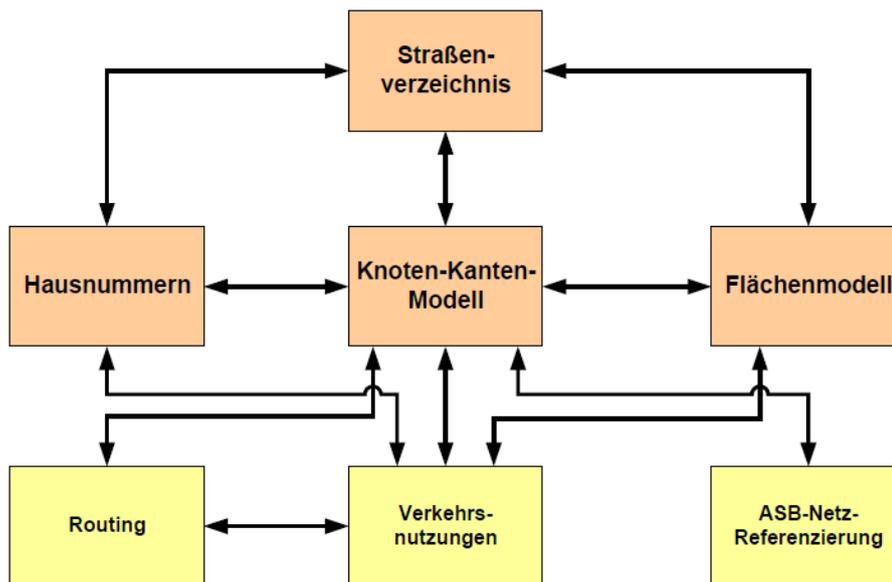


Abb. 12 Teilmodelle des OKSTRA kommunal Ordnungssystems [27]

Das Teilmodell Strassenverzeichnis entspricht im Wesentlichen einer Liste von Strassenamen. Kommunale Strassen werden mit der Objektart kommunale Strasse erfasst und stellen den zentralen Bezugspunkt des Strassenverzeichnisses dar. So können ihm Verkehrsflächen des Flächenmodells sowie Strassenelemente des Knoten-Kanten-Modells zugeordnet werden.

Hausnummern sind stets einem Segment_kommunale_Strasse aus dem Strassenverzeichnis zugeordnet. Sie können zur Referenzierung von Verkehrsnutzungsobjekten, Strassenelementen des Knoten-Kanten-Modells und beliebigen weiteren Fachdaten verwendet werden

Im Flächenmodell werden kommunalen Verkehrsnetze mit Hilfe von Flächenobjekten grafisch repräsentiert. Es ist besonders für GIS-Systeme geeignet. Insbesondere wenn die Strassenachse selbst nicht relevant ist, ist eine Referenzierung mit einem Flächenmodell geeignet. Flächen, die für eine bestimmte verkehrliche Nutzung vorgesehen sind, werden über die Objektart Verkehrsnutzungsfläche beschrieben. Die Verkehrsflächen können den Objekten vom Typ kommunale_Straße aus dem Strassenverzeichnis zugeordnet werden. Weitere Fachinformationen aus dem Flächenmodell können durch eine explizite Referenzierung (das heisst mit planaren Koordinaten) von Verkehrsflächen erfolgen. Sie können aber auch mit eigenen Geometrien ausgestattet werden. Dann können die Bezüge zum Flächenmodell geometrisch ermittelt werden.

Das Knoten-Kanten-Teilmodell dient zur grafischen Repräsentation des kommunalen Verkehrsnetzes. Der Knoten-Kanten-Graph bietet eine Netzübersicht. Das Knoten-Kanten-Modell erlaubt es Informationen zur verkehrlichen Nutzung zuzuordnen und stellt Mechanismen zur Referenzierung beliebiger Fachdaten bereit. Dieses Teilmodell kann mit dem Flächenmodell verknüpft werden.

Mit Hilfe des Verkehrsnutzungs-Teilmodells kann angegeben werden, welche Teile des kommunalen Verkehrsnetzes in welcher Form verkehrlich genutzt werden können. Diese Informationen zur Nutzung können dabei sowohl im Flächenmodell, im Knoten-Kanten-Modell als auch über Hausnummern referenziert sein. Dieses Teilmodell spielt eine Rolle beim Routing-Teilmodell, wenn dort nutzungsbezogene Informationen benötigt werden.

Das Teilmodell ASB-Netz-Referenzierung dient im Wesentlichen zur Verknüpfung des kommunalen Strassennetzes mit dem übergeordneten Strassennetz. So können beispielsweise Einmündungen vom kommunalen Netz auf das ASB-Netz beschrieben werden. Bei Parallelverläufen beider Netze können Stationierungen von einem Netz auf das andere umgerechnet werden.

Schliesslich ist das Teilmodell Routing im Wesentlichen ein Aufsatz auf das Knoten-Kanten-Modell. Es ermöglicht die Angabe von unerlaubten Fahrbeziehungen (z.B. Einbahnstrassen) und verkehrlichen Beschränkungen (z.B. keine Fahrräder erlaubt). Damit ist es möglich, das Knoten-Kanten-Modell zur Routenfindung einzusetzen.

Anforderungen

Bei der Nachführung des Systems muss zwischen den Strassennetzdaten und den Fachdaten unterschieden werden. Das Strassennetz unterliegt Änderungen durch Umbau- und Neubaumassnahmen, die schnellstmöglich in die Datenbank übernommen werden müssen. Die Fachdaten unterliegen ebenfalls Änderungen; im Unterschied zu den Strassennetzdaten gibt es in diesem Bereich allerdings nicht nur (quasi-)statische, sondern auch „dynamische“ Fachdaten (beispielsweise über bevorstehende Massnahmen, die nur für eine bestimmte Zeit gültig sind und damit temporären Charakter besitzen).

Anforderungen

Erheben/Abstecken der Fachobjekte im Feld, Positionieren, Auswertung der Geometrie der Fachobjekte für Einzelobjekte und für Massendatenauswertungen, geforderte Genauigkeit, Topologien (Verkehrsmodelle, Reihenfolge für Erhaltungsmassnahmen), ...

Diskussion

Der Vorteil des OKSTRA kommunal Modells ist, dass Daten auf verschiedene Weise referenziert werden können. So sind Referenzierungen mit Hilfe von Hausnummern (Topologiebezug), über Flächen (planarer Raumbezug) und mit der ASB-Netz-Referenzierung (linearer Raumbezug) möglich. Somit können alle bekannten Bezugssysteme der VSS 40911 [4] verwendet werden. Wird die Datenstruktur konsequent angewendet, ist eine Auswertung aller Daten entlang eines Strassenzuges möglich.

ASB

Die Anweisung Strasseninformationsbank (ASB) [16] ist eine vom Bundesamt für Strassen (BASt) herausgegebene Vorschrift für die Umsetzung von Strasseninformationsdatenbanken (SIBs) in Deutschland. Die in der ASB erfassten Vorschriften sind im Gegensatz zu OKSTRA rein fachlicher Natur.

In der ASB wird u.a. beschrieben wie das Strassennetz erfasst werden soll. Für Strassen werden Bestands- und Fahrbahnachsen erfasst. Die Bestandsachsen geben den Verlauf der Strasse wieder und sind in deren Mitte (ohne Abbiegestreifen) aufzunehmen. Fahrbahnachsen beschreiben den Verlauf der Fahrbahn und sind in der Mitte der Fahrbahn (ohne Beschleunigungstreifen u. ä.) aufzunehmen. Für einbahnige Strassen sind Bestands- und Fahrbahnachsen identisch und nur die Bestandsachsen werden dargestellt.

Der Anfang und das Ende von Achsen sowie Kreuzungspunkten von Achsen werden durch Netzknoten markiert. Ein Netzknoten muss dabei nicht immer nur ein Punkt auf einer Strasse sein, sondern kann auch ein gewisses Ausmass haben. So werden z.B. Kreisverkehre als Netzknoten modelliert. Verbindungen innerhalb eines Netzknotens werden als Äste bezeichnet und die Verbindungen von einem Netzknoten zum nächsten als Abschnitt.

In Abb. 13 sieht man an einem Beispiel wie die ASB-Achsen modelliert werden, Bestandsachsen sind in grün und Fahrbahnachsen in blau dargestellt.

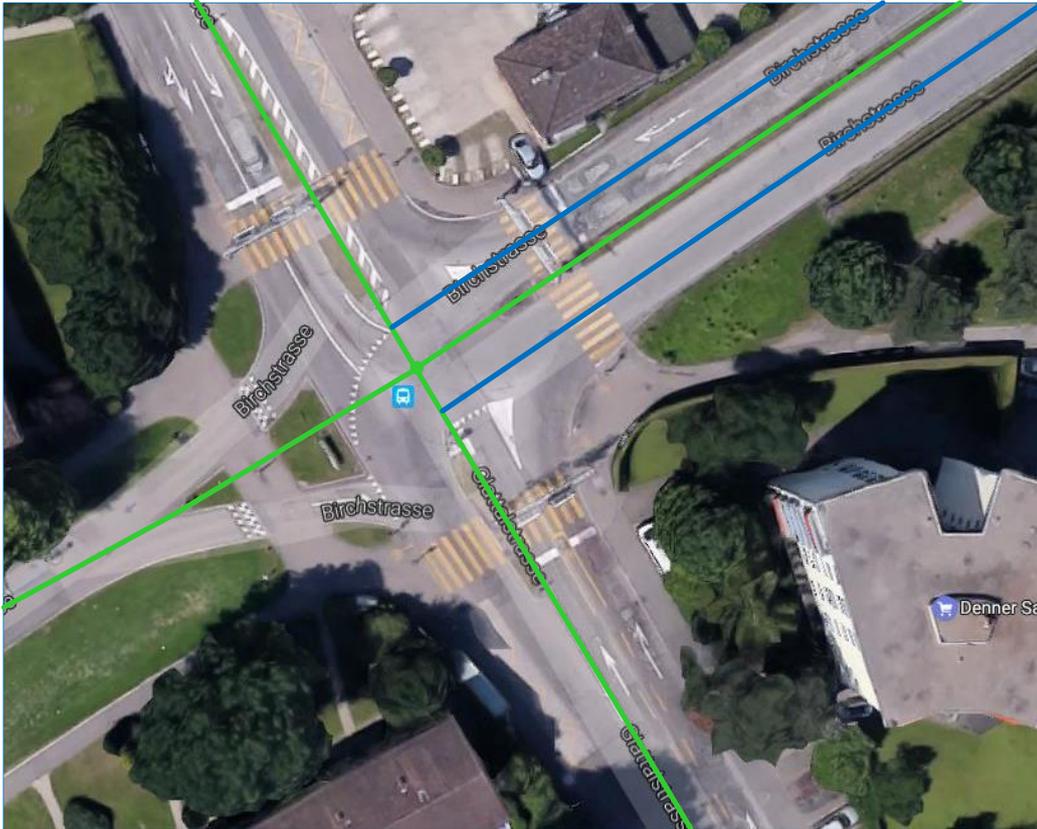


Abb. 13 ASB-Achsen an Kreuzung Glattalstrasse, Zürich-Seebach

3.3 Allgemeine Raumbezugssysteme

3.3.1 OpenStreetMap

Systembeschreibung

Die OpenStreetMap (OSM) ist ein kollaboratives, im Jahre 2004 gegründetes Projekt, um eine freie digitale Weltkarte zu erschaffen [20]. Viele Freiwillige sammeln geographische Informationen, die in einer Datenbank erfasst werden. Jedermann kann die OSM-Rohdaten benutzen und für eigene Anwendungen verwenden. Die Daten werden typischerweise für Kartendarstellungen, Navigation und für Humanitäre Hilfe⁵ verwendet.

Anwendung der Bezugssysteme

Die Referenzierung erfolgt mit einem planaren Bezug.

Anforderungen

Die Daten werden von Freiwilligen mit GPS-Empfängern gesammelt. Es ist jedoch auch möglich Daten wie beispielsweise Hausnummern im Feld händisch auf einer ausgedruckten Karte zu erfassen und anschliessen in die digitale Datenbank einzupflegen. Weiter werden Daten auch von zusätzlichen Quellen (z. B. Städten oder Luftbildern) zur Verfügung gestellt. Allen Elementen werden sogenannte Tags zugeordnet. Diese Tags geben Informationen zu den Objekten an und bestehen aus einem Schlüssel (key) und einem Wert (value). Eine Wohnstrasse wird beispielsweise mit unter dem Schlüssel «highway» mit dem Wert «residential» beschrieben (highway=residential). So können punkt-, linien-

⁵ In Katastrophengebieten wird aktuelles Kartenmaterial für Rettung und Versorgung benötigt. Mit OSM wurden solche Karten unter anderem in Haiti, Japan oder Somalia erstellt [26].

sowie flächenförmige Objekte beschrieben werden. Es existieren viele verschiedene Editoren für die Datenbearbeitung. In Abb. 14 ist ein Bildschirmfoto des OSM-Onlineeditors dargestellt. Abb. 14 zeigt am Beispiel eines Objekts des Bellevues in Zürich wie Informationen (Tags) zu Objekten erfasst werden können.



Abb. 14 Screenshot aus OSM-Onlineeditor, Bellevue Zürich

3.3.2 TomTom

TomTom ist Anbieter von Geodaten und Marktführer für Navigationssysteme in Europa. Als Grundlage für die Navigation und insbesondere die Unterstützung des autonomen Fahrens werden HD Karten mit dem RoadDNA genannten System zur Abbildung aller Komponenten des Systems Strasse entwickelt.

Anwendung der Bezugssysteme

Es werden dreidimensionale Fahrbahnhachsen in Fahrstreifenmitte mit diversen Zusatzinformationen geführt.

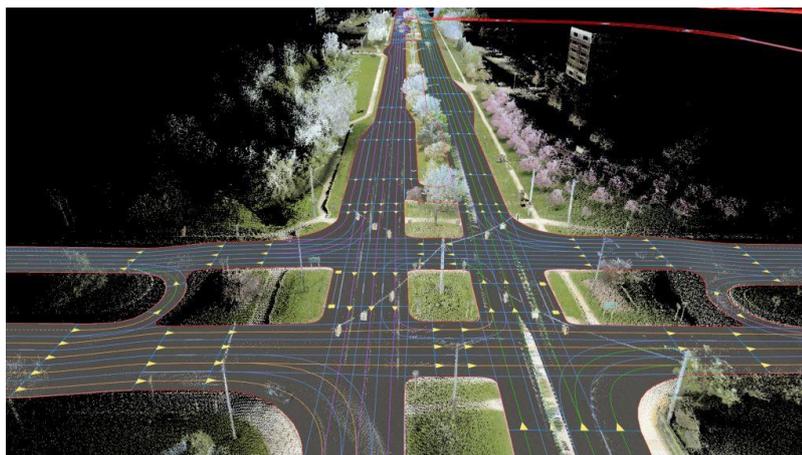


Abb. 15 HD Karte mit RoadDNA, (Quelle: TomTom)

Anforderungen

Die Karten sollen insbesondere zur Navigation und zur Steuerung beim autonomen Fahren nutzbar sein.

3.3.3 NavTeq HERE

Systembeschreibung

Here ist ein Online-Geodatendienst und Navigationsprogramm, das ursprünglich von Nokia für Smartphones entwickelt wurde. Unter den derzeitigen Eigentümern, einem Konsortium von Unternehmen der Automobilindustrie, wurde der Fokus hin zur Nutzung im Automotive-Bereich verschoben.

Anwendung der Bezugssysteme

Es werden verschiedene Datengrundlagen zusammengeführt. Dabei werden sowohl lineare als auch planare Bezugssysteme verwendet (Abb. 16).

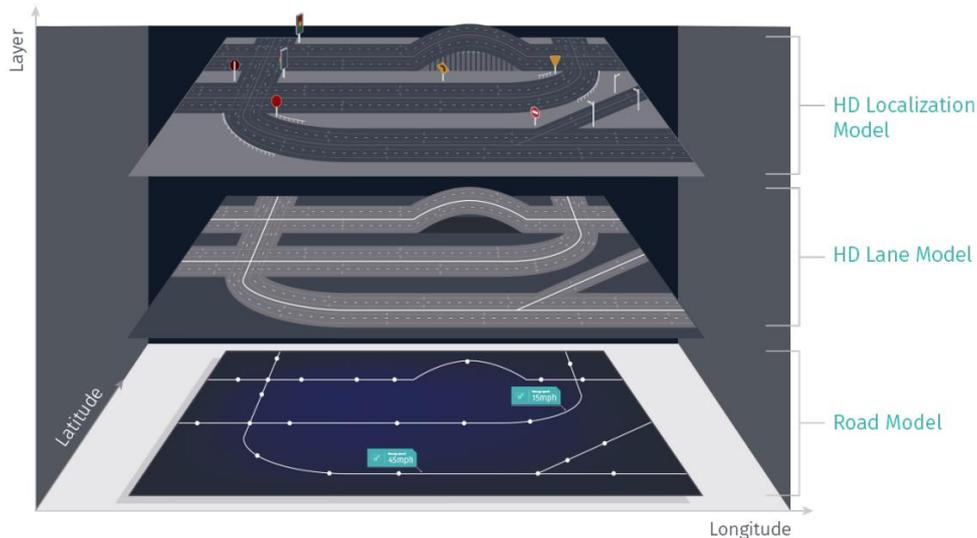


Abb. 16 Karten-Layer für die Strassenachsen (Road Model), die Fahrspuren (HD Lane Model) und die Lokalisierung (HD Localization Model), (Quelle: Here)

Anforderungen

Die Karten sollen insbesondere zur Navigation und zur Steuerung beim autonomen Fahren nutzbar sein.

3.3.4 Google Maps

Leider war es nicht möglich mit Google in Kontakt zu treten. Weder die Schweizer noch die Deutsche Filialen waren bereit auf telefonische Anfrage Kontaktpersonen zu nennen. Ebenfalls in den offiziellen Foren wurde keine Antwort auf die Anfragen gegeben.

3.4 Vergleich Achsdefinitionen

Der Verlauf und der Detaillierungsgrad von Achsen und deren Geometrien in bestehenden linearen Systemen differiert je nach Implementation stark. Dies soll an einigen konkreten Beispielen dokumentiert werden. Betrachtet werden die Achsgeometrien der Systeme:

- RBBS: Räumliches Basis Bezugssystem gemäss MISTRA und STRADA
Achsverlauf bei nicht-richtungstrennten Strassen in Strassenmitte, bei richtungstrennten Strassen (vor allem Autobahnen) am linken Fahrbahnrand.
Achsgeometrien werden am Anfang und Ende meist mit einem Überstand um ca. eine halbe Strassenbreite verlängert. Bei Kreiseln wird keine separate Achse verwendet, die Achsen verlaufen meist durchgehend. Auf die Integration von Knoten in den Elementen des RBBS wird verzichtet, die topologischen Beziehungen werden als sog. Toponetze mit Referenzen auf das RBBS modelliert.

- TLM: Topografisches Landschaftsmodell der swisstopo
Achsverlauf wie beim RBBS. Das Grundprinzip «separate Achsen bei baulicher Trennung» wird jedoch wesentlich konsequenter umgesetzt. Dies führt zu einem deutlich höheren Detaillierungsgrad an Kreuzungen mit Verkehrsinseln sowie bei Fuss- und Radwegen. Kreisell als separate Achse am Strassenrand links. Topologische Beziehungen werden nicht modelliert
- ASB: Anweisung Strasseninformationsbank Deutschland
Achsverlauf als Bestandsachsen in Strassenmitte. Zusätzliche Fahrbahnachsen bei baulicher Trennung. Beim Schnittpunkt zweier Bestandsachsen wird ein Netzknoten eingefügt. Auf Anfang und Ende einer Bestandsachse liegt immer ein Netzknoten. Kreisell als separate Bestandsachse am Strassenrand links.

Die verschiedenen Implementierungen wurden anhand von Beispielen grafisch dokumentiert. Aufgrund der Grösse der benötigten Graphiken werden diese nicht an dieser Stelle, sondern in Anhang 0 gezeigt.

4 Anforderungsanalyse

4.1 Rahmenbedingungen

In den folgenden Abschnitten werden die Rahmenbedingungen erläutert oder es wird auf bestehende Beschreibungen verwiesen, welche im Rahmen des Forschungsprojektes betrachtet wurden. Da sich die Rahmenbedingungen z.T. widersprechen wurden im Abschnitt 4.2 Anforderungen formuliert, welche aus der Analyse bestehender Strasseninformations- und Raumbezugssysteme sowie den Rahmenbedingungen abgeleitet wurden.

4.1.1 Normen VSS

Für dieses Forschungsprojekt sind unterschiedliche bereits existierende Normen von Bedeutung. Besonders zentral sind die Normen zu den Strasseninformationssystemen (VSS 40910 und folgende).

Die Norm VSS 40910 [2] regelt die generellen Aspekte der Realisierung und des Betriebes von Strassendatenbanken. Sie ist die übergeordnete Norm im Bereich der Strassendatenbanken, beschreibt die Grundstruktur des Datenkataloges und definiert verschiedene räumliche Bezugssysteme.

Die Norm VSS 40910-5 [3] legt Regeln für die Beschreibung des Raumbezuges und der Achsgeometrie fest. Sie legt die Toleranzstufen der Strassendaten für verschiedene Geodaten (z.B. amtliche Vermessung, TLM oder Landeskarten) fest. Das Konzept der Metadaten in Strasseninformationssystemen wird eingeführt und Regeln für die Transformation und die Kombination von Elementen von räumlichen Bezugssystemen sowie des Raumbezugs von Strassenobjekten werden festgehalten.

Die Norm VSS 40911 [4] ist die Grundnorm für Bezugssysteme in Strasseninformationssystemen. Sie zeigt die Elemente von Bezugssystemen und führt drei mögliche Bezugssysteme ein: lineares Raumbezugssystem, planares Raumbezugssystem und Topologiebezugssystem. Die Norm zeigt im Weiteren welches Raumbezugssystem verschiedene Fachprozesse benötigen.

Die Norm VSS 40912 [5] legt alle Elemente des räumlichen Basis-Bezugssystems (RBBS) fest. Die Grundvoraussetzungen zum Erheben, Erfassen, Nutzen und Austauschen der benötigten Daten wird definiert. Zusätzlich werden die Sonderfälle richtungstrennte Strassen, komplexe Knoten und Unterbruch einer Strassenachse werden behandelt. Die ergänzende Norm VSS 40912-1 [6] enthält Richtlinien für eine praktische Umsetzung des RBBS. Im Besonderen werden Lösungen zur physischen und numerischen Versicherung von Bezugspunkten präsentiert.

Die Norm VSS 40913 [7] behandelt die Achsgeometrien, das heisst die vektorielle Beschreibung der Strassenachse. Dabei wird zwischen der Horizontal- und Längsgeometrie unterschieden. Die Funktionen der Achsgeometrien, ihre Elemente, das Prinzip der Kalibrierung sowie die Regeln der Transformation zwischen dem linearen und dem planaren Raumbezug.

Die Norm VSS 40914 [8] charakterisiert Netze und beschreibt ihre Topologie. Als Netze gelten beispielsweise Hauptstrassennetze, Routen für Ausnahmetransporte oder Gemeindestrassennetzes.

4.1.2 MISTRA-Konzept

Mit der Abstimmung vom 12. Februar 2017 haben Volk und Stände den Bundesbeschluss zur Schaffung eines Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrs-Fonds (NAF) angenommen. Aufgrund des Abstimmungsergebnisses werden ab 2020 mehrere Strecken im Agglomerationsbereich vom ASTRA verwaltet werden. Vermutlich werden bestehende

Fachapplikationen wie KUBA und Trassee zur Verwaltung dieser Strecken verwendet werden. Seitens des ASTRA wurde dies jedoch noch nicht festgelegt. Es bestanden somit noch keine zwingenden Anforderungen an das Bezugssystem im Agglomerationsbereich. Es ist jedoch naheliegend, dass sofern das Bezugssystem im Agglomerationsbereich die gleichen Modelle wie das MISTRA-RBBS verwendet vermutlich eine direkte Anwendung finden.

Die MISTRA-Konzepte und -Lösungsansätze bezüglich Raumbezug wurden im Abschnitt 3.1.5 beschrieben. Sie werden in den Anforderungen berücksichtigt.

4.1.3 Achsdefinition des TLM

Das Topografische Landschaftsmodell (TLM) wird seit 2008 beim Bundesamt für Landestopografie swisstopo aufgebaut und aktualisiert [29]. Das TLM ist eine grosse Datenbank für dreidimensionale Geodaten und ist in hoher, homogener Qualität verfügbar. Es sind mittlerweile über 13 Millionen Objekte als punkt-, linien- oder flächenförmige 3D-Vektoren erfasst und im TLM georeferenziert.

Das TLM befindet sich noch immer im Aufbau, die Fertigstellung ist bis 2019 geplant. Das Produkt swissTLM^{3D} ist bereits heute flächendeckend verfügbar, die Genauigkeit entspricht jedoch noch nicht überall den TLM-Anforderungen. Abb. 17 zeigt den aktuellen Datenbestand nach Regionen für Strassen und Wege.

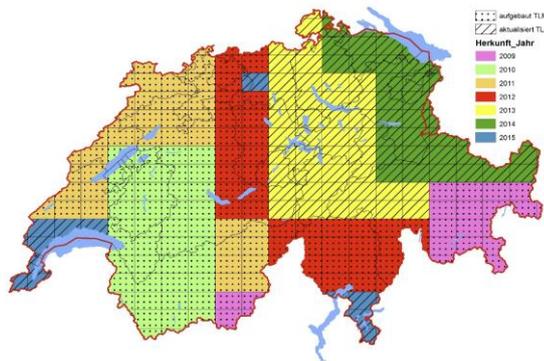


Abb. 17 Stand der Strassen in swissTLM^{3D} 2016 [31]

Im Objektkatalog [32] sind alle natürlichen und künstlichen Objekte, die im swissTLM^{3D} erfasst werden, aufgelistet. Die Klasse TLM_STRASSEN enthält die Strassen und die Wege. Für jede Strasse und jeden Weg wird eine Achse in der Mitte der Strasse erfasst, unabhängig von den Anzahl Fahrstreifen. Einzig bei richtungstrennten Strassen wird, in Fahrtrichtung gesehen, am linken Rand der Strasse eine Kante erfasst. Die Achsen werden grundsätzlich nach Strassenbreite klassifiziert. Im Wesentlichen wird zwischen der Bauart (z.B. Einfahrt, Autobahn, 6m Strasse oder Platz) der Strasse und den geltenden Verkehrsbeschränkungen (z.B. Radweg, Fussgängerzone oder keine) unterschieden.

Um einheitliche Achsen bereitzustellen hat Swisstopo ein ausführliches Regelwerk erstellt, welches als internes Arbeitsdokument vorliegt und von den Datenerfassern eingehalten wird. Zusätzlich besteht die Möglichkeit Befunde zu den TLM-Achsen über eine Internetseite zu melden. Die gemeldeten Befunde werden laufend korrigiert.

Das TLM wurde bereits im Abschnitt 3.1.5 beschrieben und wird in den Anforderungen berücksichtigt.

4.1.4 VM-CH

Unter Verkehrsmanagement (kurz VM) sind alle Massnahmen zusammengefasst, die den herrschenden Verkehr möglichst gleichmässig, ruhig, störungsfrei, emissionsarm und sicher fließen lassen.

Fachleute unterscheiden vier Elemente des VM auf dem Nationalstrassennetz:

- Die Verkehrslenkung kommt zum Zug, wenn temporäre Engpässe oder Hindernisse bestehen und der Verkehr umgeleitet werden muss.
- Die Verkehrsleitung wird nötig, wenn auf einer Strecke der gleichmässige Verkehrsfluss gewährleistet werden soll.
- Die Verkehrssteuerung wird vor allem bei den Knoten des Nationalstrassennetzes angewendet. Zur Gewährleistung des gleichmässigen und sicheren Verkehrsflusses können Zu- und Wegfahrt auf einen Nationalstrassen-Ast eingeschränkt bzw. dosiert werden.
- Die Verkehrsinformation setzt die Verkehrsteilnehmenden frühzeitig über bestehende Engpässe, Hindernisse oder Staus ins Bild. Sie sind so in der Lage, Reisezeit, Route, Tagesziel oder Verkehrsmittel so zu wählen, dass sie ihr Ziel zuverlässig erreichen.

Wichtigste Voraussetzung für den Betrieb eines wirksamen und ausgereiften VM ist die Kenntnis dessen, was auf der Strasse tatsächlich passiert. Zur Beschaffung der Daten dienen zwei Hilfsmittel: die automatische Verkehrszählung an ausgewählten Standorten und die systematische Beobachtung des Verkehrs mittels Videokameras.

Das ASTRA hat sich zum Ziel gesetzt, nicht nur den bisherigen Standard aufrecht zu erhalten, sondern unter dem Titel Verkehrsmanagement Schweiz (VM-CH) sowohl die Datenerhebung wie auch die Auswertung und die Umsetzung von Massnahmen schweizweit zu systematisieren.

Die grösste Schwierigkeit des bisherigen Systems war, dass die VM-Einrichtungen der einzelnen Kantone untereinander nicht kompatibel waren und darum in der Regel nicht zusammengehängt werden konnten.

Die schweizweite Vereinheitlichung der VM-Systeme ist eines von vielen Elementen, welche das Verkehrsmanagement in den nächsten Jahren Schritt für Schritt wirksamer machen werden. Als weitere Massnahme beabsichtigt das ASTRA, den Umfang und die Qualität der Daten, welche die Grundlage des VM bilden, markant zu verbessern.

Die systematisierte Datenverwaltung soll ermöglichen, die konkreten VM-Massnahmen aufeinander abzustimmen und objektivierbar zu machen. Bis jetzt liegt es im Ermessen der Kantone, ob sie aufgrund der aktuell vorhandenen Verkehrsflussdaten eine Strasse sperren, eine Zufahrt dosieren oder temporär eine bestimmte Höchstgeschwindigkeit erlassen wollen. Neu sollen solche Entscheide mit Hilfe von Computermodellen automatisiert und systematisiert werden.

Seitens von VM-CH wurde leider wenig Interesse signalisiert am Forschungsprojekt mitzuwirken. Die Anforderungen aus VM-CH begrenzen sich somit auf allgemeine Anforderungen zum Verkehrsmanagement.

4.1.5 EU- Normenwerke: INSPIRE

In der EU wird grundsätzlich der allgemeine Standard für räumliche Infrastrukturdaten durch die technischen Spezifikationen der INSPIRE-Richtlinie (Infrastructure for spatial information in the European Community) [37] vorgegeben. Dabei kommt dem Bezugssystem aufgrund der Notwendigkeit der eindeutigen Zuordenbarkeit besondere Bedeutung zu.

Ziel von INSPIRE ist es, dass alle möglichen Geodaten problemlos international ausgetauscht werden können. Auch wenn die Schweiz kein Mitgliedstaat der EU ist, so engagiert

sie sich dennoch bei diesem Projekt. Da alle Nachbarländer der Schweiz EU-Mitglieder sind und ihre Daten somit nach den dort definierten Standards bereitstellen müssen, kann eine Zusammenarbeit auch nicht umgangen werden. Aus diesem Grund müssen die Vorgaben aus INSPIRE auch bei dem in der Schweiz zu entwickelndem Modell berücksichtigt werden. Diese Vorgaben sind sehr umfangreich und detailliert, für die Details wird folglich auf das entsprechende Dokument verwiesen.

Die INSPIRE-Richtlinien basieren auf fünf grundlegenden Prinzipien:

- Alle Daten sollen nur einmalig aufgenommen und dort gespeichert werden, wo sie am besten gepflegt werden können
- Es muss möglich sein, Geodaten aus verschiedenen Quellen in ganz Europa übergangslos miteinander zu kombinieren und mit vielen Nutzern und Applikationen zu teilen.
- Es muss möglich sein, Informationen auf einer Ebene/Massstab aufzunehmen aber über alle Ebenen/Massstäbe zu teilen; detailliert für gründliche Untersuchungen und generell für strategische Überlegungen.
- Geodaten die für gute Regierungs-/Verwaltungsführung auf irgendeiner Ebene benötigt werden, sollen leicht und transparent zur Verfügung stehen.
- Es soll einfach sein herauszufinden, welche Geodaten verfügbar sind, wie man sie für einen bestimmten Zweck nutzen kann und unter welchen Bedingungen man sie beziehen und benutzen kann.

Um das zu erreichen definiert INSPIRE Standards für insgesamt 34 verschiedene Gebiete in denen Geodaten verwendet werden. Für diesen Bericht am interessantesten ist das Gebiet Transportnetzwerke der wiederum in die Bereiche Strasse, Schiene, Wasser, Luft und Seilbahnen aufgeteilt ist, die jeweils als eigenständige Applikations-Schemata modelliert sind. Dieser Bereich enthält Informationen von allen politischen Ebenen, die den öffentlichen Sektor dabei unterstützen durch effizienten Transport, Passagiersicherheit, Umwelteinflüsse usw. ein positives Wirtschaftswachstum zu unterstützen. Des Weiteren gibt es eine Vielzahl von möglichen Anwendungen in der Privatwirtschaft.

Im technischen Leitfaden zu Datenspezifikationen für Transportnetzwerke [37] sind die Vorgaben für das Bezugssystem im Agglomerationsbereich massgebend und im Rahmen der Konzeption berücksichtigt.

4.1.6 Vorhandene Daten über Bezugssysteme im Agglomerationsbereich

Die Umfrage zu den Bezugssystemen im Agglomerationsbereich (siehe Abschnitte 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 und 3.1.4) hat eine grosse Inhomogenität der vorhandenen Daten zwischen den Städten und Gemeinden aber vor allem innerhalb dieser aufgezeigt. Andererseits hat sich auch ein grosses Bedürfnis nach einfachen Möglichkeiten zum Austausch von Daten zwischen den unterschiedlichen Systemen ergeben. Da die bestehenden Systeme kaum auf ein neues Bezugssystem wechseln werden, liegt ein Hauptnutzen des Bezugssystems dieses Forschungsprojekts in der Definition eines gemeinsamen Standards, welcher zur Bildung einer einheitlichen Schnittstelle verwendet wird.

4.2 Anforderungen

Aufgrund der Analyse bestehender Raumbezugssysteme und der Anforderungsanalyse wurden die folgenden Anforderungen zusammengestellt. Die Detailanforderungen z.B. Matching/Bezeichnung der Attribute gem. INSPIRE-Richtlinie sind Gegenstand der entsprechenden Schnittstellenspezifikation. Anforderungen, welche offensichtlich durch solch ein System unterstützt werden, wie z.B. die Schaffung eines gemeinsamen Bezugssystems als Grundlage für den Datenaustausch zwischen Systemen, die effiziente Datenverwaltung, usw. werden an dieser Stelle nicht aufgeführt.

Tab. 1 Anforderungen an das Bezugssystem im Agglomerationsbereich

Kriterium		Beschreibung	Beispiele	Muss/ soll/ kann ⁶
1	Kompatibilität mit Achsen lokaler Baubehörden	Das System soll mit dem in diesem Projekt evaluierten Standard der Praxis in der Schweiz kompatibel sein.	Achsen und darauf aufbauende Referenzierungen können weiterverwendet bzw. einfach überführt werden.	soll
2	Kompatibilität RBBS	Das System muss mit dem RBBS des übergeordneten Netzes kompatibel sein.	EDV-Anwendungen, welche das RBBS verwenden, sind mit dem neu definierten Bezugssystem Agglo kompatibel.	muss
3	Kompatibilität mit Streifenreferenzierung gemäss VSS 2011-715	Das Konzept muss mit dem im Forschungsprojekt VSS 2011-715 erarbeiteten Konzept für Streifenreferenzierung kompatibel sein.	Die Streifen, Streifenpunkte und Abbiegebeziehungen müssen auf das Referenzsystem Agglo bezogen werden können.	muss
4	Aufwand für Erfassung und Nachführung	Die Erfassung und Nachführung des Systems soll möglich sein, beurteilt wird inwiefern das auf effiziente Art möglich ist.	Achsen, Segmente und Sektoren werden bei Änderungen des Strassenverlaufs nachgeführt.	soll
5	Erfassung und Nachführung durch lokale Baubehörde	Die Erfassung und Nachführung des Systems kann von den lokalen Baubehörden durchgeführt werden.	Anpassungen an Achsen, Segmenten und Sektoren werden bei Bedarf von der Baubehörde durchgeführt.	kann
6	Externe Beschaffung und Pflege	Die Erfassung und Nachführung des Systems erfolgt extern.	Anpassungen an Achsen, Segmenten und Sektoren werden bei Bedarf von externen Anbietern durchgeführt.	kann
7	Attribute zu den Achsen	Den Achsen müssen die Basisattribute Eigentümer, Name sowie Zeitattribute zum Stand der Nachführung enthalten.	Attribute wie z.B. Strassenamen, Eigentümer, Stand, Kosten, Zustand, ...	muss
8	Fachattribute	Fachattribute zu den Achsen sind separat zu speichern.	Breite, Steigung, Zustand Deckbelag, Kosten	muss
9	Adressen	Adressen sollen in das Referenzsystem Agglo integriert werden und eine eindeutige Lagebeschreibung definieren.	Bahnhofstrasse 38, referenziert Achse Bahnhofstrasse, 23.5 m von Kreuzungspunkt mit Peterstrasse.	soll
10	Tram-/Bustrassen	Baulich getrennte Tramtrassen im Bereich von Knoten sollen eigene Achssegmente haben können.	Tramtrassen Bellevueplatz	kann
11	Fuss-/Radwege	Baulich getrennte Wege sollen eigene Achssegmente haben. NB: ein Randstein gilt nicht als bauliche Trennung.	Nicht parallel zur Strassenachse verlaufende oder Wege mit Höhendifferenz > 1m.	kann
12	Achsgeometrie	Den Achsen muss eine planare, 3-dimensionale Achsgeometrie zugeordnet werden können.	Polylinie	muss
13	Flächengeometrien	Einer Achse müssen 1:n planare Flächengeometrien zugeordnet werden können.	Bodenbedeckung (Fahrbahn, Trottoir, Grünstreifen usw.)	kann

⁶ Bei der Priorisierung wurde zwischen Muss-, Soll- und Kann-Anforderungen unterschieden. Muss-Anforderungen gelten als unverzichtbar. Soll-Anforderungen gelten als Wichtig aber verzichtbar, falls zu aufwendig oder nicht möglich. Kann-Anforderungen gelten als nicht essenziell.

Kriterium		Beschreibung	Beispiele	Muss/ soll/ kann ⁶
14	Höhenbezug zwischen kreuzenden Achsen	Das System ermöglicht den Höhenbezug zwischen sich kreuzenden Achsen zu definieren.	Befindet sich am geometrischen Schnittpunkt ein Kreuzungspunkt, so sind die Achse auf gleicher Höhe.	soll
15	Platz, Kreisel, Kreuzung	Verkehrsknoten müssen nach Platz, Kreisel oder Kreuzung unterschieden werden.	Bellevueplatz. Kreuzung = Zusammentreffen von mehreren Strassenachsen in einem Punkt.	muss
16	Temporalisierung	Das System muss das Strassennetz in die Vergangenheit und das künftig geplantes Strassennetz erfassen und abrufen können.	Am 23.4.2008 wurde ein Verkehrsumfall mittels linearer Koordinaten erfasst; mittlerweile wurde die Geometrie der Achsen verändert. Der Verkehrsumfall kann mit den damaligen linearen Koordinaten lokalisiert werden.	muss
17	Referenzierung Punktobjekte	Das System erlaubt die Referenzierung von <u>Punktobjekten</u> .	Punktobjekte wie z.B. Kanaldeckel, Unfallort, Belagsschaden, Kandelaber	muss
18	Referenzierung Linienobjekte	Das System erlaubt die Referenzierung von <u>Linienobjekten</u> .	Linienobjekte wie z.B. Leit-schranken, Markierung, Geländer	muss
19	Referenzierung Flächenobjekte	Das System erlaubt die Referenzierung von <u>Flächenobjekten</u> .	Flächenobjekte wie z.B. Fahrbahnflächen, Massnahmenflächen, Parkflächen, Bushaltestelle	muss
20	Materialisierung Bezugspunkte	Materialisierung Bezugspunkte als Grundlage für Aufnahmen vor Ort.	Farbmarke auf der Fahrbahn	kann
21	Topologie	Das System ermöglicht die Abbildung von Topologien.	Topologien wie Verkehrsmo-delle, Routen	soll
22	Vorgaben Datenmodell	Das System gibt ein Datenmodell vor. Ein Teil muss zwingend eingehalten werden. Ein Teil ist bei Bedarf anzuwenden.	Name, GUID, Eigentümer, Stand, InspireId	muss
23	Transformation von Referenzsystemen	Das System erlaubt die eindeutige Transformation linearer Referenzen zu planaren Referenzen in Landeskoordinaten.	Die linearen Koordinaten BP14, u=4.5 und v=1.2 werden in die LK Y=684592 und X=252857 transformiert.	muss
24	Aktualisierung Datenbestände	Das System erlaubt unterschiedliche Datenstände auf einen Referenzdatenstand zu aktualisieren.	Am 23.4.2008 wurde ein Verkehrsumfall mittels linearer Koordinaten erfasst; mittlerweile wurde die Geometrie der Achsen verändert. Die Lokalisierung kann auf den 30.10.2017 aktualisiert und mit allen auf der Strecke erfassten Umfällen ausgewertet werden.	muss
25	Systemstabilität bei Anpassungen am Achsverlauf	Das System ist gegenüber von Anpassungen am Achsverlauf stabil.	Durch die Anpassung des Strassenverlaufs vom BP12 bis BP14 werden lediglich die Referenzen im angepassten Bereich und sofern nötig einen darüber hinaus reichenden	soll

Kriterium		Beschreibung	Beispiele	Muss/ soll/ kann ⁶
			überschaubaren Bereich angepasst.	
26	Absteckung anhand linearer Referenzen vor Ort	Das System erlaubt die Aufnahme und Absteckung mittels linearer Referenzen von Straßenobjekten vor Ort.	Vor Ort kann der Kanaldeckel 234 anhand des Systems lokalisiert werden, z.B. Achse Bahnhofstrasse, Hausnummer 37 usw	muss
27	Routingfähigkeit versch. Verkehrsträgern	Das System erlaubt das Routing vom MIV, ÖV (wie Zug, Tram, Bus) und LV (wie Fahrrad, Fussgänger).	Die Verkehrsbeziehungen in einem komplexen Kreuzungsbe- reich werden abgebildet.	muss
28	Routingfähigkeit zwischen versch. Verkehrsträgern	Das System erlaubt die Konnektivität zwischen verschiedenen Verkehrsträger abzubilden.	Mit dem Verkehrsmodell können Verkehrsmittelwechsel modelliert werden.	kann
29	Kompatibilität INSPIRE	Das System ist mit INSPIRE kompatibel.	Der Knoten "Kreuzplatz" weist das Attribut "beginLifespanVersion" auf und in diesem sollen Datums- und Zeitangaben gespeichert werden.	soll

5 Konzeption

5.1 Varianten

Wie in Kapitel 3.4 Vergleich Achsdefinitionen aufgezeigt können lineare Bezugssysteme sehr unterschiedlich implementiert werden. Aus diesem Grund wurden für das Bezugssystem Agglo drei verschiedene Varianten näher betrachtet und gegenübergestellt.

5.1.1 Variante Randsteinmitte

Bei dieser Variante verläuft die Achse immer mittig zwischen den Randsteinen links und rechts der Strasse unabhängig davon ob Verkehrsinseln die Fahrbahnen baulich unterbrechen. Eine Ausnahme sind die städtischen Autobahnen, bei denen jede Richtung eine separate Achse am linken Fahrbahnrand aufweist. Die Achsen werden wie beim RBBS des übergeordneten Netzes mit Überständen bis zum gegenüberliegenden Fahrbahnrand erfasst. Im Kreuzungsbereich werden die Achsen durchgezogen, in der Abbildung beinhaltet der Bellevueplatz fünf Kreuzungen als Flächenobjekt. Objektbestimmend ist der Strassenname. Die folgende Abbildung zeigt dies am Beispiel Bellevueplatz in Zürich.



Abb. 18 Bellevueplatz Variante Randsteinmitte

5.1.2 Variante TLM

Die Variante basiert auf einer Koordination zwischen dem ASTRA mit dem Strasseninformationssystem MISTRA und der swisstopo mit dem topografischen Landschaftsmodell TLM. Demnach gilt die Regel «Separate Achse bei baulicher Trennung» und wird hier sehr konsequent angewandt. Kreuzungen werden als «Plätze» modelliert, in der Abbildung beinhaltet der Bellevueplatz fünf Kreuzungen als Flächenobjekt. Die Achsen werden am Kreuzungsrand unterbrochen.



Abb. 19 Bellevueplatz Variante TLM

5.1.3 Variante Fahrstreifenmitte

Bei dieser Variante wird pro Fahrstreifen eine separate Achse angelegt. Und im Kreuzungsbereich unterbrochen.



Abb. 20 Bellevueplatz Variante Fahrstreifenmitte

5.1.4 Variantenvergleich

Der Vergleich der zur Auswahl stehenden Varianten erfolgt auf der Grundlage der im Kapitel 4.2 definierten Kriterien. Im Folgenden werden die drei Varianten in Bezug auf diese Kriterien gegenübergestellt und die Erfüllung der Kriterien beurteilt. Anschliessend erfolgt auf der Grundlage dieser Gegenüberstellung die Auswahl der Bestvariante.

Tab. 2 Gegenüberstellung der Varianten

Kriterium		Randsteinmitte	TLM	Fahrstreifenmitte
1	Kompatibilität mit Achsen lokaler Baubehörden	Vollständig kompatibel	Kompatibel nur dort wo pro Strasse 1 Achse vorhanden ist	Nicht kompatibel
2	Kompatibilität mit RBBS des übergeordneten Netzes	Kompatibilität einfach herstellbar	Kompatibilität einfach herstellbar	Nicht kompatibel
3	Kompatibilität mit Streifenreferenzierung gemäss 2011-715	Kompatibilität einfach herstellbar	Kompatibilität möglich aber abweichend vom Grundsatz 1 Strasse = 1 Achse	Nicht kompatibel bzw. konkurrenzierend

Kriterium		Randsteinmitte	TLM	Fahstreifenmitte
4	Aufwand für Erfassung und Nachführung	Gering	Mittel	Hoch
5	Erfassung und Nachführung durch lokale Baubehörde	Möglich	Nein, Datenhoheit bei swisstopo	Möglich
6	Externe Beschaffung und Pflege	Nein	Ja (swisstopo)	Ja, in Zukunft von Navigationsdatenlieferanten.
7 - 16	Die Kriterien 6-15 können mit allen Varianten erfüllt werden			
17 - 19	Referenzierung Punkt-, Linien- und Flächenobjekte auf Strassenachse	Effizienz gut, relativ einfach und direkt	Effizienz mittel, bei mehreren Achsen pro Strasse muss gewünschte Achse ausgewählt werden	Effizienz mittel, bei mehreren Streifen pro Strasse muss gewünschter Streifen ausgewählt werden
17 - 19	Genauigkeit der Referenzierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten	Gut	Gut	Gut
20 - 29	Die Kriterien 20-29 können mit allen Varianten erfüllt werden			

5.1.5 Auswahl Bestvariante

Für die Auswahl der Bestvariante werden die Kriterien des Variantenvergleichs in drei Hauptgruppen ausgewertet und darauf aufbauend die Variante gewählt, welche die Anforderungen am besten erfüllt.

Kompatibilität mit Umsystemen

Das gemeinsame Konzept der Projekte 2011-712 «Bezugssysteme im Agglomerationsbereich» und 2011-715 «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» [38] sieht eine Dualität der Referenzierung vor:

1. Primäres Bezugssystem auf Strassenebene
2. Sekundäres Bezugssystem auf Streifenebene

Das in diesem Bericht beschriebene Bezugssystem im Agglomerationsbereich ist dabei das primäre Bezugssystem in den Agglomerationen. Es wird nach dem Grundsatz EINE STRASSE, EINE ACHSE aufgebaut und kann über die Streifenreferenzierung verfeinert werden. Aufgrund dieser Vorgabe scheidet die Variante Fahstreifenmitte bei der Wahl der Bestvariante aus.

Die Variante «TLM» weicht strukturell von der Variante «Fahrbahnmitte» nur geringfügig ab. Der Unterschied liegt hauptsächlich darin, dass bei baulicher Trennung der beiden Fahrbahnrichtungen, z.B. durch Tramgeleise oder eine Verkehrsinsel, pro Richtung eine separate Achse am linken Fahrbahnrand verwendet wird und widerspricht dem Grundsatz EINE STRASSE, EINE ACHSE. Dies ist angesichts der Dualität von primärem und sekundärem Bezugssystem eine nicht erforderliche Verkomplizierung.

Erfassung und Nachführung der Achsen

Bezüglich der Erfassung und Nachführung der Achsen besteht ein prinzipieller Unterschied zwischen den Varianten Randsteinmitte und TLM. Während die Hoheit über die Achsen und damit die Möglichkeit, aber auch die Verantwortung über deren Erfassung und Pflege bei der Variante Randsteinmitte beim jeweiligen Strassenbetreiber liegt, werden diese Aufgaben bei den TLM-Achsen von swisstopo übernommen. Bei der Beurteilung der verschiedenen Varianten ist daher eine Gewichtung zwischen den Kriterien 5 und 6 gemäss Tab. 2 vorzunehmen. Die Pflege der Achsen durch die lokalen Baubehörden stellt einerseits einen Aufwand für diese dar, welcher bei der Verwendung der TLM-Achsen entfällt, andererseits behalten die lokalen Baubehörden damit die Kontrolle über Zeitpunkt und Art der Nachführungen, welche bei einer externen Bereitstellung der Achsen verloren geht. Wenn Achsenupdates nicht selbst geplant werden können, ist es auf jeden Fall erforderlich, dass alle Systeme, welche auf diese Achsen zugreifen mit Anpassungen der Achsen umgehen und bereits definierte Referenzierungen automatisiert angepasst werden können.

Referenzierung von Objekten

Die Referenzierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten ist bei allen Varianten mit ausreichender Genauigkeit möglich. Die Effizienz der Erfassung von Referenzierungen ist bei der Variante Randsteinmitte im Vergleich zu den anderen Varianten als besser zu beurteilen. Dadurch, dass jede Strasse nur eine Achse hat, deren Lage vor Ort relativ einfach nachvollziehbar ist, kann die Referenzierung in diesem Fall sehr einfach erfolgen. Die Variante TLM weist hier, in Situationen mit mehreren Achsen, gewisse Nachteile auf.

Zusammenfassung

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten werden in Tab. 3 zusammengefasst.

Tab. 3 Vor- und Nachteile der Varianten

Variante	Vorteile	Nachteile
Randsteinmitte	<ul style="list-style-type: none"> - Gute Kompatibilität mit RBBS des übergeordneten Netzes - Gute Kompatibilität mit bestehenden Systemen in Agglomerationen - Achsen schnell erstellt & einfach zu pflegen - Effiziente Referenzierung - Aktualisierung durch lokale Baubehörde möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Bescheidene Genauigkeit ohne kartographische Unterstützung - Referenzierung von Objekten im Kreuzungsbereich eher ungenau
TLM	<ul style="list-style-type: none"> - Gute Kompatibilität mit RBBS des übergeordneten Netzes - Erstellung & Pflege Achsen zentral geführt - Effiziente Referenzierung - Grosse, schweizweit homogene Datenbasis - Fragestellungen zur Aktualisierung gelöst (swisstopo) - Referenzierung von Objekten im Kreuzungsbereich besser als bei "Randsteinmitte" 	<ul style="list-style-type: none"> - Nachführung nicht durch lokale Baubehörde - Nicht kompatibel zu Achsen lokaler Systeme - Im Vergleich zu vorhandenen Systemen in Agglomerationen zu detailliert
Fahrstreifenmitte	<ul style="list-style-type: none"> - Streifenachsen aus Navigationssoftware mittelfristig kostengünstig erhältlich - Grosse Datenbasis 	<ul style="list-style-type: none"> - Referenzierung auf Ebene Strassen-/Platzachse fehlt - Nachführung nicht durch lokale Baubehörde

Das Bezugssystem Agglo basiert auf Achsen mit je einem oder mehreren Achssegmenten. Der Strassenname bestimmt die Ausdehnung einer Achse. Es gilt der Grundsatz «EINE STRASSE, EINE ACHSE». Wird der Strassenname, z.B. an einem Platz räumlich unterbrochen beginnt nach der Unterbrechung ein neues Achssegment derselben Achse. Die Achse gruppiert gewissermassen Achssegmente desselben Namens. Im Beispiel in der Abbildung besteht die Badenerstrasse aus zwei Achssegmenten, welche durch den Albisriederplatz getrennt sind. Die Achssegmente werden in Richtung aufsteigender Hausnummerierung erfasst. Tramstrassen, welche nicht parallel zur Strassenachse verlaufen, werden als separate Achssegmente erfasst. In der Abbildung besteht die Achse Albisriederplatz aus einem Achssegment für die Strasse und zwei Achssegmenten für die Tramstrassen. Die einzelnen Fahrstreifen der Strassen werden nicht als separate Achssegmente erfasst. Eine Detaillierung ist gemäss den Ergebnissen des Parallelprojekts 2011-715 «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» [38] möglich.

Die minimalen Merkmale einer Achse sind Name und Eigentümer, diejenigen der Achssegmente den Modus (Strasse | Schiene) und die planare 3-dimensionale Geometrie XYZ. Die reale Länge ist über die Bezugs-/Kreuzungspunkte und aus der Geometrie gegeben und muss nicht zwingend als Merkmal festgehalten werden. Merkmale wie Breite, Verkehrsfläche, Belag usw. können ergänzt oder in separate Tabellen geführt werden.

In der amtlichen Vermessung werden Strassen in der Ebene Bodenbedeckung als Flächenobjekte verwaltet. Diese Flächen können bei Bedarf mit den Achssegmenten verknüpft werden.

Bezugspunkt (Sektor) / Kreuzungspunkt

Anfangs- und Endpunkt eines Achssegments sind über einen Bezugspunkt definiert. Diese Punkte werden nicht materialisiert. Sie können beim Erfassen des Achssegments automatisch erzeugt werden. Sie sind Basis für die Berechnung von linearen Referenzen entlang der Achse. Weil jeder Bezugspunkt die Distanz zum nächstfolgenden Bezugspunkt enthält, wird in den VSS-Normen für Bezugspunkt auch der Begriff Sektor verwendet.

Am geometrischen Schnittpunkt zweier Achssegmente wird pro Achssegment ein Kreuzungspunkt gesetzt. Die Verwendung von Kreuzungspunkten ist optional. Der Kreuzungspunkt dient vor allem der einfacheren Referenzierung im Feld, z.B. der Kandelaber steht an der Badenerstrasse 27.5 m vom Kreuzungspunkt Badener-/Sihlfeldstrasse mit einem Querabstand von 4.3 m. Wird die Lage von Strassenobjekten dieserart, d.h. linear und nicht z.B. mittels GPS planar erfasst im Feld erfasst, ist als Hilfestellung für die Arbeit im Feld eine Markierung auf der Strassenoberfläche sinnvoll.

Strukturell ist ein Kreuzungspunkt ein Bezugspunkt. Die Bezugspunkte haben als Merkmal eine Nummer, Typ (Anfangspunkt | Endpunkt | Kreuzungspunkt) und die Distanz zum nächstfolgenden Bezugspunkt.

Adresse

Die Schweizerische Post verfügt über eine Datenbank mit georeferenzierten Adressen mit der Lage der Briefkästen als Punktobjekte. Liegen georeferenzierte Adressen der Post oder aus einer anderen Quelle vor, ist eine approximative Referenzierung auch indirekt über Adressen möglich, z.B. der Unfallort liegt 5 m von der Badenerstrasse 110 entfernt, Querabstand -2 m. Im Hintergrund erfolgt anschliessend eine Umrechnung auf den nächstliegenden vorangehenden Bezugspunkt. In diesem Sinne sind Adressen weitere Komponenten der Bezugssystems Agglo.

Die Adressen haben als minimale Merkmale den Strassennamen, die Hausnummer, die PLZ, den Ortsnamen und die kartesischen Koordinaten XYZ. Auf der Grundlage dieser Daten werden die Referenzen zum Bezugssystem mit Achse, Bezugspunkt, Längsdistanz U und Querabstand V bestimmt und gespeichert.

Platz

Der Objekttyp Platz kommt im RBBS des übergeordneten Netzes nicht vor und ist somit neu. Der Platz ist ein Flächenobjekt. Ein Platz kann je nach Namensgebung über eine eigene Achse verfügen. Der Albisriederplatz in der Abbildung weist eine Strasse und Tramstrassen unter dem Namen Albisriederplatz auf. Ihm wird daher eine Achse mit drei Achssegmenten zugeordnet.

Es ist hier notwendig die Begriffe «Platz», «Kreuzung» und «Kreisel» gemäss nachfolgender Tabelle genauer zu umschreiben.

«Platz»	Meist grösserer Verkehrsknoten mit eigenem Namen Geometrisch als Platzfläche definiert Meistens mit eigener Achse Zubringerachssegmente werden durch den Platz unterbrochen Topologisch komplex mit mehreren Kreuzungen innerhalb des Platzes
«Kreisel»	Spezialfall einer Kreuzung Geometrisch als Kreuzungsfläche definiert (vgl. [38]) Eigene Kreiselachse Zubringerachssegmente werden am Kreisel unterbrochen Topologisch klar definiert
«Kreuzung»	Zusammentreffen mehrerer Achssegmente in einem Punkt Geometrisch als Kreuzungsfläche definiert (vgl. [38]) Ohne eigene Achse Zubringerachssegmente werden an Kreuzung nicht unterbrochen solange der Strassenname gleich bleibt Topologisch klar definiert

Im Rahmen des Bezugssystems Agglo sind Plätze und Kreisel relevant. Die Ausbildung von Kreuzungen ist erst im Rahmen der Streifenreferenzierung von Bedeutung, wenn es darum geht die einzelnen Fahrstreifen und Abbiegebeziehungen zu modellieren.

Die minimalen Merkmale von Plätzen sind der Name, die Flächengeometrie und die Referenz zur Platzachse.

Temporalisierung

Falls nicht nur die aktuelle Situation, sondern auch ältere Versionen oder künftige Verkehrsführungen von Strassen und Plätzen verwaltet werden sollen, wird eine Temporalisierung der Daten notwendig. Hierzu wird auf das Parallelprojekt «Zeitaspekte und Historisierung» gemäss [28] verwiesen.

5.2.2 Klassenmodell

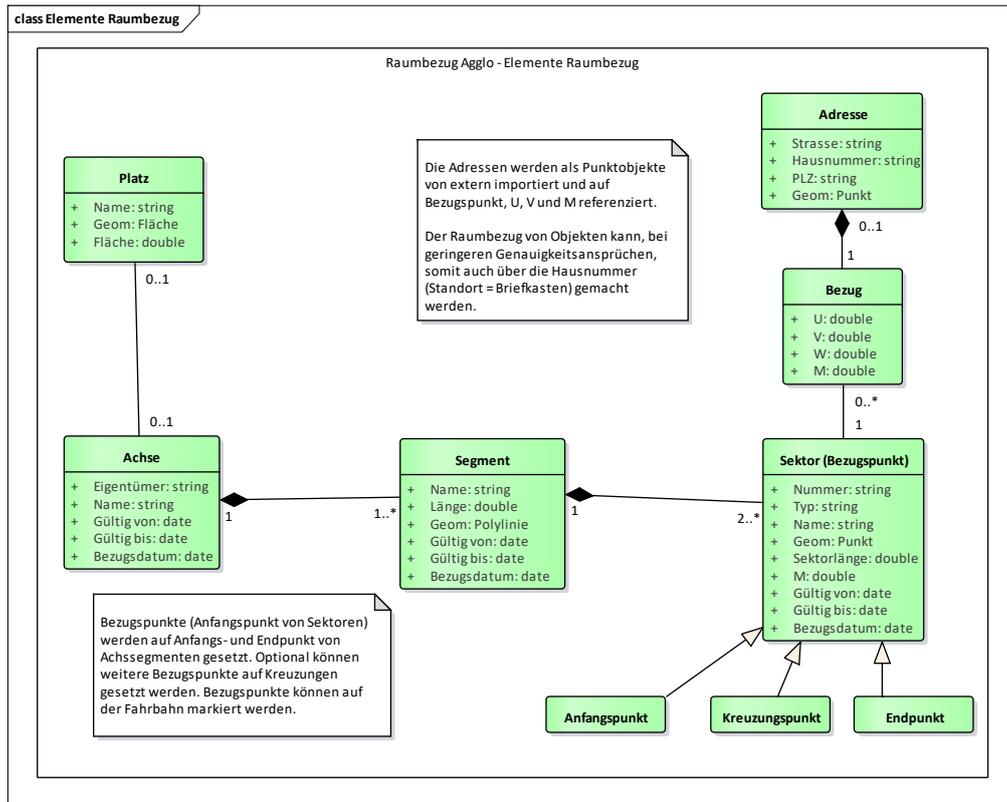


Abb. 22 Konzeptuelles Modell «Elemente Raumbezug»

Bemerkungen:

- Das Modell zeigt die Implementation im Prototyp (s. Kap. 5.3.1)
- Eine Achse besteht aus mindestens einem bis beliebig vielen Segmenten. Ein Segment ist immer genau einer Achse zugeordnet.
- Ein Segment hat mindestens zwei Sektoren (Bezugspunkte) nämlich auf dem Anfangs- und Endpunkt des Segments und kann beliebig viele weitere Sektoren (Kreuzungspunkte) enthalten. Ein Sektor ist immer genau einem Segment zugeordnet.
- Ein Sektor ist eine Generalisierung von Anfangspunkt, Kreuzungspunkt und Endpunkt.
- Ein Platz kann, muss aber nicht eine eigene Achse enthalten.
- Eine Adresse hat nach der linearen Referenzierung der Adresse genau einen Bezug zu einem Sektor. Umgekehrt verwaltet die Klasse Bezug nicht nur Referenzen von Adressen, sondern auch von anderen Objekten im Strassenraum.
- Der Bezug enthält die linearen Koordinaten und besteht aus den Angaben U = Längsdistanz vom nächsten voranliegenden Bezugspunkt zum Lotpunkt des Adresspunkts im Metern, V = Querabstand des Adresspunkts von der Achse (rechts positiv, links negativ), W Höhe des Orts über der Strassenoberfläche rechtwinklig zur Strassenachse, M = Längsdistanz vom ersten Bezugspunkt der Achse. Letztere ist eigentlich redundant, erleichtert aber den Umgang mit den Daten in einem GIS.
- In den Klassen Achse, Segment und Sektor sind die Attribute Gültig von, Gültig bis und Bezugsdatum aufgeführt. Diese werden im Falle von Temporalisierung. Gültig von enthält das Anfangsdatum der Gültigkeit, Gültig bis das Ende der Gültigkeit (bei noch aktueller Gültigkeit leer), Bezugsdatum das Datum seit wann das Objekt bekannt ist (in der Regel das Speicherdatum in der Datenbank).

3-Dimensionalität und Konnektivität

- Ein Segment wird geometrisch als Polylinie 2D oder 3D im kartesischen Koordinatensystem beschrieben.
- Im linearen Bezugssystem wird die 3. Dimension mit dem Wert W ausgedrückt. Dieser enthält den Abstand eines Orts von der Strassenoberfläche rechtwinklig zur Strassenachse (s. auch die Norm VSS 640912 [5]).
- Bei einer Kreuzung kann auf jedem auf dem gleichen Niveau befindlichen Achssegment auf dem Schnittpunkt der Polylinien ein Kreuzungspunkt gesetzt werden. Wichtig ist hier das «kann», d.h. nicht jede Kreuzung muss zwingend mit Kreuzungspunkten gekennzeichnet werden.
- Befindet sich ein kreuzendes Achssegment auf einem anderen Niveau, z.B. bei einer Über- oder Unterführung, enthält dieses Achssegment an dieser Kreuzung keinen Kreuzungspunkt.
- Das Vorhandensein von Kreuzungspunkten gibt demnach einen Hinweis für eine Konnektivität zwischen mehreren Achssegmenten. Für Aspekte der Konnektivität ist jedoch primär die Topologie gemäss Kapitel 5.4 ausschlaggebend. Dort wird die Konnektivität in einem Knoten-/Kanten-Netz explizit modelliert.

5.2.3 Funktionsmodell

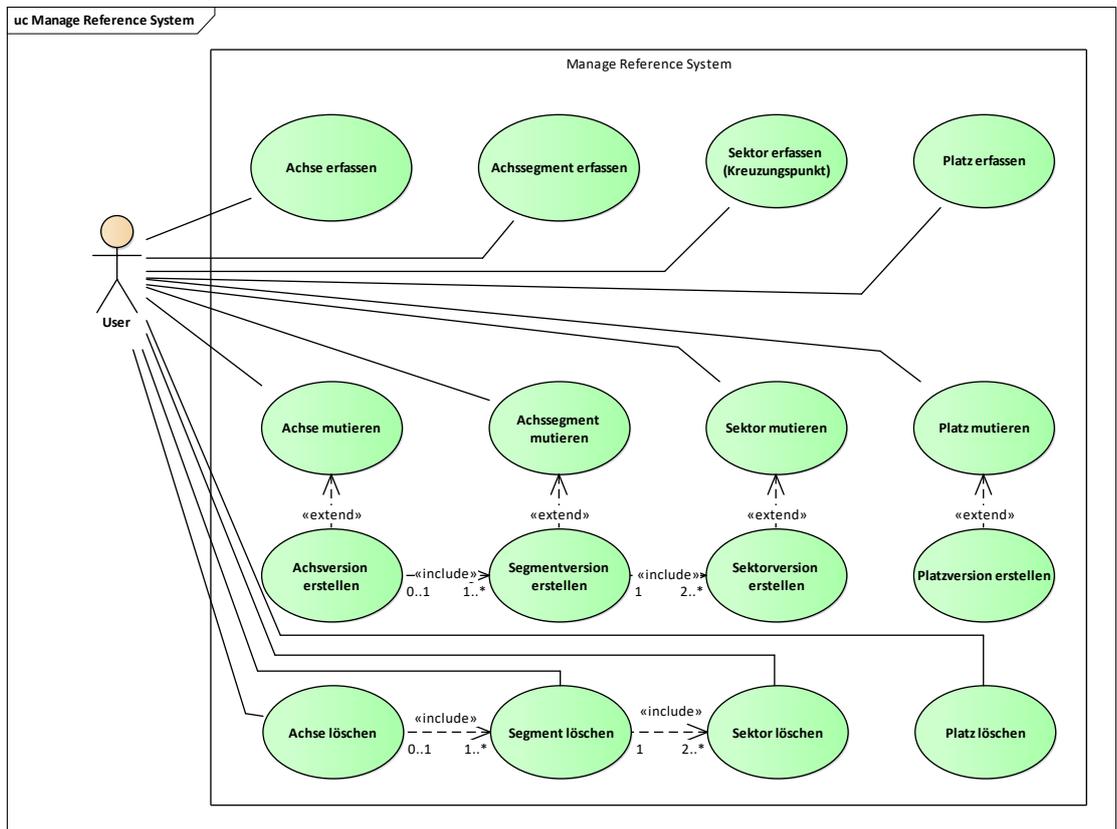


Abb. 23 Anwendungsfälle Erfassung und Nachführung Bezugssystem Agglo

Objekte sollen auch über Adressen referenziert werden können. Dies ergibt meist zwar keine hohe Genauigkeit, kann für gewisse Zwecke aber durchaus ausreichend sein. Insbesondere erleichtert diese Möglichkeit eine rasche unkomplizierte Erfassung (s. auch Kapitel 5.2.1). Damit dies funktioniert müssen jeder für die Referenzierung zu verwendenden Adresse, von welcher die XY(Z)-Koordinaten bekannt sind, die UV(W)-Koordinaten zugeordnet werden. Dieser Anwendungsfall ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

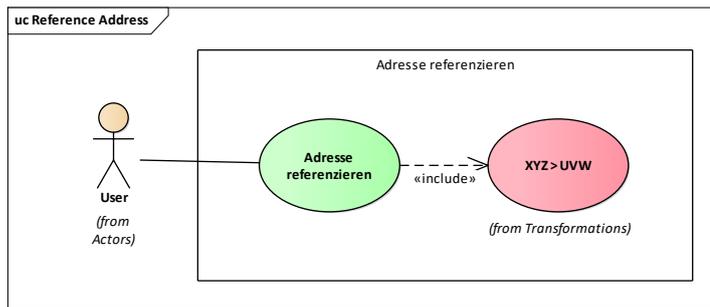


Abb. 24 Adresse referenzieren

Als funktionaler Bestandteil des Bezugssystems Agglo gehört auch ein Satz von Transformationsfunktionen zwischen dem kartesischen System XYZ und dem linearen System UVW. Die folgende Abbildung zeigt diese Funktionen:

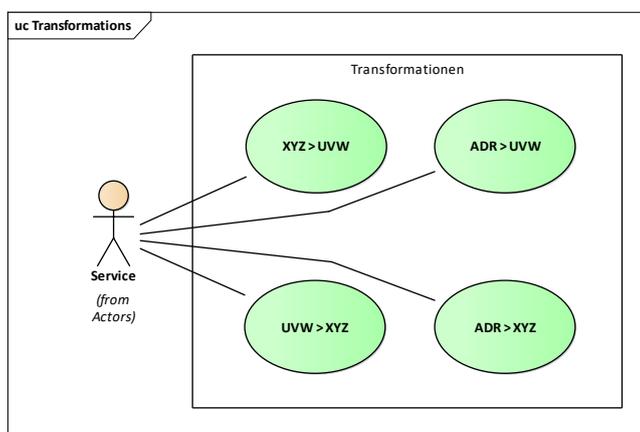


Abb. 25 Transformationsfunktionen

Die Transformationsfunktionen werden typischerweise von einem Service bereitgestellt. Sie umfassen die direkten Transformationen «XYZ > UVW» und «UVW > XYZ». Diese Funktionen werden im Parallelprojekt VSS 2011-713 «Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen gemäss VSS 40911» [19] beschrieben. Für den Agglo-Bereich kann es sinnvoll sein UVW-Koordinaten von Strassenobjekten aus den UVW-Koordinaten von Gebäudeadressen zu bestimmen (Funktion «ADR > UVW») oder in umgekehrter Richtung aus den XYZ-Koordinaten einer Gebäudeadresse die XYZ-Koordinaten eines Objekts herzuleiten (Funktion «ADR > XYZ»). Die Bestimmung von UVW auf der Basis einer Gebäudeadresse ist tendenziell eher ungenau (+/- 2 m), dies kann je nach Anwendung aber ausreichen.

5.2.3.1 Regeln für die Erfassung

Für die Erfassung der Objekte des Bezugssystems gelten die folgenden Regeln:

Achse erfassen:

- Pro Strasse eine Achse mit Attributen ohne Geometrie. Der Strassenname ist für Achsen objektbildend, d.h. alle Achssegmente einer Achse, welche diesen Namen tragen gehören zu einer Achse, auch wenn die Achssegmente geometrisch nicht zusammenhängen.
- Konvention für die Benennung der Achsen: Strassenname

Achssegment erfassen:

- Digitalisierung Achssegment mit Attributen, Geometrie und Zuordnung zu Achse. Auf dem Anfangs- und Endpunkt des Achssegments werden je ein Bezugspunkt (Sektor)

gesetzt. Die Sektorlänge des Anfangspunkts entspricht der Länge des Achssegments, diejenige des Endpunkts ist Null. Die Längendistanz M entspricht der Länge vom Startpunkt des ersten Achssegments der Achse.

- Wenn der Strassenname durchgehend ist, sollten Achssegmente an Kreuzungen und Plätzen, sofern geometrisch zusammenhängend, möglichst nicht unterbrochen werden. Dies ist nicht zwingend, reduziert jedoch den Aufwand für die Erfassung und Nachführung.
- Konvention für die Benennung der Achssegmente: Strassenname gefolgt von einem Doppelpunkt und einer fortlaufenden Nummer, z.B. Badenerstrasse:1, Badenerstrasse:2 usw.
- Der Detaillierungsgrad der Achsen und Achssegmente soll tief gehalten werden, d.h. nur eine Achse mit Achssegmenten für beide Fahrrichtungen einer Strasse und nicht für jede Richtung eine separate Achse. Ausnahme: bei richtungsgetreuten städtischen Autobahnen pro Richtung je eine Achse mit Achssegmenten pro Richtung am linken Fahrbahnrand.
- Weil der Massstabsbereich für die Kartierung von Strassen in Agglomerationen zwischen 1:500 und 1:10'000 liegt, ist eine Geometrie für alle Kartierungen ausreichend. Dies im Gegensatz zu Strassenkarten im übergeordneten Netz, bei dem der Massstabsbereich typischerweise zwischen 1:500 und 1:500'000 liegen kann.
- Gemäss der Norm VSS 40912-1 [6] sollen Achssegmente am Anfang und Ende einen gewissen Überstand aufweisen, damit lineare Lagebezüge von Strassenobjekten über den ganzen Strassenraum eindeutig bestimmt werden können. Dies ist im Agglomerationsbereich ebenfalls zu empfehlen.

Sektor (Bezugspunkt) erfassen:

- Da Anfangs- und Endpunkt automatisch mit dem UC «Achssegment erfassen» erfasst werden geht es im aktuellen UC ausschliesslich um die Erfassung von Kreuzungspunkten auf dem geometrischen Schnittpunkt von zwei oder mehr Achssegmenten. Dabei wird pro Achssegment ein Sektor erzeugt.
- Im Gegensatz zum übergeordneten Netz, wo Sektoren in gleichmässigen Abständen definiert werden, können im Agglomerationsnetz zusätzliche Sektoren in Kreuzungsmitteln (Kreuzungspunkte) platziert werden.
- Als Namenskonvention für Bezugspunkte auf Anfangs und Endpunkt eines Achssegments wurden im Prototyp die ersten 4 Zeichen des aktuellen Achssegments gefolgt von «:» und dessen fortlaufende Nummer, danach «_A» für den Anfangspunkt und «_E» für den Endpunkt gewählt. Als Namenskonvention für Kreuzungspunkte wurden im Prototyp die ersten 4 Zeichen des aktuellen Achssegments gefolgt von «:» und dessen fortlaufende Nummer, danach «/», danach die ersten 4 Zeichen des kreuzenden Achssegments gefolgt von «:» und dessen fortlaufende Nummer.

Platz erfassen:

- Plätze unterscheiden sich von Kreuzungen indem sie einen eigenen Namen und oft auch eine eigene Achse mit ein oder mehreren Achssegmenten haben.
- Platz- oder Kreuzungsflächen führen nicht zur Unterbrechung von Achssegmenten.
- Der Rand von Platzflächen soll die Achssegmente möglichst lotrecht queren.
- Aufweitungen z.B. infolge Abbiegestreifen möglichst in die Platzfläche aufnehmen.
- Trottoirs im Platzbereich in die Fläche aufnehmen.
- Platzflächen bis an die Gebäude am Platz heranziehen.
- Innerhalb von Platzflächen kann es zusätzliche Kreuzungsflächen für die Streifenbildung haben (Raumbezug mit Streifenreferenzierung).

5.2.3.2 Regeln für die Nachführung (Mutationen)

Für die Mutation der Objekte des Bezugssystems gelten die folgenden Regeln:

Achse mutieren:

- Nachführung der Attribute einer Achse
- Die Änderung des Namens einer Achse wird auf die zugehörigen Achssegmente und Sektoren propagiert.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird eine neue Version der Achse erstellt und die zeitliche Gültigkeit der bisherigen Achsversion beendet. Die Versionierung wird auf die zugehörigen Achssegmente und Sektoren propagiert und führt dort ebenfalls zu neuen Versionen.

Achssegment mutieren:

- Nachführung der Attribute und/oder der Geometrie eines Achssegments.
- Die Mutation der Geometrie wird auf die zugehörigen Sektoren und auf die nachfolgenden Achssegmente mit deren Sektoren propagiert.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird eine neue Version des Achssegments erstellt und die zeitliche Gültigkeit der bisherigen Achssegmentversion beendet. Die Versionierung wird auf die zugehörigen Sektoren propagiert und führt dort ebenfalls zu neuen Versionen.

Sektor mutieren:

- Nachführung der Attribute und/oder Geometrie eines Sektors.
- Die Bezüge von Strassenobjekten auf den Sektor werden überprüft und ggf nachgeführt.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird eine neue Version des Sektors erstellt und die zeitliche Gültigkeit der bisherigen Sektorversion beendet.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wirkt sich dies auf Strassenobjekte mit Bezügen zu mutierten Sektoren aus. Ist das Strassenobjekt ein Ereignis, z.B. Unfall, Verkehrsmessung, Belageinbau, werden die Bezüge beibehalten. Ist das Strassenobjekt statischer Art, z.B. Bushaltestelle, Kanaldeckel, werden neue Bezüge auf die mutierten Sektoren erstellt.

Platz mutieren:

- Nachführung der Attribute und Geometrie von Plätzen.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird eine neue Version des Platzes erstellt und die zeitliche Gültigkeit der bisherigen Version beendet.

5.2.3.3 Regeln für die Nachführung (Löschungen)

Für die Löschung der Objekte des Bezugssystems gelten die folgenden Regeln:

Achse löschen:

- Die Achse wird gelöscht und mit ihr alle zugehörigen Achssegmente und Sektoren.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die zeitliche Gültigkeit der Achse und der zugehörigen Achssegmente und Sektoren beendet.

Achssegment löschen:

- Das Achssegment wird gelöscht und mit ihm alle zugehörigen Sektoren. Die Löschung wird auf nicht gelöschte, nachfolgende Achssegmente und deren Sektoren propagiert (Masswerte).
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die zeitliche Gültigkeit des Achssegments und der zugehörigen Sektoren beendet.

Sektor löschen:

- Der Sektor wird gelöscht. Die Löschung wird auf den vorhergehenden Sektor propagiert (Sektorlänge).

- Die Bezüge betroffener Strassenobjekte werden gelöscht.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die zeitliche Gültigkeit des Sektors beendet.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wirkt sich dies auf Strassenobjekte mit Referenzen auf den gelöschten Sektor aus. Ist das Strassenobjekt ein Ereignis, z.B. Unfall, Verkehrsmessung, Belagseinbau, wird der Bezug beibehalten. Ist das Strassenobjekt statischer Art, z.B. Bushaltestelle, Kanaldeckel wird der Bezug gelöscht.
- Gelöschte Bezüge werden benutzerseitig neu erfasst.

Platz löschen:

- Der Platz wird gelöscht.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die zeitliche Gültigkeit des Platzes beendet.

5.3 Referenzierung Strassenobjekte

Der Begriff «Strassenobjekt» ist sehr weit gefasst und umfasst sämtliche Objekte im Strassenraum sowohl oberirdisch wie Kandelbar, Verkehrsschilder, Absperrungen, Fahrleitungen als auch unterirdisch insbesondere Leitungen Gas, Wasser, Abwasser usw.

Heutige Strasseninformationssysteme werden in der Regel mit geografischen Informationssystemen GIS verwaltet, d.h. sämtliche Strassendaten verfügen über eine planare Geometrie in Landeskoordinaten. Die Anbindung von Strassenobjekten ermöglicht zusätzlich die Referenzierung des Objektes mit linearen Koordinaten entlang der Strassenachse in Längs- und Querrichtung. Dies kann von Nutzen sein um Strassenobjekte Achsen eindeutig zuzuordnen oder um Strassendaten in anderen Darstellungen als der Kartendarstellung zu präsentieren, z.B. in Form von Achsbandplänen.

Die Anbindung erfolgt nach denselben Regeln wie im übergeordneten Netz gemäss den Normen VSS 40912 [5] und VSS 40913 [7].

5.3.1 Semantik

Für die Referenzierung der Strassenobjekte wird die im Folgenden beschriebene Semantik verwendet.

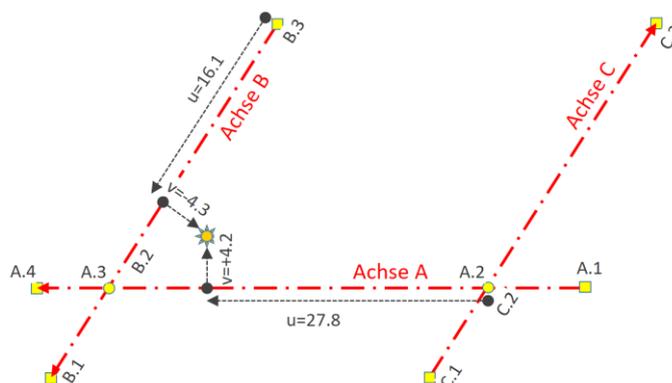


Abb. 26 Semantik «Referenzierung Punktobjekt»

Die Abbildung enthält 3 Achsen mit je einem Achssegment, hier Achse A bis Achse C genannt. Jedes Achssegment enthält je einen Bezugspunkt (Sektor) auf dem Anfangs- und Endpunkt sowie an Kreuzungen pro Achssegment je einen Kreuzungspunkt, links A.3 und B.2, rechts A.2 und C.2.

Im Beispiel wird ein punktförmiges Strassenobjekt, z.B. ein Kandelaber der Achse A und/oder der Achse B zugeordnet.⁷ Die Zuordnung zur Achse A umfasst die Angaben zum Bezugspunkt (Sektor) hier Kreuzungspunkt A.2, den Abstand in Längsrichtung $u=27.8\text{m}$ sowie den Abstand in Querrichtung $v=+4.2\text{m}$. Gemäss VSS 640912 hat der Querabstand in Achsrichtung rechts eine positives, links eine negatives Vorzeichen. Falls fachlich sinnvoll kann der Kandelaber zusätzlich auf Achse B referenziert werden.

Analog werden Linien- und flächenförmige Objekte behandelt, wie die nachfolgende Abbildung zeigt. Im Beispiel werden pro Objekt zwei Bezüge für die maximale Ausdehnung erfasst. Selbstverständlich können auch die Bezüge weiterer Eckpunkte des Objekts erfasst werden.

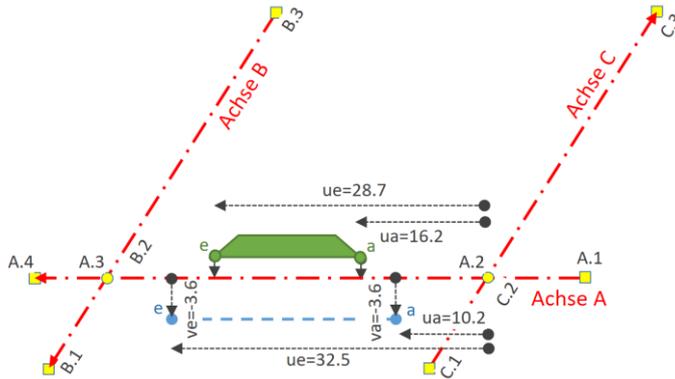


Abb. 27 Semantik «Referenzierung Linien- und Flächenobjekt»

5.3.2 Klassenmodell

In Abb. 28 wird das Klassenmodell für die Referenzierung der Strassenobjekte dargestellt.

⁷ In der Regel genügt die Zuordnung zu einer Achse. Aus konzeptioneller Sicht soll eine Zuordnung zu mehreren Achsen aber möglich sein.

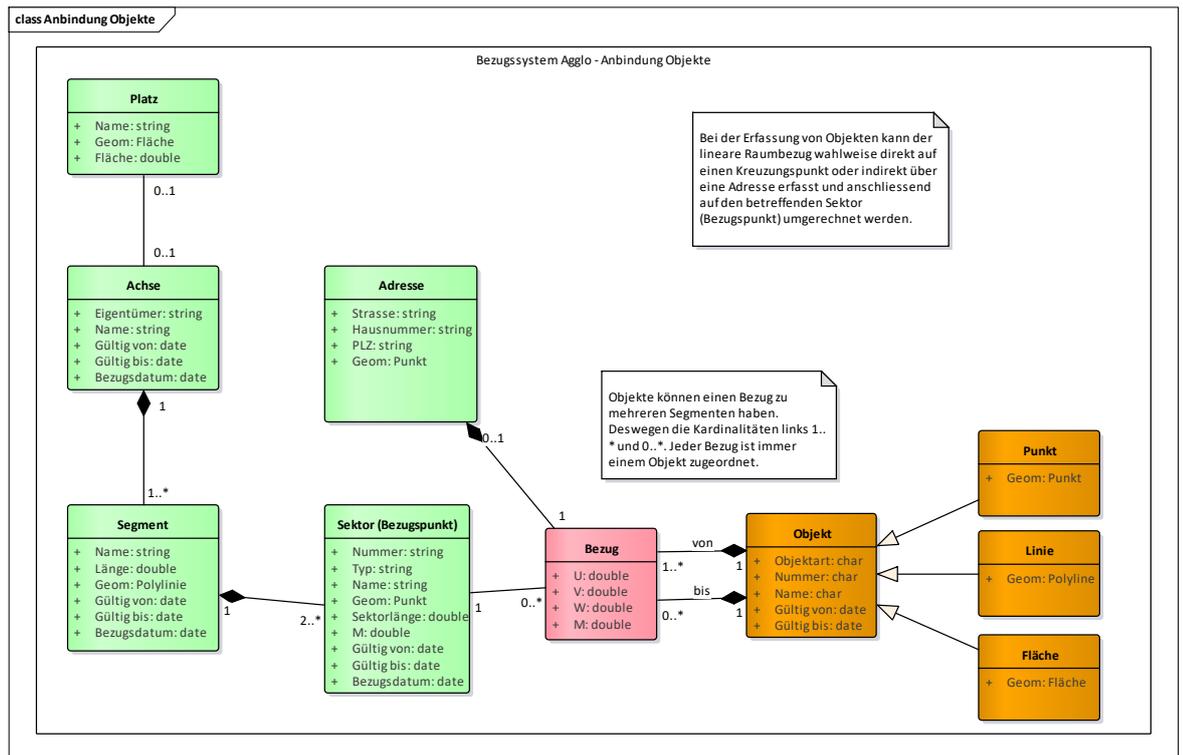


Abb. 28 Konzeptuelles Modell «Anbindung Objekte»

Bemerkungen:

- Die Klassen links in Grün werden in Kapitel 5.2.2 erläutert.
- Rechts in Gelb die generalisierte Klasse «Objekt». Sie steht für beliebige Klassen von Strassenobjekten mit punkt-, linien- oder flächenförmiger Geometrie, z.B. Kandelaber, Verkehrsschilder, Absperrungen, Fahrleitungen, Verkehrsflächen, Bushaltestellen.
- In der Mitte in Rot die Klasse «Bezug», in welcher die linearen Referenzen (Koordinaten) der Objekte und Adressen gespeichert werden. Die Attribute von «Bezug» werden in Kapitel 5.2.2 erläutert.
- Eine linear referenzierte Adresse hat immer genau einen Bezug.
- Ein Objekt kann Bezüge zu mehreren Achsen haben. Linear referenzierte Punktobjekte haben einen Bezug pro Achse, Linien- und Flächenobjekte haben gemäss dem vorgeschlagenen Modell 2 Bezüge pro Achse.
- Optional können auch Adressen für die Bestimmung von Bezügen verwendet werden (s. 5.2.2). Voraussetzung hierfür ist, dass pro Adresse ebenfalls ein Bezug vorhanden ist. Diese werden gemäss dem vorliegenden Konzept ebenfalls in der Klassen «Bezug» gespeichert.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, werden die Attribute der zeitlichen Gültigkeit in der Klasse «Bezug» mit «Gültig von», «Gültig bis» und «Bezugsdatum» ergänzt.

5.3.3 Funktionsmodell

In Abb. 29 werden in einem Funktionsmodell die Anwendungsfälle für die lineare Referenzierung dargestellt.

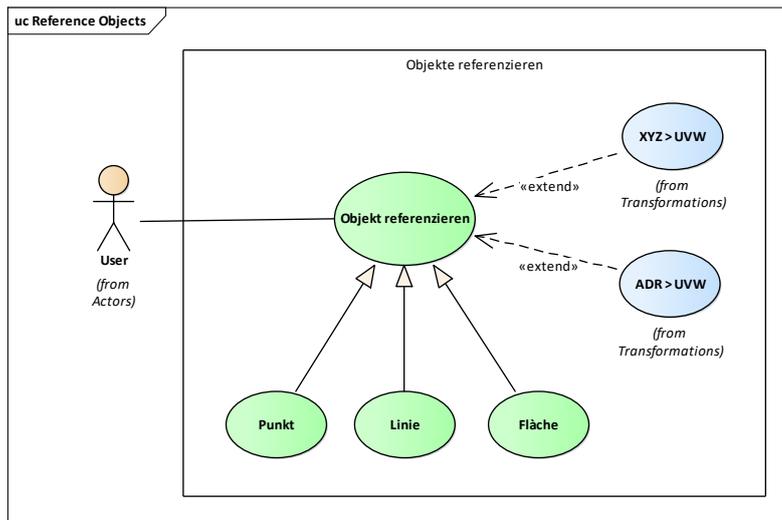


Abb. 29 Anwendungsfälle lineare Referenzierung

5.3.3.1 Regeln für die Erfassung

Für die lineare Referenzierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten werden die folgenden Regeln definiert:

- Die in der Abbildung in Grün gezeigten Anwendungsfälle erstellen die linearen Bezüge für die punkt-, linien- und flächenförmigen Strassenobjekte. Die Ergebnisse werden in der Beziehungsklasse «Bezug» gespeichert.
- Die Anwendungsfälle in Blau beinhalten die Funktionen für die Bestimmung der UVW-Koordinaten nämlich die Funktion «XYZ > UVW» für die Transformation des Orts XYZ im planaren System zur Lage im linearen System UVW sowie die Funktion «ADR > UVW» für die Bestimmung von UVW auf der Basis der UVW-Koordinaten einer Gebäudeadresse.

5.3.3.2 Regeln für die Nachführung (Mutationen)

Die Regeln für die Nachführung (Mutationen) sind in der Abbildung nicht explizit dargestellt, sondern werden nachstehend verbal erläutert.

- Wird die Geometrie eines Strassenobjekts verändert, müssen die Bezüge neu gerechnet werden.
- Wird ein Strassenobjekt gelöscht, werden auch die Bezüge des Objekts gelöscht (Aggregation).
- Wird das Achssegment auf welches sich das Strassenobjekt bezieht verändert, müssen die Bezüge neu gerechnet werden. Dies betrifft folgende Änderungen:
 - Änderung der Geometrie des Achssegments.
 - Änderung der Sequenz des Achssegments bei Achsen mit mehreren Segmenten.
 - Einfügen eines neuen Bezugspunkts (Sektor) zwischen dem bisherigen Bezugspunkt und der Position des Strassenobjekts.
 - Veränderung der Lage des referenzierten Bezugspunkts.
 - Löschung des referenzierten Bezugspunkts.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die Gültigkeit des bisherigen Bezuges beendet und bei einer Mutation ein neuer Bezug mit offener zeitlichen Gültigkeit eingefügt.

5.3.3.3 Regeln für die Nachführung (Löschungen)

Die Regeln für die Nachführung (Löschungen) sind in der Abbildung nicht explizit dargestellt, sondern werden nachstehend verbal erläutert.

- Wird ein Strassenobjekt gelöscht, werden auch die Bezüge des Objekts gelöscht (Aggregation).
- Wird das Achssegment gelöscht, werden auch die Bezüge gelöscht.
- Wird der Datenbestand temporalisiert, wird die Gültigkeit des bisherigen Bezuges beendet.

5.4 Netze und ihre Topologie

Das in Kap. 5.2 definierte Bezugssystem Agglomeration ist vollständig kompatibel mit dem Bezugssystem für das übergeordnete Netz. Es unterscheidet sich nur dadurch, dass Sektoren (Bezugspunkte) auf dem Schnittpunkt von zwei sich kreuzenden Achssegmenten und nicht wie im übergeordneten Netz in gleichmässigen Abständen, z.B. alle 1 Km oder alle 200m gesetzt werden. Demzufolge behalten die in der Norm VSS 40914 «Linearer Bezug – Netze und ihre Topologie» festgelegten Konzepte auch für die Bezugssysteme in Agglomerationen ihre Gültigkeit. Die wichtigsten Grundsätze seien in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

5.4.1 Semantik

Die Norm VSS 40914 [8] unterscheidet zwischen:

- Abschnittsnetz ist ein Netz dessen Knoten sich an Verkehrsknoten befinden. Es eignet sich vor allem für Informationen zu Strassen mit gleichbleibenden Informationen zwischen den Verkehrsknoten, z.B. DTV-Abschnitte, Abschnitte für den Unterhalt.
- Streckennetz ist ein Netz mit Strecken deren Anfangs- und Endpunkte an beliebigen Orten auf den Achssegmenten liegen können. Es eignet sich vor allem für Informationen zu Strassen mit gleichbleibenden Informationen zwischen den Orten auf den Achssegmenten, z.B. signalisierte Geschwindigkeiten, Strassenbreiten usw.

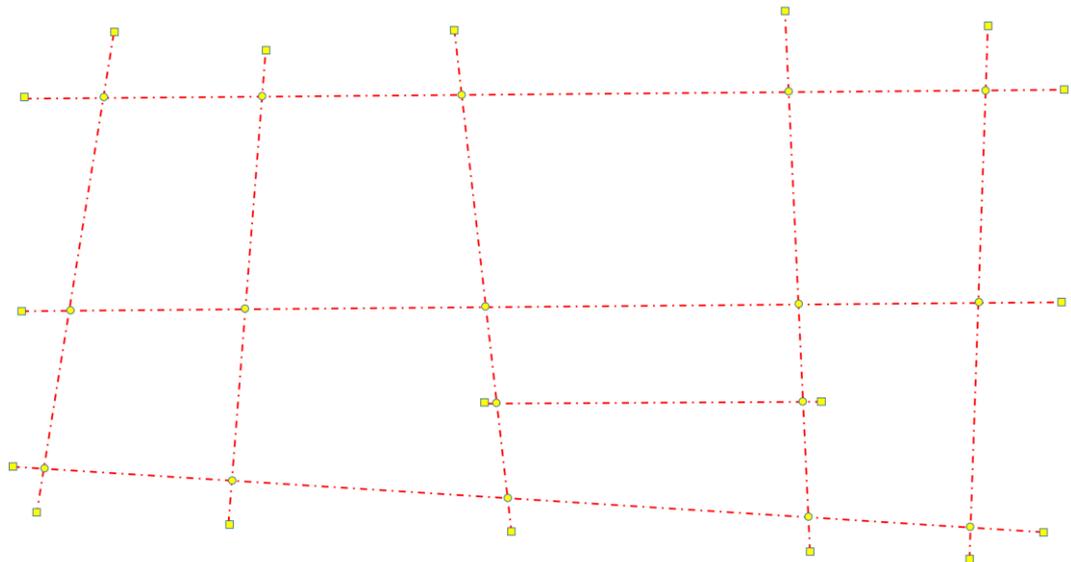


Abb. 30 Typisches städtisches Strassennetz

Die Abb. 30 zeigt das Bezugssystem eines typischen städtischen Strassennetzes mit Achsen, Achssegmenten und Sektoren (Bezugspunkten). Letztere differenziert als Anfangs-

und Endpunkten von Achssegmenten und den Kreuzungspunkten. Zu beachten ist, dass es an jeder Kreuzung für jedes Achssegment einen Kreuzungspunkt gibt.

NB: Kreuzungspunkte sind nicht zwingend an jeder Kreuzung erforderlich, sondern nur da, wo sie für die Referenzierung von Strassenobjekten oder Knoten sinnvoll sind.

Auf dieses Achsnetz werden nach den Bedürfnissen der Fachbereiche die Abschnitts- und Streckennetze gelegt.

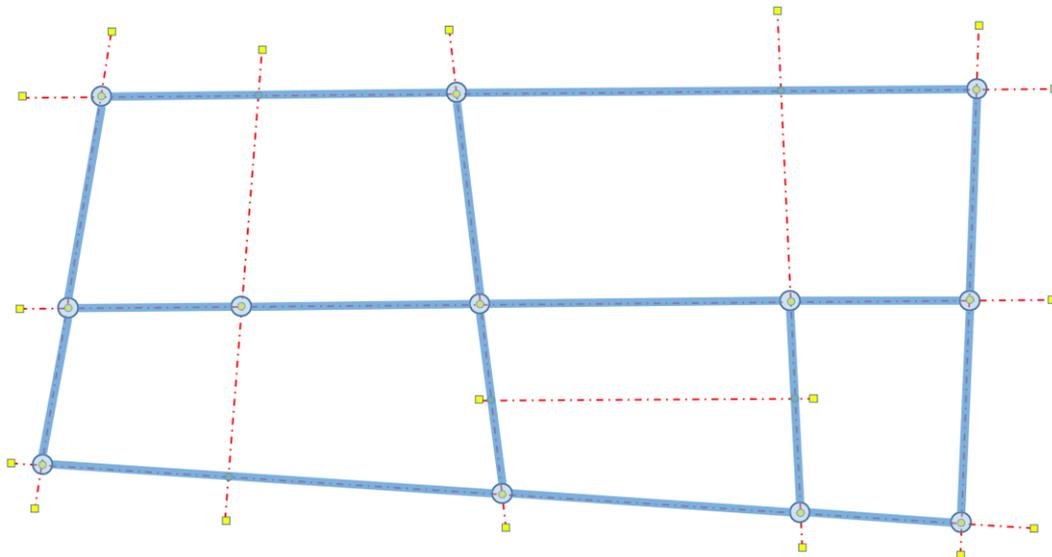


Abb. 31 Abschnittsnetz mit Knoten und Kanten für Modellberechnungen

Die Abb. 31 zeigt in Blau die Knoten und Kanten eines Abschnittsnetzes, z.B. als Input für die Berechnung des Verkehrsaufkommens mittels eines Verkehrsmodells. Die Knoten des Netzes befinden sich auf Kreuzungspunkten, d.h. der lineare Bezug verweist direkt auf die Orte der Kreuzungspunkte mit $U=0$ und $V=0$.

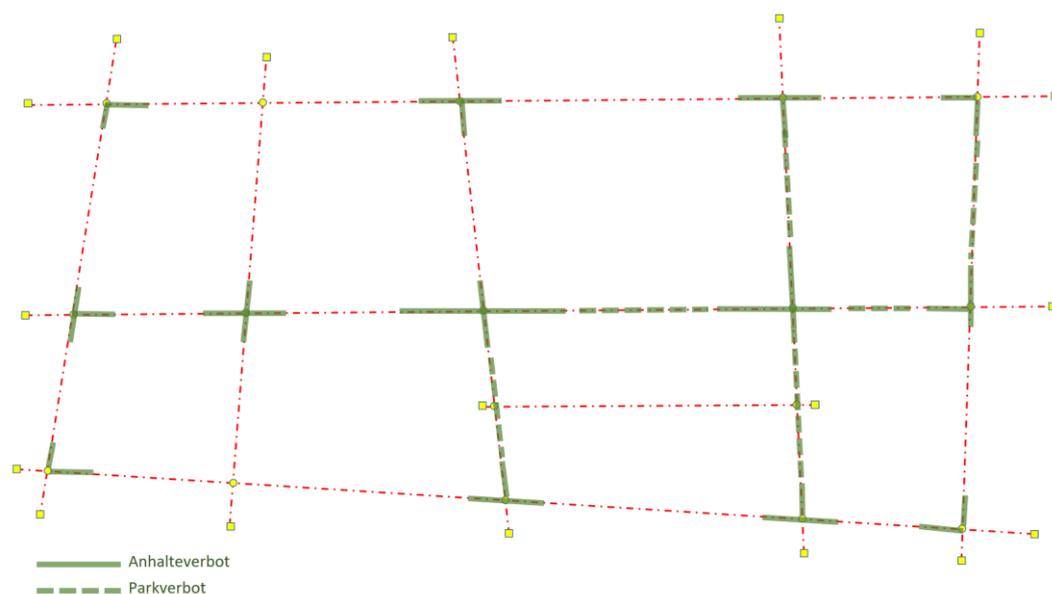


Abb. 32 Streckennetz mit Anhalte- und Parkverboten

Die Abb. 32 zeigt in Grün die Strecken eines Streckennetzes, z.B. mit den Angaben für Anhalte- und Parkverbote. Anfangs- und Endpunkte der einzelnen Strecken beziehen sich auf den direkt vorangehenden Sektor (Bezugs- oder Kreuzungspunkt) mit $U>0$ und $V=0$.

5.4.2 Klassenmodell

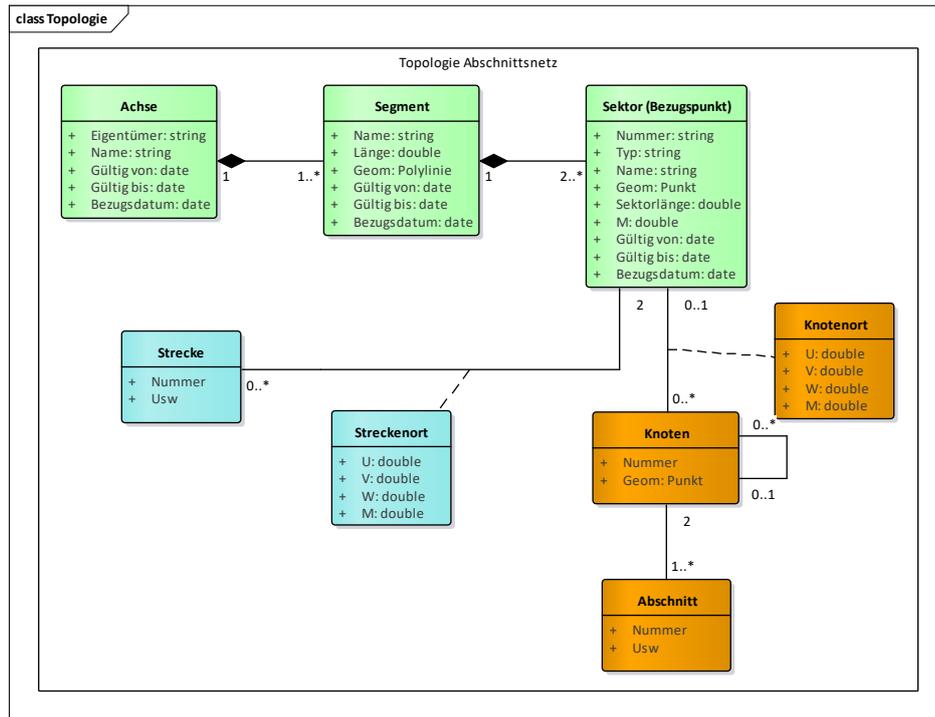


Abb. 33 Streckennetz mit Anhalte- und Parkverboten

Abb. 33 zeigt die Klassen für ein Abschnittsnetz. Ein Abschnitt wird am Anfang und Ende von einem einfachen Knoten begrenzt. Jeder einfache Knoten ist über den Knotenort mit einer der beteiligten Achssegmente bzw. einem Sektor mit dem Bezugssystem verknüpft. Gemäss VSS 40914 [8] können mehrere einfache Knoten zu einem komplexen Knoten zusammengefasst werden. Mehrere komplexe Knoten können wiederum in einer nächsthöheren Ebene zu einem komplexen Knoten zusammengefasst werden.

In der Abbildung in Blau die Klassen für ein Streckennetz. Eine Strecke ist durch zwei Streckenorte am Anfang und Ende der Strecke im Bezugssystem referenziert.

Die weiteren Attribute von Abschnitt und Strecke können nach den Bedürfnissen der Fachbereiche definiert werden. Je nach Anforderungen der Fachbereiche, z.B. zu Darstellungszwecken, können Abschnitte und Strecken mit einer eigenen Geometrie ergänzt werden.

5.5 Schnittstelle Streifenreferenzierung

Das Konzept für den Raumbezug in Agglomerationen gemäss Kap. 5.2 setzt bewusst auf ein einfaches Modell mit Plätzen, Strassenachsen und Kreuzungspunkten. Für eine Verfeinerung für einzelne Fahrstreifen wird eine Erweiterung gemäss dem Konzept «Raumbezug mit Streifenreferenzierung», Forschungsauftrag VSS 2011-715, Forschungsbericht 1637 von August 2018 [38] vorgeschlagen.

5.5.1 Semantik

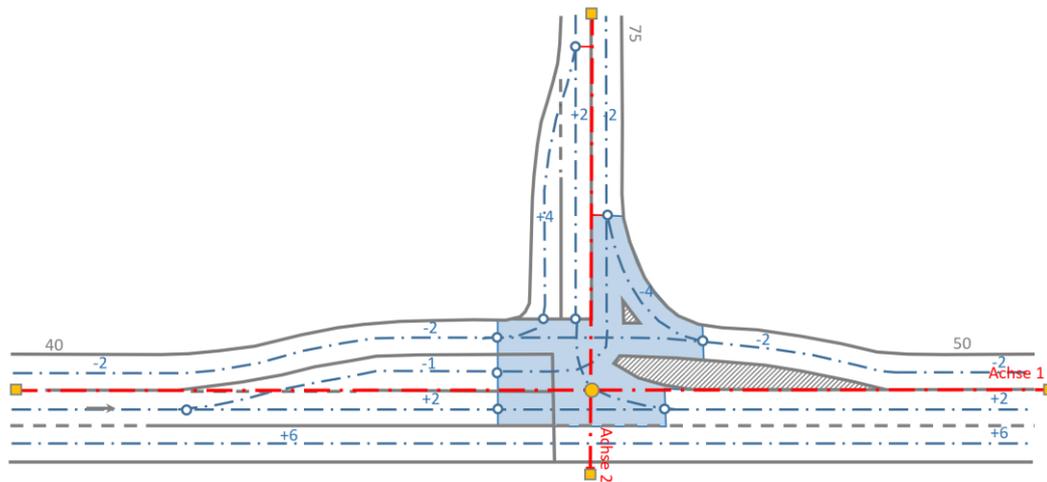


Abb. 34 Modellkreuzung aus «Raumbezug mit Streifenreferenzierung»

In der Abb. 34 sind in Rot die Achsen, in Gelb die Bezugs- und Kreuzungspunkte dargestellt. Die Elemente in Blau sind Teil der Streifenreferenzierung mit der Kreuzungsfläche, den Streifenachsen und Streifenpunkten. Letztere markieren Anfang und Ende eine Streifenachse. Die lineare Lage der Streifenpunkte ist durch die Referenz auf die Bezugspunkte der Strassenachse gegeben. Die Streifenachsen haben eine eigene Geometrie.

Die nachfolgende Abb. 35 zeigt ein konkretes Beispiel in der Stadt Genf.

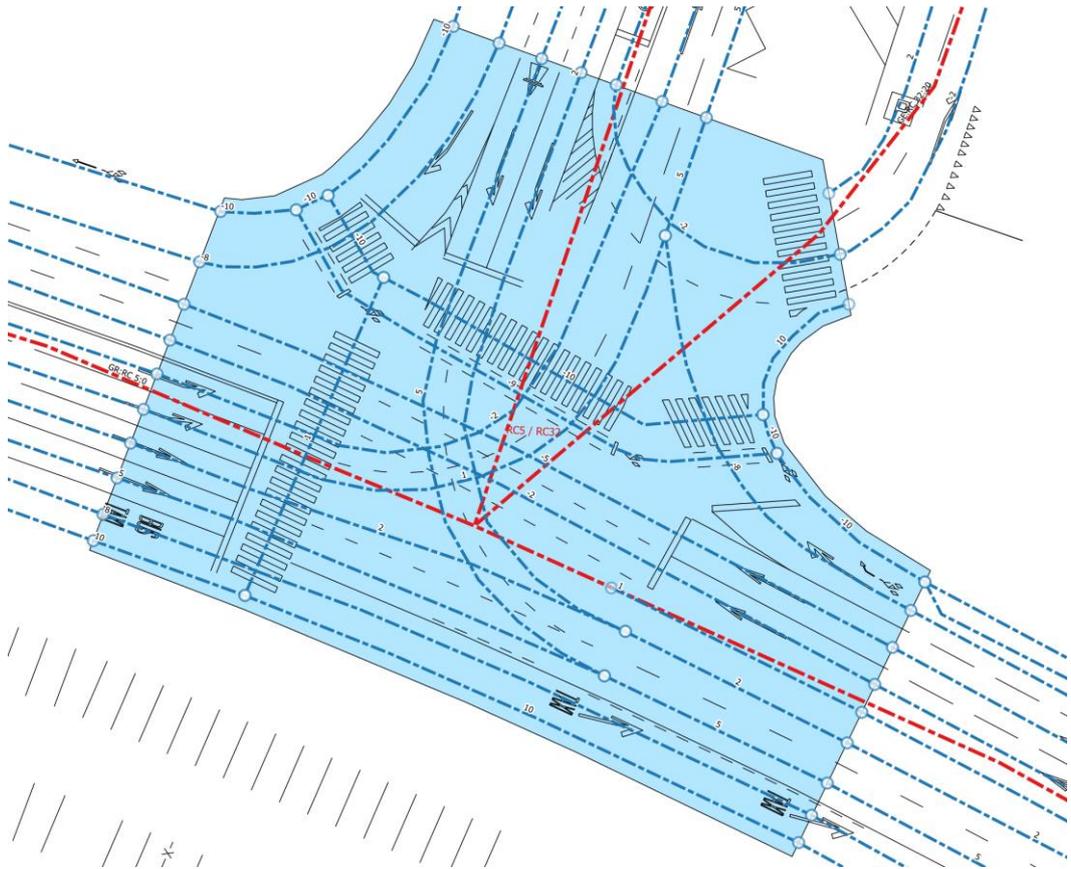


Abb. 35 Streifenreferenzierung am konkreten Beispiel in der Stadt Genf

5.5.2 Klassenmodell

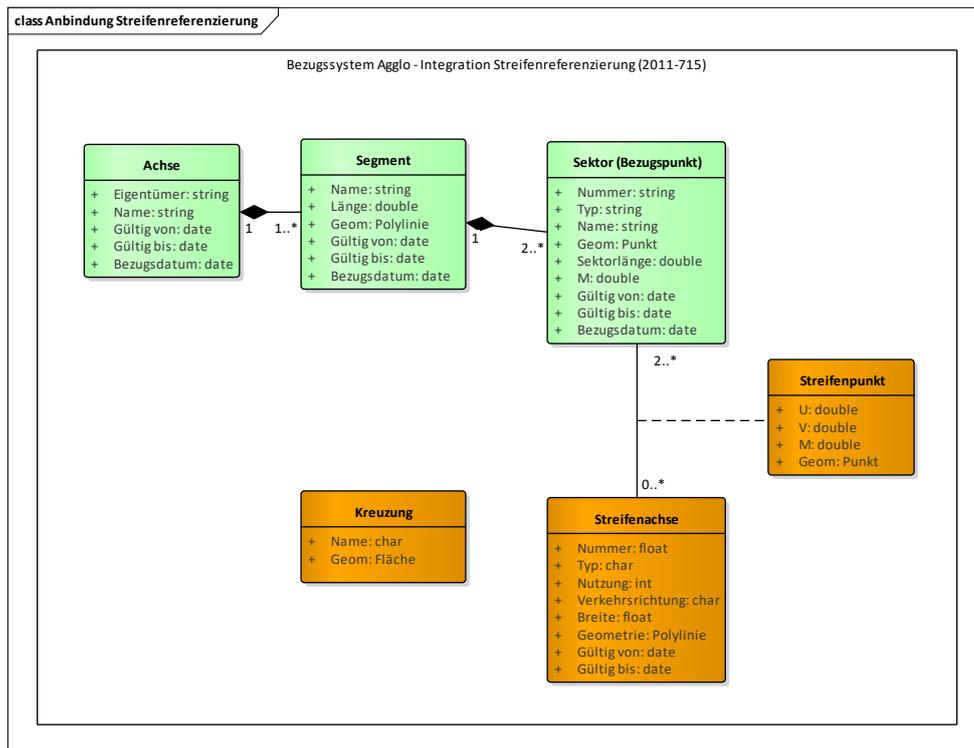


Abb. 36 Konzeptuelles Modell «Integration Streifenreferenzierung»

Bemerkungen zu Abb. 36:

- Die Klassen oben in Grün sind die Grundelemente des Bezugssystems Agglomeration und werden in den Bemerkungen Kap. 5.2.2 erläutert.
- Unten in Gelb die Klassen aus «Raumbezug mit Streifenreferenzierung».
- Eine Streifenachse enthält über die assoziative Klasse Streifenpunkt die Bezüge zu den Bezugspunkten (Sektoren) eines Achssegments.

7 Validierung / Proof of Concept

Der Proof of Concept erfolgt in Form eines Prototyps als WebGIS-Applikation.

7.1 Anwendungsfälle

Im Sinne von Grundfunktionen wurden zwei Tracker-Funktionen implementiert, welche es erlauben für einen beliebigen Ort in XY die linearen Koordinaten UV und M⁸ (UV-Tracker) bzw. im umgekehrter Richtung für einen Ort in linearen Koordinaten UV die XY-Koordinaten bezogen auf ein selektiertes Achssegment anzuzeigen (Abb. 37).

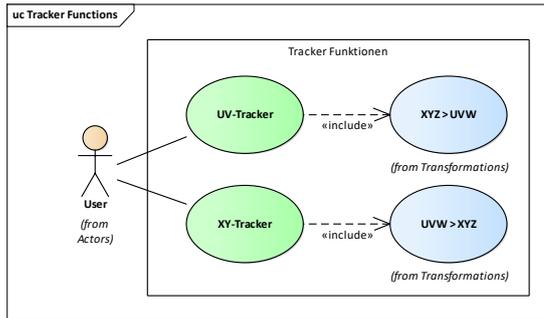


Abb. 37 Tracker-Funktionen

Der XY-Tracker umfasst die Transformation von linearen Koordinaten UVM in XY. Hierzu selektiert der/die Benutzer/-in im GIS ein Achssegment und startet die XY-Tracker-Funktion, gibt dort die linearen Koordinaten Sektor-Nummer, U und V ein, worauf der Tracker die XY-Position als Marker in der Karte anzeigt.

Abb. 38 zeigt die im Prototyp realisierten Funktionen für die Referenzierung von bestehenden Strassenobjekte einerseits die direkte Bestimmung aus XY, andererseits die Bestimmung über eine Gebäudeadresse.

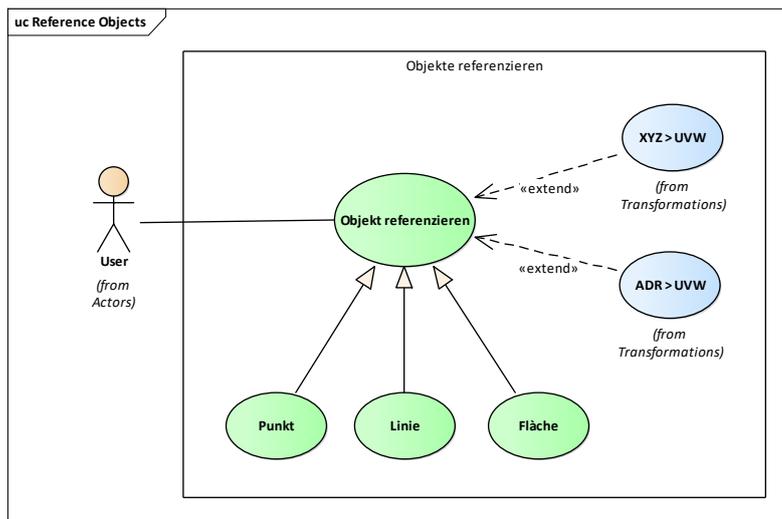


Abb. 38 Anwendungsfälle lineare Referenzierung

⁸ M ist die Distanz vom ersten Punkt des ersten Achssegments zur aktuellen Position. M leitet sich aus der Summe der Längen der vorangehenden Sektoren plus U ab und ist somit redundant, erleichtert jedoch den Umgang mit den Daten in GIS-Systemen.

Mit diesen Anwendungsfällen soll gezeigt werden, wie bestehende Strassenobjekte in Punkt-, Linien- oder Flächenform linear auf das bestehende Bezugssystem Agglomeration bezogen werden kann. Hierzu wählt der/die Benutzer/in im GIS das zu referenzierende Strassenobjekt und das Achssegment, auf welches das Strassenobjekt bezogen werden soll. Das System zeigt die Referenz grafisch an und speichert diese in die Klasse «Bezug». Bei linien- und flächenförmigen Objekten wählt der/die Benutzer/-in die beiden zu referenzierenden Punkte des Strassenobjekts aus.

7.2 Gebiet

Als Gebiet wurden Daten von Plätzen und Strassen in der Stadt Zürich gewählt (Abb. 39).

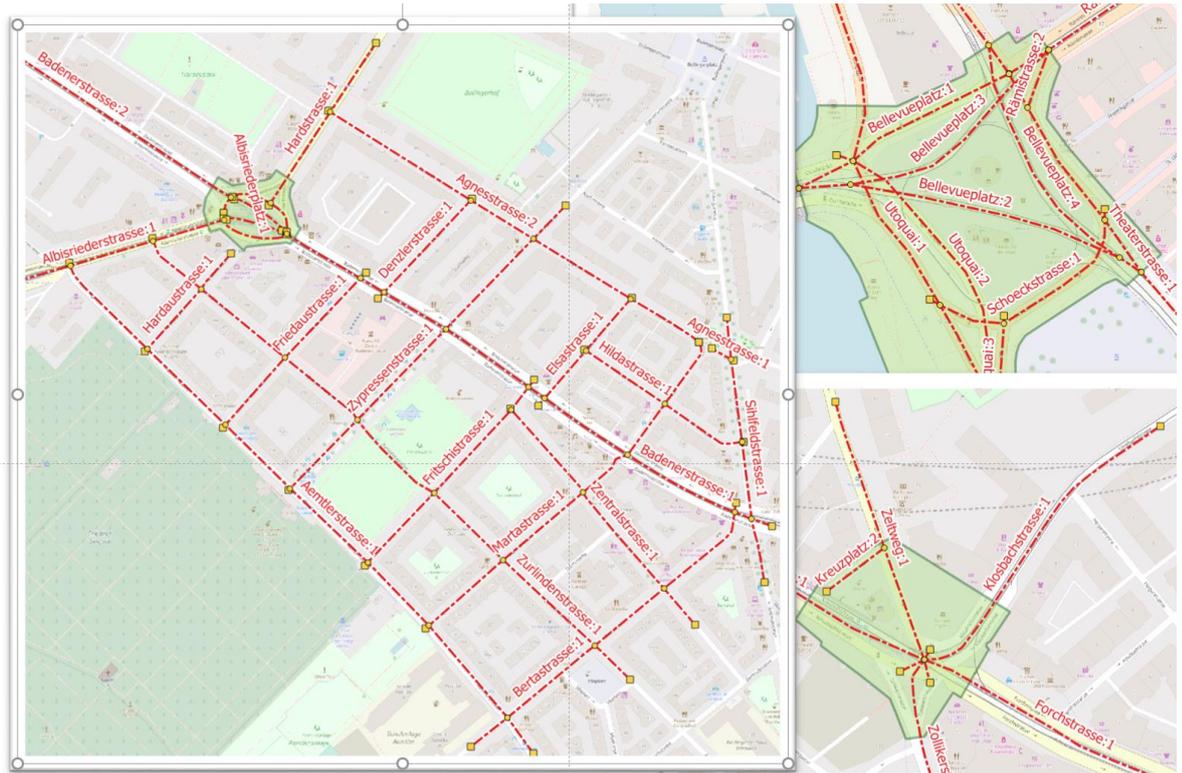


Abb. 39 Gebiet Prototyp

7.3 Prototyp

7.3.1 Softwarearchitektur

Der Prototyp wurde als WebGIS-Applikation mit PostgreSQL als Datenbank, ASP.NET und OGC Services im Application Server und OpenLayers als User-FrontEnd implementiert.

Die detaillierte Erläuterung der Softwarearchitektur ist aus Anhang IV.1 ersichtlich.

7.3.2 Grafische Benutzeroberfläche GUI

Der Prototyp kann mit einem WebBrowser⁹ über die URL <http://imc-ch.ch/agglomeration/> aufgerufen werden (Abb. 40).

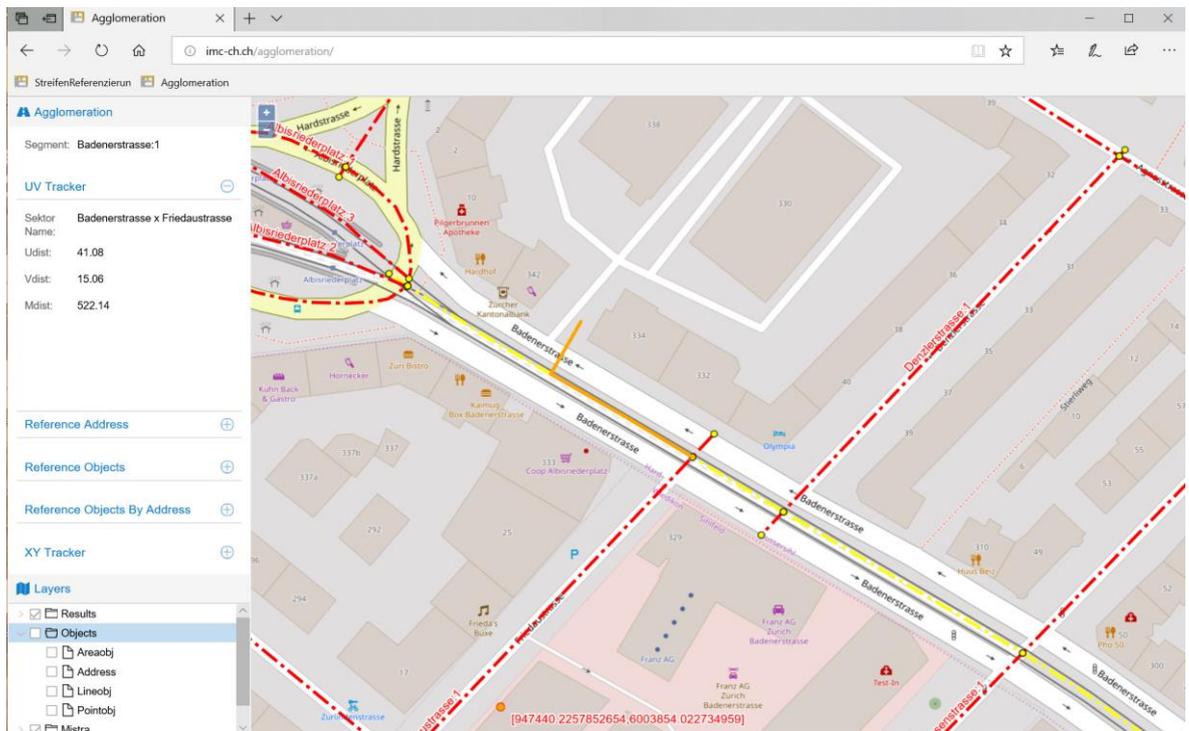


Abb. 40 Grafische Benutzeroberfläche GUI

Anhang IV.2 enthält eine Benutzeranleitung des Prototyps.

7.4 Anwendung in der Praxis

7.4.1 Erfassung und Nachführung

Das Bezugssystem ist relativ einfach aufgebaut und intuitiv in der Handhabung. Die Achsen werden mittig zwischen den Bordsteinen erfasst, unabhängig von der Anzahl Streifen. Jede Strasse hat somit «nur» eine Achse¹⁰. Der Name der Strasse bestimmt die Ausdehnung der Achse. Bei Unterbrüchen des Strassennamens wird die Achse in Achssegmente unterteilt. Die Richtung der Achsen verläuft in Richtung aufsteigender Hausnummerierung.

Die Verwendung von Bezugspunkten (Sektoren) ist fakultativ. Anfangs- und Endpunkt eines Achssegments erhalten je einen virtuellen Bezugspunkt. Zusätzliche Bezugspunkte werden auf dem Schnittpunkt zweier sich kreuzender Achssegmente gesetzt (pro Achssegment ein Bezugspunkt). Dadurch können Strassenobjekte auf Kreuzungen referenziert werden. Die Bezugspunkte können auf der Fahrbahn markiert werden. Dies erleichtert die Erfassung und Absteckung von Strassenobjekten auf der Basis von linearen Koordinaten U und V. Werden Strassenobjekte via GPS in Landeskoordinaten erfasst oder abgesteckt, können die linearen Koordinaten mittels Transformation¹¹ ergänzt werden und stehen so verschiedenen Auswertungen im Längensprofil oder Achsband usw. zur Verfügung.

⁹ Das Projektteam hat mit den Browsern Chrome und Microsoft Edge 17 gearbeitet.

¹⁰ Ausnahme: städtische Autobahnen mit baulicher Richtungstrennung.

¹¹ Siehe Anwendungsfall «UV-Tracker» im Prototyp

Ein zusätzliches fakultatives Element des Bezugssystems Agglomeration sind Gebäudeadressen, welche geocodiert vorliegen. Die Idee ist damit Strassenobjekte auf der Basis einer Gebäudeadresse zu referenzieren. Jede in XYZ bekannte Gebäudeadresse benötigt hierzu auch die linearen Koordinaten UVW¹². Jede Gebäudeadresse entspricht somit einer Art Hilfsbezugspunkt, über welchem die linearen Koordinaten UVW von Strassenobjekten bezogen auf reale Bezugspunkte bestimmt werden können¹³.

Das Bezugssystem Agglomeration bestehend aus Achsen und Bezugspunkten wird als das primäre Bezugssystem bezeichnet. Es ist möglich dieses Bezugssystem mit der Streifenreferenzierung als sekundäres Bezugssystem zu verfeinern. Dies wird im Parallelprojekt «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» [38] beschrieben.

7.4.2 Anwendung

Der Prototyp zeigt beispielhaft, wie das Bezugssystem Agglomeration in der Praxis eingesetzt werden kann. Im Vordergrund stehen die Anwendungsfälle

- «UV-Tracker» Bestimmung der UV-Koordinaten eines beliebigen Orts in der Karte für ein vorbestimmtes Achssegment.
- «Reference Objects» Bestimmung der UV-Koordinaten von einem oder mehreren Punkten der Geometrie eines in XY bekannten Strassenobjekts für ein vorbestimmtes Achssegment.
- «Reference Objects by Address» analog «Referenz Objects», jedoch über eine vorhandene Adresse.

Wichtig bei diesen Anwendungsfällen ist, dass zunächst das Achssegment, zu welchem die UV-Koordinaten bestimmt werden sollen, selektiert wird. Dies erlaubt es die Transformation der Koordinaten sehr direkt in Angriff zu nehmen und macht das Antwortzeitverhalten der Transformation weitgehend unabhängig von der Anzahl Achssegmente in der Datenbank. Die Alternative, dass die Anwendungsfälle zunächst selber das am nächsten liegende Achssegment bestimmen und für die Transformation verwenden hat sich als nicht praxistauglich erwiesen. Sie würde die Antwortzeit verlängern und nicht immer das gewünschte Resultat liefern. Die Antwortzeit für eine Transformation liegt im Prototyp bei einem Bruchteil einer Sekunde und lässt ein flüssiges Arbeiten zu.

Liegt der zu transformierende Ort weit weg vom Achssegment, macht die Anwendung keinen Sinn. In innerörtlichen Verhältnissen liegt die Limite bei einem Querabstand > 50 m.

Ebenfalls kritisch ist die Transformation bei stark gekrümmten Achssegmenten, z.B. bei Kreiseln. Die Transformation kann hier zu mehreren Ergebnissen führen. In diesen Fällen soll der/die Benutzer/Benutzerin eine von den vorgeschlagenen Möglichkeiten auswählen können.

Bei der Referenzierung von Strassenobjekten, welche sich über mehrere Achssegmente erstrecken, kann eine Aufteilung auch der Bezüge sinnvoll sein. Auch muss es möglich sein ein Strassenobjekt auf verschiedene Achssegmente zu referenzieren, z.B. bei einem Kandelaber an einer Kreuzung. Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, die Anzahl der Bezüge eines Strassenobjekts nicht zu limitieren. Im Prototyp wurde die Anzahl Bezüge von punktförmigen Objekten auf einen Bezug und von linien- und flächenförmigen Objekten auf zwei Bezüge pro Objekt limitiert, was sich im Nachhinein als zu wenig praxisorientiert herausstellt.

¹² Siehe Anwendungsfall «Reference Address» im Prototyp

¹³ Siehe Anwendungsfall «Reference Objects by Address» im Prototyp

7.4.3 3. Dimension

Mit dem Prototyp wurde die Verwendung der 3. Dimension nicht getestet. Die Achssegmente wurden für den Prototyp nur in 2D erfasst. Eine Erweiterung der Transformationsfunktion, welche bei wenig kuperten Strassenverhältnissen eine gute Annäherung bietet, ist relativ einfach möglich.

Definitionen:

Z Höhe eines Orts in m über NN

W Lotrechter Abstand von der Fahrbahnachse zum Ort (siehe VSS 40913)

Transformationen:

Z → W Bestimmung des Orts durch Lot auf Achse (ergibt U und V)

Interpolation von Z des Lot-Fusspunktes zwischen Z der Bezugspunkte

$$W^{\text{Ort}} = Z^{\text{Ort}} - Z^{\text{Fusspunkt}}$$

W → Z Interpolation von Z des Lot-Fusspunktes zwischen Z der Bezugspunkte

$$Z^{\text{Ort}} = Z^{\text{Fusspunkt}} + W^{\text{Ort}}$$

8 Schlusswort

8.1 Diskussion

Aufbauend auf einer Analyse der derzeitigen Praxis in den Städten und Gemeinden der Schweiz sowie unter Beachtung der Kompatibilität mit den RBBS-Achsen der übergeordneten Strassen wurde ein Modell für ein Bezugssystem im Agglomerationsbereich entwickelt und in einem Prototyp umgesetzt. Neben dem abgebildeten Modell wurden auch alternative Varianten analysiert und in ihren Grundzügen beschrieben. Die Auswahl der Bestvariante, welche dann detailliert ausgearbeitet wurde, erfolgte auf einem Katalog von Kriterien, welche die Anforderungen der Strassenbetreiber im Agglomerationsbereich abbilden. Zentraler Unterschied der verschiedenen Varianten ist die Anzahl und Lage der Achsen einer Strasse. Die gewählte Variante wurde als diejenige befunden, welche die Anforderungen am besten erfüllt und ausserdem gut kompatibel mit den bereits im Einsatz befindlichen Systemen sowie mit der im Projekt VSS 2011-715 entwickelten Methodik der Streifenreferenzierung ist. Unabhängig davon, kann ein Strassenbetreiber auf der Basis einer Analyse der jeweiligen spezifischen Randbedingungen auch eine andere der vorgestellten Varianten wählen. Daher wurde neben der gewählten Variante Randsteinmitte insbesondere auch die Verwendung der TLM Achsen in den Grundlagen definiert.

Als zusätzliche, praktisch einfach umzusetzende Option wurde die Referenzierung von Objekten über die Adressen vorgeschlagen. Damit können die Strassen und Hausnummern als innerorts bereits flächendeckend physisch vorhandene Referenzpunkte genutzt werden. Dazu ist es vorgängig erforderlich, die Positionen der Hausnummern (entscheidend sind die Postkästen) auf die Achsen zu referenzieren. Darauf aufbauend kann dann vor Ort der Bezug zur nächstgelegenen Adresse einfach hergestellt werden.

In der Umsetzung im Prototyp konnte gezeigt werden, dass alle relevanten Anwendungsfälle umgesetzt werden konnten. Die Methodik liefert eine einfache und doch ausreichend genaue Möglichkeit zur Referenzierung aller relevanten Strassenobjekte.

8.2 Wichtige Erkenntnisse / Schlussfolgerungen

Es wurde eine Konzeption zur Definition und Nachführung eines Bezugssystems im Agglomerationsbereich entwickelt mit der ein einheitlicher Rahmen für die Anwendung in den Städten und Gemeinden der Schweiz zur Verfügung steht. Insbesondere wurden einheitliche Regeln für die Definition des linearen Bezugs über Achsen und Achssegmente und des topologischen Bezugs mit Knoten und Abschnitten festgelegt. Dabei wurden auch spezielle Situationen im Agglomerationsbereich wie Plätze, komplexe Kreuzungen und Kreisel berücksichtigt.

Mit dem vorgeschlagenen Konzept sind werden insbesondere die folgenden Punkte gewährleistet:

- Einfaches Konzept mit Achsen und Bezugspunkten (Sektoren).
- 100%-ige Kompatibilität von Bezugssystem Agglomeration mit dem Bezugssystem des übergeordneten Netzes. Der Ort der Übergänge muss klar definiert sein, z.B. Gemeindegrenze.
- Verwendung von durch lokalen Baubehörden digitalisierten Achsen, sofern in Strassenmitte erfasst. Dies ist in den meisten Fällen der Fall. Dadurch ist auch die Nachführung durch lokale Baubehörden möglich.
- Einfache, intuitive Handhabung bei der Erfassung und Nachführung der Elemente des Bezugssystems.
- Einfache, flexible und performante Bildung von Bezügen von Strassenobjekten auf das Bezugssystem.

- Streifenbezogene Verfeinerung möglich (siehe Parallelprojekt «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» [38])

Schlussfolgerungen

Für die Definition von Bezugssystemen im Agglomerationsbereich können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Ein Bezugssystem für den Agglomerationsbereich muss die Anforderungen verschiedener Anspruchsgruppen erfüllen. Primär stehen die Anforderungen aus dem Betrieb und Unterhalt des Strassennetzes im Vordergrund. Daneben sind insbesondere die Kompatibilität mit dem übergeordneten Netz sicherzustellen und die Bedürfnisse von anderen Medien oder Verkehrsträgern (ÖV, Gas, Wasser, Abwasser, usw.) zu berücksichtigen.
- Die vorgeschlagene Lösung mit einer, in Strassenmitte verlaufenden, Achse, ist kompatibel mit dem RBBS-Bezugssystem des übergeordneten Strassennetzes und ermöglicht eine ausreichend genaue Referenzierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten. Mit einem solchen, einfach aufgebauten und einfach zu pflegenden Bezugssystem, können die Anforderungen der lokalen Behörden erfüllt werden.
- Grundsätzlich wird auf den Definitionen der Normengruppe VSS 4091x aufgebaut. Für den Agglomerationsbereich sind lediglich Anpassungen und Ergänzungen an den dort definierten Grundsätzen zum Aufbau eines Bezugssystems erforderlich.
- Die ebenfalls untersuchte Variante, der Verwendung der TLM-Achsen, stellt eine valide Alternative zur vorgeschlagenen Lösung dar. Die Entscheidung über die Verwendung dieser Achsen oder die Definition eigener Achsen, muss in Abhängigkeit der individuellen Anforderungen der jeweiligen Baubehörde getroffen werden. Eine Anpassung der Normung sollte diese alternative Variante offen lassen.

8.3 Empfehlungen

Die Empfehlung ist, die Erkenntnisse aus diesem Projekt in den Normen VSS 40911 bis VSS 40913 zu ergänzen. Im Folgenden werden mögliche Bausteine für die Ergänzung der Normen aufgeführt.

8.3.1 Normenbausteine

Hinsichtlich eventueller Anpassungen an der Normenreihe des VSS besteht eine Überschneidung mit den übrigen Projekten des Forschungspakets «Nutzensteigerung für Anwender des SIS» insbesondere mit dem Projekt VSS 2011/715 «Raumbezug mit Streifenreferenzierung» [38].

Für die Integration der speziellen Randbedingungen der Bezugssysteme im Agglomerationsbereich in die Normen VSS 4091x werden die folgenden Definitionen vorgeschlagen:

Achse / Achssegment	Das Bezugssystem Agglomeration basiert auf Achsen mit je einem oder mehreren Achssegmenten. Der Strassenname bestimmt die Bezeichnung und die Ausdehnung einer Achse. Es gilt der Grundsatz «eine Strasse, eine Achse». Wird der Strassenname, z.B. an einem Platz räumlich unterbrochen beginnt nach der Unterbrechung ein neues Achssegment derselben Achse. Die Achse gruppiert gewissermassen Achssegmente desselben Namens.
Bezugspunkt (Sektor) / Kreuzungspunkt	Anfangs- und Endpunkt eines Achssegments sind über einen Bezugspunkt definiert. Diese Punkte werden nicht materialisiert. Am geometrischen Schnittpunkt zweier Achssegmente wird pro Achssegment ein Kreuzungspunkt gesetzt. Die Verwendung von Kreuzungspunkten ist optional. Strukturell ist ein Kreuzungspunkt ein Bezugspunkt.
Adresse	Adressen sind optionale Komponenten des Bezugssystems Agglomeration. Eine Adresse hat als minimale Merkmale den Strassenamen, die Hausnummer, die PLZ, den Ortsnamen und die kartesischen Koordinaten XYZ. Auf der Grundlage dieser Daten werden die Referenzen zum Bezugssystem mit Achse, Bezugspunkt, Längsdistanz U und Querabstand V bestimmt.

Platz	Der Platz ist ein Flächenobjekt. Plätze sind zumeist grössere Verkehrsknoten mit eigenem Namen. Geometrisch wird ein Platz als Platzfläche, optional mit eigener Achse, definiert. Die minimalen Merkmale von Plätzen sind der Name, die Flächengeometrie und, falls vorhanden, die Referenz zur Platzachse.
Kreuzung	Eine Kreuzung ist ein Zusammentreffen mehrerer Achssegmente in einem Punkt (siehe Kreuzungspunkt). Zubringerachssegmente werden an einer Kreuzung nicht unterbrochen, solange der Strassenname gleichbleibt.
Kreisel	Ein Kreisel ist ein Spezialfall einer Kreuzung. Ein Kreisel verfügt über eine eigene Kreiselachse. Zubringerachssegmente werden am Kreisel unterbrochen.

Für die Definition der Achsen im Agglomerationsbereich werden die folgenden Grundsätze vorgeschlagen:

Definition Achsen	Pro Strasse wird eine Achse definiert. Diese Achse liegt mittig zwischen den Randsteinen links und rechts, unabhängig davon, ob Verkehrsinseln die Fahrbahnen baulich trennen. Eine Ausnahme sind die städtischen Autobahnen, bei denen jede Richtung eine separate Achse am linken Fahrbahnrand aufweist. Die Achsen werden im Kreuzungsbereich mit Überständen bis zum gegenüberliegenden Fahrbahnrand erfasst. Objektbestimmend ist der Strassenname.
--------------------------	--

8.4 Weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein in sich geschlossenes und direkt anwendbares Konzept für ein Bezugssystem im Agglomerationsbereich entwickelt. Damit werden die aktuellen Anforderungen an ein solches System abgedeckt. Um auch zukünftige, heute bereits absehbare, Anforderungen abdecken zu können, wird insbesondere in den folgenden Bereichen ein weiterer Forschungsbedarf gesehen:

Dreidimensionales Modell / Integration BIM:

In diesem Forschungsprojekt wurde eine einfache Methodik zur Berücksichtigung der dritten Dimension aufgezeigt. Ein echtes dreidimensionales Modell wurde aber nicht umgesetzt. Ein derartiges Modell wäre derzeit auch zu weit weg von der Praxis in den Städten und Gemeinden. Einhergehend mit der dynamischen Entwicklung von BIM-Modellen auch im Infrastrukturbereich, wird auch der Bedarf einer dreidimensionalen Ortung von Objekten in einem dreidimensionalen Bezugssystem in den nächsten Jahren voraussichtlich wachsen. Damit wäre dann die Einbindung der BIM-Modelle der Infrastrukturobjekte des Strassennetzes in eine dreidimensionale Karte mit dreidimensionalen Achsen und damit ein einheitliches 3D-Modell der Infrastrukturen im Agglomerationsbereich möglich.

Autonomes Fahren:

Ein völlig neuer Anwendungsfall für die Bezugssysteme im Agglomerationsbereich wird sich mit der weiteren Entwicklung autonomer Fahrzeuge ergeben. Insbesondere im Agglomerationsbereich werden für eine autonome Navigation der Fahrzeuge exakte Karten und insbesondere eine exakte Definition der Strassenachsen und der Fahrstreifen benötigt. Bei der Modellierung des Bezugssystems in diesem Projekt wurden diese Anforderungen bereits vorgedacht und können mit dem vorgeschlagenen Achsmodell in Kombination mit der Fahrstreifenreferenzierung erfüllt werden. Bis zum tatsächlichen praktischen Einsatz für das autonome Fahren, wird aber eine weitere Verfeinerung der Konzeption erforderlich sein.

Anhänge

I	Online-Befragung	89
I.1	Online-Fragebogen „Umfrage Bezugssysteme im Agglomerationsbereich“	89
II	Anforderungen aus der Studie Verkehrsnetz CH	97
II.1	Anforderungen an das Datenmodell	97
II.2	Anforderungen an die Dateninhalte	98
II.3	Anforderungen an Funktionen.....	99
II.4	Anforderungen an Prozesse	99
II.5	Rechtliche Anforderungen.....	99
III	Vergleich Bezugssysteme	101
IV	Proof of Concept, Prototyp	105
IV.1	Softwarearchitektur	105
IV.2	Benutzeranleitung	106

I Online-Befragung

I.1 Online-Fragebogen „Umfrage Bezugssysteme im Agglomerationsbereich“

Der folgende Fragebogen stand auf der Online-Plattform „Jotform“ auf Deutsch und Französisch zur Verfügung.

Kurzvorstellung: Forschungsprojekt VSS 2011/712 "Bezugssysteme im Agglomerationsbereich"

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist ein geographisches Bezugssystem für den Strassenraum im Agglomerationsbereich zu definieren, welches künftig als Standard verwendet werden kann. Dies ist notwendig, da heutzutage (im Agglomerationsbereich) verschiedene Ansätze für die Referenzierung von Fachdaten im Strassenraum verwendet werden: Mit einem linearen Ansatz werden typischerweise aneinander liegende Objekte wie z.B. Fahrbahnabschnitte referenziert, wohingegen ein planarer Ansatz für das Abbilden von flächenhaften Objekten wie Plätze und Parzellen verwendet wird. Da Transformationen und folglich ein entsprechender Datenaustausch zwischen den beiden Ansätzen nicht ohne weiteres möglich sind, ist die Definition eines einheitlichen Bezugssystems notwendig.

Ihre Antworten sollen als Grundlage für die Bedürfnisse und Anforderungen für das Bezugssystem verwendet werden.

Vorgehen der Zusammenarbeit:

- Als Erstes senden wir Ihnen den Fragebogen zur Beantwortung zu, welcher im Schnitt innerhalb von 5-10 Minuten beantwortet wird. Ihr Beitrag ist sehr wertvoll und wird in anonymisierter Form statistisch ausgewertet.
- Je nach Rücklauf und Ihren Antworten würden wir gerne die Thematik mit Ihnen in einem ca. 1-1.5 Stündigen Gespräch vertiefen. Im Formular können Sie ankreuzen, ob Sie für ein Gespräch zu Verfügung stehen.
- Sofern Sie es wünschen, werden wir Ihnen die statistisch aufbereiteten Ergebnisse der Umfrage zukommen lassen. Bitte kreuzen Sie entsprechendes im Formular an.
- Das Forschungsprojekt wird voraussichtlich 2018 abgeschlossen. Sofern Sie es wünschen, stellen wir Ihnen eine Kopie des Schlussberichts zu. Bitte kreuzen Sie entsprechendes im Formular an.

Administrative Fragen

Organisation:

Name:

E-Mail:

Stehen Sie für weitere Auskünfte im Rahmen eines 1-1.5-stündigen Gesprächs zu Verfügung?

- Ja
- Nein

Wollen Sie die Ergebnisse aus der statistischen Auswertung des Fragebogens erhalten (wird an die von Ihnen angegebene Mailadresse zugestellt)?

- Ja
- Nein

Wollen Sie eine Kopie des Forschungsberichts erhalten (wird an die von Ihnen angegebene Mailadresse zugestellt)?

- Ja
- Nein

Allgemeine Fragen

Verwenden Sie mehrere konzeptionell und/oder technisch unterschiedliche Strasseninformationssysteme (SIS)?

Konzeptionell und/oder technisch unterschiedliche SIS kennzeichnen sich z.B. durch folgendes:

- *Unterschiedliche Datenmodelle*
- *Unterschiedliche Softwareprodukte*
- *Unterschiedliche geographische Bezugssysteme für die abgebildeten Teilsysteme*

- Ja
- Nein

Bei mehreren verwendeten SIS bitten wir Sie einen Fragebogen pro verwendetes SIS auszufüllen.

Zu welchem, der von Ihnen verwendeten SIS, werden die folgenden Fragen beantwortet?

Zur Verwaltung der Daten von welchem Fachbereich verwenden Sie Ihr Strasseninformationssystem (SIS)? *Mehrfachauswahl möglich*

- Strassen
- Kunstbauten
- Abwasser
- Wasser
- Elektrizität
- Gas
- ...

Für welche wesentlichen Fachprozesse verwenden Sie das SIS?

- Verwaltung des Inventars
- Erfassung von Inspektionsergebnissen
- Verwaltung von geplanten Massnahmen
- Verwaltung von durchgeführten Massnahmen
- Verwaltung von Bau-/Aufgrabungsbewilligungen
- Verkehrsumfallwesen
- Ausnahmetransportmanagement
- Verkehrsleitung
- Modellierung von Verkehrszuständen
- Prognose von Zustandsentwicklung
- Finanzbedarf und/oder Massnahmen
- ...

Anwendungen der Bezugssysteme

Wie erfassen Sie den räumlichen Bezug der Fachobjekte (wie z.B. Strassen, Leitungen, Ablaufschächte) in Ihrem SIS?

- Mittels eines planaren Bezugssystems wie z.B. Landes-/XY-Koordinaten
- Mittels eines linearen Bezugssystems
- Mittels eines topologischen Bezugssystems
- ...

Fragen zum verwendeten Bezugssystem

Dieser Abschnitt soll für das verwendete Bezugssystem ausgefüllt werden. Werden mehrere Bezugssysteme verwendet, bitten wir Sie die sechs nächsten Fragen für jedes der Bezugssysteme auszufüllen.

Falls ein lineares Bezugssystem verwendet wurde: Das verwendete Bezugssystem basiert auf...

- textuellen Beschreibungen (z.B. Landstrasse 34 bis 45)
- dem räumlichen Basisbezugssystem RBBS gemäss VSS 40912
- der linearen Referenzierung (Achsen) der amtlichen Vermessung
- der linearen Referenzierung von ESRI-ArcGIS
- der linearen Referenzierung von Geomedia

Für welche Fachobjekte verwenden Sie ein Bezugssystem (Landeskoordinaten)?

(z.B. Fahrbahn, Trottoirs, Plätze, Zustandsabschnitt, Wasserleitungen, Ablaufschächte, geplante Massnahmen, Bau-/Aufgrabungsbewilligungen, ...)

Für die angegebenen Fachobjekte: Was ist die geforderte Genauigkeit?

- < 10 m
- < 5 m
- < 2 m
- < 1 m
- < 0.1 m
- < ... m

Für die angegebenen Fachobjekte: Welche geographischen Massendatenauswertungen der Bezüge/Lokalisierungen kann ein „Normalbenutzer“ innerhalb des SIS vornehmen?

(z.B. es können alle Ablaufschächte ausgegeben werden, welche sich entlang den Kreuzungen mit der Landstrasse befinden sowie zwischen den Hausnummern 5 und 105 liegen)

Für die angegebenen Fachobjekte: Welche Fachobjekte stellen Sie einem anderen SIS zu Verfügung (bzw. welches Fachobjekt „exportieren“ Sie an ein anderes SIS)?

Für die angegebenen Fachobjekte: Welche der Fachobjekte beziehen/importieren Sie aus einem anderen SIS?

Können Sie uns ausschliesslich für dieses Forschungsprojekt das Datenmodell sowie Musterdatensätze zur Verfügung stellen?

- Ja
- Nein

Vor-/ Nachteile und Verbesserungsmöglichkeiten

Was funktioniert besonders gut in Ihrem SIS?

Gibt es ungewünschte Einschränkungen bei der Verwendung Ihres/r SIS?

Existiert ein Anforderungskatalog an Ihr SIS und/oder existieren bereits Anforderungen an ein zukünftiges und verbessertes SIS (insbesondere in Bezug auf das Bezugssystem)?

Es wäre toll wenn Sie uns diese zustellen können.

- Ja
- Nein

Besten Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Description succincte du projet de recherche VSS 2011/712 « Système de repérage dans les agglomérations »

Le but du projet de recherche est de définir un système de repérage pour l'espace routier dans les agglomérations, qu'au futur pourra être utilisé comme standard. Ceci est nécessaire car aujourd'hui (dans les agglomérations) différentes approches pour référencer les données métier dans l'espace routier sont utilisées : Avec une approche linéaire, typiquement, les objets placés consécutivement sont référencés ; par contre, un système planaire est utilisé pour représenter objets présentant des surfaces comme des places ou des parcelles. Puisque les transformations et donc un échange de données entre les approches n'est sans autre pas possible, la définition d'un système de repérage unitaire est nécessaire.

Vos réponses au sondage vont être utilisées comme base pour les besoins et exigences pour le système de repérage.

Réalisation du projet de recherche : Infrastructure Management Consultants Sàrl Zürich, Dr. Rade Hajdin, Jan Wunderlich et Beda Büchel.

Démarche de la collaboration :

- Dans un premier pas, on vous envoie ce sondage (<https://...>). En moyenne, 5-10 minutes sont nécessaires pour y répondre. Votre contribution est très précieuse et sera exploitée statistiquement de façon anonymisée.

- En fonction du nombre et de vos réponses, on aimerait approfondir la thématique avec vous lors d'un entretien de 1-1.5h. Dans le sondage, vous pouvez indiquer, si vous êtes à disposition pour un tel entretien.

- Si vous le souhaitez, on vous transmettra les résultats des exploitations statistiques du sondage. Vous pourrez aussi indiquer ceci dans le sondage.

- Selon toutes prévisions, le projet de recherche sera terminé en 2018. Si vous le souhaitez, on vous transmettra une copie du rapport finale ; s.v.p. cochez la case correspondante pour ceci.

Questions administratives

Organisation:

Nom:

E-mail:

Est-ce que vous êtes à disposition pour renseignements additionnels lors d'un entretien de 1-1.5h ?

- Oui
- Non

Est-ce que vous souhaitez recevoir les résultats de l'exploitation statistique du sondage (sera envoyé à l'adresse e-mail que vous avez indiqué) ?

- Oui
- Non

Est-ce que vous souhaitez recevoir une copie du rapport de recherche (sera envoyé à l'adresse e-mail que vous avez indiqué) ?

- Oui
- Non

Questions générales

Est-ce que vous utilisez différents systèmes d'information de la route (SIR) qui se différencient du point de vue du concept ou technique ?

SIR qui se différencient du point de vue du concept ou technique se caractérisent p.ex. comme suit :

- *modèles de données différents*
- *produits informatiques/logiciels différents*
- *systèmes géographiques de repérage différents pour les infrastructures modélisés*

- Oui
- Non

Dans le cas de plusieurs SIR utilisés, on vous prie de remplir un sondage par SIR.

Vous êtes en train de répondre aux questions de quel des SIR ?

Pour la gestion des données de quel domaine métier, vous utilisez votre SIR ? *Sélection multiple possible*

- Chaussées
- Ouvrages d'art
- Eaux usées
- Eau

- Electricité
- Gaz
- ...

Pour l'essentiel, pour quel(s) processus métier(s) vous utilisés le SIR ?

- Gestion de l'inventaire
- Saisie des résultats d'inspections
- Gestion d'interventions planifiées
- Gestion d'interventions réalisées
- Gestion de permis de construire / d'excavation
- Accidents de la route
- Gestion de transports spéciaux
- Gestion du trafic
- Modélisation d'états de trafic
- Pronostic de l'état, besoins financiers et/ou interventions
- ...

Application des systèmes de repérage

Comment est-ce que vous saisissez le repérage spatial des objets métier (comme p.ex. les chaussées, les conduites) dans votre SIR ?

- Avec un système de repérage planaire comme p.ex. les coordonnées nationales XY
- Avec un système de repérage linéaire
- Avec un système de repérage topologique
- ...

Questions pour le système de repérage

Ce paragraphe est à remplir pour le(s) système(s) de repérage utilisé. Si vous utilisez plusieurs systèmes de repérage, s.v.p. répondez aux 5 questions suivantes, pour chaque système de repérage utilisé.

Pour quels objets métier vous utilisez un système de repérage (coordonnées nationales)

(p.ex. chaussée, trottoir, place, tronçon d'état, conduites d'eau, interventions planifiées, permis de construire/d'excavation, ...)

Pour les objets métier indiqués : quelle est la précision demandée ?

- < 10 m
- < 5 m
- < 2 m
- < 1 m
- < 0.1 m
- < ... m

Pour les objets métier indiqués : quelles exploitations de données de masse des références (géographiques) peut faire un « utilisateur normale » dans le SIR ?

(p.ex. il es possible de lister tous les puits qui se trouvent le long des croisements avec la route principale et qui se trouvent entre les numéros 5 et 105)

Pour les objets métier indiqués : quels objets métier sont mis à disposition d'un autre SIR (resp. quels objets métier sont exportés vers un autre SIR) ?

Pour les objets métier indiqués : quels des objets métier sont repris/importés d'un autre SIR ?

Est-ce que vous pouvez – que pour ce projet de recherche – nous mettre à disposition le modèle des données ainsi que des exemples de données ?

- Oui
- Non

Avantages / désavantages et possibilités d'amélioration

Qu'est-ce qui fonctionne spécialement bien dans votre SIR ?

Est-ce qu'il y a des limitations pas souhaitées dans l'utilisation de votre SIR ?

Est-ce qu'une liste des exigences existe pour votre SIR ou est-ce que des exigences pour un SIR futur et amélioré (surtout par rapport au système de repérage) existent ?

Il serait super, si vous pourriez nous les transmettre.

- Oui
- Non

Merci beaucoup pour avoir répondu au sondage !

II Anforderungen aus der Studie Verkehrsnetz CH

Die Anforderungen welche in den ersten beiden Aufgabenpaketen der Studie zum Verkehrsnetz CH gesammelt wurden, wurden im dritten Aufgabenpaket konsolidiert. Jene welche für das erstrebte Ziel relevant waren wurden in fünf Bereiche gruppiert. Diese fünf Bereiche sind:

- Datenmodell
- Dateninhalt
- Funktionale Aspekte
- Betrieb
- Rechtliche Aspekte

In den folgenden Kapiteln werden alle Anforderungen in diesen Bereichen aufgeführt.

II.1 Anforderungen an das Datenmodell

- K4: Die Haltepunkte der Bushaltestellen müssen im Verkehrsnetz CH je Fahrtrichtung erfasst sein, damit diese für die Fussgängernavigation genutzt werden können.
- K6: Das Verkehrsnetz CH muss die Abbiegebeziehungen in Form von verbotenen Fahrbeziehungen abbilden, damit das Netz für Routingfunktionen genutzt werden kann.
- K8: Das Verkehrsnetz CH muss richtungsbezogene Beschränkungen (wie Fahrverbote) bereitstellen. Diese sollen über die Angabe «Von Knoten, Nach Knoten, über Kante» für die Nutzung in Verkehrsmodellen bereitgestellt werden.
- K9: Das Verkehrsnetz CH muss ein Knoten-Kantenmodell enthalten, damit die Topologie des Verkehrsnetzes abgebildet werden kann. Dieses Modell bildet die Grundlage für die Erweiterung zu einem routingfähigen Netz.
- K15: Bei jeder Änderung eines Fachattributs eines TLM-Abschnitts wird heute ein neuer TLM-Abschnitt angelegt. Für das Verkehrsnetz CH sind nicht alle diese Änderungen relevant, es soll deshalb in aggregierter Form bereitgestellt werden. Damit werden längere zusammenhängende Geometrien zur Verfügung gestellt (z.B. gemäss K16).
- K16: Die Segmentierung des Verkehrsnetz CH soll gegenüber dem heutigen TLM reduziert werden, indem bestimmte Fachinformationen als Fachnetz abgebildet werden. Durch die Entkopplung der Fachinformationen von der eigentlichen Strassengeometrie, können längere Strassengeometriestücke erhalten bleiben.
- K22: Jeder Datensatz im Verkehrsnetz CH muss mit einer fachlichen zeitlichen Gültigkeit attribuiert sein («Strecke ist in Betrieb ab» und nicht einfach ein Attribut «Status»).
- K29: Das Verkehrsnetz CH muss strukturell international abgeglichen werden. Dies ist für die Nutzung des TLM Verkehrsnetzes in grenzüberschreitenden Prozessen notwendig.
- K36: Es soll ein gemeinsames Datenmodell für den Datenaustausch mit Nachbarkantonen, Ausland, Partnerorganisationen definiert werden.
- K37: Das Verkehrsnetz CH soll als lineares Bezugssystem (Strasse, KM) verwendet werden können.
- Q1: Metadaten über Herkunft, Erfassung, Überarbeitung sollen geführt werden.
- Q2: Die Strassenbreitenklassen (2m, 4m, 8m, ...) implizieren eine Breitenangabe, die aber unzuverlässig bzw. ungenau ist (aus Nutzersicht). Sie haben wenig mit echten Strassenbreiten zu tun und sollten daher umbenannt werden.

- Q3: Engstellen und weitere Beschränkungen (Höhe, Gewicht, Länge) sollen explizit modelliert werden.
- Q5: Konnektivität der Geometrie als Basis für die Topologie muss sichergestellt werden.

II.2 Anforderungen an die Dateninhalte

- K1: Das Verkehrsnetz CH muss als Referenznetz für den Austausch von Fachdaten zwischen unterschiedlichen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden.
- K7: Im Verkehrsnetz CH müssen für die Verkehrsmodellierung oder die Analyse von Lücken, die Fahrradwege auf Strassen oder Wegen (markiert auf Fahrbahn oder eigene Fahrbahn) vollständig erfasst sein. Die markierten Velorouten sind dabei nicht relevant.
- K11: Das Verkehrsnetz CH soll auch einen Perimeter der Nachbarländer abdecken, da diese oft für die Modellierung der länderübergreifenden Verkehrsflüsse gebraucht werden.
- K12: Das Verkehrsnetz CH muss das Radwegnetz auf eigenem Nebenstreifen korrekt abbilden, auch wenn der Nebenstreifen nicht durchgehend, mit z.B. einer Grünfläche, abgetrennt ist.
- K19: Das Verkehrsnetz CH muss den Kunden, zusätzlich zu den Elementarobjekten, aggregierte Daten als Produkte zur Verfügung stellen können. Beispiel: "Strassen" als Aggregation der "Strassen (Netzkante)" werden heute von zahlreichen Kunden individuell erzeugt.
- K20: Die Achssegmentgeometrie des Verkehrsnetz CH soll durch die RBBS-Punkte (Fixpunkte des Bezugssystems) geführt werden. Damit könnten die TLM-Geometrien sehr genau auf die ASTRA-Definitionen angepasst werden.
- K25: Alle Kunden des Verkehrsnetz CH müssen auf die gleichen Datengrundlagen zugreifen können. Diese sind flächendeckend homogen und in gleicher Aktualität zur Verfügung zu stellen (Beispiele DTV, Anzahl Fahrspuren, signalisierte Geschwindigkeiten).
- K26: Die Strassennamen des Verkehrsnetz CH müssen flächendeckend zur Verfügung gestellt werden damit Fachdaten korrekt lokalisiert werden können (Beispiel: Verkehrsunfälle auf Gemeindegebiet werden bezüglich Strassennamen lokalisiert).
- K27: Die Daten des Verkehrsnetz CH müssen mindestens 4 x pro Jahr aktualisiert werden, da potenzielle Nutzer auf möglichst aktuelle Daten angewiesen sind. In den Interviews wurde diese Periode als Mindestanforderung genannt.
- K28: Die Bearbeitungsprozesse für die Datennachführung sollen zwischen swisstopo und ASTRA abgestimmt werden.
- K30: Das Verkehrsnetz CH soll auf verschiedene Massstäbe aggregierte Geometrien bereitstellen. Diese werden für vereinfachte Darstellungen in unterschiedlichen Massstäben verwendet.
- K32: Im Verkehrsnetz CH sollen die Schifffahrtslinien (nicht nur Fähren) dargestellt werden können.
- K39: Die Tabellen- und Attributdefinitionen auf der logischen Ebene sollen mehrsprachig sein. Dies erhöht die Akzeptanz in den unterschiedlichen Sprachregionen.
- K40: Die Klassierung der Strassen soll im Verkehrsnetz CH funktional nach Strassenhierarchie erfolgen. Damit können neue Auswertungen (z.B. Erschliessungsgrad von Quartieren) erzeugt werden.
- Q4: Die heute angewendeten Wertebereiche müssen mit der angesprochenen Fachwelt übereinstimmen.
- Q6: Inhalte der Attribute Anzahl Fahrspuren, Strassenname, Radstreifen, Verkehrsbeschränkung flächendeckend zur Verfügung stellen.
- Q7: Einheitliche Erfassung von Kreuzungen.

- Q8: Einheitliche Erfassung von getrennten Fahrstreifen.
- Q9: Vervollständigung der Wege (insbesondere reine Fusswege).
- Q10: Erhöhung der Nachführungsfrequenz.
- Q11: Bereitstellung von Mapping-Tabellen mit anderen Datenquellen (Klassen, Wertebereiche, Auswahllisten).

II.3 Anforderungen an Funktionen

- K34: Die Bereitstellung des aktuellen Verkehrsnetz CH muss über eine standardisierte Diensteschnittstelle erfolgen (z.B. WMS, WFS, ...).
- Q12: Metadaten über Herkunft, Erfassung und Überarbeitung sollen in einfacher Weise zur Verfügung gestellt werden.
- Q13: Mit Shapefile kompatible Attributnamen (10 Zeichen) für den Export bereitstellen.

II.4 Anforderungen an Prozesse

- K24: Änderungen am Verkehrsnetz CH müssen über klar definierte Rollen und Prozesse kommuniziert werden können.
- Q14: Alternative Erhebungsmethoden prüfen, um Dateninhalte besser erfassen zu können.
- Q15: Kontinuierliche Nachführung: Änderungen an der Realität sollen innerhalb weniger Wochen bereitgestellt werden können.
- Q16: Mit einer unabhängigen Qualitätsprüfung wird die Zuverlässigkeit der Daten plausibilisiert.

II.5 Rechtliche Anforderungen

- K10: Die Lizenzbedingungen für das Verkehrsnetz CH müssen es erlauben, dass ein Lizenznehmer die Daten weitergeben darf, damit eine viel breitere Nutzung erzeugt werden kann.
- K35: Das Verkehrsnetz CH soll veröffentlicht werden, mit der Möglichkeit, dass dieses auch durch Dritte angereichert wird.

III Vergleich Bezugssysteme

Im Folgenden werden beispielhaft verschiedenen Strassensituationen mit dem Verlauf der Achsen gemäss den verschiedenen Bezugssystemen abgebildet. Dies zeigt einen direkten Vergleich der Achsdefinitionen der verschiedenen Bezugssysteme. Die verwendeten Situationen wurden so ausgewählt, dass einerseits die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bezugssystemen sichtbar und andererseits typische Fälle abgedeckt werden.

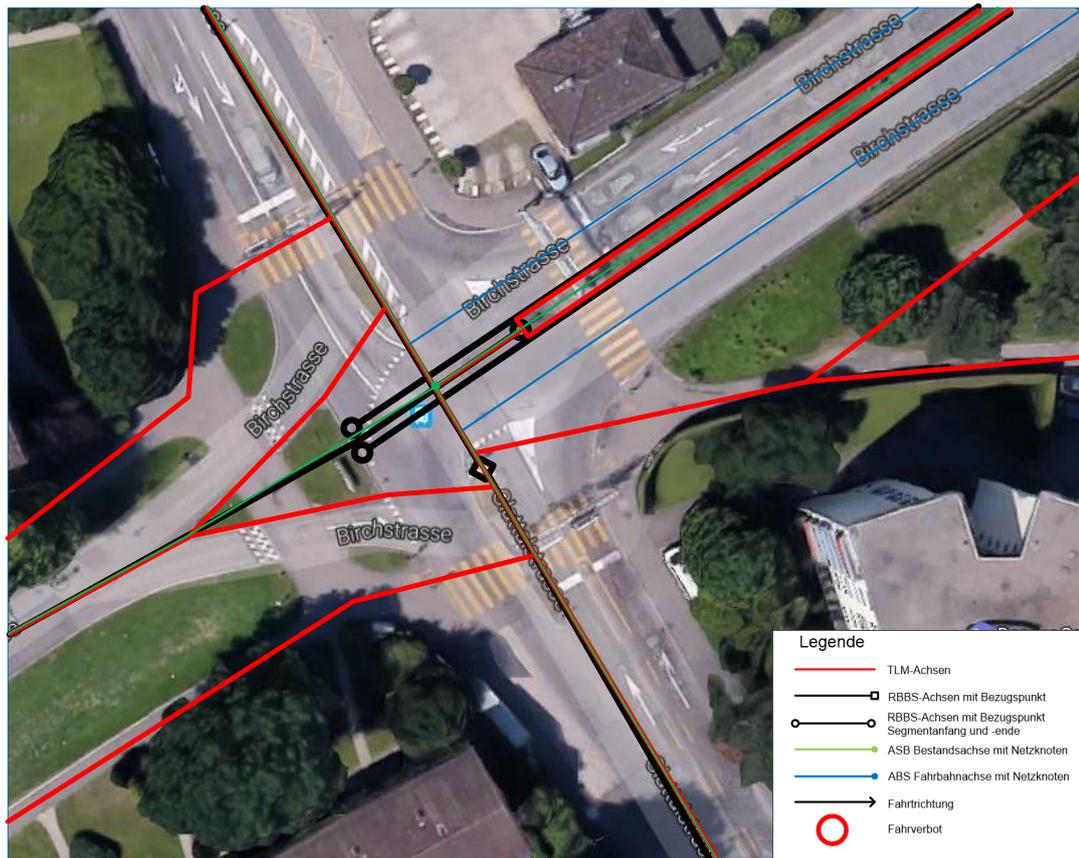


Abb. 41 Kreuzung Glattalstrasse, Zürich-Seebach

Abb. 41 zeigt Strassen mit richtungstrennten Fahrbahnen. Weiter erkennt man, dass TLM mehr Achsen als die übrigen Bezugssysteme hat und diese auch genauer dem Strassenverlauf folgen.

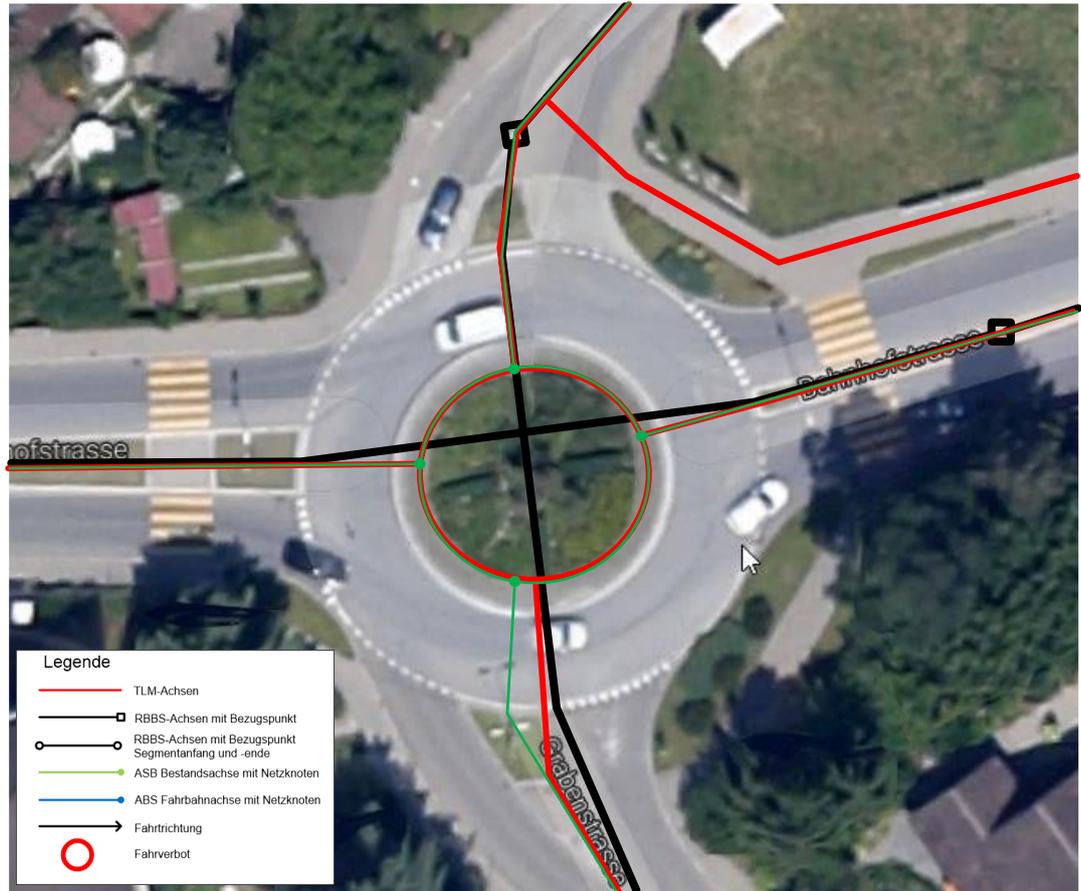


Abb. 42 Kreisverkehrs Bahnhofstrasse Schwerzenbach

In Abb. 42 wird die Modellierung eines Kreisverkehrs dargestellt. Hier sticht insbesondere RBBS hervor, dass als einziges der betrachteten Bezugssysteme den Kreisverkehr nicht als solchen abbildet.

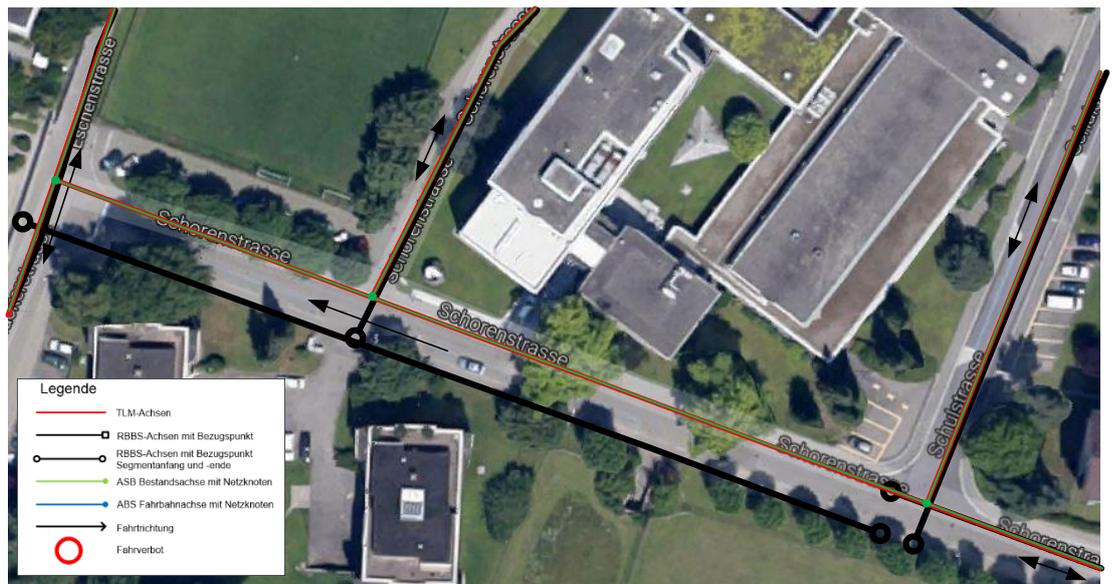


Abb. 43 Schorenstrasse Schwerzenbach

In Abb. 43 ist eine Einbahnstrasse dargestellt. Auch hier fallen wieder die RBBS-Achsen ins Auge, die anders als die Achsen der übrigen Bezugssysteme modelliert werden.

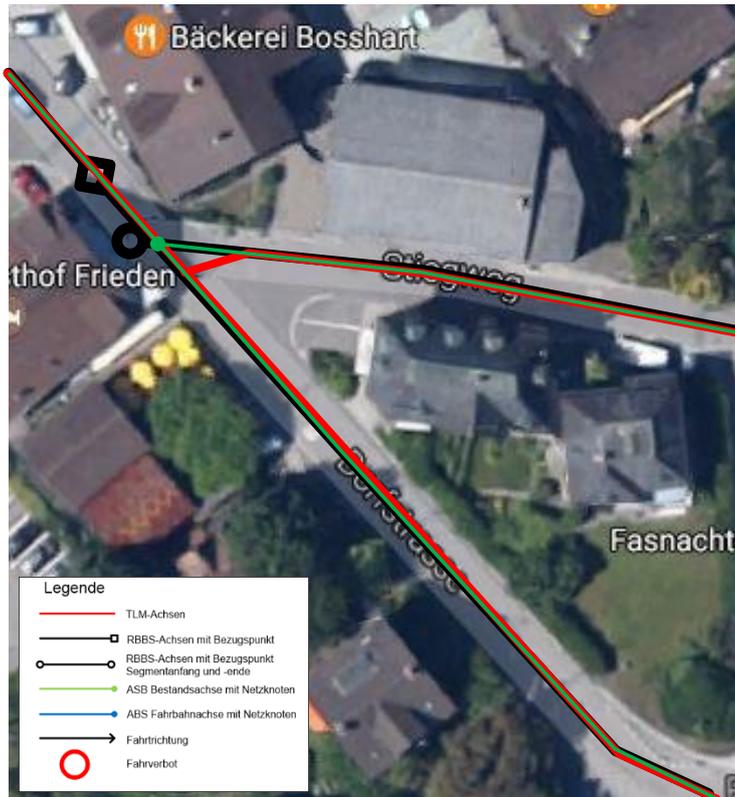


Abb. 44 Dorfstrasse Bassersdorf

In Abb. 44 ist eine typische einfache Situation in einem Quartier sichtbar. Die Bezugssysteme unterscheiden sich hier quasi nicht.

IV Proof of Concept, Prototyp

IV.1 Softwarearchitektur

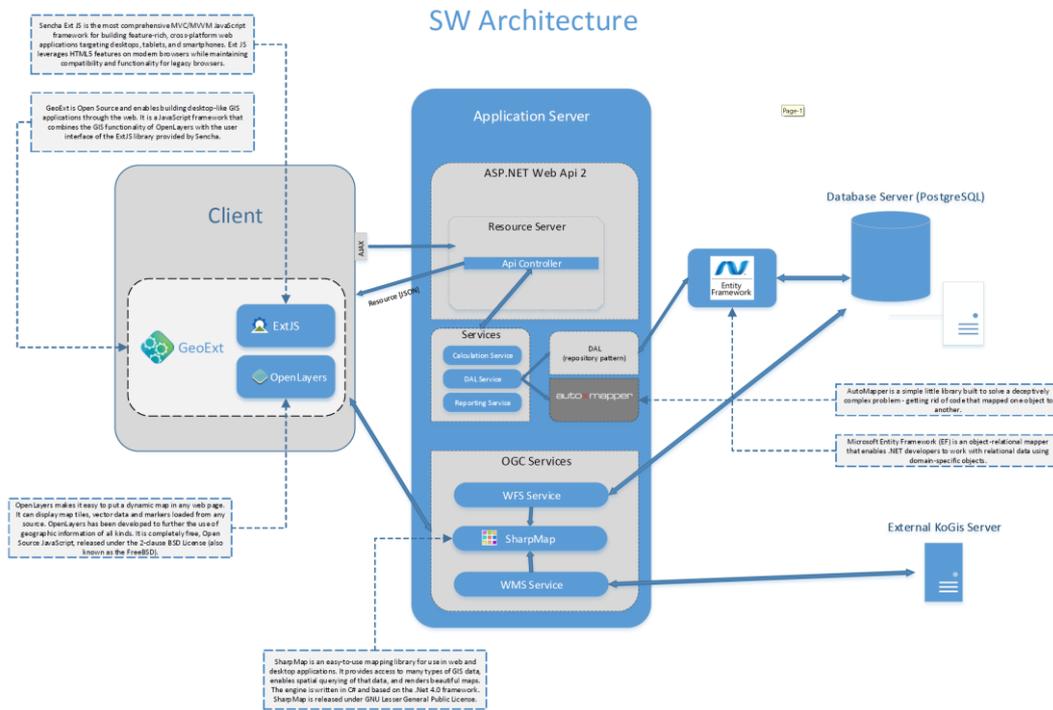


Abb. 45: Übersicht Softwarearchitektur

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.

IV.2 Benutzeranleitung

UV Tracker

1. Auswahl UV Tracker im Seitenmenü.
2. Auswahl des Segments auf das referenziert werden soll in der Karte.
Das ausgewählte Segment ändert die Farbe von rot zu gelb.
3. Der Name des ausgewählten Segment wird im Seitenmenü angezeigt.
4. Klick auf einen beliebigen Punkt auf der Karte.
Eine oder mehrere temporäre Linien werden angezeigt, welche die möglichen Pfade vom nächstgelegenen Sektor auf zum gewählten Punkt darstellen.
Informationen zum nächstgelegenen Sektor, sowie U-, V- und M-Werte zu diesem Sektor werden im Seitenmenü angezeigt.

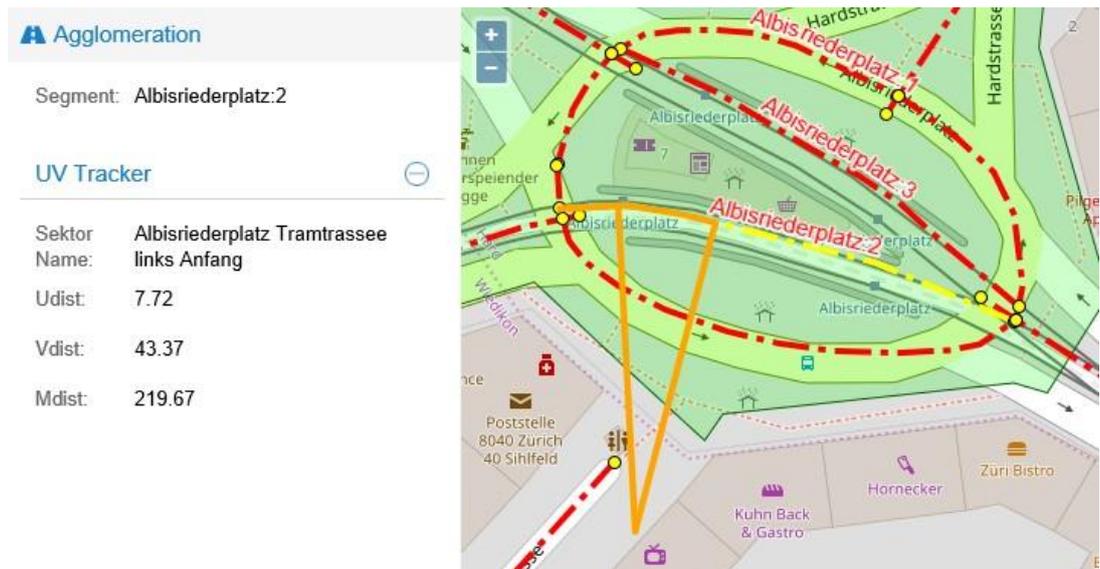


Abb. 46: Screenshot UV Tracker Referenzierung Adresse

1. Auswahl Referenzierung Adresse im Seitenmenü.
2. Adressen Layer in der Layer-Auswahl im Seitenmenü einblenden.

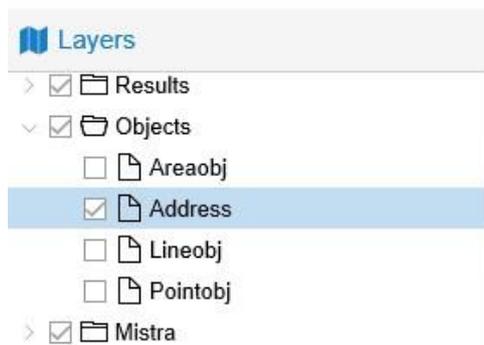


Abb. 47: Auswahl Layer

3. Auswahl des Segments auf das referenziert werden soll in der Karte.
4. Auswahl des Adressobjekts auf der Karte.
Beim ersten Klick auf das Objekt wird seine aktuelle Referenzierung im Seitenmenü angezeigt.
5. Nochmaliges Klicken auf das Objekt um eine neue Referenzierung auf das gewählte Segment zu berechnen.

Die Resultate werden mit orange Linien dargestellt.

- a) Wenn sich nur eine mögliche Referenzierung ergibt, wird der Dialog "Save Changes" angezeigt und die Änderungen können gespeichert werden.
- b) Wenn sich mehr als eine mögliche Referenzierung ergibt, muss zunächst die Gewünschte ausgewählt werden, dann können die Änderungen gespeichert werden.



Abb. 48: Screenshot Optionen Referenzierung

Anmerkung: In manchen Fällen liegen verschiedene mögliche Referenzierungen sehr nahe beieinander und sind in der Ansicht nur schwer zu erkennen. In diesem Fall wird der Dialog "Save Changes" nicht angezeigt bis eine Referenzierung gewählt wurde. Dies kann fälschlicherweise als Fehlfunktion interpretiert werden. Ein solcher Fall wird im untenstehenden Bild dargestellt.



Abb. 49: Screenshot Referenzierung Adresse

6. Nach Auswahl eines Ergebnisses wird der Dialog «Save Changes» gezeigt. Wenn Ja gewählt wird, werden die neuen Werte in der Datenbank gespeichert und im Seitenmenü angezeigt

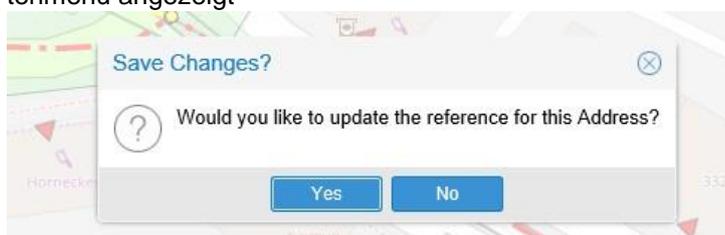


Abb. 50: Screenshot Speichern Adresse

Referenzierung Objekte

1. Auswahl Referenzierung Objekt im Seitenmenü.
2. Objekt Layer in der Layer-Auswahl im Seitenmenü einblenden.
3. Auswahl des Segments auf das referenziert werden soll in der Karte.
4. Auswahl eines Punkt-, Linien- oder Flächen-Objekts per Klick auf der Karte. Beim ersten Klick auf das Objekt wird seine aktuelle Referenzierung im Seitenmenü angezeigt.
5. Nochmaliges Klicken auf das Objekt um eine neue Referenzierung auf das gewählte Segment zu berechnen.
6. Wenn mehrere Referenzierungen möglich sind und der Dialog "Safe Changes" nicht angezeigt wird, muss zunächst eine der Optionen per Klick in der Karte selektiert werden.
7. Bestätigen der Änderungen mit Bestätigung des Dialogs "Save Changes" zum Speichern in der Datenbank. Bei Linien- oder Flächenobjekten muss der Anwender auswählen ob die erste oder zweite Referenz geändert werden soll.

Referenzierung Objekte über die Adresse

1. Auswahl Referenzierung Objekte über Adresse im Seitenmenü.
2. Adressen und Objekt Layer in der Layer-Auswahl im Seitenmenü einblenden.
3. Auswahl eines Punktobjekts per Klick auf der Karte. Beim ersten Klick auf das Objekt wird seine aktuelle Referenzierung im Seitenmenü angezeigt.
4. Klick auf das Adress-Objekt, das zur Referenzierung genutzt wird. Der Dialog zur Definition von U und V wird angezeigt.
5. Eingabe U und V Werte und Bestätigung der Eingabe mit „Accept“ Schalter. Das Ergebnis wird in der Karte angezeigt und die Referenzierung wird automatisch in der Datenbank gespeichert und im Seitenmenü angezeigt.

XY Tracker

1. Auswahl XY Tracker im Seitenmenü.
2. Auswahl des Segments auf das referenziert werden soll in der Karte. Die Kombination der Sektoren im Seitenmenü wird automatisch gefiltert und es werden lediglich Sektoren auf dem selektierten Segment angezeigt.
3. Der Anwender wählt den gewünschten Sektor im Seitenmenü.
4. Eingabe von U und V Werten im Seitenmenü.
5. Klick auf den Calculate Schalter zur Berechnung der Ergebnisse. X,Y Ergebnisse werden im Seitenmenü angezeigt.

Glossar

Begriff	Bedeutung
Alternativroute <i>itinéraire bis</i>	Alternative zu einer Stammroute. Die Stammroute bleibt befahrbar.
BZ <i>plan de feux</i>	Betriebszustand (BZ) Bezeichnet den Signalisationszustand; beziehungsweise die Anzeigen auf mehreren zusammengehörenden Aktoren.
Stammroute <i>itinéraire de base</i>	Signalisierte Route, wo der Betriebszustand der Grundzustand ist.
Umleitungsrout <i>itinéraire de déviation</i>	Umleitung zu einer Stammroute. Die Stammroute ist nicht mehr befahrbar oder die Verlustzeit ist grösser als der Umweg über eine verfügbare Umleitungsrout.
VM-CH	Verkehrsmanagement in der Schweiz (VM-CH) <i>gestion du trafic en Suisse (VM-CH)</i>
VMP	Verkehrsmanagementplan (VMP) <i>plan de gestion de trafic (VMP)</i>
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) <i>centrale nationale suisse de gestion du trafic (VMZ-CH)</i>
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASB	Anweisung Strasseninformationsbank
ASTRA	Bundesamt für Strassen
GIS	Geoinformationssysteme, Geographische Informationssysteme
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
Masswert M	Effektive Länge vom Startpunkt des ersten Achssegments der Achse bis zu aktuelle Ort auf dem Achssegments.
Measure Value	s. Masswert
MISTRA	Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr
OKSTRA	Objektkatalog für das Strassen- und Verkehrswesen
OKSTRA-kommunal	Objektkatalog für das Strassen- und Verkehrswesen für kommunale Strassendaten
Sektorlänge	Effektive Länge / Distanz eines Sektors (Bezugspunkt) bis zum nächsten Sektor entlang des Achssegment.
SN	Schweizer Norm
TLM	Topographisches Landschaftsmodell
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
LV95	Landesvermessung 1995. Unter dem Begriff LV95 baute swisstopo eine neue, satellitengestützte, hochgenaue Landesvermessung auf
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
AV-WMS	Amtliche Vermessung – Web Map Service: online Darstellungsdienst der Daten der amtlichen Vermessung
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
OSM	OpenStreetMap: Eine freies Projekt, das frei nutzbare GEodaten sammelt, in einer Datenbank ablegt und jedem zur Nutzung freistellt.

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Nationalstrassennetz als räumliches Basis-Bezugssystem RBBS**“, *Richtlinie ASTRA 10001*.

Normen

- [2] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1990), „**Strassendatenbanken: Grundlagen**“, *VSS 40910*.
- [3] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008), „**Strasseninformationssystem; Metadaten des Raumbezugs**“, *VSS 40910-5*.
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Strasseninformationssystem: Linearer Bezug; Grundnorm**“, *VSS 40911*.
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2005), „**Strasseninformationssystem: Linearer Raumbezug; Räumliches Basis-Bezugssystem RBBS**“, *VSS 40912*.
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2005), „**Strasseninformationssystem: Linearer Raumbezug; Räumliches Basis-Bezugssystem RBBS: Versicherung und Materialisierung**“, *VSS 40912-1*.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Strasseninformationssystem: Linearer Raumbezug; Achsgeometrien**“, *VSS 40913*.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2005), „**Strasseninformationssystem: Linearer Raumbezug; Netze und ihre Topologie**“, *VSS 40914*.
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Erhaltungsmanagement in Städten und Gemeinden – Durchschnittlicher jährlicher Mittelbedarf für die Erhaltung von Strassenetzen**“, *VSS 40986*.
- [10] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2003), „**Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung**“, *VSS 40925B*.
- [11] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008), „**Strassenverkehrsstelematik; Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen**“, *VSS 71941*.
- [12] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2012), „**Geodaten zu Ver- und Entsorgungsleitungen**“, *SN 532 405*

Fachhandbuch des ASTRA

- [13] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Videoüberwachungsanlage Verkehr**“, *Fachhandbuch ASTRA 23001, Technisches Merkblatt 23001-11520, V0.99*.

Dokumentation

- [14] Amt für Raumentwicklung (2016). „**Bodenbedeckung – Detailierungsgrad der amtlichen Vermessung**“, Baudirektion Kanton Zürich, Weisung AV05-2016, 1. Oktober 2016.
- [15] Bernard, E., Marschal, C., & Hajdin, R. (2015). „**Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH)**“. Zürich: Verein der schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute.
- [16] BMVI. (2014). „**ASB Anweisung StrasseninformationsBank: Segment Kernsystem**“, Berlin: Bundesamt für Verkehr und digitale Infrastruktur, Abteilung Strassenbau.
- [17] Bürgi, M., Göbbels, D., Pfyl, J., Hitz, P. (2006) „**Zukünftige Werterhaltung im Stadtstrassennetz**“. Baublatt, Oktober 2006.
- [18] Bürgi, M., Hitz, P., Stahl, M. (2003). „**Strasseninformationssysteme der Stadt Zürich. GIS-Anwendung für die Werterhaltung**“, *Geomatik Schweiz*, 5/2003.
- [19] Gnägi, H. R., Neidel, P., Reeff, M., Münster, M., & Eisenhut, C. (2015). „**Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen**“. Zürich: Verein der Strassen- und Verkehrsfachleute.
- [20] Haklay, M., und Weber, P. (2008). „**Openstreetmap: User-generated street maps**“, *IEEE Pervasive Computing*, 7(4), 12-18.
- [21] Hoekstra, R.L., Breyer, J.P.(2011). „**Multi-level linear referencing system (mlrs) cost/benefit value analysis study**“. NCHRP Project 20-7, Task 302. National Cooperative Highway Research Program, Transportation research board.
- [22] Horat, M., Kuhn, B., Pola, M., Hitz, P., Stenger, F. (2011), „**Systematisches Erhaltungsmanagement: Erfahrungen der Stadt Zürich**“, *strasse und verkehr*, 3/2011.
- [23] INTERGRAPH. (2010). „**Multilevel Linear Referencing System (MLRS) - An Automated Approach to Managing Components of a Linear Reference System Network and Event Data**“. White Paper.

-
- [24] Kirschfink, H, Kochs, A., Weidner, B., Hettwer, J., (2007), „**Forschungsprojekt FE 77.480/2004 Integrierte kommunale Verkehrsnetzdokumentation - Schlussbericht**“, Bergisch Glattbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.
-
- [25] Marschal, C., & Gilliéton, P.-Y. (2011). Initialprojekt für das Forschungspaket „**Nutzensteigerung für die Anwender des SIS**“. Zürich: Verein der schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute.
-
- [26] Meier, P. (2012), „**Crisis mapping in action: How open source software and global volunteer networks are changing the world, one map at a time.**“, Journal of Map & Geography Libraries, 8(2), 89-100.
-
- [27] OKSTRA (2002), „**Objektkatalog für das Strassen- und Verkehrswesen Objektübersicht zum OKSTRA – Teilbericht A-H**“, Bergisch Glattbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.
-
- [28] Rosenthaler, C., Koch, R., Hajdin, R., & Botzen, M. (2015). „**Zeitaspekte und Historisierung**“. Zürich: Verein der schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute.
-
- [29] Schmassmann, E., Bovier, R. (2010). „**Topographisches Landschaftsmodell TLM: swissTLM^{3D}**“, Geomatik Schweiz, 9/2010.
-
- [30] Swisstopo. (2012). „**Die amtliche Landesvermessung - Publikationsbroschüre**“, Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS.
-
- [31] Swisstopo. (2016a). „**swissTLM^{3D} Version 1.4 – Ausgabe 2016**“, Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS.
-
- [32] Swisstopo. (2016b). „**Objektkatalog - swissTLM^{3D} 1.4**“, Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS.
-
- [33] Bernard E., Dr. Hajdin R. (2018), Forschungsprojekt 2011/716 „**Raumbezug mit Streifenreferenzierung**“, Bericht Nr. 1637.
-
- [34] Hürzeler, C., Duchoud, R., Grimm, O., Hofmann, R., Truttman, U., Graf, A. (2013), „**Verkehrsachsen-system Stadt Zürich**“, Geomatik + Vermessung Stadt Zürich.
-
- [35] Grimm, O. (2012), „**Lokalisationen der AV, Grundlagen für das Verkehrsachsen-system der Stadt Zürich**“, Geomatik + Vermessung Stadt Zürich.
-
- [36] Bundesamt für Strassen - ASTRA (2016), „**Basissystem MISTRA. Bedingungen Pflichtenheft, Ausschreibung im offenen Verfahren, SW-Pflege 2017 - 2018**“.
-
- [37] INSPIRE Thematic Working Group Transport Networks (Hg.) (2017), „**D2.8.1.7 Data Specification on Transport Networks - Technical Guidelines**“.
-
- [38] Bernard, E., Hajdin, R. (2018), „**Forschungspaket Nutzensteigerung für Anwender des SIS: EP5: Raumbezug mit Streifenreferenzierung**“, Zürich: Verein der schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute.
-

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 Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 16.10.2019

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2011/712

Projekttitel: Forschungspaket Nutzensteigerung für Anwender des SIS: EP2: Bezugssysteme im Agglomerationsbereich

Enddatum: 31.10.2019

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

In dem Projekt wurde eine Konzeption eines Bezugssystem für die Strasseninfrastrukturen des Agglomerationsbereichs entwickelt.

Es wurden drei Varianten der Achsdefinition vorgeschlagen:

- Variante Randsteinmitte: Pro Strasse wird eine Achse definiert, die mittig zwischen den Randsteinen am rechten und linken Rand der Strasse verläuft.
- Variante TLM: Es werden die von swisstopo zur Verfügung gestellten TLM-Achsen verwendet. Bei baulicher Trennung innerhalb einer Strasse werden separate Achsen definiert.
- Variante Fahrstreifenmitte: Es wird pro Fahrstreifen eine Achse definiert.

Für die als Bestvariante identifizierte Variante Randsteinmitte wurden die folgenden Elemente des Bezugssystems definiert:

- Achse, Achssegment
- Bezugspunkt (Sektor) / Kreuzungspunkt
- Adresse
- Platz

Für die gewählte Variante wurde ein Klassen- und Funktionsmodell entwickelt und ein Regelwerk für die Erfassung und Nachführung der Achsen aufgestellt, in dem auch Spezialfälle wie Plätze, Kreisel und komplexe Kreuzungen abgedeckt werden. Es wurde aufgezeigt, wie verschiedene Objekte auf die Achsen referenziert werden können und auch hierfür ein Regelwerk aufgestellt. Bei der Konzeption wurde jeweils die Schnittstelle zur Streifenreferenzierung und damit die Einbindung in das Forschungspaket berücksichtigt. Die Validierung der Konzeption erfolgte mit der praktischen Umsetzung in einem Prototypen. In einer Web-Applikation wurden verschiedene Beispielkreuzungen abgebildet und die Anwendungsfälle zur Referenzierung von Objekten implementiert.

Als Grundlage für die Überführung der Projektresultate in die Praxis wurden Vorschläge zur Anpassung bzw. Ergänzung der bestehenden VSS Normen SN 64091x erarbeitet.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die folgenden Ziele wurden mit dem Projekt erreicht:

- Es wurden Regeln zur Definition und Nachführung der Bezugssysteme im Agglomerationsbereich ausgearbeitet.
- Spezialfälle wie komplexe Kreuzungen wurden analysiert und Lösungen vorgeschlagen.
- Die praktische Anwendbarkeit wurde mit einem Prototyp nachgewiesen.
- Die Durchgängigkeit der Konzepte wurde durch eine enge Abstimmung mit dem Projekt Streifenreferenzierung (VSS 2011/715) gewährleistet.

Folgerungen und Empfehlungen:

Für die Definition von Bezugssystemen im Agglomerationsbereich können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Ein Bezugssystem für den Agglomerationsbereich muss die Anforderungen verschiedener Anspruchsgruppen erfüllen. Primär stehen die Anforderungen aus dem Betrieb und Unterhalt des Strassennetzes im Vordergrund. Daneben sind insbesondere die Kompatibilität mit dem übergeordneten Netz sicherzustellen und die Bedürfnisse von anderen Medien oder Verkehrsträgern (ÖV, Gas, Wasser, Abwasser, usw.) zu berücksichtigen.
- Die vorgeschlagene Lösung mit einer, in Strassenmitte verlaufenden, Achse, ist kompatibel mit dem RBBS-Bezugssystem des übergeordneten Strassennetzes und ermöglicht eine ausreichend genaue Referenzierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten. Mit einem solchen, einfach aufgebauten und einfach zu pflegenden Bezugssystem, können die Anforderungen der lokalen Behörden erfüllt werden.
- Grundsätzlich wird auf den Definitionen der VSS Normengruppe SN 64091x aufgebaut. Für den Agglomerationsbereich sind lediglich Anpassungen und Ergänzungen an den dort definierten Grundsätzen zum Aufbau eines Bezugssystems erforderlich.
- Die ebenfalls untersuchte Variante, der Verwendung der TLM-Achsen, stellt eine valide Alternative zur vorgeschlagenen Lösung dar. Die Entscheidung über die Verwendung dieser Achsen oder die Definition eigener Achsen, muss in Abhängigkeit der individuellen Anforderungen der jeweiligen Baubehörde getroffen werden. Eine Anpassung der Normung sollte diese alternative Variante offen lassen.

Die Empfehlung ist, die Erkenntnisse aus diesem Projekt in den Normen SN 640'911 bis SN 640'913 zu ergänzen.

Publikationen:

-

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Hajdin

Vorname: Rade

Amt, Firma, Institut: IMC GmbH

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die definierten Ziele des Forschungsauftrages konnten erreicht werden. Ein Lösungsansatz (Variante Randsteinmitte) wurde mit praktischen Anwendungsfällen und einem Prototypen validiert und auch hinsichtlich der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt EP 5 Raumbezug mit Streifenreferenzierung (Berichtnummer 1637) abgeglichen.

Von den drei untersuchten Varianten (Randsteinmitte, TLM, Fahrstreifenmitte) sind die beiden Varianten Randsteinmitte und TLM ähnlich gut anwendbar für den Raumbezug in Agglomerationsbereichen. Beide entsprechen der heute gängigen Praxis.

Alternativ wurde eine Referenzierung über die Adresse vorgeschlagen, im Prototypen geprüft und als einfach umsetzbare Lösung im Agglomerationsbereich befunden.

Generell wurde die Analyse aus Sicht des Erhaltungsmanagements der Infrastruktur durchgeführt. Andere Bereiche, wie autonomes Fahren oder BIM wurden nicht vertieft untersucht.

Umsetzung:

Die Umsetzung der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt ist sofort möglich, da sie auf bestehenden Grundlagen (RBBS, TLM) und der heutigen Gepflogenheiten in Agglomerationsbereichen basiert.

weitergehender Forschungsbedarf:

Im Forschungsprojekt wurde nur eine vereinfachte Methodik zur Berücksichtigung der dritten Dimension einer Achse aufgezeigt. Ein echtes dreidimensionales Modell wurde nicht umgesetzt und sollte im Hinblick auf den zukünftigen Einsatz von BIM-Modellen im Infrastrukturbereich vertiefter untersucht werden.

Das autonome Fahren stellt hohe Anforderungen an Karten und die Definition der Strassenachsen und Fahrstreifen. Diese Aspekte wurden im vorliegenden Forschungsprojekt nur oberflächlich untersucht. Sie müssen in einem eigenen Forschungsprojekt detailliert untersucht werden.

Einfluss auf Normenwerk:

Es müssen einzelne Definitionen und Konzepte in der VSS Normenreihe SN 64091x angepasst und ergänzt werden.

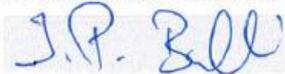
Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Bolli

Vorname: Jean-Pierre

Amt, Firma, Institut: Techdata SA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

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