



Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologie-modells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)

Vérification expérimentelle du modèle spatial et topologique pour les applications MT en Suisse (MDATrafo)

Eperimental verification of the proposed space and topology model for the TM applications in Switzerland (MDATrafo)

**Eidgenössische technische Hochschule Zürich (ETHZ), IGP,
Gruppe GIS und Fehlertheorie:
Hans Rudolf Gnägi, Dipl. Mathematiker UniBE
Stefan Henrich, Dipl. Kulturing. ETHZ (bis 2011-08-31)**

**AWK Group AG, Zürich:
Martina Münster, Dipl. Ing. TU/SIA
Roger Rüegg, Dipl. Informatiking. ETHZ (bis 2011-05-31)
Mireille Reeff, Dr. sc. ETHZ (ab 2011-06-01)
Dominique Tschopp, Dr. phil. Nat. EPFL (ab 2011-06-01)**

**Rosenthaler und Partner AG, Muttenz:
Rainer Koch, Dipl. Kulturing. ETHZ**

**Eisenhut Informatik AG, Burgdorf:
Claude Eisenhut, Dipl. Informatiking. FH**

**Forschungsauftrag VSS 2009/901 auf Antrag des
Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten 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 l' (les) auteur(s) mandaté(s) par 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)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

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

The content of this report engages only the author(s) commissioned 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)



Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologie-modells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)

Vérification expérimentelle du modèle spatial et topologique pour les applications MT en Suisse (MDATrafo)

Eperimental verification of the proposed space and topology model for the TM applications in Switzerland (MDATrafo)

Eidgenössische technische Hochschule Zürich (ETHZ), IGP,
Gruppe GIS und Fehlertheorie:
Hans Rudolf Gnägi, Dipl. Mathematiker UniBE
Stefan Henrich, Dipl. Kulturing. ETHZ (bis 2011-08-31)

AWK Group AG, Zürich:
Martina Münster, Dipl. Ing. TU/SIA
Roger Rüegg, Dipl. Informatiking. ETHZ (bis 2011-05-31)
Mireille Reeff, Dr. sc. ETHZ (ab 2011-06-01)
Dominique Tschopp, Dr. phil. Nat. EPFL (ab 2011-06-01)

Rosenthaler und Partner AG, Muttenz:
Rainer Koch, Dipl. Kulturing. ETHZ

Eisenhut Informatik AG, Burgdorf:
Claude Eisenhut, Dipl. Informatiking. FH

Forschungsauftrag VSS 2009/901 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Hans Rudolf Gnägi

Mitglieder

Stefan Henrich

Martina Münster

Roger Rüegg

Mireille Reef

Dominique Tschopp

Rainer Koch

Claude Eisenhut

Federführende Fachkommission

Fachkommission 9: Strassenverkehrstelematik

Begleitkommission

Präsident

Pierre-Yves Gilliéron

Mitglieder

Kurt Amstad

Emile Bernard

Alain Maradan

Claude Marschall

Franz Mühlethaler

Gerhard Petersen

Marc Wijnhoff

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	8
Summary	9
1 Ausgangslage und Zielsetzung	11
1.1 Lokalisierung im Strassenraum durch Referenzwerte bezogen auf ein Referenzsystem	11
1.2 Transformationen von Referenzwerten.....	11
1.3 Referenzsysteme und Transformationen in der Praxis modellbasiert beschreiben	12
1.4 Zielsetzung	12
1.5 Vorgehen.....	13
1.6 Hauptergebnisse und Abgrenzung Forschungsgebiet.....	14
1.7 Gliederung des Berichtes.....	14
1.8 Grundlagentexte und ihre Bedeutung für das Projekt.....	15
2 Bezugssysteme und Transformationen, Grundlagen	16
2.1 Abstraktion der Realwelt: Raum und Graph	16
2.2 Bezugssystem	17
2.3 Referenzbereich.....	17
2.4 Referenzsystem	17
2.5 Referenzrahmen	18
2.6 Referenzwert-Transformationen	18
3 Modellbasiertes Vorgehen für Referenzsysteme und Transformationen	21
3.1 Modellbasierten Vorgehens: Die 5 Elemente A, B, C, D, E	21
3.2 Einsatz MDA für Referenzsysteme und Transformationen.....	22
4 Element A: Realitätsausschnitt für Referenzsysteme und Transformationen	25
4.1 Die Realwelt der Strasse.....	25
4.2 Die Abstraktion der Strasse	27
4.3 Kommunikationsnetzwerk für Datenaustausch mit Bezugssystemumbau	31
4.4 Interessierende Bezugssysteme	31
4.4.1 Geodätische („Planare“) Bezugssysteme	32
4.4.2 Kurvilineare Bezugssysteme.....	32
4.4.3 Topologische Bezugssysteme	34
4.5 Interessierende Referenzwert-Transformationen	35
4.5.1 Transformation NSkm → CH1903 (kurvilinear → geodätisch)	35
4.5.2 Transformation CH1903 → NSkm (geodätisch → kurvilinear)	36
4.5.3 Transformation GDF → CH1903 (topologisch → geodätisch).....	38
4.5.4 Transformation CH1903 → GDF (geodätisch → topologisch).....	38
4.5.5 Transformation TMC-Location Code → CH1903 (topolog. → geodät.).....	39
4.5.6 Transformation CH1903 → TMC-Location Code (geodät. → topolog.).....	39
4.5.7 Transformation RBBS → CH1903 (kurvilinear → geodätisch)	39
4.5.8 Transformation CH1903 → RBBS (geodätisch → kurvilinear)	42
4.5.9 Transformation WGS84 → CH1903 (geodätisch („planar“) → geodät. („planar“))	45
4.5.10 Transformation CH1903 → WGS84 (geodätisch („planar“) → geodät. („planar“))	46
4.5.11 Transformation TMC-Location → Ortsnamen (topologisch → topologisch)	46
4.5.12 Transformation NSkm → RBBS (kurvilinear → kurvilinear).....	46
4.5.13 Transformation RBBS → NSkm (kurvilinear → kurvilinear).....	49
4.5.14 Transformation GDF (Teleatlas) → GDF (NavTech) (topologisch → topologisch).....	49
4.5.15 Transformation GDF (NavTech) → GDF (Teleatlas) (topologisch → topologisch).....	49
4.5.16 Transformation GDF (Teleatlas) → RBBS (topologisch → kurvilinear)	50
4.6 Testszenarien.....	50
4.6.1 Einleitung.....	50
4.6.2 Beschreibung der Szenarien.....	51
4.7 Beispielgebiet und sonst verfügbare Daten	52
4.7.1 Kriterien für die Auswahl des Beispielgebietes	52
4.7.2 Bezugssysteme	52

4.7.3	Fachdaten	52
4.7.4	Empfehlung Beispielgebiet.....	52
5	Element B: Konzeptionelle Datenmodellierung	53
5.1	Möglichkeiten zur Modellierung von Referenzsystemen und Transformationen	53
5.2	Bisher: Modellierung geodätischer Referenzsysteme	54
5.3	Neu: Modellierung kurvilinearere und topologischer Referenzsysteme.....	54
5.4	Neue konzeptionelle Sprachelemente für Graphen (Topologie allgemeiner Liniennetze)	55
5.5	Konzeptionelle Sprachelemente für die Modellierung von Bezugssystemen	59
5.5.1	Basiselemente für die Beschreibung von Referenzsystemen	60
5.5.2	Modellierung geodätischer Koordinatensysteme	60
5.5.3	Modellierung kurvilinearere Referenzsysteme.....	60
5.5.4	Modellierung topologischer Referenzsysteme	62
5.6	Syntax für die Definition von Instanzen im Modell	63
5.7	Verwendung von Referenzsystemen	63
5.8	Datenmodelle der interessierenden Bezugssysteme	65
5.8.1	CH1903, Landeskoordinaten Schweiz.....	65
5.8.2	RBBS, räumliches Basisbezugssystem	67
5.9	Vollständige Datenmodelle der Start- und Zielsysteme.....	68
5.10	Konzeptionelle Beschreibung der Transformationen.....	69
5.10.1	Übersicht: Transformationen als Beziehungen zwischen Referenzsystem-Klassen.....	69
5.10.2	Die Methode <code>newAxis</code> von <code>RBBS2CH1903</code>	70
5.10.3	Die Methode <code>transform</code> von <code>RBBS2CH1903</code>	71
6	Element C: Standard Transferformate	72
6.1	Formatregeln für den neuen Datentyp <code>GRAPH</code> gemäss 5.4	72
6.1.1	Minimum Daten	72
6.1.2	Daten haben optional Verweis auf Basisobjekte.....	72
6.1.3	Daten haben optional Geometrie	72
6.1.4	Daten haben optional weitere Facheigenschaften.....	73
6.2	Erweiterung der Formatregeln für Referenzwerte.....	73
6.3	Standard Transferformate der Anwendungsmodelle	74
7	Element D: 1:1 Prozessoren für Start- und Zielsysteme.....	76
8	Element E: Strukturumbau mit semantischer Transformation	77
9	Implementierung des Demonstrators	78
9.1	Kommunikationsnetzwerk im Beispielgebiet.....	78
9.2	Beschreibung der Umsetzung	78
9.3	Tests.....	81
9.3.1	RBBS ↔ CH1903 mit konstruiertem Beispiel 1:1000	81
9.3.2	RBBS ↔ CH1903 mit Verkehrsunfalldaten und Nationalstrassen Achsen aus MISTRA.	83
9.3.3	RBBS ↔ CH1903 Kontrollrechnungen mit MISTRA-Services.....	86
10	Erreichen der Ziele und Schlussfolgerungen	87
10.1	Erreichen der Ziele.....	87
10.2	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	89
Anhänge		90
Abkürzungen.....		161
Glossar		163
Literaturverzeichnis		175
Projektabschluss.....		177
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....		180

Zusammenfassung

Das „Gesamtmodell“ von SN 671941 gibt eine Übersicht von Referenzsystem- und Transformations-Typen gemäss theoretischen Überlegungen. Das Projekt hat nun deren praktischen Einsatz systematisch analysiert und beschrieben nach dem modellbasierten Vorgehen. Im Folgenden sind in () die Nummern der entsprechenden Berichtsabschnitte.

Zunächst wurde die Bedeutung der Grundlagentexte erarbeitet (1.8 und Anhang VIII) und dann wurden die benötigten mathematischen Elemente zusammengestellt (2): Euklidischer Raum für ausgedehnte Realität und Graph für netzartige Strukturen. Transformationen können umkehrbar eindeutig sein, dann werden die beteiligten Referenzsysteme äquivalent oder interoperabel genannt. Es gibt auch nur einseitig umkehrbare Transformationen, d.h. die Rückrechnung ergibt den Ausgangswert nur beim Start mit einem der beiden Referenzsysteme.

Gemäss Übersicht kamen die 5 Elemente A bis E des modellbasierten Vorgehens (Model Driven Approach, MDA) für Referenzsysteme und Transformationen zum Einsatz:

- Bei der Beschreibung des Realitätsausschnitts (Element A des MDA) zeigte sich die Notwendigkeit, die Realwelt der Strasse einerseits (4.1) und die Abstraktion der Strasse andererseits (4.2) klar auseinander zu halten. Unterschiede sind augenfällig bei der Strassenachse, die in der Realität z.B. als Mittellinie ohne Ecken dem Strassenverlauf folgt. Aber für Berechnungen braucht man dafür einen Linienzug im Raum, der ausschliesslich aus Geradenstücken besteht. Entsprechend der Übersicht (4.3) folgt die Detailbeschreibung der Bezugssysteme (4.4). Ein Hauptergebnis ist die Beschreibung der Algorithmen für alle Transformationen, und, ob es sich dabei um umkehrbare Eindeutigkeit handelt oder wenigstens um einseitige Umkehrbarkeit (4.5). Für die Transformationen RBBS ↔ CH1903 wurden umkehrbar eindeutige Algorithmen entwickelt.
- Zur konzeptionellen Modellierung (Element B des MDA) wurden die existierenden UML/INTERLIS Sprachelemente für geodätische Referenzsysteme ergänzt um neue für kurvilineare und topologische Referenzsysteme (5.5) sowie für deren Verwendung in Anwendungsmodellen (5.6). Die Referenzsysteme RBBS und CH1903 und ihr Einsatz in der Anwendung Verkehrsunfälle wurden im Detail konzeptionell modelliert (5.8, 5.9) sowie die Transformation RBBS ↔ CH1903 (5.10).
- Die (automatische) Herleitung des Transferformats aus dem Datenmodell (MDA Element C) brauchte Codierungsregeln für den neuen Datentyp GRAPH und für kurvilineare und topologische Referenzwerte (6).
- Mangels Daten wurden in diesem Projekt von den MDA-Elementen D (1:1 Prozessor)
- und E (semantische Transformation) nur die Funktionen der Referenzwert-Transformationen als Bestandteil der semantischen Transformation genau bearbeitet. Diese sind als Demonstrator-Programm implementiert, d.h. die Algorithmen der Methoden **newAxis**, **transform** und **inverseTrafo** für die umkehrbar eindeutigen Transformationen von RBBS nach CH1903 und zurück (9, Anhang IX). Die Testresultate zeigen, dass die Rücktransformationen auch in kritischen Bereichen bei Ecken der Achslinie erst in der 10. Nachkommastelle verschieden sind von den Originalwerten (9.3).

Wichtiges Ergebnis ist auch die Liste aller verwendeten Begriffe mit konsistent verknüpften Definitionen. Die Unterschiede zum VSS-Umfeld sind dokumentiert (Glossar).

Zu den Schlussfolgerungen (10.2): Das Gesamtmodell aus SN 671941 ist zu präzisieren durch konkrete Algorithmen für die vorgesehenen Transformationen, sobald diese erfolgreich programmiert und getestet sind. Für ein Folgeprojekt zur Programmierung (z.B. VSS 2011/713) müssen unbedingt die benötigten Daten auch wirklich zur Verfügung stehen. Es ist abzuklären, ob mit Hilfe der ausgearbeiteten umkehrbar eindeutigen Transformationen RBBS ↔ CH1903 eine nachhaltigere Sicherung von Strassendaten möglich wird (arbeiten kurvilinear, sichern geodätisch). Die Ergebnisse bilden die Grundlage für 2 neue Normen: SN 671941-1 (Konzeptionelle Transformationsmodelle) und SN 671941-2 (Einsatz des Gesamtmodells in der SVT)

Résumé

Le „modèle intégral“ de SN 671941 donne un aperçu théorique des types de systèmes de référence et de transformations. L'application pratique de ceux-ci est systématiquement analysée et décrite par le projet d'après la méthode basée modélisation. Dans ce résumé les parenthèses (...) contiennent les numéros des chapitres correspondants du rapport.

D'abord les textes de base étaient étudiés (1.8 et annex VIII) et les éléments nécessaires mathématiques sélectionnés (2): l'espace Euclidien pour la réalité étendue et le graphe pour les structures du type réseau. Les transformations peuvent être bijectives. En ce cas les systèmes de référence liés sont appelés équivalent ou interopérable. Mais il y a aussi des transformations seulement unilatéralement réversibles, c'est à dire: On ne reçoit la valeur originale par la transformation inverse que si l'on part de l'un des deux systèmes de référence.

Les 5 éléments A à E de la méthode basée modélisation (Model Driven Approach MDA) (3.2) sont appliqués pour systèmes de référence et transformations, ces éléments (4 à 8).

- Décrivant la sélection de la réalité (élément A du MDA) on a trouvé la nécessité de nettement séparer le monde réel de la route (4.1) de l'abstraction de la route (4.2). Les différences sont claires pour l'axe de la route, qui suit en réalité la route sans coins, p.ex. comme ligne intermédiaire. Mais pour les calculs on utilise une polyligne dans l'espace, dont les arêtes ne sont que des parties de droites. Selon l'aperçu des éléments, que l'on trouve dans la région sélectionnée voisinée de Lausanne (4.3), suit la description détaillée des systèmes de référence (4.4). Un résultat important du projet est la description des algorithmes pour toutes les transformations, et s'il s'agit d'une bijection ou au moins d'une réversibilité unilatérale (4.5). Pour la transformation SRB ↔ CH1903 des algorithmes bijectifs ont été inventés.
- Pour la modélisation conceptuelle (élément B du MDA), les éléments de langage UML/INTERLIS pour systèmes de référence géodésiques sont complétés par de nouveaux éléments pour systèmes de référence curvilinéaires et topologiques (5.5) et pour leur usage dans les modèles d'application (5.6). Les systèmes de référence SRB et CH1903 et leur application dans «accidents de trafic» sont conceptuellement modélisés en détail, de même la transformation SRB ↔ CH1903 (5.8, 5.9 et 5.10)
- La déduction (automatique) du format de transfert selon le modèle conceptuel (élément C du MDA) a besoin de règles d'encodage pour le nouveau type de données GRAPH et pour les valeurs de référence curvilinéaires et topologiques (6).
- Parcequ'on n'avait pas à disposition toutes les données prévues dans ce projet, on a seulement traité des éléments D (processeurs1:1) et
- E (transformation sémantique) du MDA les fonctions de transformations de systèmes de référence comme parties de la transformation sémantique. Implémentées comme programme démonstrateur sont les méthodes **newAxis**, **transform** et **inverse-Trafo** de la bijection SRB ↔ CH1903 (9). Les tests montrent, que la transformation inverse donne les valeurs originales jusqu'à la 10ème position après la virgule décimale aussi dans les régions critiques voisinées aux coins de la ligne d'axe (9.3).

Résultat important du projet est aussi le glossaire alphabétique des termes (allemands) avec définitions cohérentes. Différences avec la terminologie VSS sont documentées.

Conclusions (10): Le modèle intégral de SN 671941 doit être précisé par des algorithmes concrets pour les transformations prévues, quand leur programmes et leur tests sont un succès. Pour un projet de programmation qui suit (p.ex. VSS 2011/713) les données prévues doivent absolument être à disposition. Il reste à clarifier, si en général les données de la route peuvent être stockées plus durablement à l'aide des transformations biunivoques RBBS ↔ CH1903 développées (travail curvilinéaire, stockage géodésique). Les résultats obtenus décrits précédemment feront la base pour deux nouvelles normes: SN 671941-1 (modèles conceptuels de transformations) et SN 671941-2 (application du modèle intégral dans la TTR).

Summary

The full model of the VSS standard SN 671941 provides a theoretical overview of reference systems and transformations. Their practical applications have been systematically analyzed and described using the model driven approach. In the following summary parentheses (...) contain references to chapters of the research report.

First, the basic documents has been analysed (1.8 and annex VIII), and the necessary mathematical elements have been selected (2): The Euclidean space for the spatial reality and the graph for network-type structures. Transformations can be bijective. Then the reference systems concerned are called equivalent or interoperable. Unilateral inversible transformations exist as well, i.e.: the reverse transformation provides the initial value only for the start with one of the two reference systems

An overview (3.2) is provided of the 5 elements A to E of the model driven approach (MDA) before applying them (4 to 8).

- The description of the reality selection (element A of MDA) has shown the necessity to clearly differentiate between the street in the real world on the one side (4.1) and its abstraction on the other side (4.2). Differences between the two become obvious for the street axis. In the real world e.g. the middle line of a street follows this street smoothly, whereas for calculations a polyline in space consisting only of straight line segments is used. Following the overview of the selected practical situation (4.3) the reference systems are described in detail (4.4). A main result of the project is the description of the algorithms for all transformations and whether these are bijections or at least unilateral inversible (4.5). For the transformations RBBS ↔ CH1903 a pair of algorithms providing a bijection has been invented.
- For the conceptual modeling (element B of MDA), new language elements had to be introduced for curvilinear and topological reference systems (5.5) and their use in application models (5.6) in addition to the existing language elements for geodetic reference systems. The reference systems RBBS and CH1903 and their use in the application model for traffic accidents have been conceptually modeled in detail as well as the transformations RBBS ↔ CH1903 (5.8, 5.9 and 5.10).
- The (automatic) description of the transfer format according to the conceptual model (element C of the MDA) needs encoding rules for the new data type GRAPH and for the curvilinear et topologic reference values (6).
- Of the MDA elements D (1:1 processors)
- and E (semantic transformation) only the functions for the transformation of reference values as part of the semantic transformation needed to be treated in this project because of the lack of data. These functions are implemented as a demonstrator program, i.e. the algorithms of the methods `newAxis`, `transform` and `inverseTrafo` of the bijective transformation RBBS ↔ CH1903 (9). The tests show the result values of the reverse transformation being different from the start values of the initial transformation only in the tenth position after the decimal point (9.3).

Another important result of the project is the alphabetically sorted list of all (German) terms used together with consistently linked definitions. The rare differences between these and terms and definitions in the VSS environment are well documented (glossary).

Conclusions (10): The „full model“ from SN 671941 has to be completed by working algorithms for the transformations, as they are successfully programmed and tested. For a following realisation projekt (e.g. VSS 2011/713) the planned data have absolutely to be at disposition. It has to be clarified, if the archiving of road data can be more sustainable with help of the bijective transformations RBBS ↔ CH1903 developed (work curvilinear, archive geodetic). The results mentioned provide the basis for two new standards: SN 671941-1 (conceptual models of transformations) and SN 671941-2 (use of the „full model“ in RTT)

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Lokalisierung im Strassenraum durch Referenzwerte bezogen auf ein Referenzsystem

Zur Lokalisierung von Sensoren, Einrichtungen und Ereignissen im Strassenraum braucht es Referenzsysteme. Für eine Staumeldung, wenn nicht Sicherheitsaspekte eine Rolle spielen, genügt es zu wissen, zwischen welchen Knoten des Strassennetzes der Stau ist (z.B. zwischen der Raststätte Stalvedro und dem Gotthard Südportal). Ein Referenzsystem, das solche Ortsangaben wie „zwischen“, „neben“, „in der Nähe von“ ermöglicht, heisst topologisches Referenzsystem. Einen Belagsdefekt oder eine Baustelle möchte man präziser lokalisieren (z.B. bei km 17.35 der Nationalstrasse N4). Ein solches Referenzsystem mit Hilfe der Strassenachse nennt man kurvilineares Referenzsystem. Damit ein Rettungshelikopter den Unfallort findet, muss dieser Ort beispielsweise auf der Landeskarte eingetragen werden können, dazu benötigt man die Landeskoordinaten des Unfallorts (z.B. 642311 / 221768). Das Referenzsystem der Landeskoordinaten ist ein Beispiel für ein geodätisches Referenzsystem. Von jedem der drei Referenzsystem-Typen gibt es je verschiedene Ausprägungen in der Praxis. Die Norm SN671941 beschäftigt sich mit diesen Referenzsystemen und enthält eine Übersicht derselben, genannt „Gesamtmodell“ (siehe Abb. 1.1 mit „linear“ für kurvilinear und „planar“ für geodätisch). Referenzsysteme werden auch Koordinatensysteme genannt, wenn es sich um kartesische, ellipsoidische oder kurvilineare Referenzsysteme handelt. Wie wir in Kapitel 2 sehen werden, sind Referenzsysteme Bestandteil von Bezugssystemen.

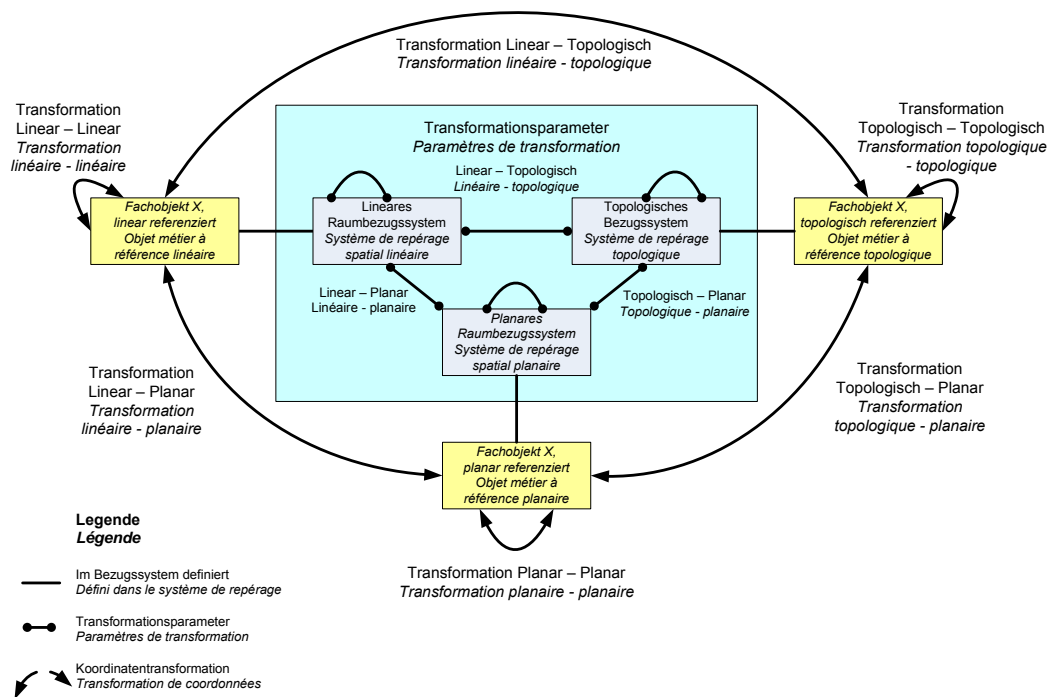


Abb. 1.1 Gesamtmodell von Referenzsystemen und Transformationen aus SN 671941

1.2 Transformationen von Referenzwerten

Möchte man nun beispielsweise Informationen zur Strasse, die in verschiedenen Referenzsystemen lokalisiert sind (z.B. eben Staumeldungen, Baustellen und Unfälle) gemeinsam auf einer Übersichtskarte darstellen, dann müssen alle Lokalisierungen umgerechnet werden ins Referenzsystem dieser Übersichtskarte. Eine solche Umrechnung heisst (Referenzwert- oder Koordinaten-) Transformation. Auch die aktuelle Realisierung der GIS-basierten Verwaltung aller Strassendaten mit Hilfe von MISTRA

braucht umfangreiche Koordinatentransformationen. Wie bei allen GIS ist auch bei MISTRA das Basiskoordinatensystem ein 3-dimensionales kartesisches, nämlich das der Landeskoordinaten der Schweiz. Verschiedene Fachapplikationen, insbesondere auch gewisse Lieferanten und Nutzer von Strassendaten sind angewiesen auf kurvilineare Referenzen (bezüglich RBBS oder Nationalstrassen-Kilometrierung) bzw. auf topologische (wie TMC Location Codes). Einwandfreies Funktionieren der Transformationen zwischen all diesen Referenzsystemen ist Voraussetzung für den Erfolg von MISTRA. Im „Gesamtmodell“ der Norm SN671941 sind alle möglichen Transformationen zwischen Referenzsystemen enthalten.

1.3 Referenzsysteme und Transformationen in der Praxis modellbasiert beschreiben

Genau gesagt enthält das „Gesamtmodell“ von SN 671941 nur Referenzsystem- und Transformations-Typen gemäss theoretischen Überlegungen. Hier wird nun zunächst systematisch analysiert und beschrieben, was in der Praxis an Referenzsystemen und Transformationen effektiv im Einsatz ist. Dabei soll diese Beschreibung nicht nur in Umgangssprache erfolgen, sondern präzise und system-unabhängig mit einer konzeptionellen Beschreibungssprache, d.h. mit einer Art Programmiersprache. Dieses sogenannte modellbasierte Vorgehen hat sich im Forschungsprojekt VSS 2007/902 bereits bewährt, um die heterogen strukturierten Daten verschiedener Systeme der SVT präzise zu beschreiben (man sagt auch: zu modellieren), zu prüfen, zu harmonisieren und zusammenzuführen, ohne an den Systemen selbst sofort etwas ändern zu müssen. Mit derselben Methode wird hier die Vielfalt praktischer Ausprägungen der Referenzsystem- und Transformations-Typen erfasst. Damit wird einerseits gezeigt, dass und wie das „Gesamtmodell“ die Praxis beeinflusst. Andererseits entsteht dabei eine breite praktische Erfahrungsbasis, auf die sich die weitergehenden Detailstudien des Forschungspakets VSS 2009/709 abstützen können.

1.4 Zielsetzung

Es gilt aufzuzeigen, dass und wie das Gesamtmodell für Referenzsysteme und Transformationen in der Praxis eingesetzt ist, das in der Norm SN 671'941 «Strassenverkehrsstelematik Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen» definiert ist. Dieses Ziel kann in die folgenden Teilziele gegliedert werden:

- Analyse und präzise Beschreibung praktischer Ausprägungen der im Gesamtmodell der Norm SN 671'941 definierten Typen von Referenzsystemen und Transformationen anhand praxisnaher Datenaustauschprozesse mit Daten aus der Realität. Insbesondere sind hier die Datenaustauschprozesse zwischen allen beteiligten Systemen und organisatorischen Einheiten über alle Ebenen des Verkehrsmanagements hinweg zu betrachten, z.B. wenn automatisch erfasste Verkehrseignisse im Referenzsystem X zur Verbreitung via Radio in ein Referenzsystem Y transformiert werden müssen. Hierzu sollen Transformationen zwischen Referenzsystemen mit Daten gemäss den Normen der SVT (GDF, Alert-C, TPEG,...) aus signifikanten Anwendungen der Verkehrsstelematik durchgeführt werden.
- Mit diesem Schritt soll die Interoperabilität der Referenzsysteme aufgezeigt werden, d.h. dass auch in der Praxis Transformationen existieren zwischen Referenzsystemen vom kurvilinearen (z.B. RBBS), geodätischen (z.B. Landeskoordinaten) und topologischen Typ (z.B. TMC, RADEF).
- Aufzeigen der Möglichkeiten und Grenzen des modellbasierten Vorgehens zum Schaffen der datentechnischen Voraussetzungen für automatische Koordinatentransformationen zwischen verschiedenen Referenzsystemen. Dabei sollen die nötigen Algorithmen im modellbasierten Vorgehen bei der semantischen Transformation integriert werden.
- Herstellen des Bezugs zu den internationalen Normen (ISO 14825 GDF, ISO 19111 Coordinate Reference Systems, ISO 19148 Linear Reference Systems, ISO 17572 1,2,3 ITS Location referencing gemäss VSS 671941)
- Erarbeiten der Grundlagen für die vorgesehenen Normen 671941-1 und 671941-2.

1.5 Vorgehen

Die Brauchbarkeit des Gesamtmodell aus SN 671941 für den praktischen Einsatz von Referenzsystemen und Transformationen aufzuzeigen war bereits geplant parallel zur Ausarbeitung der Grundlagen für diese Norm im Projekt VSS 1999/261. Diese Abklärungen wurden damals hingegen nicht gestartet. Neu kommt jetzt aber dazu, dass diese Praxisevaluation modellbasiert erfolgt. Nach der Methode, die sich im Projekt VSS 2007/902 bewährte, um heterogene Schnittstellen der SVT in den Griff zu bekommen, soll auch die Praxis der heterogenen Referenzsysteme und der nötigen Transformationen bearbeitet werden. Dazu gilt es insbesondere auch noch die konzeptionellen Schemasprachen UML und INTERLIS zu erweitern um Sprachelemente zur Beschreibung der z.B. mit RBBS verwendeten kurvilinearen Referenzsysteme. Die Forschungsarbeit bestand aus den folgenden drei Paketen.

In **Arbeitspaket 1 (AP1)** wurden die Grundlagen der signifikanten Anwendungen der Verkehrstelematik beschafft. Es wurde darauf geachtet, dass die drei Klassen von Bezugssystemen kurvilinear (z.B. RBBS), geodätisch (z.B. Landeskoordinaten) und topologisch (z.B. TMC, RADEF) vertreten sind. Weiterhin wurde eine Analyse über den Stand der Technik zur Definition und Realisierung von Koordinatensystemen und Transformationen zwischen diesen in der Schweiz durchgeführt sowie über den Stand der entsprechenden internationalen Forschungs- und Normungsarbeiten. Für den experimentellen Nachweis wurde zunächst eine ganze Palette praktischer Beispiele ausgewählt, welche signifikante Anwendungen der Verkehrstelematik abdecken unter Berücksichtigung der in der Zielsetzung erwähnten SVT-Normen. Aus der Abklärung der Bedürfnisse der wesentlichen VM-Dienste werden die Anwendungen der Verkehrstelematik ausgewählt, die für den experimentellen Nachweis genutzt werden sollten. Davon blieb schliesslich eine einzige übrig (Verkehrsunfälle), da es für alle andern keine Daten gab. In AP1 wurden auch die nötigen INTERLIS Sprachelemente erarbeitet für die konzeptionelle Definition der kurvilinearen und topologischen Referenzsysteme.

Arbeitspaket 2 (AP2) beabsichtigte die Umsetzung des Gesamtmodells dadurch, dass die kurvilinearen, geodätischen und topologischen Bezugssysteme inklusive der Transformationen in einem Prototyp zu implementieren waren. Dieses Demonstrator-Programm ist eine Erweiterung des bereits für das Projekt VSS 2007/902 entwickelten Demonstrators und zeigt, dass die modellbasierte Beschreibung der Praxis auch einfachen Zugang zur digitalen Bearbeitung eröffnet. Parallel dazu waren die Daten im ausgewählten Beispielgebiet bei den Betreibern der Anwendungen der Verkehrstelematik zu beschaffen. Es war beabsichtigt, sowohl statische Daten (z.B. unterschiedliche Beschreibungen des Verkehrsnetzes), dynamische Daten (z.B. Ereignisse auf dem Strassennetz) als auch statistische Daten (z.B. Verkehrsdaten) zu berücksichtigen. Für den experimentellen Nachweis galt es, verschiedene Einsatzszenarien zu definieren, die in AP3 durchgespielt werden sollten. Hier musste im Ablauf des Projektes umorganisiert werden. Es zeigte sich, dass die Beschaffung der Daten (und damit auch deren Modellierung und die Implementierung des Prototyps) erst möglich ist, wenn Klarheit herrscht über die zu bearbeitenden Szenarien. Deshalb mussten verschiedene Arbeitselemente aus AP2 nach AP3 verschoben werden, nämlich die Beschreibung der Daten in Umgangssprache, das konzeptionelle Datenmodell dazu, die Herleitung des Schnittstellenformats und die nötigen Anpassungen des Programm-Prototyps. Die Definition von drei Testeszenarien wurde in AP2 abgeschlossen.

Im **Arbeitspaket 3 (AP3)** war geplant, alle definierten Einsatzszenarien durchzuspielen. Vor dem Testlauf sollten bei jedem Szenario die aus AP2 verschobenen Arbeitselemente ausgeführt werden (Datenbeschreibung, konzeptionelles Modell, Schnittstellenformat, Programmierung). Das war wegen fehlender Daten nur für ein Szenario möglich. Schliesslich wurden Möglichkeiten und Grenzen bestimmt für den Einsatz des Gesamtmodells gemäss SN 671'941 in der SVT. Daraus ergaben sich Schlussfolgerungen hinsichtlich der Umsetzung des Gesamtmodells für den Einsatz auf dem gesamten schweizerischen Strassennetz für SVT-Anwendungen. Die Resultate des Forschungsprojekts werden in diesem Bericht zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die allfällig später folgende Norm "Verwendung eines Gesamtmodells für die Koordinatentransformation, angewandt auf die Standards der Strassenverkehrstelematik".

1.6 Hauptergebnisse und Abgrenzung Forschungsgebiet

Ein Hauptergebnis ist der Nachweis, dass kurvilineare und geodätische Referenzsysteme im kleineren der entsprechenden Referenzbereiche äquivalent sind, d.h. dass eine umkehrbar eindeutige Abbildung zwischen den entsprechenden Referenzwerten konstruiert werden kann. Erst die Analyse der Grundlagen zeigte, dass für die übliche Referenzgeometrie der Strassenachsen als Folge von Geradenstücken offenbar zur Zeit keine umkehrbar eindeutige Transformation existiert zwischen kurvilinearen Koordinaten, z.B. bezogen auf das Referenzsystem RBBS, und geodätischen Koordinaten, z.B. bezogen auf das Landeskoordinatensystem (siehe Anhänge VIII.5, VIII.19, VIII.20, Definition der umkehrbaren Eindeutigkeit siehe 2.6). Für Punkte, die kritisch in der Nähe von Ecken der Referenzgeometrie liegen, müsste diese Referenzgeometrie „verbessert“ werden, ohne den Referenzrahmen des entsprechenden Raumbezugssystems ändern zu müssen. Die Schlüsselidee ist, in solchen Fällen die Ecke durch geeignete Kreisbogen zu ersetzen. Die Präzisierung dieser Idee (4.5.7, 4.5.8 sowie 9.2) und die erfolgreiche Realisierung mit einem Computerprogramm (Anhang IX und VI) sowie Tests und Vergleich mit vorhandenen MISTRA Services benötigten einen ordentlichen Aufwand.

Daneben kommen weitere Transformationen vor in der Übersicht 4.3 des Kommunikationsnetzwerks der VT-Elemente, zwischen denen Datenaustausch mit Umbau der Referenzwerte im Beispielgebiet stattfindet. Die Übersicht 4.3 entspricht dem Gesamtmodell. Diese übrigen Transformationen werden in Kapitel 4.5 analysiert und in Umgangssprache beschrieben. Für alle konnte entschieden werden, ob sie eindeutig sind. Damit konnte auch festgestellt werden, für welche Paare von Referenzsystemen es umkehrbar eindeutige Transformationen gibt, die daher interoperabel oder äquivalent sind. Ferner liegen für sie Konzeptbeschreibungen vor (4.5.1 bis 4.5.6 und 4.5.9 bis 4.5.16) und sie sind programmierbereit.

Ein weiteres Hauptergebnis ist die Erweiterung der konzeptionellen Modellierungssprache INTERLIS 2 um Sprachelemente zur Beschreibung von Graphen sowie von kurvilinearen und topologischen Referenzsystemen in Ergänzung der bereits bestehenden Sprachelemente für geodätische Referenzsysteme. Mit dabei sind auch die notwendigen Codierungsregeln (6).

Auch als Hauptergebnis möchten wir auch die Terminologie bezeichnen (Abkürzungen und Glossar). Alle Begriffe, die wir in den verwendeten Grundlagen vorfanden oder die wir neu einführten, sind aufgenommen mit einer konsistenten Definition, teilweise als Synonyme von bevorzugten aussagefähigeren Termen.

Weitere Einschränkungen des Forschungsgebietes:

- Beschränkung auf Referenzsysteme und Transformationen
- Verwendung von Prototyp und Ergebnissen des Forschungsprojektes VSS 2007/903 „Einsatz modellbasierter Datentransfernormen in der SVT“
- Keine Implementierung auf on-line-Systemen
- Kapitel 4.3 enthält eine Übersicht des Netzes der VT-Elemente, zwischen denen wir Datenaustausch mit Strukturumbau durchführen können. Wir werden uns auf den Austausch in diesem Netz beschränken müssen.

1.7 Gliederung des Berichtes

Der Bericht enthält 10 Kapitel und 9 Anhänge. vorab die Zusammenfassung der Arbeit auf Deutsch, Französisch und Englisch und am Schluss Abkürzungen und Glossar Die übrigen Kapitel können in 3 Teile zusammengefasst werden.

Wie die Übersicht zeigt, ist der „rote Faden“ des Berichts gegeben durch den konsequenten Einsatz des modellbasierten Vorgehens mit Schwergewicht im Teil 2, von der ausführlichen Beschreibung in Umgangssprache der interessierenden Referenzsysteme und Transformationen (Kapitel 4.4 und 4.5) bis zur Integration der Transformation von Referenzwerten in die semantische Transformation von (Geo-) Daten (Kapitel 8).

Vorgängig werden in Teil 1 die Grundlagen zusammengestellt. Dazu zählen wir nicht nur die einleitenden Kapitel 1, 2 und 3 sondern auch das Glossar.

Schliesslich beschreibt Teil 3, wie die Transformationen RBBS ↔ CH1903 in Form von Programmen als Element der semantischen Transformation realisiert sind (Kapitel 9). Die Ergebnisse dieser Berechnungen erlauben einen Vergleich und eine Beurteilung von in der Praxis vorhandenen Implementierungen, für welche zum Teil nicht alle Details der Algorithmen zugänglich sind (Kapitel 10).

1. Teil: Grundlagen

- Kapitel 1: Ausgangslage und Zielsetzung mit Besprechung der Grundlagentexte und deren Bedeutung für das Forschungsprojekt (in Kapitel 1.8 und Anhang VIII)
- Kapitel 2: Bezugssysteme und Transformationen, Grundlagen
- Kapitel 3: Modellbasiertes Vorgehen für Referenzsysteme und Transformationen
- Am Schluss: Abkürzungen, Terminologie (Glossar) und Literatur-Referenzen

2. Teil: Einsatz des modellbasierten Vorgehen für Referenzsysteme und Transformationen

- Kapitel 4: Element A Realitätsausschnitt
- Kapitel 5: Element B Konzeptionelle Datenmodellierung
- Kapitel 6: Element C Standard Transferformat
- Kapitel 7: Element D 1:1 Prozessoren
- Kapitel 8: Element E Strukturumbau mit semantischer Transformation → Bezugssystemumbau

3. Teil: Realisierung mit Demonstrationsprogramm und Ergebnisse

- Kapitel 9: Implementierung des Demonstrationsprogramms
- Kapitel 10: Erreichen der Ziele und Schlussfolgerungen

1.8 Grundlagentexte und ihre Bedeutung für das Projekt

Die Grundlagentexte und deren Bedeutung können Anhang VIII entnommen werden.

2 Bezugssysteme und Transformationen, Grundlagen

Hier geht es zunächst um die mathematischen Grundelemente Euklidischer Vektorraum und Graph und deren Bedeutung zur Beschreibung der Realwelt. Das ist an sich Basisinformation. Diese ist aber für das Projekt wesentlich, da Präzision in der Definition und Anwendung der Begriffe ein wesentliches Anliegen ist.

Von besonderer Bedeutung für Referenzsysteme und Transformationen allgemein ist, was unter Bezugssystem verstanden wird. Dazu gehören 3 Elemente: Zunächst das Mess- oder Koordinatensystem, mit dessen Hilfe genaue Lageangaben möglich sind (genannt Referenzsystem, als Verallgemeinerung von Koordinatensystem), dann dessen Gültigkeits- oder Wirkungs- oder Anwendungsbereich (genannt Referenzbereich) und schliesslich die Verankerung des Referenzsystems in der Realität (genannt Referenzrahmen). Die in der Realität bestimmten Messwerte (bezüglich des Referenzrahmens) werden auch Referenzwerte genannt (bezüglich des Referenzsystems).

Für die praktischen Anwendungen sind auch die Eigenschaften von Transformationen wesentlich, umkehrbare Eindeutigkeit bzw. einseitige Umkehrbarkeit. Auch diese werden klar definiert und mit anschaulichen Beispielen aus der Strassenpraxis erläutert.

2.1 Abstraktion der Realwelt: Raum und Graph

Unser Ausgangspunkt ist die Realwelt. Ein Gegenstand der Realwelt heisst Realweltobjekt.

Auch Realweltobjekte, die geometrische Eigenschaften haben wie Strassen, Häuser, Parzellen, Bäume, Belagsschichten, möchte man mit dem Computer bearbeiten können. Dazu ist zunächst in einem Abstraktionsschritt zu entscheiden, was für eine „Form“ aus Fachsicht für das Realweltobjekt relevant ist, ob etwa eine Belagsschicht eine sehr detaillierte Formbeschreibung braucht oder ob sie durch einen Quader angenähert werden kann [17] B1149 S.20). Um diese „Form“ beschreiben zu können, unabhängig davon, ob detailliert oder angenähert, aber in beiden Fällen präzise, macht man es wie seinerzeit Euklid. Man betrachtet die Realwelt als mathematisches Gebilde, zwar nicht nur mit zwei Dimensionen d.h. als Ebene, wie seinerzeit Euklid, sondern mit drei Dimensionen d.h. als Raum (genau genommen als speziellen sogenannten 3-dimensionalen Vektorraum). Und die Realweltobjekte, bzw. deren Abstraktionen (auch Fachobjekte genannt), sind Teilmengen dieses Raumes. Dabei beschränkt man sich vorerst auf einige wenige Typen solcher Teilmengen als Abstraktionen von Realweltobjekten nämlich auf Punkte, Linien(stücke) und (ebene) Flächen(stücke) ([17] B1149 Tabelle 1 S. 20).

Aus Punkten und Linien, die gewisse dieser Punkte verbinden, lassen sich Netze bilden. Diese werden gebraucht als Abstraktionen netzartiger Realweltobjekte wie es Strassenetze oder Gewässernetze sind. Im Falle von Netzen gilt: die beteiligten Punkte heissen Knoten und die Verbindungslinien heissen Kanten und statt von einem Netz spricht man allgemeiner von einem Graph (ein Netz ist ein spezieller Graph, siehe 4.2). So, wie wir den Graph einführen, ist er eine Teilmenge des Raumes. Hier kann man die Abstraktion noch einen Schritt weiter treiben. Für gewisse Untersuchungen sind die Knoten eines Graphs nicht Punkte im Raum und die Kanten nicht Linienzüge im Raum und es ist nicht wesentlich, wo im Raum sich diese allgemeinen Knoten und Kanten befinden. Ein Beispiel dazu bilden im Strassenbereich die TMC Location Codes. Diese entsprechen den Knoten eines Graphs ohne Koordinaten (ausser in der Schweiz!). Es ist oft nur wesentlich, welche zwei Knoten durch eine Kante verbunden sind und ob allenfalls die Kante eine Richtung hat, d.h. ob der eine der durch die Kante verbundenen Knoten Anfangsknoten, der andere Endknoten dieser Kante ist. Der Graph ist neben dem Raum ein weiteres mathematisches Gebilde, als das wir einen Realweltausschnitt betrachten können. In Kapitel 4.2 „Abstraktion der Strasse“ findet man verschiedene Beispiele aus dem Strassenbereich zu den Elementen eines Graphs.

2.2 Bezugssystem

Ferner muss neben anderen interessierenden Eigenschaften die Lage der Realwelt-objekte in der Realwelt (bzw. ihrer Abstraktionen, der Fachobjekte, im Raum) digital beschrieben werden können. Dazu dient ein sog. **Bezugssystem**, wovon es verschiedene Typen gibt. Ein Bezugssystem besteht aus einem Referenzbereich, einem Referenzsystem und einem Referenzrahmen. (Vorsicht: VSS Normen bezeichnen mit Bezugssystem oft das Koordinatenreferenzsystem.)

2.3 Referenzbereich

Als **Referenzbereich**, d.h. als Teil des Raumes, in welchem die Lage von Fachobjekten beschrieben werden soll, dient üblicherweise der ganze Raum, etwa wenn Position und Höhe eines Fachobjektes interessieren, oder eine Ebene, etwa die Projektionsebene einer Karte. Hingegen kann auch eine im Raum eingebettete Fläche ein interessanter Referenzbereich sein, etwa die Strassenfläche für Unterhaltsarbeiten, oder auch im Raum verlaufende Linienzüge, etwa diejenigen der Strassenachsen eines Verkehrsnetzes oder der Bach- bzw. Fluss- bzw. Seeachsen eines Gewässernetzes. Aber sowohl Strassenflächen als auch Achslinien können nicht beliebig verlaufen, auch wenn sie gekrümmt sind und Wellen haben. Sie müssen zusammenhängend und glatt sein. Die genaue Definition lautet: Ein 1-, 2- oder 3-dimensionaler Referenzbereich ist eine Teilmenge des Raumes, welche eine 1-, 2- oder 3-dimensionale Mannigfaltigkeit ist. Schliesslich kann der Referenzbereich auch ein Graph sein bestehend aus Knoten und Kanten, die nur zum Teil (etwa die Knoten) oder überhaupt nicht Teilmengen des Raumes sein müssen. Ist ein Graph Teilmenge des Raumes, dann ist er die Vereinigungsmenge der endlich vielen 1-dimensionalen Mannigfaltigkeiten, die seinen Kanten entsprechen.

2.4 Referenzsystem

Ein Referenzsystem im Raum ermöglicht die präzise Beschreibung der Lage eines Punktes im Raum durch Referenzwerte und damit die präzise Beschreibung der Lage des entsprechenden Ortes in der Realwelt (Details zu den Begriffen Realwelt und Ort bzw. Raum und Punkt siehe Kapitel 4.1 bzw. 4.2). Es gibt zwei wesentlich verschiedene Typen von Referenzsystemen zu unterscheiden, nämlich Koordinatensysteme und topologische Referenzsysteme. (Vorsicht: Andere Definition in VSS-Normen, siehe Glossar!)

Ein Koordinatensystem ist anschaulich und von den Daten aus gesehen definiert durch seine Achsen. Diese können Geraden sein oder Kreis- bzw. Ellipsen-Bogen oder einfache Linienzüge entsprechend der Art des Referenzbereiches, den sie auszumessen erlauben. Entsprechend der Dimension des Referenzbereichs hat das Referenzsystem 1, 2 oder 3 Achsen. Das stimmt zwar in etwa, falls der Referenzbereich eine Gerade, eine Ebene oder der ganze Raum ist, oder auch noch, falls er die Oberfläche einer Kugel oder eines Ellipsoids ist. Ist hingegen der Referenzbereich eine 2-dimensionale Mannigfaltigkeit, die dem Verlauf einer kurvigen Strassenfläche in hügeligem Gebiet entspricht, dann ist zwar die eine (u-) Achse dieses kurvilinearen Referenzsystems der Linienzug, welcher der Strassenachse entspricht, d.h. die sog. Achslinie, aber die zweite (v-)Achse ist in jedem Punkt des u-Linienzugs eine andere Gerade. Die genaue Definition lautet: Ein Koordinatensystem im Raum ist die Basis eines Euklidischen Vektorraumes bzw. Urbild der Basis einer Karte einer Mannigfaltigkeit im zugeordneten Euklidischen Vektorraum beim Kartenhomöomorphismus (Details siehe Vektoranalysis, z.B. K. Jänich [15], [16]). Im Raum gibt es geodätische und kurvilineare Koordinatensysteme. Zu den geodätischen Koordinatensystemen gehören die kartesischen, die sphärischen und die ellipsoidischen Koordinatensysteme. Ein geodätisches Koordinatensystem der Dimension 1 (1 Achse), 2 (2 Achsen) bzw. 3 (3 Achsen) wird auch „planares“ Koordinatensystem genannt. Das schweizerische Landeskoordinatensystem ist ein spezielles kartesisches Koordinatensystem der Dimension 3. Das kurvilineare Koordinatensystem (auch lineares Koordinatensystem genannt) ist im Unterschied zu den geodätischen fast ausschliesslich im Strassen-, Bahn- und Gewässerbereich verbreitet. Dazu Genaueres:

Ein kurvilineares Koordinatensystem ist ein lokales Koordinatensystem einer 2-dimensio-

nalen Mannigfaltigkeit und deren räumlicher Umgebung. Seine erste Achse (u), die sog. Referenzlinie, ist ein einfacher Linienzug (als Urbild der X-Achse im zugeordneten Euklidischen Vektorraum beim Kartenhomöomorphismus). Seine zweite (v) und dritte Achse (w) sind Geraden, die in jedem Punkt der ersten Achse auf dem Mittelwert von deren beidseitigen Tangentialvektor-Grenzwerten und aufeinander senkrecht stehen. Musterbeispiel ist das RBBS mit dem Referenzbereich, der durch eine Strassenfläche definiert ist, die erste Koordinatenachse durch den Verlauf der Strassenachse (u), die zweite senkrecht dazu in der Strassenfläche (v) und die dritte (w) senkrecht auf den ersten beiden.

Sind Knoten und/oder Kanten eines Graphs Teilmengen des Raumes, dann können dafür Koordinatensysteme im Raum verwendet werden. Sind hingegen weder Knoten noch Kanten eines Graphs Teilmengen des Raumes, dann muss für die Bestimmung der Lage eines Realweltobjektes bzw. seiner Abstraktion im Graph ein sog. topologisches Referenzsystem eingeführt werden. Ein topologisches Referenzsystem auf einem Graph besteht aus den Knoten und/oder Kanten des Graphs und einer Objektidentifikation für die Knoten und/oder für die Kanten, die ermöglicht, für ein Realweltobjekt bzw. für seine Abstraktion anzugeben, bei welchem Knoten und/oder auf welcher Kante des Graphs es sich befindet.

Für die konzeptionelle Modellierung von geodätischen Koordinatensystemen konnten vorhandene Sprachelemente von INTERLIS 2 verwendet werden (siehe Kapitel 5.1 und 5.2 sowie 5.5.1 und 6.5.2). Für kurvilineare und topologische Referenzsysteme mussten zuerst INTERLIS 2 Sprachelemente definiert werden (siehe Kapitel 5.3 und 5.4 sowie 5.5.3 und 5.5.4). Die konkreten konzeptionellen Datenmodelle der im Vordergrund stehenden Referenzsysteme RBBS und CH1903 sind in 5.8 zu finden.

2.5 Referenzrahmen

Referenzrahmen nennt man die Materialisierung eines Referenzsystems in der Realwelt. Punkte, deren Referenzwerte in dem betreffenden Referenzsystem bekannt sind, werden in der Realwelt durch Steine oder Bolzen oder Markierungen anderer Art gekennzeichnet. Den Referenzrahmen LV03 für das Referenzsystem CH1903 bilden die Fixpunkte der Ordnung 1, 2, 3, der Landesvermessung 1903. Für den neuen Referenzrahmen LV95 des Referenzsystems 1903+ sind es die Punkte mit den Granitkoordinaten der Landesvermessung 1995, für das kurvilineare Koordinatensystem RBBS ist es der in 4.1 beschriebene Bezugsrahmen.

2.6 Referenzwert-Transformationen

Aufgrund von Anwenderbedürfnissen bzw. von Anwendungsgegebenheiten kam es zu den verschiedenen in Kapitel 4.4 vorgestellten Referenzsystemen. Andererseits ist klar, dass die Lage von Punkten im Raum nur dann verglichen werden kann, wenn deren präzise Beschreibung durch Referenzwerte sich auf dasselbe Referenzsystem bezieht. Ist das nicht der Fall und der Lagevergleich unverzichtbar, muss auf ein gemeinsames Referenzsystem umgerechnet werden können. Das leisten Referenzwert-Transformationen.

Wie auch im Titel des Abschnittes formuliert, beschränken wir uns auf Transformationen von Referenzwerten bei gegebenen Referenzsystemen, d.h. auf die Koordinatentransformationen im äusseren Ring des Gesamtmodells von *Abb. 1.1*. Ein anderes Thema wären Transformationen von Referenzsystemen, wie sie im Gesamtmodell notiert sind als Umbau der Transformationsparameter im inneren Ring. Für den Umbau von zwei geodätischen Referenzsystemen ineinander liefert die lineare Algebra die benötigten Formeln und Parameter und den Zusammenhang zum Umbau der entsprechenden Referenzwerte, was wir bei der Referenzwert-Transformation CH1903 ↔ WGS84 verwenden werden (4.5.9 und 4.5.10). Es sind auch Transformationen von kurvilinearen und topologischen Referenzsystemen möglich. So handelt es sich etwa bei der Bereitstellung von Strassen navigationsdaten für MISTRA (siehe Anhang VIII.15 und [23]) zunächst um die Ergänzung des kurvilinearen Referenzsystems RBBS (4.4.2.1) auf Grund des topologischen Referenzsystems Multinet Oracle von Teleatlas / TomTom, einer Variante

von GDF (4.4.3.1). Solche Transformationen von Referenzsystemen werden im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht bearbeitet.

Grundsätzlich möchte man Referenzwerte bezüglich eines der verschiedenen existierenden Referenzsysteme umrechnen können in Referenzwerte bezüglich jedes der anderen Referenzsysteme. Eine solche Umrechnung ist immer möglich. Es stellt sich aber die Frage, ob man bei der Rücktransformation wieder die Ausgangsreferenzwerte bezüglich des Startreferenzsystems bekommt, abgesehen von Rundungsfehlern aufgrund der Computernumerik. Ist das der Fall, nennen wir die Referenzwert-Transformation umkehrbar eindeutig und die beteiligten Referenzsysteme äquivalent oder interoperabel. Ob dies für zwei Referenzsysteme der Fall ist, hängt ab von Referenzbereich, Referenzsystem und Transformationsmethode, und oft auch davon, mit welchem Referenzsystem man beginnt. Sind die erwähnten Punkte bekannt, kann theoretisch entschieden werden, auf welche Weise zwei gegebene Referenzsysteme interoperabel sind. Ist eine Transformation nur dann umkehrbar eindeutig, wenn man beim einen der beiden beteiligten Referenzsysteme startet, nicht aber, wenn man beim anderen startet, dann nennen wir die Transformation einseitig umkehrbar und die beteiligten Referenzsysteme einseitig äquivalent. Zwei Beispiele:

Ist A ein geodätisches und B ein topologisches Referenzsystem (z.B. A ist CH1903 und B ist TMC-Location Code). Die Referenzbereiche sind sehr verschieden, für A der ganze Raum und für B ein Graph mit Knoten und Kanten. Nur wenn mindestens von den Knoten von B auch geodätische Koordinaten bekannt sind, können überhaupt Transformationen $A \leftrightarrow B$ stattfinden. Starten wir mit den geodätischen Koordinaten eines Punktes. $P = (\pi_0, \pi_1)$. Es muss festgelegt worden sein, welche geometrischen Bedingungen den topologischen Referenzwerten „bei Knoten K “, „in der Nähe von Knoten K “ und „zwischen Knoten K_1 und K_2 “ entsprechen. Dem letzten Referenzwert könnte etwa die folgende geometrische Bedingung entsprechen:

$$\max \{ \text{dist}(P, K_1), \text{dist}(P, K_2) \} > (15/100) \text{dist}(K_1, K_2).$$

Dann können auf Grund der geodätischen Koordinaten von P und der n Knoten K_i von B die zu P benachbarten Knoten K_1 und K_2 gefunden und der entsprechende topologische Referenzwert bestimmt werden. Für die Transformation $B \rightarrow A$ muss ebenso festgelegt worden sein, wie aus den topologischen Referenzwerten geodätische Koordinaten zu berechnen sind. Für den Fall „zwischen den Knoten K_1 und K_2 “ beispielsweise können, wenn die geodätischen Koordinaten der Knoten $K_1 = (\kappa_{10}, \kappa_{11})$ und $K_2 = (\kappa_{20}, \kappa_{21})$ lauten, die geodätischen Koordinaten des Punktes $P^{-1} = (\pi_0^{-1}, \pi_1^{-1})$ berechnet werden gemäss $\pi_0^{-1} = (\kappa_{10} + \kappa_{20})/2$, $\pi_1^{-1} = (\kappa_{11} + \kappa_{21})/2$. Interessant ist festzustellen, dass beim Start in A mit $P = (\pi_0, \pi_1)$, Transformation $A \rightarrow B$ (was z.B. topologischen Referenzwert „ P ist zwischen K_1 und K_2 “ ergibt) und anschliessen Rücktransformation $B \rightarrow A$ fast immer $P^1 \neq P$ ergibt, d.h. die zurückgerechneten geodätischen Koordinaten (π_0^{-1}, π_1^{-1}) stimmen nicht überein mit den Ausgangskoordinaten (π_0, π_1) . Hingegen startet man in B , z.B. mit „ P ist zwischen K_1 und K_2 “, transformiert $B \rightarrow A$ und dann zurück $A \rightarrow B$, dann bekommt man wieder „ P ist zwischen K_1 und K_2 “, weil man die Umrechnungsformeln geeignet definieren kann gemäss A und B .

Ist A ein kurvilineares und B ein geodätisches Referenzsystem (z.B. A ist RBBS und B ist CH1903). Dann ist der Referenzbereich von A (beim RBBS die Strassenfläche und deren Umgebung bis im Abstand von ca. 100m) Teilmenge des Referenzbereichs von B (bei CH1903 der ganze Raum). Die Transformation $A \leftrightarrow B$ kann umkehrbar eindeutig definiert werden, wenn in jedem der beiden Referenzsysteme (die beide Koordinatensysteme sind) jedem Punkt des Referenzbereichs eindeutig ein Referenzwert (d.h. Koordinaten) zugewiesen werden kann. Wie in VIII.5.3 und VIII.19 ausgeführt, ist das bei einem kurvilinearen Referenzsystem A nicht der Fall, wenn die erste Achse des Referenzsystems eine Achslinie ist, die nur aus Strecken (d.h. Geradenstücken) besteht. Um zu umkehrbar eindeutigen Transformationen $A \leftrightarrow B$ zu kommen, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder man definiert eine neue glatte Achslinie (stetig und erste Ableitung auch stetig) oder man verwendet einen Transformationsalgorithmus, der dynamisch bei Bedarf eine Achslinienecke durch einen geeigneten Kreisbogen ersetzt.

Diese zweite Möglichkeit existiert und wurde implementiert, wie in Abschnitt 9.2 ausgeführt ist. Offenbar sind kurvilineare und geodätische Referenzsysteme äquivalent.

Für die konzeptionelle Beschreibung der im Detail untersuchten und programmierten Referenzwert-Transformationen $\text{RBBS} \rightarrow \text{CH1903}$ und $\text{CH1903} \rightarrow \text{RBBS}$ wurde das UML-Ablaufdiagramm verwendet (siehe Abschnitt 5.10).

3 Modellbasiertes Vorgehen für Referenzsysteme und Transformationen

Das modellbasierte Vorgehen ist zwar beim Datenbankentwurf grundsätzlich im Einsatz und auch die klare Definition der 5 Elemente ist schon allgemein beschrieben (z.B. in [7] MDainSVT). In dem Sinne handelt es sich hier um Basisinformation. Hingegen ist neu und wesentlich die Sicht von Referenzsystemen und Transformationen auf die 5 Elemente des MDA (3.1) und der Einsatz des MDA für Referenzsysteme und Transformationen (3.2).

3.1 Modellbasierten Vorgehens: Die 5 Elemente A, B, C, D, E

Ein wesentlicher Vorteil des modellbasierten Vorgehens ist, dass man vom proprietären Format eines Startsystems mit bestimmter Datenstruktur ausgehen kann und nach Strukturumbau bei einem anders strukturierten Zielsystem wieder im entsprechenden proprietären Format ankommen kann. Hier werden uns als spezielle Elemente der Datenstruktur die Referenzsysteme beschäftigen und als spezielle Elemente des Strukturumbaus die Transformationen von Referenzwerten. Aus diesem Gesichtspunkt werden wir im Folgenden kurz die fünf wesentlichen Elemente (A) bis (E) des modellbasierten Vorgehens erörtern und in Abschnitt 4.2 den Umbauprozess, um Daten zwischen verschiedenen strukturierten Systemen gleichen Inhalts zu transferieren. Weitere Details sind zu finden im Forschungsbericht MDainSVT [7], Kapitel 3.

A Realitätsausschnitt

Der **Realitätsausschnitt** (reality selection, universe of discourse) ist der Teil der Realwelt, der für die Bearbeitung eines Themas oder eines Themenbereichs wesentlich ist. In unserem Fall ist der Realitätsausschnitt die Datenschnittstelle eines gegebenen Systems in Form des entsprechenden proprietären Transferformats. In dieser Arbeit sind vor allem Referenzsysteme und Transformationen zwischen diesen unsere Realweltobjekte (d.h. Gegenstände der Realwelt). Genau genommen sind sie Teil der Abstraktion der Realwelt, die nötig ist, um Lage und Geometrie von Realweltobjekten des Realitätsausschnitts bearbeiten zu können (vergleiche dazu Kapitel 2.1, 4.1 und 4.2).

Der Realitätsausschnitt ist in Umgangssprache so präzise wie möglich zu beschreiben. Und zwar die Realwelt selbst als auch deren Abstraktion. Unter „Umgangssprache“ sind auch tabellarische Übersichten, technische Dokumentationen, Objektartenkataloge etc. zu verstehen. Im Sprachgebrauch der Strassenthematik hat sich für die Beschreibung des Realitätsausschnitts in Umgangssprache der Begriff „semantisches Modell“ eingebürgert. Das ist unglücklich, denn damit wird nahegelegt, dass Semantik (d.h. Bedeutung) nur umgangssprachlich formuliert werden kann. Das widerspricht unserer Erfahrung, dass Klarheit der Bedeutung erst durch konzeptionelle Modellierung mit formaler Sprache erreicht wird.

Um die Daten im Allgemeinen und deren Bezugssysteme im Besonderen zu verstehen, welche diese Schnittstelle unseres Realitätsausschnitts liefert oder entgegennimmt, müssen wir uns über die Realwelt der Strassen begriffliche Klarheit verschaffen. Ebenso über deren Abstraktion, die nötig ist, um die Realweltobjekte digital bearbeiten zu können. Man vergleiche dazu Kapitel 4 mit der Realwelt der Strasse (4.1), Abstraktion der Strasse (4.2), Übersicht von Bezugssystemen und Transformationen (4.3), mit interessierenden Bezugssystemen (4.4) und Transformationen (4.5), mit der Beschreibung von Testszenarien (4.6) und Beispielgebiet (4.7). Beim modellbasierten Datentransfer ist der Realitätsausschnitt sowohl für das Start- als auch für das Zielsystem zu beschreiben.

B konzeptionelles Datenmodell

Das **konzeptionelle Datenmodell** (oder **konzeptionelle Schema**) der Datenstruktur hinter dem proprietären Transferformat kann sowohl grafisch als auch textuell formuliert werden. Um den Überblick zu gewinnen, verwenden wir die grafische konzeptionelle

Modellierungssprache UML (Unified Modelling Language) [26]. Um die nötige Präzision für die Beschreibung von Klassen, Attributen und Beziehungen zu erhalten, verwenden wir die textuelle CSL (Conceptual Schema Language) INTERLIS 2 [18].

Bei der konzeptionellen Modellierung der Referenzsysteme und Transformationen können wir uns für kartesische und ellipsoidische Koordinatensysteme auf Anhang I des INTERLIS Referenzhandbuchs stützen. Hingegen fehlen die Sprachelemente der CSL sowohl in UML als auch in INTERLIS 2 zur konzeptionellen Modellierung von kurvilinearen und topologischen Referenzsystemen und den Transformationen zwischen diesen und den herkömmlichen Koordinatensystemen. Diese Lücke zu füllen ist eine der Hauptaufgaben von Kapitel 5.

C modellspezifisches Standard-Transferformat

Die Beschreibung des (modellspezifischen) Standard-Transferformats folgt automatisch aus dem konzeptionellen Datenmodell gemäss vordefinierten Regeln, d.h. das Standard-Startformat aus dem Startmodell und das Standard-Zielformat aus dem Zielmodell.

Wir verwenden das INTERLIS2-XML-Transferformat. Dessen Herleitungsregeln aus dem konzeptionellen Datenmodell sind in Kapitel 3 des INTERLIS2-Referenzhandbuchs [18], allerdings auch hier nur für die bisher verwendeten kartesischen und ellipsoidischen Koordinatensysteme. Bevor wir den Standard Transferformat für kurvilineare Koordinaten und für topologische Referenzwerte herleiten können, müssen wir in Kapitel 6 die entsprechenden Herleitungsregeln formulieren.

D 1:1-Prozessor

Für den Transfer vom Startsystem S zum Zielsystem Z liegen die Startdaten vor im proprietären Format von S vor. Des Weiteren werden die Zieldaten im proprietären Format von Z benötigt. Für den Einsatz der Checker- und Transformations-Werkzeuge benötigen wir diese Daten allerdings im Standardformat. Zum Umformatieren von Daten vom proprietären Format in das entsprechende Standardformat bzw. umgekehrt braucht es einen sog. **1:1-Prozessor**. Da beide beteiligten Dateien derselben Datenstruktur entsprechen, ist ein 1:1 Prozessor nicht komplexe Software.

Der neue Gesichtspunkt von kurvilinearen und topologischen Referenzsystemen benötigt beim 1:1 Prozessor keine besonderen Massnahmen.

E semantische Transformation

Die **semantische Transformation** ermöglicht den **Umbau der Datenstruktur** des Startsystems auf die Datenstruktur des Zielsystems, und zwar format- und systemunabhängig. Der Strukturumbau wird auf konzeptioneller Ebene definiert: Mit Abbildungs- und Umrechnungsfunktionen wird das Start-Datenmodell in das Ziel-Datenmodell umgebaut. Ist der Modellumbau definiert und liegen die Startdaten im Standardformat vor, dann können diese Daten automatisch transformiert werden in das Standardformat des Zielsystems. Dazu stehen heute verschiedene Werkzeuge zur Verfügung (\rightarrow MDAinSVT [7] 3.3 (E)).

Auch hier gibt es aus der Sicht der Transformationen zwischen verschiedenen Referenzsystemen zwei wesentliche Dinge zu ergänzen. Einerseits die konzeptionelle Beschreibung der nötigen Abbildungen als Beziehungen zwischen den Klassen der aufeinander zu transformierenden Referenzsysteme mit den benötigten Parametern als Attributen (Kapitel 5.10). Andererseits die Realisierung dieser konzeptionell beschriebenen Transformationen als Umrechnungsfunktionen des semantischen Transformationsprogramms. Das liefern die Kapitel 5.10 (Methodenköpfe), 9.2 (Programme der Methoden) und 8 (Einbau in die konzeptionellen Umbausprachen UMLT und ILIT).

3.2 Einsatz MDA für Referenzsysteme und Transformationen

Voraussetzung für den Einsatz modellbasierter Dienste ist, dass von den beteiligten Datenschnittstellen und insbesondere von den verwendeten Referenzsystemen konzeptionelle Datenmodelle und die Daten im entsprechenden Standard-Transferformat vorlie-

gen. Die Elemente (A, B, C, D) aus 3.1 werden also immer benötigt. Der modellbasierte Datentransfer mit Strukturumbau (semantische Transformation) ist in Abb. 3.2 erläutert. Am Beispiel von zwei Systemen der SVT ist gezeigt, wie alle 5 Elemente (A) bis (E) des modellbasierten Vorgehens zusammenspielen, um den Umbau einer Startdatenstruktur S in eine Zieldatenstruktur Z zu erreichen.

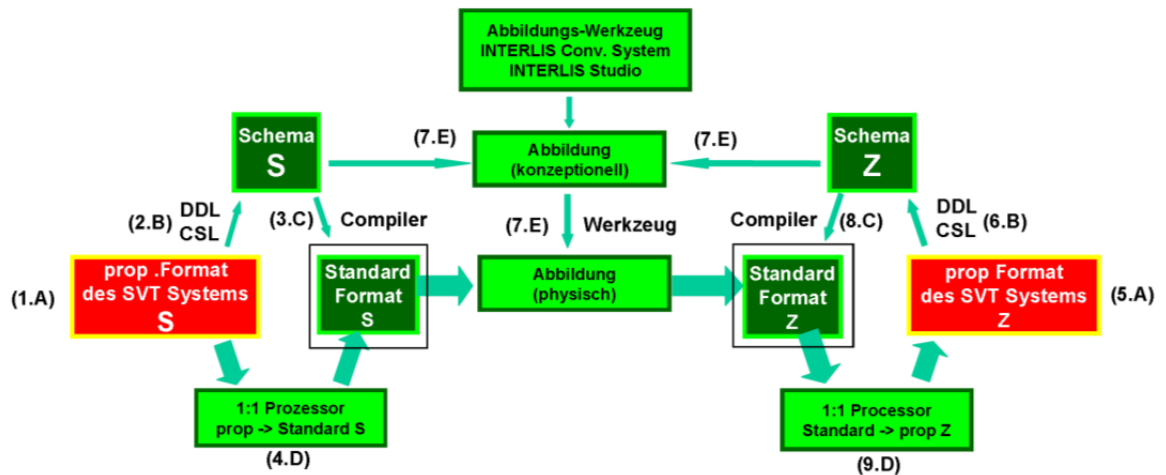


Abb. 3.2 Semantische Transformation mit Elementen des modellbasierten Vorgehens. In () Nummer für Reihenfolge, Buchstabe für Typ des Elementes gem. Kap. 3.1

Hier die Details zu den einzelnen Schritten:

- (1) Das Startsystem S liefert Daten im proprietären S -Transferformat, dessen ausführliche Beschreibung eine wesentliche, oft die einzige Dokumentation des Realitätsausschnitts ist. Wir brauchen jetzt vor allem die Beschreibung der in S verwendeten Referenzsysteme und wie die entsprechenden Referenzwerte codiert sind, ASCII vorausgesetzt. (Element (A) von 3.1)
- (2) Auf Grund von (A) ist nun die Datenstruktur von S exakt zu beschreiben mit einer CSL, als Datenmodell oder Schema S , wobei für kurvilineare und topologische Referenzsysteme die neuen Sprachelemente zum Einsatz kommen (gemäss Element (B) von 3.1)
- (3) Der Compiler liefert die Beschreibung des Standardformats von S gemäss Schema S auch für die Referenzwerte in verschiedenen Referenzsystemen (Element (C) von 3.1).
- (4) Um die Startdaten von S im proprietären S -Format umzubauen auf den Standardformat verwenden wir einen 1:1-Prozessor (Element (D) von 3.1).
- (5) Auch vom Zielsystem Z benötigt man einen Realitätsausschnitt in Umgangssprache, mindestens eine ausführliche Beschreibung des proprietären Formats von Z , insbesondere, wie die Koordinaten des Zielsystems im proprietären Format aussehen (Element (A) von 3.1 fürs Zielsystem). Auch hier setzen wir ASCII Codierung voraus.
- (6) Davon ausgehend ist auch die Datenstruktur von Z exakt zu beschreiben mit einer CSL, insbesondere für unsere Arbeit die Referenzsysteme von Z . Wir erhalten das Datenmodell oder Schema Z (wieder Element (B) von 3.1).
- (7) Nun können wir auf systemneutraler konzeptioneller Ebene die Umstrukturierung der Datenmodelle definieren, von Schema S nach Schema Z . Dabei kommen die neuen in Kapitel 5.10 definierten Umbaufunktionen für Referenzsysteme zum Zug. Der Dateiumbau Standardformat $S \rightarrow$ Standardformat Z erfolgt automatisch, für Referenzsysteme mit Hilfe der implementierten Umbaufunktionen ((E) von 3.1, Kapitel 9 und Anhänge IX und VI).

(8) Die Z -Daten brauchen wir im proprietären Format des Zielsystems Z , das wir seit Schritt (5) kennen. Der Compiler liefert noch die Beschreibung des Standardformats von Z gemäss Schema Z , auch für Referenzwerte (Element (C) von 3.1 für Z)

(9) Schliesslich braucht es noch einen 1:1 Prozessor zum Umbau Standardformat $Z \rightarrow$ proprietäres Format Z (Element (D) von 3.1 für Z).

Damit ist der Umbau von S nach Z beschrieben. Für den Umbau zurück, von Z nach S gilt: Die Realitätsausschnitte (A, 1, 5), die konzeptionellen Datenmodelle (B, 2, 6) und die Beschreibungen der Standardformate (C, 3, 8) bleiben gleich. Hingegen braucht es die inversen 1:1-Prozessoren (D, 9, 4) und den inversen Strukturumbau (E, 7).

Vereinfachungen des geschilderten Ablaufs sind denkbar. Etwa, wenn der 1:1-Prozessor ins System integriert wird, wie das bei verschiedenen Geoinformationssystemen heute schon der Fall ist. Dann könnten die Daten direkt im Standardformat ausgegeben oder eingelesen werden. Dazu müssten die Elemente (A, B, C) für die Datenschnittstelle einmal erarbeitet und dann normativ festgelegt werden. Das Datenmodell (C) müsste allerdings für die semantische Transformation zur Verfügung stehen.

4 Element A: Realitätsausschnitt für Referenzsysteme und Transformationen

In der VSS Literatur wird kaum darauf hingewiesen, dass es auch im Strassenbereich zur Realwelt ein „Modell“ gibt, damit gerechnet werden kann, so wie zur Berechnung der Planetenbewegung das „Modell“ Himmelsmechanik verwendet wird. In diesem Zusammenhang ist hier besser von „Abstraktion“ zu sprechen als von „Modell“, da „Modell“ oft als Abkürzung für konzeptionelles Datenmodell verwendet wird. Um den Strassenfachleuten die Texte besser verständlich zu machen, wird in den VSS-Normen sogar bewusst darauf verzichtet, zwischen Realität und Abstraktion zu unterscheiden.

In diesem Projekt wird versucht, Realität und Abstraktion auseinanderzuhalten. Die folgende Tabelle zeigt, wo einige der in VSS-Normen existierenden Begriffe (**fett**) anzusiedeln sind und wo in diesem Projekt neue Begriffe eingeführt werden (*kursiv*)

Realwelt der Strasse	Abstraktion der Strasse
<ul style="list-style-type: none">• <i>Realität</i>• Strasse• Strassenachse, Achse• <i>Strassensektor</i>• Ort• <i>Bezugsort</i>• Knotenort	<ul style="list-style-type: none">• Raum• <i>Strassenfläche</i>• <i>Achslinie</i>• Sektor• <i>Punkt</i>• Bezugspunkt• <i>Knoten</i>• <i>Kante</i>• <i>Graph</i>• Netz• <i>Referenzsystem (Koordinatensystem)</i>• <i>Referenzwert (Koordinate)</i>
<ul style="list-style-type: none">• Referenzrahmen• <i>Messwert</i>	

Der Inhalt von „Realwelt der Strasse“ (4.1) kann als Grundwissen bezeichnet werden. Allerdings wird versucht, für punktförmige Realweltobjekte konsequent den Begriff „Ort“ zu verwenden und nur für deren Abstraktion den Begriff „Punkt“. In der anschliessenden Beschreibung der „Abstraktion der Strasse“ (4.2) sind der Abschnitt Nr.1 (Mathematik der linearen Algebra) und Nr.8 (Mathematik der Graphentheorie) kurze Zusammenfassungen von Grundwissen. Hingegen enthalten die übrigen Abschnitte die Definitionen der benötigten Begriffe bezüglich der beschriebenen mathematischen Grundlagen.

Mit der „Übersicht gemäss Gesamtmodell und Kommunikationsnetzwerk“ (4.3) wird gezeigt, wie die Elemente des Beispielgebietes zum „Gesamtmodell“ passen. Die im Beispielgebiet vorhandenen Bezugssysteme werden in „interessierende Bezugssysteme“ (4.4) in Umgangssprache beschrieben. Die in „interessierende Referenzwert-Transformationen“ (4.5) folgenden umgangssprachlichen Beschreibungen aller im Beispielgebiet möglichen Referenzwert-Transformationen enthalten eine erste Gruppe von Hauptresultaten des Projektes.

In „Testszenarien“ (4.6) und „Beispielgebiet und sonst verfügbare Daten“ (4.7) wird die Methodik zur Auswahl und Beschreibung von Testszenarien und Beispielgebiet beschrieben. Die Details dazu finden sich in den Anhängen IV und V.

4.1 Die Realwelt der Strasse

Wie zu Beginn von Kapitel 2 erläutert, brauchen wir eine Abstraktion der Realwelt, um mit Lage und Geometrie von Realweltobjekten rechnen zu können. Diese Abstraktion der Realwelt ist aber nur verständlich, wenn klar ist, von welcher Realwelt eigentlich die Rede ist, mit was für Realweltobjekten wir es zu tun haben. Wir wollen deshalb hier in diesem ersten Teil 4.1 zum Thema Realitätsausschnitt die Begriffe zu den Realweltobjekten um

die Strasse notieren, um ihnen im zweiten Teil 4.2 ihre Abstraktionen zuzuordnen.

Als Strasse bezeichnet man ein befestigtes flächenartiges Realweltobjekt mit Erschliessungsfunktionen für den Fussgänger und/oder den Fahrzeugverkehr, wie Autostrasse (eingeschlossen Parkstreifen), Flurweg, Waldweg, Radverkehrsanlage.

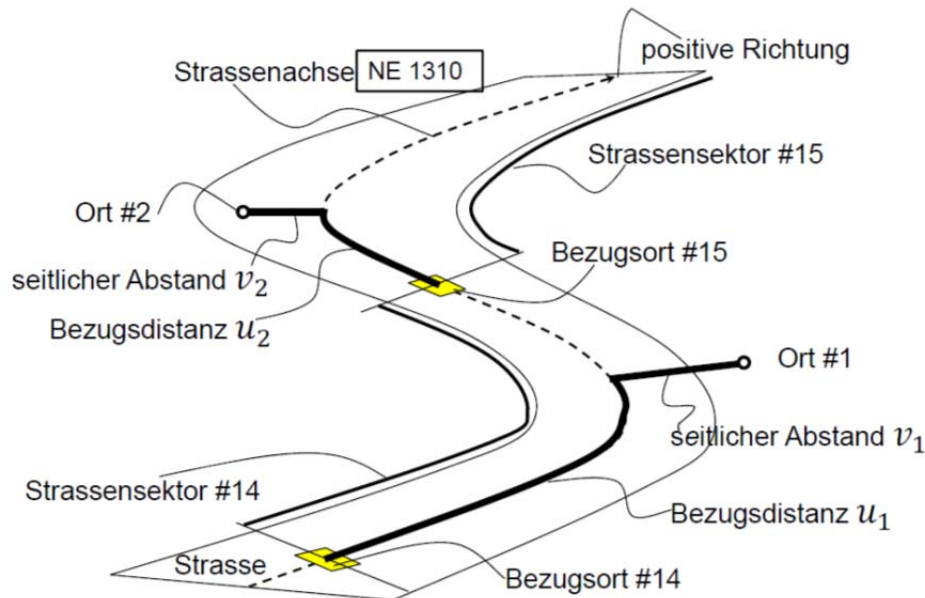


Abb. 4.3 Messvorschriften für u , v

Um die Lage von Realweltobjekten im Bereich einer Strasse angeben zu können, braucht man die Strassenachse. Die **Strassenachse** ist ein linienartiges Realweltobjekt nämlich die Mittellinie von Strassen ohne Richtungstrennung bzw. der linke Rand jeder Fahrbahn von richtungsgetrenten Strassen. Dabei werden die Bezugsorte gekennzeichnet, siehe weiter unten. Die Strassenachse kann offenbar aus mehreren Stücken bestehen (vgl. SN 640012 RBBS [36] Abb.7 und Ziff 20). **Strassensegment** heisst ein zusammenhängender Teil einer Strassenachse. Als **Strassensektor** wird ein Teil eines Strassensegments bezeichnet, dessen Länge (in der Realwelt) bekannt ist sowie dessen Anfangsort und Endort, d.h. ein Strassensektor hat auch eine Richtung. Als **Ort** wird ein punktförmiges Realweltobjekt bezeichnet. Als **Bezugsort** bezeichnet man den Ort am Anfang eines Strassensektors. Er ist auf der Strasse mit einem gelben Quadrat gekennzeichnet. Als **Strassensektion** bezeichnet man schliesslich einen Teil eines Strassensegments, der einfach durch zwei Orte begrenzt ist, dessen Länge aber nicht bekannt sein muss (vgl. SN 640914 Netze [38] 7.2). Eine Strassensektion kann sich über mehrere Strassensektoren erstrecken. Die Lage eines Ortes kann man mit 3 Werten bezüglich der Strassenachse beschreiben, mit der Bezugsdistanz (u), mit dem seitlichen Abstand (v) und mit der Bezugshöhe (w). Sie sind durch ihre Messvorschriften definiert (siehe SN 640912 RBBS [36] 5.15/16/17). Die **Bezugsdistanz** eines Ortes ist die Länge (in der Realwelt) der Strassenachse zwischen dem vorhergehenden Bezugsort und der Projektion des zu beschreibenden Ortes auf die Strassenachse. Der **Seitliche Abstand** ist die Länge (in der Realwelt) der Verbindungsstrecke zwischen Projektion des Ortes auf die Strasse (bzw. auf die Fortsetzung von deren Fläche in die Umgebung) und seiner Projektion auf die Strassenachse. Die **Bezugshöhe** ist die Länge (in der Realwelt) der Verbindungsstrecke zwischen dem Ort und seiner Projektion auf die Strasse (bzw. auf die Fortsetzung von deren Fläche in die Umgebung).

Als **Lokalisieren** bezeichnet man die Messung der Referenzwerte eines Ortes im Referenzrahmen eines Referenzsystems (vergleiche dazu Kapitel 2). Beispielsweise bedeutet die Anwendung der eben erwähnten Messvorschriften für Bezugsdistanz u , seitlichen Abstand v und Bezugshöhe w eines Ortes, dass die Strasse der Referenzbereich ist und dass die Strassenachse und ihre Bezugsorte den Referenzrahmen bilden für ein kurvilineares Koordinatensystem, z.B. für das RBBS, und dass in diesem Referenzrahmen die

Messung der Referenzwerte (in diesem Fall: Koordinaten) u, v, w möglich ist. Findet das Lokalisieren im Referenzrahmen eines topologischen Referenzsystems statt, spricht man auch von **Positionieren**. Als **Abstecken** wird das Auffinden eines Ortes im Realitätsausschnitt durch Übertragung der Referenzwerte seines Punktes (siehe Kapitel 4.2) in einem Referenzsystem in den Referenzrahmen dieses Referenzsystems bezeichnet. Abstecken kann als Umkehrfähigkeit zum Lokalisieren bezeichnet werden.

Um Orte im Realitätsausschnitt lokalisieren und abstecken zu können, müssen die Elemente des Referenzrahmens nachhaltig gekennzeichnet sein. Für kurvilineare Referenzsysteme, insbesondere für das RBBS, nennt man diese Kennzeichnung des Referenzrahmens auch **Bezugsrahmen**. Physischer Bezugsort, Markierung, Schild und Versicherung sind Elemente der Kennzeichnung des Referenzrahmens. Der **physische Bezugsort** ist ein rekonstruierbares, festes und dauerhaftes punktförmiges Realweltobjekt in der Nähe eines Bezugsortes auf oder neben der Strasse. Die **Markierung** (gelbes Quadrat) bezeichnet die genaue Lage des Bezugsortes auf der Strassenachse. Als **Schild** bezeichnet man einen kleinformatigen steifen oder flexiblen Träger, der die zur Identifikation eines Bezugsortes notwendigen sowie eventuell ergänzende Beschriftungen enthält. **Versicherung** heisst die Gesamtheit der Massnahmen, um einen Bezugsort im Falle von Verlust oder Zerstörung auf einfachste Weise wiederherstellen zu können. Dies kann z.B. anhand von Distanzmessungen zu benachbarten Orten mit bekannten Referenzwerten (Koordinaten) erfolgen.

Die Gesamtheit aller Strassen kann man als Strassennetz betrachten. Diese sog. topologische Struktur der Realwelt-Strasse lässt sich besser im Teil Abstraktion der Strasse einführen. Hier wollen wir aber festhalten, wie wir die Realweltobjekte benennen, welche den in 4.2 eingeführten „abstrakten“ Objekten Knoten und Kante entsprechen. Da wir uns entschlossen haben (siehe oben), punktförmige Realweltobjekte als „Orte“ zu bezeichnen, führen wir für ein punktförmiges Realweltobjekt, das einem Knoten im Strassennetz entspricht, den Begriff **Knotenort** ein (zum Knotenort in VSS Dokumenten vergleiche Anhang VIII.5.3 und Glossar). Zum abstrakten Begriff des Netzabschnitts gibt es noch keine Entsprechung in der Realwelt. Deshalb führen wir ein: Der **Strassenabschnitt** ist ein linienförmiges Realweltobjekt entsprechend einem Abschnitt des Strassennetzes. Ein Strassenabschnitt wird durch 2 Knotenorte begrenzt.

4.2 Die Abstraktion der Strasse

Zunächst, der Vollständigkeit halber, ein ganz kurzer Seitenblick auf die mathematischen Grundlagen, deren Kenntnis im Ingenieurwesen ja vorausgesetzt werden kann. Auch im Strassenbereich muss man sich der analytischen Geometrie bzw. der linearen Algebra bedienen, um Berechnungen durchzuführen. D.h. als Abstraktion (als mathematisches Modell) der Realwelt als Ganzes braucht man einen 3-dimensionalen Vektorraum, genau einen 3-dimensionalen Euklidischen Vektorraum, den wir kurz als **Raum** bezeichnen (Vorsicht: Unterschied zu VSS, siehe Glossar). Details dazu findet man in den Lehrbüchern der linearen Algebra, z.B. in Jänich [14]. Eine **Ebene** ist ein 2-dimensionaler Unterraum des Raumes. Eine **Gerade** ist ein 1-dimensionaler Unterraum des Raumes oder einer Ebene. Eine **Strecke** ist eine abgeschlossene und beschränkte Teilmenge einer Geraden (Vorsicht: Unterschied zu VSS, siehe Glossar). Ein **Punkt** ist ein Vektor des Raumes. Der Raum ist die Menge aller Punkte. Ein Punkt im Raum entspricht einem Ort in der Realwelt.

Was ist nun die Abstraktion der Strasse? Wie können wir die Strasse als Teilmenge des Raumes beschreiben? Wie schon in Kapitel 2.3 im Zusammenhang mit Referenzbereichen erwähnt, ist die Abstraktion der Strasse offensichtlich eine im Raum eingebettete Fläche, wir nennen sie **Strassenfläche**, und die Abstraktion der Strassenachse eine im Raum verlaufende Linie, wir nennen sie **Achslinie**. Ferner können – wie auch schon in 2.3 erwähnt – Strassenflächen und Achslinien gekrümmt sein und Wellen haben, aber sie können nicht beliebig verlaufen. Sie müssen zusammenhängend und glatt sein, mindestens stückweise. Daher können wir Strassenfläche bzw. Achslinie mathematisch als 2-dimensionale bzw. 1-dimensionale Mannigfaltigkeit im Raum definieren. Details zu Mannigfaltigkeiten findet man in Büchern über Vektoranalysis wie Jänich [16].

Es gibt ein Problem der VSS-Normen und insbesondere der Theorie des RBBS betreffend die Achslinie als Abstraktion der Strassenachse. Diese Achslinie wird zwar implizit verwendet als Linie im Raum, angedeutet in der Definition der Strasse als „Verkehrsweg, der an einem definierten Punkt beginnt und an einem definierten Punkt endet“ (SN 640912 RBBS, [36] 5.2). Aber es wird nicht definiert, was man darunter zu verstehen hat. Dadurch, dass man zunächst auf eine Beschreibung der Achslinie in einem bestimmten Koordinatensystem verzichtet und von daher eine „Trennung der Konzepte kurvilineares Referenzsystem und Geometrie“ postuliert, hat man die Existenz und die Verwendung einer Linie im Raum als Achslinie und als Grundlage für ein kurvilineares Referenzsystem nicht aus der Welt geschafft.

Über die Struktur der 1-dimensionalen Mannigfaltigkeit der Achslinie kann man genaueres aussagen. Jede Achslinie ist überdeckt durch eine endliche Menge von **Achssegmenten**, d.h. die Achslinie ist Vereinigungsmenge dieser Achssegmente und zwei Achssegmente haben höchstens Randpunkte – also Anfangs- oder Endpunkte – gemeinsam. Als Achssegment bezeichnen wir den Linienzug im Raum, der einem Strassensegment, d.h. einer zusammenhängenden Teilmenge einer Strassenachse im Realitätsausschnitt entspricht. Als Linienzug hat ein Achssegment einen genau definierten Anfangs- und Endpunkt und ist zusammenhängend. Wenn man als Geometrielemente die folgenden zusammenhängenden und abgeschlossenen Teilmengen einer Ebene oder des Raumes bezeichnet: Punkt, Gerade, Strecke, Kreis(bogen), Klothoide(nstück), Spline(abschnitt), dann kann man auch sagen: Ein **Linienzug** ist die stetige und stückweise glatte Vereinigungsmenge von Geometrieelementen, die sich nur in Randpunkten treffen (Definition des Linienzuges siehe SN 612031 INTERLIS, [18] 2.8.12.1).

Ein **Sektor** ist eine abgeschlossene Teilmenge eines Achssegments, deren Länge (in der Realwelt) bekannt ist, entsprechend einem Strassensektor in der Realwelt. Der Startpunkt eines Sektors heisst **Bezugspunkt**, entsprechend einem Bezugsort in der Realwelt. Ein Achssegment wird überdeckt durch eine endliche Menge von Sektoren, die höchstens Randpunkte gemeinsam haben. Eine **Sektion** ist eine abgeschlossene Teilmenge eines Achssegments, entsprechend einer Strassensektion in der Realwelt. Die Länge einer Sektion muss nicht bekannt sein. Eine Sektion kann sich über mehrere Sektoren erstrecken. (Vorsicht: Im VSS wird für „Sektion“ der Begriff „Strecke“ gebraucht, siehe Glossar!)

Damit können wir eine präzise Definition des kurvilinearen Koordinatensystems im Raum formulieren, das zum Bezugssystem mit einer Strassenfläche als Referenzbereich gehört. Da die Achslinie selbst nicht zusammenhängend sein muss und vom Achssegment die Länge nur als Summe der Längen seiner Sektoren bekannt ist, besteht ein kurvilineares Referenzsystem aus einem Sektor als u -Achse und seinem Bezugspunkt als Nullpunkt, Seine zweite (v) und dritte Achse (w) sind – wie schon in 2.4 Referenzsystem ausgeführt – Geraden, die in jedem Punkt der ersten Achse auf dem Mittelwert von deren beidseitigen Tangentialvektor-Grenzwerten und aufeinander senkrecht stehen. Als Dynamik kurvilinearere Koordinatensysteme bezeichnen wir in diesem Forschungsbericht die Änderung eines kurvilinearen Koordinatensystems auf Grund baulicher Änderungen an der Strasse, deren Strassenachse die Achslinie für die erste Achse des Koordinatensystems definiert.

Die **Achsgeometrie** ist die (vektorielle) Beschreibung der Sektoren einer Achslinie in einem geodätischen Raumbezugssystem. Die Achsgeometrie einer Achslinie ist implizit definiert einerseits durch die Festlegung, wie die Linienzüge der Segmente (bzw. Sektoren) der Achslinie im Raum verlaufen, und andererseits durch die Festlegung des geodätischen Raumbezugssystems. Referenzkoordinaten heissen die Koordinaten eines Bezugspunktes im geodätischen Raumbezugssystem (meist im Landeskoordinatensystem CH). Ein Bezugspunkt mit Referenzkoordinaten ist ein spezieller Kalibrierungspunkt. Allgemein ist ein **Kalibrierungspunkt** ein Punkt einer Achslinie (bzw. in der Nähe davon), von dem kurvilineare und geodätische Koordinaten bekannt sind. Als **Referenzgeometrie** bezeichnet man die eindeutig festgelegte Achsgeometrie (meist im Landeskoordinatensystem CH) für die erste Achse eines kurvilinearen Koordinatensystems. Die Referenzgeometrie ist eine 3-dimensionale Geometrie. Für eine gegebene Achslinie darf es nur eine Referenzgeometrie geben. Die Referenzgeometrie muss mög-

lichst präzise sein, und entsprechend präzise müssen die sie definierenden Linienzüge der Achslinie sein. Die Referenzgeometrie kann aus Feldmessungen oder hochpräzisen digitalisierten Daten hergeleitet werden. Die Referenzgeometrie ermöglicht es, sowohl ebene Koordinaten wie Höhendaten in ein kurvilineares Bezugssystem umzurechnen und umgekehrt. Zum Beispiel liefert der Einsatz von GPS zur Lokalisierung von Realweltobjekten im Strassenraum Koordinaten in einem Raumbezugssystem, d.h. planare Koordinaten und Höhenkoordinaten. Die Transformation der GPS-Messungen in ein kurvilineares Koordinatensystem muss sich auf die Referenzgeometrie der ersten Achse des kurvilinearen Koordinatensystems stützen. Für Umrechnungen wird gelegentlich von der horizontalen und vertikalen Basisgeometrie Gebrauch gemacht. **Horizontale Basisgeometrie** heisst die Projektion der Achslinie auf die durch die ersten beiden Koordinatenachsen des Raumbezugssystems aufgespannte Ebene. Die **vertikale Basisgeometrie** ist die Projektion der Achslinie auf die dritte Koordinatenachse des Raumbezugssystems abhängig vom Verlauf der horizontalen Basisgeometrie. Bei einer **Darstellungsgeometrie** schliesslich handelt es sich um die Achsgeometrie einer eventuell generalisierten Achslinie in einem Kartenmassstab. Eine Darstellungsgeometrie kann z.B. durch Digitalisierung einer Karte oder einer Orthofoto gewonnen werden.

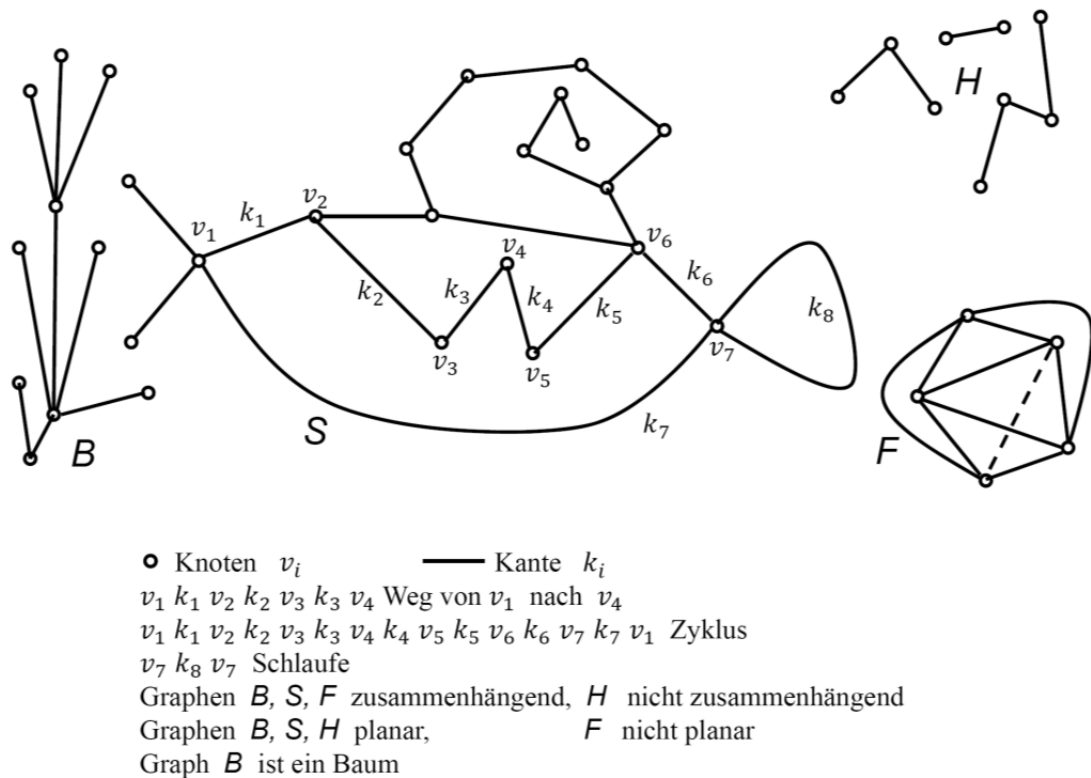


Abb. 4.4 Graphen verschiedener Typen

Um Strassennetze und topologische Referenzsysteme zu bearbeiten braucht man im Bereich der Strassen die sogenannte **(kombinatorische) Topologie**. Die verwendeten Grundbegriffe sind Graph und Netz. Auch hier der Vollständigkeit halber ein kurzer Seitenblick auf die mathematischen Grundlagen. Die Elemente eines Netzes sind Vereinigungsmengen von Linien, die bestimmte Bedingungen erfüllen müssen: Planar sein, zusammenhängend, ohne Zyklen etc. Und diese Linien müssen eben nicht unbedingt eine Geometrie haben, nur einen Anfangsknoten und einen Endknoten, und diese müssen auch nicht unbedingt Koordinaten haben. Also: die Objekte, die eine lineare Topologie bilden, sind einerseits **Punkte** (oder besser **Knoten**) und andererseits Punktepaare (oder besser Knotenpaare) mit bestimmten Eigenschaften. Dabei können die linienartigen Objekte mit oder ohne Geometrie vom Typ Linienzug sein und die punktförmigen Knotenobjekte können Punkte des Raumes sein oder auch nicht. Es folgen einige Begriffsdefinitionen, die für das Verständnis wichtig sind: Ein **Graph** besteht aus Knoten und (nicht

orientierten) **Kanten**, wobei zu jeder Kante ein (ungeordnetes) Paar von Knoten gehört, nämlich ihre beiden Endknoten. Ein **Weg** ist eine endliche Folge von paarweise verschiedenen Knoten v_i und (daher auch paarweise verschiedenen) Kanten k_i der Art $(v_1, k_1, v_2, k_2, \dots, v_{n-1}, k_{n-1}, v_n)$, wobei (v_i, v_{i+1}) das zur Kante k_i gehörige Paar von Knoten ist (Syn: chemin (fr), path (en)). Ein **zusammenhängender Graph** ist ein Graph, der zu je zwei verschiedenen Knoten einen Weg enthält, dessen Endknoten sie sind, d.h. je zwei verschiedene Knoten des Graphs sind verbunden durch einen Weg. Ein zusammenhängender Graph heisst auch **Netz**. **Zyklus** nennt man einen geschlossenen Weg, d.h. einen Weg mit $v_1 = v_n$. **Baum** heisst ein zusammenhängender Graph ohne Zyklen. Eine **Schleufe** ist ein Zyklus mit nur einer Kante. Schliesslich der **planare Graph**: Dies ist ein Graph, dessen Knoten sich als Punkte und dessen Kanten sich als Verbindungskurven in der Ebene darstellen lassen, wobei je zwei verschiedene solche Kantenkurven höchstens Endpunkte gemeinsam haben (Syn: planar graph (en)). In der *Abb. 4.4* sind Beispiele von Graphen der verschiedenen Typen zu sehen.

Die folgende Zusammenstellung zeigt, von welchen Realweltobjekten aus dem Strassenbereich diese Elemente der Graphentheorie die Abstraktionen sind.

- Knoten: Kreuzungen oder Verzweigungen im Strassennetz.
- Kante: Strassenverbindung zwischen zwei Kreuzungen/Verzweigungen ohne weitere Kreuzungen/Verzweigungen dazwischen.
- Weg: Route von einer Kreuzung/Verzweigung zu einer anderen über mehrere Strassenstücke und Zwischen-Kreuzungen/-Verzweigungen.
- Schleufe: Quartierstrasse, die von einer Kreuzung/Verzweigung ausgehend wieder zu derselben zurückkehrt ohne weitere Kreuzungen/Verzweigungen zu treffen.
- zusammenhängender Graph: Strassennetz.
- nicht zusammenhängender Graph: Gesamtheit der Strassensektionen mit Geschwindigkeitsbeschränkung 50 km/h.
- planarer Graph: Über- und unterführungsfreies Strassennetz.
- nicht planarer Graph: Strassennetz mit Über- und Unterführungen, im allgemeinen Autobahnanschlüsse.
- Baum: Routennetz ohne Zyklen eines zentral startenden Busbetriebs.

Als **Strassennetz** bezeichnet man die Gesamtheit aller Strassen. Diese bilden ein Netz. Ein Knoten des Strassennetzes befindet sich beim Zusammentreffen zweier Achslinien oder wenn eine Achslinie eine Hoheits- oder Verwaltungsgrenze kreuzt. Dabei ist die wesentliche Eigenschaft eines Knotens seine topologische Bedeutung als Verknüpfung von zwei Kanten und nicht seine exakte Lage im Raum. **(Netz-)Abschnitt** heisst ein Weg des Strassennetzes, dessen Verlauf im Raum definiert ist als Teilmenge eines Achssegments. Ein Abschnitt kann abgesehen von Anfangs- und Endknoten noch weitere Knoten enthalten. **Elementarabschnitt** heisst ein Abschnitt, dessen Weg aus einer einzigen Kante besteht.

Ein **Untergraph** eines Graphs besteht aus einer Teilmenge der Kanten dieses Graphs und allen durch diese Kanten verbundenen Knoten des Graphs. Diese Teilmengen von Kanten und Knoten bilden selber wiederum einen Graph. Ist dieser Untergraph zusammenhängend und der Ausgangsgraph ebenfalls, d.h. beide sind Netze, dann nennt man den Untergraph ein **Unternetz**. Das **Abschnittsnetz** ist ein Unternetz des Strassennetzes das bestimmte Selektionskriterien erfüllt. Ein Abschnitts-Netz kann andere Abschnittsnetze als Unternetze enthalten (die zu sog. **Unternetzknoten** zusammengefasst werden können) oder aus Abschnitten zusammengesetzt sein. Falls es aus Abschnitten besteht, wird es **Basisnetz** genannt. Der **Netztyp** enthält Selektionskriterien, die ein Abschnittsnetz definieren oder auch einen Sektionsgraph.

Da ein Abschnitt nach Definition ein Weg im Strassennetz ist, d.h. von Knoten zu Knoten verläuft, ist ein Graph bestehend aus Abschnitten immer ein Untergraph des Strassennetzes. Zusätzlich ist ja ein Abschnitt auch noch ein Teil eines Achssegments. Am Anfang dieses Kapitels 4.2 haben wir noch andere zusammenhängende und abgeschlossene Teilmengen von Achssegmenten kennen gelernt, die sog. Sektionen. Oft ist es interessant, Mengen von solchen Sektionen in Betracht zu ziehen, die entweder gar

keine Punkte gemeinsam haben oder höchstens Randpunkte. Dann können wir jede dieser Sektionen als Kante eines Graphs betrachten und ihre Endpunkte als Knoten. Was dabei entsteht nennt man **Sektionsgraph**. Ein Sektionsgraph ist normalerweise nicht zusammenhängend. Ist ein Sektionsgraph zusammenhängend, heisst er **Sektionsnetz**.

4.3 Kommunikationsnetzwerk für Datenaustausch mit Bezugssystemumbau

Das Kommunikationsnetzwerk des Beispielgebietes enthält für jeden Sender und für jeden Empfänger ein Kästchen. Der Datentransfer zwischen diesen ist charakterisiert durch eine gerichtete Linie vom Sender zum Empfänger samt Kurzbeschreibung der transferierten Daten, Szenario-Nummer und Transfer-Nummer (gemäss Kapitel 5.4, Test-szenarium, z.B. 2(4) für den Transfer von Viasuisse zum Navi des Verkehrsteilnehmers), Abschnitt-Nummer mit Detailbeschreibung der Transformation der Referenzwerte (nach Kapitel 4.5, Transformationen, z.B. 4.5.4 für die Transformation CH1903 nach GDF) sowie CRS beim Sender und beim Empfänger. Das Netzwerk enthält die Elemente der Szenarien 1,2,3.

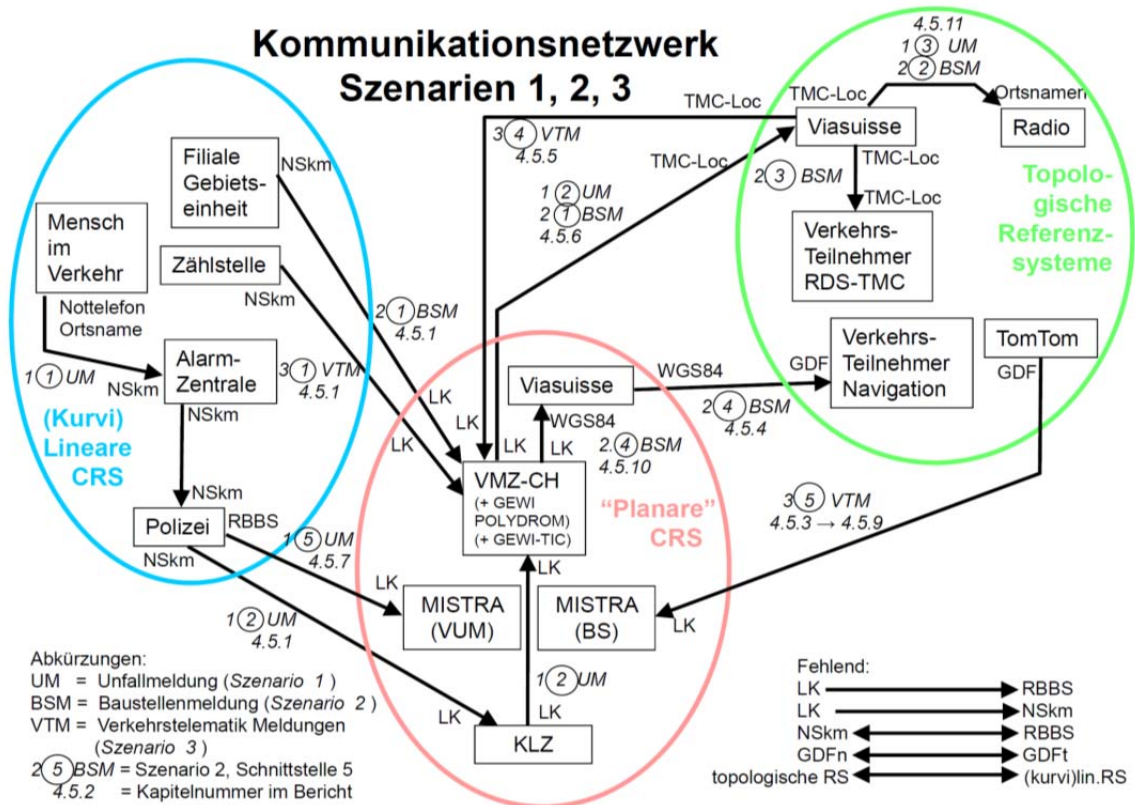


Abb. 4.5 Kommunikationsnetzwerk (Szenarien 1, 2, 3)

4.4 Interessierende Bezugssysteme

In MISTRAs stehen die folgenden Bezugssysteme zur Verfügung für die Beschreibung der Georeferenzierung:

- Ein geodätisches Bezugssystem: Landeskoordinaten CH1903 (4.4.1.1 sowie 4.5.1/2/7)
- Zwei kurvilineare Bezugssysteme:
 - Räumliches Basisbezugssystem RBBS (siehe 4.4.2.1 sowie 4.5.7/8/12/13)
 - Kilometrierung Nationalstrasse NSkm (siehe 4.4.2.2 sowie 4.5.12/13)
- Ein topologisches Bezugssystem ist in Vorbereitung

4.4.1 Geodätische („Planare“) Bezugssysteme

4.4.1.1 CH1903

- Referenzbereich: Ganzer Raum Schweiz
- Koordinatensystem: 3-dimensional kartesisch, CH-Projektion und Normalhöhe
- Achse 1 (Y): Gerade, Y-Achse, E-Achse
Referenzwert (Koordinate) alte Sternwarte Bern: 600000.000 m
Referenzwert zunehmend in Richtung E
- Achse 2 (X): Gerade, X-Achse, N-Achse
Referenzwert (Koordinate) Alte Sternwarte Bern: 200000.000 m
Referenzwert zunehmend in Richtung N
- Achse 3 (Z): Gerade, Normalhöhe
Referenzwert (Höhe) Pierre du Niton, Genf: 373.600 m über Meereshöhe Mittelmeer
- Referenzrahmen LV03: Fixpunkte der Ordnung 1, 2, 3 der Landesvermessung 1903

4.4.1.2 CH1903+

- Referenzbereich: Ganzer Raum Schweiz
- Koordinatensystem: 3-dimensional kartesisch, CH-Projektion und Normalhöhe
- Achse 1 (Y): Gerade, Y-Achse, E-Achse
Referenzwert (Koordinate) alte Sternwarte Bern: 1600000.000 m
Referenzwert zunehmend in Richtung E
- Achse 2 (X): Gerade, X-Achse, N-Achse
Referenzwert (Koordinate) Alte Sternwarte Bern: 2200000.000 m
Referenzwert zunehmend in Richtung N
- Achse 3 (Z): Gerade, Normalhöhe
Referenzwert (Höhe) Pierre du Niton, Genf: 373.600 m über Meereshöhe Mittelmeer
- Referenzrahmen LV95: Fixpunkte mit Granitkoordinaten der Landesvermessung 1995

4.4.1.3 WGS84

- Referenzbereich: Ganze Erde
- Koordinatensystem: 3-dimensional, ellipsoidisch
- Achse 1 (L): Äquatorkreis, (geografische) Länge. Referenzwert (Länge) des Greenwich-Meridians: 0.0000 Grad, zunehmend in Richtung E
- Achse 2 (B): Ellipsoidmeridian, (geografische) Breite
Referenzwert (Breite) des Äquators: 0.0000 Grad, zunehmend in Richtung N
- Achse 3 (H): Gerade, senkrecht auf der Tangentialebene an das Ellipsoid in jedem Punkt, Ellipsoidische Höhe. Referenzwert (Höhe) der Meereshöhe 0.0000 m
- Referenzrahmen: Einzelne GPS-Bodenstationen.

4.4.2 Kurvilineare Bezugssysteme

4.4.2.1 RBBS

- Referenzbereich: Durch Strassenfläche definierte 2-dimensionale Mannigfaltigkeit im Raum sowie alle Punkte des Raumes bis zur Grenze der Bewirtschaftung von der Strasse aus, d.h. praktisch im Abstand bis ca. 100 m von dieser Mannigfaltigkeit.
- Koordinatensystem: 3-dimensional, kurvilinear
- Achse 1 (u): Achslinie (Abstraktion der Strassenachse) unterteilt in Sektoren mit Längen zwischen ca. 200m bis ca. 1000m. Referenzwert als Referenz auf Sektor und Bezugspunkt (d.h. auf Achslinie und Bezugspunkt) mit Bezugsdistanz zum Sektoranfang entlang der Achslinie. Referenzwert zunehmend in Achslinienrichtung. Referenzwert maximal gleich gross wie Sektorlänge (siehe *Abb. 4.3* und *Abb. 4.7*).
- Achse 2 (v): Gerade, v -Achse, in jedem Punkt P der u -Achse senkrecht auf dem dortigen Tangentialvektor an die u -Achse und tangential an die Mannigfaltigkeit, Referenzwert (Abstand) von Punkt P : 0.000 m, Referenzwert zunehmend und positiv in Richtung rechts (siehe *Abb. 4.3* und *Abb. 4.7*).

- Achse 3 (w): Gerade, lokale Höhe, in jedem Punkt P der u -Achse senkrecht auf dem dortigen Tangentialvektor an die u -Achse und senkrecht auf der v -Achse, Referenzwert (Höhe) von Punkt P : 0.000 m, Referenzwert zunehmend und positiv nach oben.
- Referenzrahmen: Materialisierung des RBBS durch nachhaltige Kennzeichnung von Bezugspunkten des sog. Bezugsrahmens (siehe Kapitel 4.1)

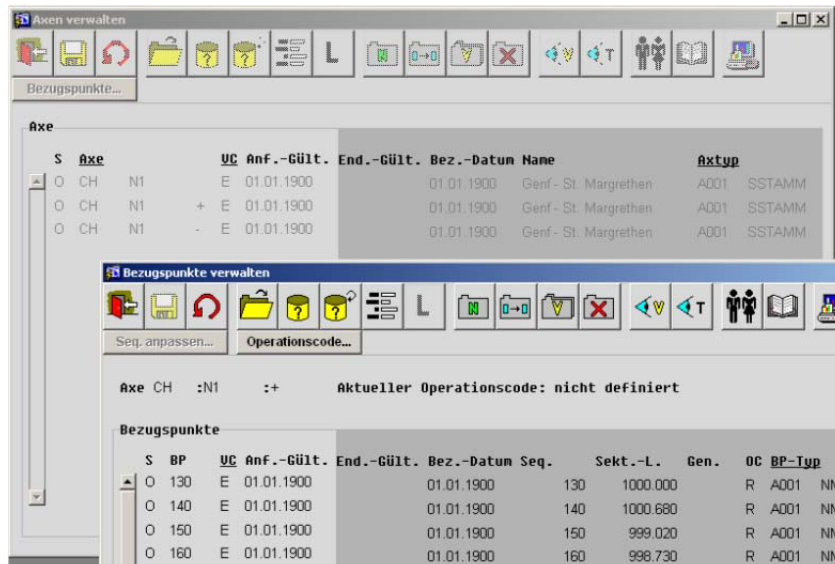


Abb. 4.6 Zugang zur RBBS-Verwaltung in STRADA

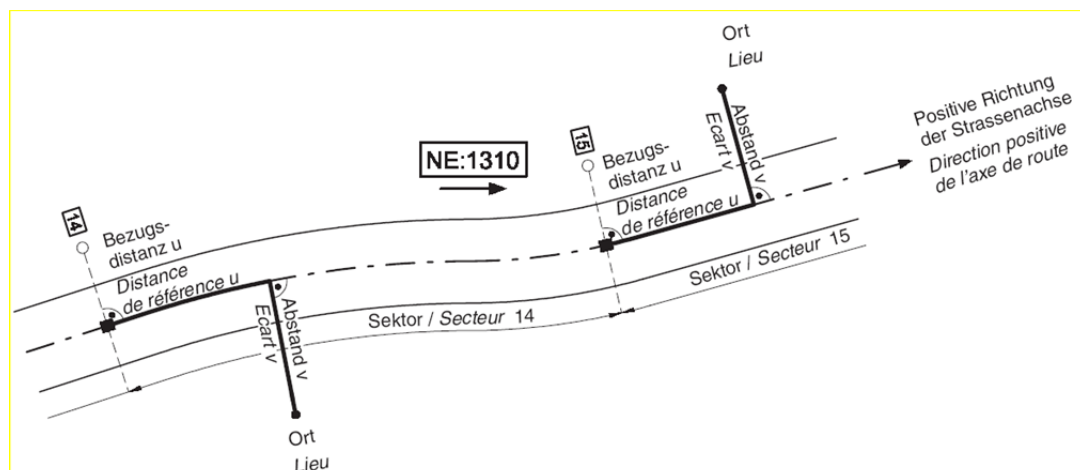


Abb. 4.7 Prinzip und Begriffe des RBBS

Das RBBS ist auch in MISTRA noch das führende Bezugssystem für alle strassenbezogenen Informationen.

4.4.2.2 Kilometrierung Nationalstrasse NSkm

- Referenzbereich: Durch die Nationalstrassenfläche definierte 2-dimensionale Mannigfaltigkeit im Raum
- Referenzsystem (= Koordinatensystem): 2-dimensional, kurvilinear
- Achse 1 (U): Achslinie der Nationalstrassenachsen-Referenzgeometrie unterteilt in Kilometersektoren von ungefähr 1000m Länge. Referenzwert (Bezugsdistanz) des Startpunktes der Achslinie 0.000 m, kalibriert an jedem Startpunkt eines Kilometersektors. Referenzwert zunehmend in Richtung Endpunkt der Achslinie
- Achse 2 (V): Gerade, in jedem Punkt P der Achse 1 senkrecht auf dem dortigen Tangentialvektor an die Achse 1 und tangential an die Mannigfaltigkeit Referenzwert (Abstand) von Punkt P : 0.000 m Referenzwert zunehmend und positiv in Richtung rechts

- Referenzrahmen: Pflöcke mit Distanztafeln im Mittelstreifen

In MISTRA ist der NSkm heute als externer Datensatz abgebildet. Zukünftig wird diese Information voll in MISTRA integriert sein. Damit wird auch die Umrechnung zwischen NSkm und den anderen Bezugssystemen erleichtert.

4.4.3 Topologische Bezugssysteme

4.4.3.1 Geografic Data File GDF Version 4.0

- Referenzbereich: Graph des Verkehrsnetzes
- Referenzsysteme: Topologisch (und 3-dimensional ellipsoidisch für Knotenkoordinaten und Kantengeometrie sowie für Flächendefinitionen)
- Aufbau: Graph mit Knoten und Kanten
Knoten: Identifikationsnummer (nicht sprechend) und 3D-Koordinate.
Kante: Mit eigener Identifikationsnummer, definiert durch zwei Randknoten, gerichtet. Mit Polylinien-Geometrie in 3D-Koordinaten, die primär für Visualisierung gedacht ist.
- Geometrische Objekte: Es können voneinander unabhängige ebene Flächenstücke (Typ SURFACE) definiert werden, mit Hilfe von Randlinien und Stützpunkten in 3D-Koordinaten, z.B. für Agglomerationsflächen.
- 3-D Koordinaten: Ellipsoidisch siehe WGS84
- Referenzrahmen: Alle Knoten des Verkehrsnetzes

4.4.3.2 TMC Location Code

- Referenzbereich: Graph des Verkehrsnetzes
- Referenzsystem: Topologisch ohne Geometrie gemäss Norm (in der Schweiz mit 3D-Koordinaten für die Knoten)
- Aufbau: Graph mit Knoten und Kanten
Knoten (sog. Punkte, points) mit Nummer und Namen (sowie in der Schweiz mit 3D-Koordinaten).
Kanten verschiedener Hierarchiestufen (sog. h -Segmente ($h = 1, \dots, n \in \mathbb{N}$), segments oder Strassen, roads). Ein 1-Segment ist eine Folge von Knoten, ein h -Segment (für $h = 2, \dots, n$) ist eine Folge von $(h - 1)$ -Segmenten. Ein n -Segment heisst auch Strasse (gemäss Architektur und Zeitaspekten VSS Bericht 1149 [17]). Ein Segment hat eine eigene Nummer und keine POLYLINE-Geometrie.
- Geometrische Objekte: Flächen sind möglich, allerdings nur beschrieben durch einen Namen und ohne Geometrie.
- Referenzrahmen: Alle Knoten des Graphs

```
CID;TABCD;LCD;CLASS;TCD;STCD;JUNCTIONNUMBER;RNID;NTID;N2ID;POL_LCD;OTI
OS;DIVERSIONEG;XCOORD;YCOORD;INTERRUPTSROAD;URBAN
51;9;25336;P;3;37;;5661;4070;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00614815;+4620730;0;0
51;9;25337;P;3;37;;5661;6272;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00612945;+4621385;0;0
51;9;25338;P;3;37;;5661;6273;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00611880;+4621610;0;0
51;9;19212;P;1;3;;5661;124;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00610140;+4622110;0;0
51;9;25345;P;3;37;;5661;6275;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00608240;+4622605;0;0
51;9;25807;P;3;37;;5661;6276;;24;;12576;1;1;1;1;1;;+00606435;+4623105;0;0
51;9;12744;P;3;15;;5661;124;;24;;12576;0;0;0;0;1;1;;+00605020;+4623505;0;0
51;9;25341;P;3;37;;5661;4070;;24;;12574;1;1;1;1;1;;+00614815;+4620730;0;0
51;9;25342;P;3;37;;5661;18566;;24;;12574;1;1;1;1;1;;+00617385;+4621235;0;0
51;9;27108;P;3;37;;5661;6282;;24;;12574;1;1;1;1;1;;+00619745;+4623935;0;0
51;9;25805;P;3;37;;5661;6252;;24;;12574;1;1;1;1;1;;+00621670;+4624760;0;0
51;9;25343;P;3;37;;5661;1695;;24;;12574;1;1;1;1;1;;+00622810;+4625930;0;0
```

Abb. 4.8 Beispiele von Location Codes

4.4.3.3 Topologie in MISTRA

- Zurzeit wird das Modell für die Abbildung der Topologie in MISTRA erarbeitet. Ziel ist es, dass die Fahrbeziehungen über Knoten in MISTRA abgebildet werden können. Die so definierte Topologie kann dann zum Beispiel auch in Verkehrsmodellen für die Berechnung der aktuellen oder zukünftigen Verkehrslagen angewendet werden. Alert-C wie TMC Location Code, siehe dort

4.4.3.4 Open Street Map OSM

- wird vorläufig nicht bearbeitet.

4.4.3.5 TPEG

- wird vorläufig nicht bearbeitet, da im Beispielgebiet nicht vorkommend.

4.4.3.5 RADEF

- wird vorläufig nicht bearbeitet, da im Beispielgebiet nicht vorkommend.

4.5 Interessierende Referenzwert-Transformationen

Grundsätzlich interessieren alle Transformationen, die im Gesamtmodell in *Abb. 1.1* vorkommen, d.h. von jeder dort beschriebenen Transformationsklasse mindestens eine Instanz. Zum Beispiel interessiert die Transformationsklasse „linear“ ↔ „planar“ (in unserer Terminologie „kurvilinear“ ↔ „geodätisch“) und davon werden uns die Instanzen NSkm ↔ CH1903 und RBBS ↔ CH1903 beschäftigen. Hier, in der Beschreibung des Realitätsausschnitts, werden wir die entsprechenden Algorithmen in Umgangssprache beschreiben. Auch werden wir darauf hinweisen, wo und wie allenfalls eine Transformation bereits implementiert ist und Berechnungen möglich sind. Insbesondere stellt MISTRA mit den beiden Web Services „GetAxes“ und „TransformRBBS_XY“ verschiedene Methoden zur Verfügung, Achsen zu finden und um Koordinatentransformationen zu berechnen zwischen CH1903, RBBS und NSkm. Wir werden in den folgenden Abschnitten darauf zurückkommen:

- GetAxesArray (MISTRA Systemdesign Web Services [30] 4.1.3, V1.3) → 4.5.1, 4.5.2, 4.5.4, 4.5.8
- TransformRbbsToXY ([30] 5.1.3, V1.2) → 4.5.7
- TransformKilometerToRbbs ([30] 5.1.6, V1.2) → 4.5.12

Bei den folgenden Referenzwert-Transformationen – im Rest von Kapitel 4.5 nur noch kurz Transformationen genannt – sind gewisse eindeutig in dem Sinne, dass jedem Start-Referenzwert genau ein Ziel-Referenzwert zugeordnet wird. d.h. sie sind Abbildungen von der Menge der Ausgangs-Referenzwerte in die Menge der Ziel-Referenzwerte, aber nicht alle. Wir werden bei allen Transformationen darauf hinweisen, ob sie eindeutig sind, und auch, ob ein Paar von Referenzsystemen interoperabel ist, d.h. ob sowohl die Hin- als auch die Rück-Transformation eindeutig ist.

4.5.1 Transformation NSkm → CH1903 (kurvilinear → geodätisch)

Gegeben ist für einen Punkt P der Name a der NSkm-Achslinie, seine Distanz U vom Anfangspunkt von a und sein seitlicher Abstand V von a . Ferner die Daten der NSkm-Achslinien.

Gesucht sind die Landeskoordinaten CH1903 von P .

Da keine Beschreibung eines Algorithmus zu finden war, schlagen wir folgenden vor:

Vorgehen:

- Finde die Daten der Achslinie a , die aus Strecken (Geradenstücken) besteht. Dafür steht in den MISTRA Web Services die Methode GetAxisArray mit der Axis Info als Suchbegriff zur Verfügung (siehe [30] Abschnitt 4.1.3).
- Die Stützpunkte von a seien S_1, S_2, \dots, S_n . Bestimme $m \in \{1, \dots, n\}$ so, dass

$$U_m = \sum_{i=2}^n \text{dist}(S_i, S_{i-1}) \geq U$$

- Sei $U_E = U - U_{m-1}$ der Abstand zwischen P und S_{m-1} .
- Die Höhe z von P berechnen wir durch lineare Interpolation zwischen den Stützpunkten der Achslinie, die sich am nächsten bei P befinden, gemäss

$$z(P) = z(S_{m-1}) + (z(S_m) - z(S_{m-1})) \frac{U_E}{\text{dist}(S_m, S_{m-1})}$$

- Für die Berechnung der ersten beiden Koordinaten gehen wir in die Lageebene (xy-Ebene) des Landeskoordinatensystems und bezeichnen die Projektion des räumlichen Objekts Q auf diese xy-Ebene mit Q' . Von der Projektion P' des Punktes P fallen wir das Lot auf die Projektion der Achslinie, genauer, auf die Verbindungsstrecke von S'_{m-1} nach S'_m und erhalten darauf den Fusspunkt P'_F im Abstand U'_E von S'_{m-1} gemäss

$$U'_E = \frac{R}{z(P) + R} V$$

wobei R den Erdradius bezeichnet. P' befindet sich auf der Senkrechten durch P'_F im Abstand V' von P'_F gemäss

$$V' = \frac{R}{z(P) + R} V$$

- Mit Hilfe des Winkels α zwischen der E-Achse (y) des LK-Systems und der Achslienstrecke von S'_{m-1} nach S'_m lassen sich die Landeskoordinaten y und x von P' bestimmen, welche übereinstimmen mit denjenigen von P , wie folgt:

$$\sin\alpha = \frac{x_m - x_{m-1}}{\text{dist}(S'_{m-1}, S'_m)}, \quad \cos\alpha = \frac{y_m - y_{m-1}}{\text{dist}(S'_{m-1}, S'_m)}$$

$$y = y_{m-1} + U' \cos\alpha + V' \sin\alpha$$

$$x = x_{m-1} + U' \sin\alpha - V' \cos\alpha$$

Diese Transformation ist zwar eindeutig, jedem NSkm-Koordinatentripel (a, U, V) wird genau ein CH1903-Koordinatenpaar (x, y) zugeordnet. Allerdings nicht einseitig umkehrbar. Denn beim Blick auf *Abb. VIII.47* muss festgestellt werden, dass nach diesem Algorithmus jeder CH1903-Punkt (x, y) aus dem Bereich F_1 von zwei verschiedenen NSkm-Koordinatenpaaren (U, V) bezogen auf dieselbe Achse a generiert wird, und dass es andererseits zu jedem CH1903-Punkt (x, y) aus dem Bereich F_2 kein (U, V) -Paar bezüglich a gibt, das ihn erzeugt. Die Umkehrtransformation $CH1903 \rightarrow NSkm$ liefert nicht in allen Fällen die Ausgangswerte.

4.5.2 Transformation CH1903 \rightarrow NSkm (geodätisch \rightarrow kurvilinear)

Gegeben sind für einen Punkt P die Landeskoordinaten CH1903 (x, y) . Ferner die Datei der NSkm-Achsen mit LK für Lage und Höhe in den Stützpunkten.

Gesucht sind für P der Name a der passenden NSkm-Achse und die NSkm-Koordinaten U und V .

Da keine Beschreibung eines Algorithmus zu finden war, schlagen wir folgenden vor:

Vorgehen:

- Suche die passende Achslinie a . Dafür steht in den MISTRA Web Services die Methode `GetAxisArray` mit den Koordinaten von P und einem Suchradius als Suchbegriff zur Verfügung (siehe [30] Abschnitt 4.1.3).
- Die Achslinie a bestehe aus den Stützpunkten S_1, \dots, S_n . Suche den am nächsten bei P' gelegenen Stützpunkt S'_m der Achslinien-Projektion a' in der Landeskoordinaten-Lageebene.
- Bezeichne W_d den Winkelbereich, in welchem jeder Punkt auf 2 Strecken (Geradenstücke) der Achslinienprojektion a' projiziert werden kann (doppelt belegt) und W_e den Winkelbereich, in welchem jeder Punkt nicht auf a' projiziert werden kann (empty = leerer Bereich aus Sicht des NSkm-Referenzsystems). h sei die Winkelhalbierende von a' bei S'_m (siehe *Abb. 4.9*).
- Falls $P' \notin W_d \cup W_e$, d.h. P' liegt weder in W_d noch in W_e , dann kann von P' problemlos das Lot gefällt werden auf a' , der Fusspunkt P'_F ist zu bestimmen und dann weiter bei Punkt (*).
- Falls $P' \in W_d \cup h$, ist der Lotfusspunkt P'_F auf Achslinienstück (S'_{m-1}, S'_m) zu bestimmen, dann weiter bei Punkt (*).

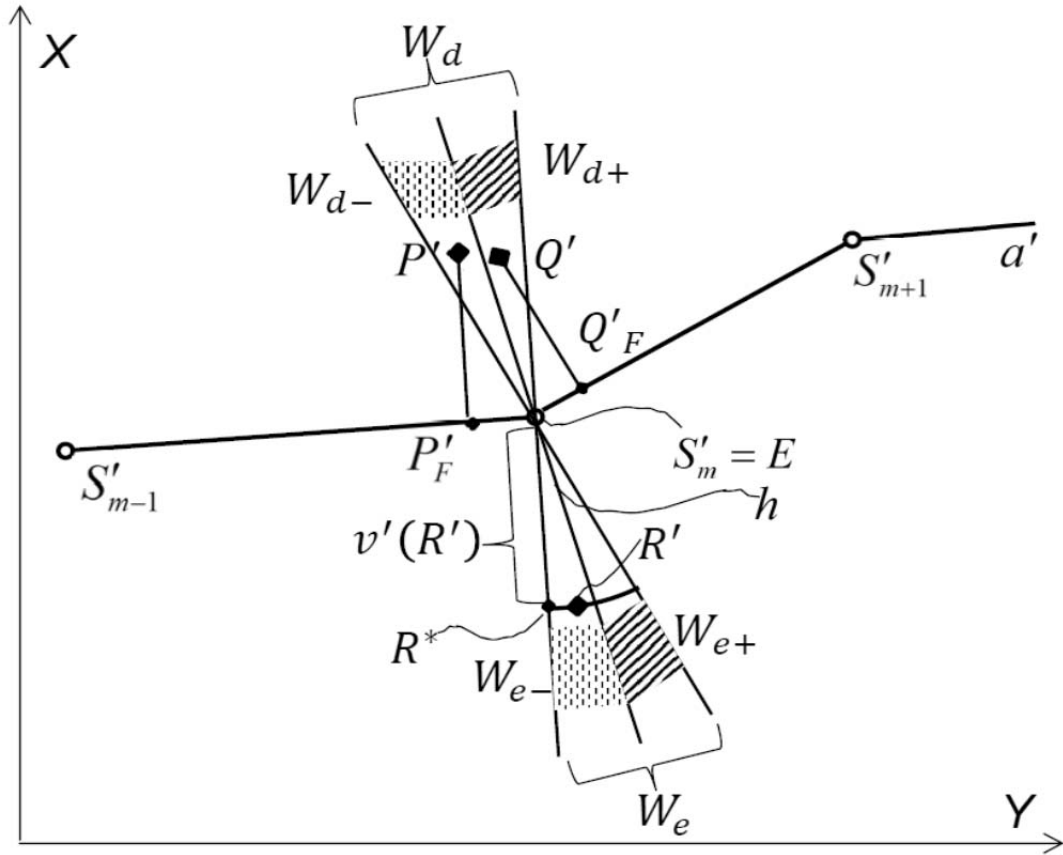


Abb. 4.9 Situation bei der Ecke S'_m der NSkm-Achse a'

- Falls $P' \in W_{d+} \setminus h$, ist der Lotfußpunkt P'_F auf Achsenstück (S'_m, S'_{m+1}) zu bestimmen, dann weiter bei Punkt (*).
- Falls $P' \in W_e$ dann setzen wir $P'_F = S'_m$, dann weiter bei Punkt (*).
- (*) Berechne in der LK-Lageebene die Distanz $V' = \text{dist}(P', P'_F)$
- $z(S_i)$ bezeichne die Landeskoordinaten-

$$f_i = \left(z(S_i) + \frac{z(S_{i+1}) - z(S_i)}{2} + R \right) / R$$

wo R den Erdradius bezeichnet.

- l'_i sei die Länge des Achsstücks von S'_i nach S'_{i+1} in der LK-Lageebene und l'_F die entsprechende Länge des Achsstücks von S'_{m-1} nach P'_F . Dann berechnet sich U gemäss

$$U = \sum_{i=1}^{m-2} f_i l'_i + f_{m-1} l'_F \quad \text{und}$$

$$V = f_{m-1} V'$$

Das ist eine Abbildung, d.h. eindeutig. Jedem Punkt P wird genau ein NSkm-Paar (U, V) zugeordnet. Für einen Punkt Q mit $Q' \in W_{d+} \setminus h$ und Landeskoordinaten (y, x) berechnet man wegen des Aufteilens von W_d in W_{d+} und W_{d-} die NSkm-Werten $(U(Q), V(Q))$ bezogen auf das Achsenstück von S'_m nach S'_{m+1} und mit 4.5.1 bekommen wir seine Ausgangs-Landeskoordinaten (y, x) wieder zurück. Nicht so für einen Punkt R mit R' im Innern von W_e , d.h. $R' \in \text{int}W_e$ mit Landeskoordinaten (y_R, x_R) . Dessen berechnete NSkm-Koordinaten $(U(R), V(R))$ sind dieselben für alle Punkte aus $\text{int}W_e$ auf dem Kreisbogen mit Radius $V(R)$ um die Ecke S'_m . Die daraus mit 4.5.1 zurückgerechneten Landeskoordinaten (y, x) sind diejenigen des Punktes R^* mit Landeskoordinaten $(y^*, x^*) \neq (y_R, x_R)$ auf dem Rand von W_e , d.h. $R^* \in \text{bd}W_e$, im Abstand $V(R)$ von der Ecke S'_m . D.h. diese Transformation ist nicht einseitig

umkehrbar und damit erst recht nicht umkehrbar eindeutig. Möchte man umkehrbare Eindeutigkeit, dann müssten auch für NSkm ↔ CH1903 die in 4.5.7/4.5.8 für RBBS ↔ CH1903 vorgestellten Algorithmen verwendet werden.

4.5.3 Transformation GDF → CH1903 (topologisch → geodätisch)

Gegeben: Punkt P durch eine der Angaben

(a) P bei Knoten N

(b) P auf Kante e (bzw. zwischen Knoten N_A und N_B)

ferner eine Datei mit dem GDF-Graph G mit WGS84-Koordinaten (oder mit LK) der Knoten und der Polylinien der Kanten.

Gesucht: Landeskoordinaten (y,x,z) von Punkt P

Da keine Beschreibung eines Algorithmus zu finden war, schlagen wir folgenden vor:

Vorgehen:

- (a) Knoten N in G suchen, allenfalls dessen WGS84 Koordinaten umrechnen in CH1903 Koordinaten (y,x,z) . Damit ist die Transformation fertig.
- (b1) Kante e in G suchen. Falls für diese Kante eine Geometrie existiert in Form einer Polylinie, diese finden und dann weiter bei Punkt (b3). Sonst für Kante e deren Anfangs- und Endknoten N_A und N_B bestimmen. Allenfalls deren WGS84 Koordinaten umrechnen nach CH1903. Dann weiter bei Punkt (b2)
- (b2) Berechne den Vektor (y,x,z) als Mittelwert $((y_A, x_A, z_A) - (y_B, x_B, z_B))/2$. Damit ist die Transformation auch in diesem Fall fertig.
- (b3) Die Länge l der Polylinie berechnen. Die Lage des Punktes P_g bestimmen, der im Abstand $l/2$ entlang der Polylinie vom Anfangsknoten N_A entfernt ist. Dessen Landeskoordinaten definieren wir als die von GDF nach CH1903 transformierten Koordinaten von P . $(y, x, z) = (y(P_g), x(P_g), z(P_g))$.

Die Transformation ist in allen Spezialfällen eindeutig. Umkehrbar eindeutig aber nur im Falle (a). Startet man die Transformation mit GDF-Referenzwerten wie (a) oder (b), berechnet daraus wie eben beschrieben die CH1903-Koordinaten (y,x,z) , und rechnet man gemäss 4.5.4 zurück, dann bekommt man die Ausgangs-GDF-Referenzwerte, die Transformation ist also einseitig umkehrbar für den Start mit GDF.

4.5.4 Transformation CH1903 → GDF (geodätisch → topologisch)

Gegeben: Landeskoordinaten (x,y,z) von Punkt P und Datei mit dem GDF-Graph G mit WGS84-Koordinaten (oder mit LK) der Knoten und der Polylinien der Kanten.

Gesucht: Identifikation e der Kante und/oder N des Knotens zu denen der Punkt P den kleinsten Abstand hat.

Da keine Beschreibung eines Algorithmus zu finden war, schlagen folgenden vor:

Vorgehen:

- Allenfalls Umrechnung der LK (x,y,z) in WGS84-Koordinaten
- Nächste Achse(n) von P in G finden (geometrisch). Dafür steht in den MISTRA Web Services die Methode GetAxisArray mit den Koordinaten von P und einem Suchradius als Suchbegriff zur Verfügung (siehe [30] Abschnitt 4.1.3). Gibt es mehrere Kanten mit gleichem Abstand von P , wichtigste wählen (gemäss Attributen), falls das nicht möglich ist, Zufallswahl.
- Nächsten Knoten N_m der nächsten Achse bestimmen.
- Für den Knoten N_m und die dort zusammentreffenden Kanten die Winkelbereiche W_d (Punkte sind auf beide Kanten projizierbar) und W_e (Punkte sind auf keine Kante projizierbar) bestimmen.

- Falls $P' \notin W_d \cup W_e$, d.h. P' liegt weder in W_d noch in W_e , dann ist leicht zu entscheiden, ob das Knotenpaar (N_{m-1}, N_m) oder (N_m, N_{m+1}) die nächste Kante e berandet. Dann weiter bei Punkt (*).
- Falls $P' \in W_{d-} \cup W_{e-}$, bildet das Knotenpaar (N_{m-1}, N_m) den Rand von Kante e , falls $P' \in W_{d+} \cup W_{e+}$, bildet das Knotenpaar (N_m, N_{m+1}) den Rand von Kante e , damit weiter bei Punkt (*).
- (*) Ausgabe: Kantenummer e , Abstand des Punktes P davon, Knotennummern N_A und N_B von Anfangs- und Endknoten der Kante Nr e , sowie für diese Kante ihren Abstand d_e von P , ferner die d_A und d_B der e-Randknoten von P wobei $d_A = \text{dist}(P, N_A)$ und $d_B = \text{dist}(P, N_B)$.

Diese Transformation ist eindeutig, jedem CH1903-Tripel (x, y, z) sind eindeutig zugeordnet die 7 Zahlen $(G, e, N_A, N_B, d_e, d_A, d_B)$. Wenn der GDF-Referenzwert alle diese Angaben umfasst, dann wäre auch die Umkehrabbildung $\text{GDF} \rightarrow \text{CH1903}$ eindeutig möglich. Der GDF-Referenzwert eines Punktes lautet aber nur „bei Knoten N_A “ oder „auf Kante e “ oder „zwischen den Knoten N_A und N_B “. Ein solcher Referenzwert kann zwar aus den 7 angegebenen Zahlen berechnet werden. Aber bei der Rückrechnung (z.B. gemäss 4.5.3) die genauen Ausgangs-Landeskoordinaten wieder zu erhalten aus einem solchen Text ist nur zufällig (mit kleiner Wahrscheinlichkeit) möglich.

4.5.5 Transformation TMC-Location Code \rightarrow CH1903 (topolog. \rightarrow geodät.)

Vorgehen und Beurteilung analog zu 4.5.3 $\text{GDF} \rightarrow \text{CH1903}$. Allerdings existiert hier keine Verbindungsgeometrie zwischen den Knoten des TMC-Location Graphs G . Diese muss im Falle P zwischen den Location Codes N_1 und N_2 immer aufgebaut werden als Folge von Strecken (Geradenstücken) von N_1 über alle Zwischen-Locations bis N_2 .

4.5.6 Transformation CH1903 \rightarrow TMC-Location Code (geodät. \rightarrow topolog.)

Gegeben: Landeskoordinaten (y, x, z) von Punkt P und Datei mit dem TMC-Location-Graph G sowie mit LK der Knoten. Nur in der Schweiz haben TMC-Locations neben Codes auch Koordinaten.

Gesucht: Codes N_1 und N_2 der Knoten, zwischen denen sich der Punkt P befindet.

Da keine Beschreibung eines Algorithmus zu finden war, schlagen wir folgenden vor:

Vorgehen:

- Evtl. zuerst LK von P umrechnen in WGS84 oder anderes Koordinatensystem.
- Benachbarte Locations (= points) finden mit den Koordinaten der Knoten in G . Falls eine Location N existiert mit den Koordinaten $(y(N), x(N), z(N)) = (y(P), x(P), z(P))$ dann kann der Code von N zurückgegeben werden und wir sind fertig.
- Punktfolgen definieren mit Hilfe der mit diesen Locations (= points) zusammenhängenden weiteren Locations (= points) gemäss G .
- Aus diesen Punktfolgen Linienzüge herstellen durch Verbindung zweier aufeinanderfolgender Punkte mit einer Strecke (Geradenstück)
- Bestimmung des zu P nächstgelegenen Linienzuges. Dies ist derjenige, der die Strecke enthält, zu welcher P den kleinsten Abstand hat.
- Ausgabe: Codes N_1 und N_2 der Rand-Locations der gefundenen, zu P nächstgelegenen Strecke, sowie deren Abstände von P , $\text{dist}(P, N_1)$ und $\text{dist}(P, N_2)$

Auch bei diesen Transformationen TMC-Location-Codes \leftrightarrow CH1903 haben wir nur einseitige Umkehrbarkeit, nämlich dann, wenn man mit TMC-Location-Codes startet. Die Überlegungen sind dieselben wie bei 4.5.3 und 4.5.4.

4.5.7 Transformation RBBS \rightarrow CH1903 (kurvilinear \rightarrow geodätisch)

Hier und in 4.5.8 stellen wir – als Ergänzung von 4.5.1 und 4.5.2 – eine Transformationsvariante vor, die eine Möglichkeit aufzeigt, wie das Problem der doppelt oder überhaupt

nicht mit RBBS-Koordinaten überdeckten Flächen gelöst werden kann, das bei Ecken aufeinanderfolgender Achslinienstrecken auftaucht (siehe Anhänge VIII.5 und VIII.19). Das Problem entsteht ja, wenn die Achslinie nur aus Strecken (Geradenstücken) besteht, was den Verlauf der Strassenachse in der Realwelt nicht genau genug annähert. Unser Vorschlag ist, für zu transformierende Punkte in den kritischen Bereichen der doppelt oder überhaupt nicht mit RBBS-Koordinaten beschreibbaren Punkte, und nur für solche kritischen Punkte, die Achslinie in den Ecken lokal abzuändern, so dass es dort einen glatten Übergang gibt. Das ermöglicht eine eindeutige Zuordnung von Punkten zu RBBS Koordinaten in einer, dem Strassenraum entsprechenden, nicht zu grossen Umgebung der Achslinie. Für diese Transformation (allerdings ohne lokale Abänderung der Achslinie in Ecken) stellen die MISTRA Web Services die Methode TransformRbbsToXY zur Verfügung (siehe [30] 5.1.3).

Gegeben: Achslinie a mit den Stützpunkten S_0, S_1, \dots, S_n und Strecken (= Geradenstücken) als Verbindungslinien. Ferner Punkt P mit kurvilinearen Koordinaten (u, v, w) bezüglich a .

Gesucht: 3-dim. kartesische Landeskoord (x, y, z) (bzw. (y, x, z)) von P .

- (1) Bestimme $m \in \{1, \dots, k\}$ so dass

$$u_m = \sum_{i=1}^m \text{dist}(S_i, S_{i-1}) \geq u$$

- (2) Für die Höhe $z(P)$ gilt mit $u_R = u - u_{m-1}$:

$$z(P) = z(S_{m-1}) + (z(S_m) - z(S_{m-1})) \frac{u_R}{\text{dist}(S_m, S_{m-1})}$$

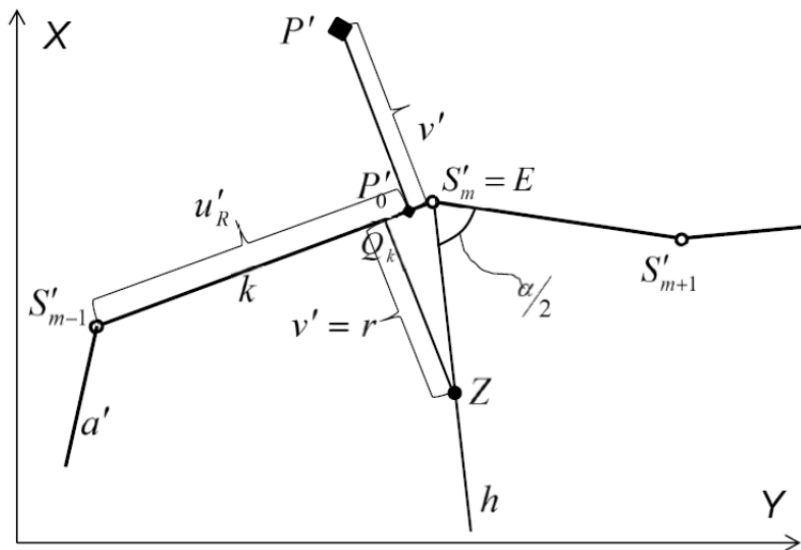


Abb. 4.10 Abklärung, ob mit oder ohne Kreisbogen in der x-y-Ebene

- (3) Die Berechnung der kartesischen Koordinaten (x, y) kann in der $x - y$ -Ebene erfolgen: k sei die Projektion der Strecke von S_{m-1} nach S_m , P' die Projektion von P in die $x-y$ -Ebene, P'_0 sei der Fusspunkt des Lotes von P' auf k . Bezeichnet u'_R den Abstand zwischen P'_0 und S'_{m-1} und v' den Abstand zwischen P' und P'_0 , dann gilt mit r_E für den Erdradius:

$$u'_R = \frac{r_E}{z(P) + r_E} u_R, \quad v' = \frac{r_E}{z(P) + r_E} v$$

- (4) Bestimme das P'_0 nächstgelegene Ende E von s (S'_m oder S'_{m-1} , im Beispiel S'_m).

- (5) Bestimme die Winkelhalbierende h auf der konvexen Seite der Achsprojektion a' in der Ecke E .

(6) Bestimme den spitzen Winkel α der Achslinienprojektion a' an der Ecke E bzw. $\sin\alpha, \cos\alpha, \tan\alpha$.

(7) Abklären, ob sich P' auf der „konvexen“ Seite von a' bei E befindet (wo Punkte im kritischen Bereich W_d doppelte RBBS-Koordinaten haben) oder auf der „konkaven“ Seite (wo es den kritischen Bereich W_e gibt, in welchem die Punkte gar keine RBBS-Koordinaten haben). Wenn das Vorzeichen von v' übereinstimmt mit dem Vorzeichen des Vektorproduktes

$$(s'_{m-1} - s'_m) \times (s'_{m+1} - s'_m)$$

dann ist P' auf der „konkaven“ Seite, wie in *Abb. 4.10*.

(8) Jetzt ersetzen wir die Ecke E durch einen Kreisbogen mit Zentrum Z und Radius $v' = r$. Bestimme Punkt Z auf h mit

$$\text{dist}(Z, k) = \text{dist}(Z, Q_k) = v' = r \quad \text{und berechne}$$

$$\text{dist}(Q_k, E) = r \cdot \tan(\alpha/2) \quad .$$

(9) Falls $\text{dist}(P'_0, E) \geq \text{dist}(Q_k, E)$ befindet sich der Punkt P' nicht im kritischen Bereich W_e und die Berechnung von (y, x) für P' kann direkt erfolgen mit Hilfe von (u'_R, v') sowie mit den LK von $S_{m-1} = (y_{m-1}, x_{m-1})$ und $S_m = (y_m, x_m)$ wie folgt und wir brauchen E nicht durch einen Kreisbogen zu ersetzen:

$$\varphi = \arctan(v'/u'_R) \quad , \quad \psi = \arctan((x_m - x_{m-1})/(y_m - y_{m-1}))$$

$$\chi = \varphi + \psi$$

$$b = \sqrt{u'^2_R + v'^2}$$

$$\Delta y = b \cdot \cos\chi \quad \Delta x = b \cdot \sin\chi$$

$$P' = (y, x) = (y_{m-1} + \Delta y, x_{m-1} + \Delta x)$$

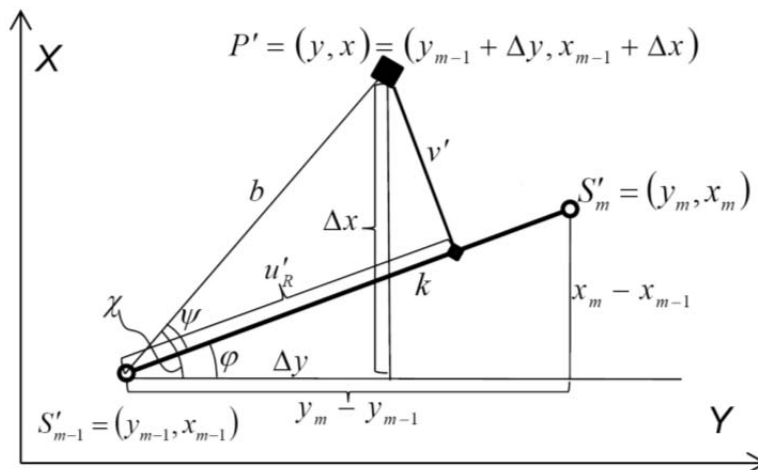


Abb. 4.11 $(u', v') \rightarrow (y, x)$ ohne Ersatz der Ecke durch Kreisbogen

(10) Falls $\text{dist}(P'_0, E) < \text{dist}(Q_s, E)$ – wie in *Abb. 4.12*– ist der Streckenweg $Q_s E Q_t$ zu ersetzen durch einen Kreisbogen tangential an s in Q_s und an t in Q_t , Radius $r = v'$. Bezeichnet P'_0 den Fusspunkt des Lotes von P' nach s , dann sei P'_1 der Schnittpunkt des Kreisbogen $Q_s Q_t$ mit der Geraden von Z durch P'_0 . Der Punkt P'_g , nach dessen Verschiebung in den „leeren Winkelbereich“ W_e ($= F_2$ von *Abb. VIII.47* in Anhang VIII.5) seine x - y -Koordinaten zu berechnen sind (als x - y -Koordinaten von P) liegt auf der Verbindungsgeraden von Z und P'_1 im Abstand v' von P'_1 . Details, insbesondere auch zum Algorithmus für den doppelt belegten Winkelbereich W_d ($= F_1$ von *Abb. VIII.47*) siehe in Kapitel 9.2.

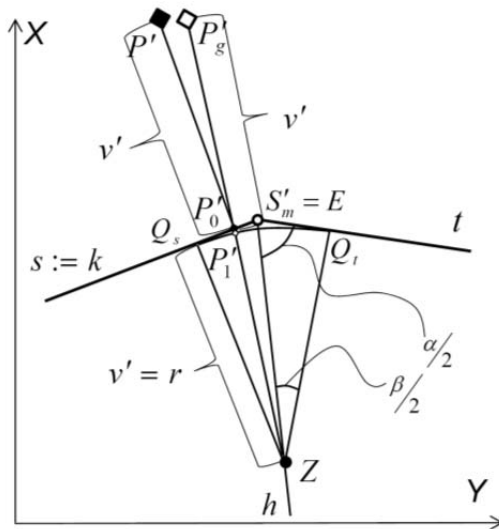


Abb. 4.12 $(u', v') \rightarrow (y, x)$ mit Ersatz der Ecke durch Kreisbogen

4.5.8 Transformation CH1903 \rightarrow RBBS (geodätisch \rightarrow kurvilinear)

Gegeben: Punkt $P_g(y, x, z)$ und Achslinie a in Landeskoordinaten CH1903. Wir setzen voraus, dass a die nächste bei P_g gelegene Achslinie ist. Dafür steht in den MISTRA Web Services die Methode `GetAxesArray` zur Verfügung (siehe [30] 4.1.3, V1.3)

Gesucht: RBBS Koordinaten (a, u, v) von P

Für diese Transformation (allerdings ohne lokale Abänderung der Achslinie in Ecken) stellen die MISTRA Web Services die Methode `TransformXyToRbbs` zur Verfügung (siehe [30] 5.1.4).

Wir starten mit der Analyse in der Horizontalebene (x, y -Ebene) der Landeskoordinaten und gehen aus von der Projektion P'_g von Punkt P_g und von der Projektion a' der Achslinie a in diese Horizontalebene.

- (1) Bestimme die am nächsten bei P'_g gelegene Achslinienecke $E := S'_m$ von a' .
- (2) Berechnung der RBBS-Höhe w ist erst möglich, wenn die Stützpunkte der Achslinie LK-Höhen haben, was z.Z. nicht der Fall ist.
- (3) E ist Anfangs- oder End-Ecke der Kante k . Ist E End-Ecke, benennen wir k um auf s (wie in Abb. 4.13), ist E Anfangs-Ecke benennen wir k um auf t . Bestimme die Nachbarstützpunkte $B := S'_{m-1}$ und $G := S'_{m+1}$.
Bestimme den Abstand d von P'_g zu dieser nächsten Achslinienstrecke s .
- (4) Bestimme die Winkelhalbierende h auf der konvexen Seite der Achslinienprojektion a' in der Ecke E .
- (5) Entscheide, ob sich P'_g auf derselben Seite der Achslinienprojektion a' befindet, wie der Bereich W_e , der sog. „tote Winkel“ mit Punkten ohne kurvilineare Koordinaten, oder auf der anderen mit dem Bereich W_d , wo jeder Punkt zwei kurvilineare Koordinaten hat.
- (6) Abklären, ob der Fusspunkt P'_0 der Projektion von P' (d.h. des zukünftigen eventuell von P'_g weg verschobenen RBBS-Punktes) auf die Achslinie a' zu liegen kommt auf die Kante s oder t . Sind die Vorzeichen der Skalarprodukte $s \times t$ und $(p - e) \times h$ gleich, dann gilt $P'_0 \in s$.

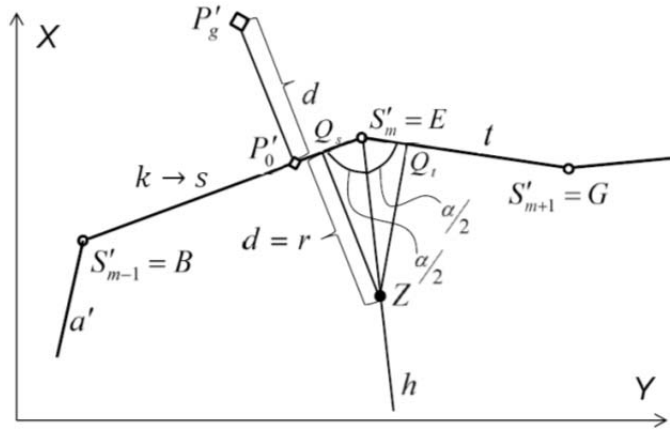


Abb. 4.13 Abklärung, ob mit oder ohne Kreisbogen in der x-y-Ebene

(7) Bestimme, ob sich P'_g im kritischen Bereich $K = K_e \cup K_d$ um E befindet, so dass E ersetzt werden muss durch einen Kreisbogen. Der „leere“ Winkelbereich W_e ist ein Winkelbereich mit Spitze E symmetrisch zur Winkelhalbierenden h , sein Öffnungswinkel sei β . Der kritische Bereich K_e auf dieser Seite der Achslinie ist ebenfalls ein Winkelbereich mit Spitze E und symmetrisch zu h , aber mit Öffnungswinkel 2β . In diesem Fall, entsprechend der Abb. 4.14, muss nur abgeklärt werden, ob der Winkel zwischen den Vektoren $p'_g - e$ und $-h$ kleiner ist als β . Dann gilt $P'_g \in K_e$. Analog für K_d .

(8) Die Berechnung der kurvilinearen Koordinaten (u, v) von P' erfolgt ohne Ersatz der Ecke E durch einen Kreisbogen, wenn eine der folgenden Bedingungen gilt:

- (a) P'_g liegt auf einer der Achskanten s oder t .
- (b) P'_g ist nahe beim Start- bzw. End-Stützpunkt der Achsprojektion a' , d.h. S_1 oder S_n ist kritischer Achsstützpunkt E .
- (c) P'_g befindet sich ausserhalb des kritischen Bereichs $K = K_e \cup K_d$ um E .

Dann genügen einfache trigonometrische Funktionen (siehe Kapitel 9.2) zur Bestimmung von u und v , womit man in diesem Fall fertig ist.

(9) In den Schritten (9) und (10) geht es darum, RBBS-Koordinaten zu bekommen, falls der kritische Achslinienstützpunkt E durch einen Kreisbogen zu ersetzen ist. Damit dieser tangential weggeht von den beiden bei E zusammenstossenden Achslinienkanten, muss sein Kreiszentrum Z auf der Winkelhalbierenden liegen. Als erste Frage ist zu beantworten, wie gross $x := \text{dist}(Z, E)$ ist, der Abstand des Kreisentrums Z vom kritischen Achslinienstützpunkt E . Abb. 4.14 kann man entnehmen:

$$z = e + \frac{h}{|h|}x \quad (\text{F1})$$

$$|p'_g - z| = 2r$$

$$\frac{r}{x} = \sin \omega \quad \text{also}$$

$$|p'_g - z| = 2x \sin \omega \quad (\text{F2e})$$

Darin z einsetzen gemäss (F1) und $p_r := p'_g - e$ brauchen

$$\left| p_r - x \frac{h}{|h|} \right|^2 = 4x^2 \sin^2 \omega$$

Mit den Koordinaten (π_{r0}, π_{r1}) für p_r und (χ_0, χ_1) für h und umformen folgt:

$$\pi_{r0}^2 + \pi_{r1}^2 - 2 \frac{x}{|h|} (\pi_{r0}\chi_0 + \pi_{r1}\chi_1) + \frac{x^2}{|h|^2} (\chi_0^2 + \chi_1^2) = 4x^2 \sin^2 \omega$$

$$|p_r|^2 - 2 \frac{x}{|h|} (p_r \cdot h) + \frac{x^2}{|h|^2} |h|^2 = 4x^2 \frac{|g - f|^2}{|t|^2}$$

wenn noch $\sin\omega = |g - f| / |t|$ berücksichtigt wird. Damit bekommen wir die folgende quadratische Gleichung in x :

$$\left(1 - \frac{4|g - f|^2}{|t|^2}\right)x^2 - \frac{2(p_r \cdot h)}{|h|}x + |p_r|^2 = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

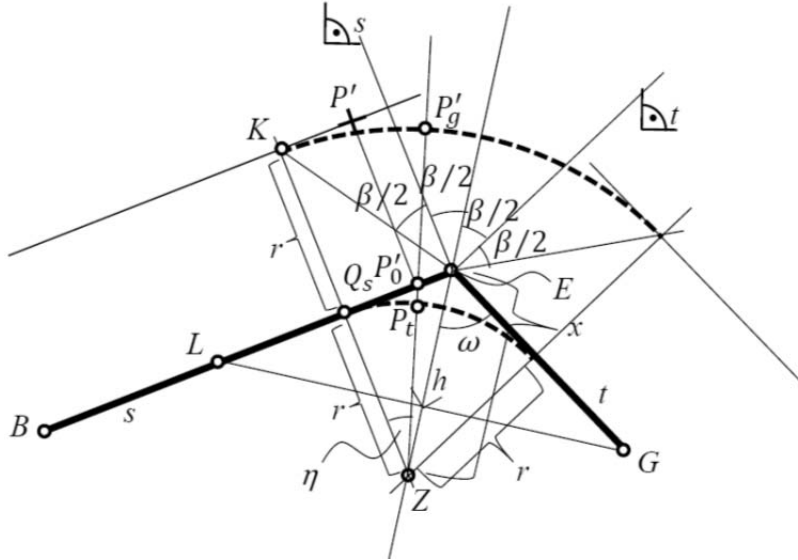


Abb. 4.14 $(y, x) \rightarrow (u', v')$ mit Ersatz der Ecke durch Kreisbogen

Für die beiden Lösungen x_1 und x_2 gilt

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

und damit kann das Kreiszentrum bestimmt werden:

$$z = e + x_1 \frac{h}{|h|}$$

(10 e) Nun bestimmen wir die RBBS-Koordinaten (u, v) von P' . Q_s ist wieder der Fusspunkt des Lotes von Z auf s und q_s ist der entsprechende Ortsvektor. Für die Bestimmung von u brauchen wir die Distanz $u'_r = \text{dist}(B, P_0)$ vom Startpunkt B der Kante s zum Fusspunkt P_0' des Lotes von Zielpunkt P' auf s . Der Ortsvektor von P_0' sei p_0' . Mit dem Abstand $u'_c := \text{dist}(P_0', E)$ zwischen P_0' und E gilt:

$$u'_r = |s| - u'_c$$

$$v' = |k - q_s| = |q_s - z|$$

Ferner gilt

$$u'_c = |q_s - e| - |q_s - p_0'| \quad (F3e)$$

und für diese beiden Distanzen (siehe Abb. 4.14)

$$|q_s - e| = x \cdot \cos \omega = x \frac{|h|}{|t|} \quad (F4e)$$

$$|q_s - p_0'| = r \cdot \tan \eta$$

Allerdings können wir den Winkel η nicht direkt bestimmen, sondern nur über den Winkel $\kappa = \eta/2$ und den können wir nur mit Hilfe des gleichschenkligen Dreiecks ZQ_sP_tZ bestimmen, wobei P_t der Schnittpunkt ist der Geraden durch Z und P'_g mit dem Kreis vom Radius r um Z als Kreiszentrum. Für den Ortsvektor p_t gilt also gemäss dieser Konstruktionsvorschrift

$$p_t = z + (p_g - z) \frac{r}{2r} = z + \frac{1}{2}(p_g - z)$$

Mit Hilfe von p_t können wir jetzt κ bestimmen:

$$\sin \kappa = \frac{|q_s - p_t|}{2r} = \sin \frac{\eta}{2}$$

Nun brauchen wir aber $\tan \eta = \tan(2\kappa)$. Dazu dient die Formel

$$\tan(2\kappa) = \frac{2 \cdot \sin \kappa \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \kappa}}{1 - \sin^2 \kappa}$$

Darin $\sin \kappa$ von oben einsetzen, und einiges Umformen ergibt

$$\tan \eta = \tan(2\kappa) = \frac{|q_s - p_t|}{2r^2 - |q_s - p_t|^2} \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}$$

und damit wird schliesslich

$$|q_s - p'_0| = r \cdot \tan \eta = \frac{|q_s - p_t| \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}}{2r - |q_s - p_t|^2/r} \quad (\text{F5e})$$

Durch Einsetzen von (F5e) und (F4e) in (F3e) ergibt sich u'_c und damit auch u'_r . Um u und v zu erhalten, müssen wir noch mit dem Kalibrierungsfaktor von s multiplizieren, das ist cal_{m-1} , und v muss noch das richtige Vorzeichen erhalten, nämlich das umgekehrte des Vektorprodukts $p \times s$, also

$$\begin{aligned} u &= u(S_m) - u'_c \cdot cal_{m-1} \\ v &= -\text{sign}(p \times s) \cdot r \cdot cal_{m-1} \end{aligned}$$

Damit ist u, v berechnet für den Fall $P'_g \in K_e$ und $P'_0 \in s$, d.h. wo sich P'_g im kritischen Bereich K_e um den „leeren“ Winkel bei der Ecke E befindet und, wie *Abb. 4.14* zeigt, der Fusspunkt P'_0 des Lotes des RBBS-Punktes P' auf die Achslinienprojektion a' auf das Stück s zu liegen kommt. Die Berechnung von u, v für die anderen Fälle $P'_g \in K_e$ mit $P'_0 \in t$, sowie $P'_g \in K_d$ mit $P'_0 \in s$ und $P'_g \in K_d$ mit $P'_0 \in t$ ergibt sich analog und ist in Abschnitt 9.2 im Detail besprochen.

4.5.9 Transformation WGS84 → CH1903 (geodätisch („planar“) → geodät. („planar“))

Die Transformation wurde aus Dupraz et al. „Transformation approchée de coordonnées WGS84 en coordonnées nationales suisses“ [4] übernommen.

Gegeben: Punkt $P(\varphi, \lambda, h)$ WGS84-Koordinaten

Gesucht: Punkt $P(y, x, z)$ in Landeskoordinaten CH1903

Vorgehen:

Zunächst sind Breite φ und Länge λ in Hexagesimalsekunden [“] umzuwandeln. Dann sind die Hilfsgrössen Breitendifferenz (φ') und Längendifferenz (λ') gegenüber Bern in der Einheit [10000“] zu berechnen:

$$\varphi' = (\varphi - 169028.66")/10000$$

$$\lambda' = (\lambda - 26782.5")/10000$$

Damit lassen sich die CH1903-Koordinaten y, x, z in der Einheit [m] berechnen:

$$y = 600072.37 + 211455.93 \lambda' - 10938.51 \lambda' \varphi' - 0.36 \lambda' \varphi'^2 - 44.54 \lambda'^3$$

$$x = 200147.07 + 308807.95 \varphi' + 3745.25 \lambda'^2 + 76.63 \varphi'^2 - 194.56 \lambda'^2 \varphi' + 119.79 \varphi'^3$$

$$z = h - 49.55 \lambda' + 6.94 \varphi'$$

Bemerkung zu den Höhen:

In diesen Formeln wird davon ausgegangen, dass mit ellipsoidischen Höhen gearbeitet wird, wie sie z.B. mit GPS-Messungen erhalten werden. Wird mit 'Höhen über Meer' gearbeitet, so sind die Höhen im Meterbereich in beiden Systemen gleich. Sie müssen also in diesem Fall nicht umgerechnet werden.

4.5.10 Transformation CH1903 → WGS84 (geodätisch („planar“) → geodät. („planar“))

Es handelt sich dabei um eine Herleitung von U. Marti vom Mai 1999, basierend auf den Formeln aus Bolliger [3]).

Gegeben: Punkt $P(y,x,z)$ in Landeskoordinaten CH1903

Gesucht: Punkt $P(\varphi,\lambda,h)$ WGS84-Koordinaten

Vorgehen:

Die Projektionskoordinaten y (Rechtswert) und x (Hochwert) sind ins zivile System (y',x') mit $(y_{bern}, x_{bern}) = (0,0)$ und in die Einheit [1000km] umzuwandeln:

$$y' = (y - 600000\text{m})/1000000 \quad x' = (x - 200000\text{m})/1000000$$

Nun können Länge und Breite in der Einheit [10000“] berechnet werden

$$\lambda' = 2.6779094 + 4.728982 y' + 0.791484 y' x' + 0.1306 y' x'^2 + 0.0436 y'^3$$

$$\varphi' = 3.238272x' - 0.270978 y'^2 - 0.002528 x'^2 - 0.0447 y'^2 x' - 0.0140 x'^3$$

$$h[m] = z + 49.55 - 12.60 y' - 22.64 x'$$

Diese Näherungen sind für die ganze Schweiz besser als 0.12" in der Länge, 0.08" in der Breite und 0.5 Meter in der Höhe.

Bemerkung zu den Höhen:

In diesen Formeln wird davon ausgegangen, dass mit ellipsoidischen Höhen h gearbeitet wird, wie sie z.B. mit GPS-Messungen erhalten werden. Wird mit 'Höhen über Meer' gearbeitet, so sind die Höhen im Meterbereich in beiden Systemen gleich. Sie müssen also in diesem Fall nicht umgerechnet werden.

4.5.11 Transformation TMC-Location → Ortsnamen (topologisch → topologisch)

Gegeben: Gegeben die TMC-Location Codes N_1 und N_2 der Locations, zwischen denen sich ein Punkt P befindet und die Zuordnungstabelle T von Ortsnamen zu den Location Codes.

Gesucht: Ortsnamen zu den Codes N_1 und N_2 .

Vorgehen:

Einstieg in die Zuordnungstabelle T mit den Codes N_1 und N_2 und Ausgabe der entsprechenden Ortsnamen.

4.5.12 Transformation NSkm → RBBS (kurvilinear → kurvilinear)

Voraussetzung dafür, dass eine Transformation zwischen zwei kurvilinearen Referenzsystemen erfolgen kann, ist, dass in irgendeiner Form gemeinsame Punkte in beiden Referenzsystemen bekannt sind. Im Spezialfall NSkm ↔ RBBS ist es de facto eigentlich so, dass jeder Bezugspunkt des RBBS gleichzeitig auch einem NSkm entspricht und somit die Bezugsdistanz zum NSkm als Bezugsdistanz zum korrespondierenden Bezugspunkt verwendet werden kann. Im allgemeinen Fall für die Transformation

zwischen zwei kurvilinearen Referenzsystemen kann aber nicht von einer derartigen Übereinstimmung ausgegangen werden, da die kurvilinearen Referenzsysteme für einen bestimmten Zweck und normalerweise unabhängig voneinander definiert werden.

In einem ersten Schritt müssen also in mit einem Algorithmus aus den beiden kurvilinearen Referenzsystemen die Teillinien gefunden werden, welche das gleiche Stück Strasse beschreiben. Dazu bietet sich an, eine Liniengeometrie der beiden kurvilinearen Bezugssysteme in einem gemeinsamen geodätischen Referenzbereich zu verwenden. Die beiden kurvilinearen Referenzsysteme werden also zum Beispiel in Landeskoordinaten dargestellt.

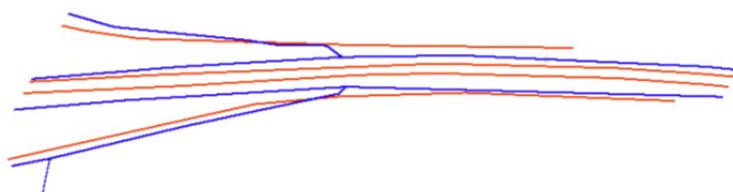


Abb. 4.15 Darstellung zweier kurvilinear referenzierter Strassenachsen (blau und rot) in einem gemeinsamen geodätischen Referenzbereich

Die durch die beiden kurvilinearen Referenzsysteme gemeinsam beschriebenen Strassenstücke findet man indem man die CH1903-Koordinaten der Stützpunkte der Achslinie des einen Referenzsystems – im aktuellen Falle gemäss 4.5.8 – auf das zweite kurvilineare Referenzsystem abbildet. Solange die so referenzierte Strassenachse nicht ändert, ist man auf dem gemeinsam beschriebenen Strassenstück. Dadurch dass die beteiligten Referenzsysteme nicht die gleichen Erfassungsrichtlinien kennen, nicht in der gleichen Genauigkeit definiert sind, zudem auch rein über die Lagegeometrie insbesondere nicht lagegleiche Kreuzungen kaum identifiziert werden können, müssen nebst dem Lagevergleich noch weitere Prüfmechanismen verwendet werden, um die Zuverlässigkeit der Zuordnung zu erhöhen.

In der Praxis haben sich folgende Tests als zuverlässige Indikatoren erwiesen. Die Elementaranalyse entspricht der oben beschriebenen Methode um überhaupt einen Kandidaten zu finden. Mit der Kontextanalyse Nachbarn wird überprüft, ob der Vorgänger respektive Nachfolger zu einem Punkt die gleiche korrespondierende Achslinie findet. Mit der Kontextanalyse Strasse werden schlussendlich ganze Verläufe von Achslinien (entsprechend Strassenachsen mit gleichem Strassenamen) miteinander verglichen:

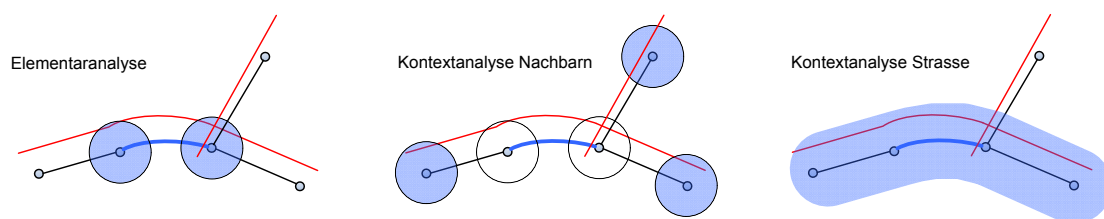


Abb. 4.16 Test der Übereinstimmung der Achslinien mit Kontextanalysen

Die so gefundenen Lösungen sind nicht immer eindeutig und müssen daher bewertet werden. Dazu dient eine Entscheidungsmatrix welche die Zuverlässigkeit der möglichen Muster von erfüllten und nicht erfüllten Analysetests in eine Rangordnung bringt. Der Kandidat mit dem besten Muster gewinnt.

Abb. 4.17 Entscheidungsmatrix Achssegmentreferenz-Analysen.

Elementar	Kontext Nachbar		Kontext Strasse
	$a \in R_{E1}$	$a \in R_{E2}$	$a \in R_S$
X	X	X	
X	X		X
X		X	X
X	X		X
X		X	
X	X		X
X	X		X

Weitere Tests sind denkbar, bringen aber nicht immer bessere Ergebnisse.

Resultat aus obigem Prozess sind die Transformationsstrecken. Dafür werden die gefundenen Stützpunkte, welche das gemeinsam bekannte Strassenstück beschreiben, zu einer möglichst langen zusammenhängenden Linie geformt. Diese Linie hat folgende Eigenschaften:

- Anfangspunkt ist bekannt in beiden kurvilinearen Referenzsystemen (lokalisiert im kurvilinearen Referenzsystem)
- Endpunkt ist bekannt in beiden kurvilinearen Referenzsystemen
- Anfangs und Endpunkt befinden sich auf der gleichen Achslinie des kurvilinearen Referenzsystems
- Durch Anfangs- und Endpunkt im kurvilinearen Referenzsystem ist die Länge der Transformationsstrecke in beiden Bezugssystemen bekannt

Die nun vorhandene Transformationsstrecke T kann verwendet werden um punktuelle oder linienartige Informationen, welche im einen kurvilinearen Referenzsystem vorhanden sind in das andere umzurechnen. Da die Längen der beiden kurvilinearen Referenzsysteme nicht identisch sein müssen, muss ein Massstabsfaktor berücksichtigt werden.

- TA_{km}, TE_{km} sind Anfangs- und Endort der Transformationsstrecke im NSkm
- TA_{rbbs}, TE_{rbbs} sind Anfangs- und Endort der Transformationsstrecke im RBBS, die Orientierung Anfangs- und Endort bezieht sich relativ zur Orientierung der Transformationsstrecke im NSkm
- S_{km} ist der Ort der Sachinformation im NSkm
- S_{rbbs} ist dazu korrespondierende Ort im RBBS
- $L_{km} = TE_{km} - TA_{km}$ = Länge der Transformationsstrecke im NSkm
- $L_{rbbs} = TE_{rbbs} - TA_{rbbs}$ = Länge der Transformationsstrecke im RBBS

Dann berechnet sich der U-Anteil der Information wie folgt, (wenn die Orientierung der beiden kurvilinearen Referenzsysteme identisch ist).

$$S_{rbbs} = (S_{km} - TA_{km}) \times \left(\frac{L_{rbbs}}{L_{km}} \right) + TA_{rbbs}$$

Der Querabstand soll trotz oder wegen der beiden unterschiedlichen Geometrien der kurvilinearen Referenzsysteme erhalten bleiben. Der Querabstand ist ja eigentlich eine relative Grösse zur Achslinie und bezieht sich dann zum Beispiel auf eine bestimmte Fahrspur. Damit dieser logische Bezugs erhalten bleibt, darf der Querabstand nur aufgrund unterschiedlicher Achslinien nicht verändert werden.

Sind die beiden kurvilinearen Referenzsysteme gegenläufig orientiert, erfolgt die Berechnung wie folgt:

$$S_{rbbs} = (L_{rbbs} - (S_{km} - TA_{km})) \times \left(\frac{L_{rbbs}}{L_{km}} \right) + TE_{rbbs}$$

In diesem Fall muss zudem die Querlage mit (-1) multipliziert werden, da sich die Querlage rechts oder links der Achse auf das Vorzeichen des Querabstand auswirkt und bei gegenläufiger Orientierung eben gerade umgekehrt ist.

Für diese Transformation stellen die MISTRA Web Services die Methode TransformKilometerToRbbs zur Verfügung (siehe [30] 5.1.6, V1.2).

Wie anfangs erwähnt, braucht die beschriebene Methode für die beiden beteiligten kurvilinearen Referenzsysteme eine Achsgeometrie in Landeskoordinaten. Vorausgesetzt, dass man ebenfalls für beide eine umkehrbar eindeutige Transformation von Referenzwerten zum Landeskoordinatensystem hat, ist eine Alternative zur beschriebenen Methode, dass man die NSkm-Koordinaten zunächst auf Landeskoordinaten transformiert und dann diese auf RBBS-Koordinaten umrechnet. Stehen im gemeinsamen Referenzbereich der beiden kurvilinearen Referenzsysteme verschiedene Achslinien zur Verfügung und die je entsprechenden sind nicht von vornherein bekannt, dann bleibt die Aufgabe, herauszufinden, welche der möglichen RBBS-Achslinien zur gegebenen NSkm-Achslinie passt.

4.5.13 Transformation RBBS → NSkm (kurvilinear → kurvilinear)

Analog 4.5.12

Für diese Transformation stellen die MISTRA Web Services die Methode TransformRbbsToKilometer zur Verfügung (siehe [30] 5.1.5, V1.2)

4.5.14 Transformation GDF (Teleatlas) → GDF (NavTech) (topologisch → topologisch)

Für die Transformation zwischen zwei topologischen Referenzsystemen müssen analog der Transformation zwischen zwei kurvilinearen Referenzsystemen entsprechende Referenzsystemelemente bekannt sein. Bei den hier aufgeführten Referenzsystemen ist es nun auch so, dass beide neben der topologischen Struktur auch eine Geometrie der Abschnitte und Knoten in einem geodätischen Referenzsystem (hier in der Regel WGS84) kennen. Damit können auch hier analog der Beziehung zwischen kurvilinearen Referenzsystemen gemeinsame Strecken gefunden werden (Transformationsstrecken). Der Algorithmus um diese Transformationsstrecken zu finden ist ebenfalls identisch.

Es gilt jedoch eine zusätzliche Bedingung:

- Die Transformationsstrecke endet spätestens wenn in einem der beiden Referenzsysteme ein Knoten vorhanden ist.

Die Transformation von Informationen ist gegenüber den kurvilinearen Referenzsystemen vereinfacht. GDF-Daten kennen keine Distanz in Längsrichtung. Diese ist hier nur durch die Achslinie implizit vorhanden. Das heisst, dass auf einem Abschnitt immer alle Daten homogen sind. Dies bedeutet auch, dass zum Beispiel Punktinformationen gar nicht punktgenau lokalisiert werden können sondern nur gesagt werden kann, auf welchem Abschnitt sich zum Beispiel der Unfall ereignet hat.

Die Transformationsregel lautet daher:

- Finde über die Transformationsstrecke zum Abschnitt von Teleatlas den von NavTech korrespondierenden Abschnitt.

Im Weiteren müssen allenfalls vorhandene Richtungsinformationen gedreht werden, falls die beiden Referenzsysteme nicht die gleiche Orientierung aufweisen.

4.5.15 Transformation GDF (NavTech) → GDF (Teleatlas) (topologisch → topologisch)

Analog zu 4.5.14

4.5.16 Transformation GDF (Teleatlas) → RBBS (topologisch → kurvilinear)

Grundsatz: GDF → CH1903 → RBBS, indem man die Transformationen 4.5.3 und 4.5.8 kombiniert.

4.6 Testszzenarien

4.6.1 Einleitung

Mit den Szenarien wird anhand von möglichst realen Beispielen der Weg der Daten von der Entstehung bis zur Nutzung über verschiedene Datenschnittstellen durch verschiedene Akteure beschrieben. Dabei sind für den Forschungsauftrag insbesondere das Bezugssystem und die Art der Referenzwerte relevant. Es sind die Elemente zu identifizieren, welche für eine standardisierte Beschreibung dieser Raumbezugsysteme, der Referenzwerte und der Transformation zwischen Raumbezugsystemen von Bedeutung sind.

Die nachfolgenden Szenarien werden ausgehend von einer Prosabeschreibung einer Situation aufgebaut. In einem ersten Schritt werden die Akteure identifiziert, die miteinander Daten austauschen. Dazu wird der Prosatext in einzelne Ereignisse/Aktivitäten zerlegt, die einen Transfer von Daten zwischen zwei Akteuren bewirken. Zum Beispiel kann bei einem Unfall die Aktivität "Unfallmeldung an Alarmzentrale" identifiziert werden. Der Akteur "Sender der Meldung" ist zum Beispiel ein Verkehrsteilnehmer, der Akteur "Empfänger der Meldung" ist in diesem Fall die Alarmzentrale 117.

In einem zweiten Schritt werden die einzelnen Datenaustauschschnittstellen detailliert betrachtet. Dabei werden die Daten auf der Senderseite hinsichtlich des Fachinhalts, des Bezugssystems und des Formats beschrieben, ebenso der gleiche Inhalt, wie er auf der Empfängerseite weiter verwendet wird.

Bei obigem Beispiel "Unfallmeldung an Alarmzentrale" kann dies wie folgt aussehen (Annahme: Unfallmeldung erfolgt über Notrufsäule):

Abb. 4.18 Unfallmeldung bei Notrufsäule (Sender) und Alarmzentrale (Empfänger)

	Sender (Verkehrsteilnehmer, Telefon)	Empfänger (Alarmzentrale, Notfallsystem)
Fachinhalt	Verkehrsunfall, Verletzte, Anforderung Hilfe	Verkehrsunfall, Verletzte, Anforderung Hilfe, Eintrag im Notfallsystem der AZ
Raumbezug	Standort Notrufsäule (in NSkm, siehe 4.4.2.2)	XY-Koordinate (siehe 4.4.1.1, zu berechnen, falls nicht im GIS der AZ als Attribut der Telefonnummer / Notrufsäule hinterlegt)
Transformation	kurvilinear = Typ des Sender-Referenzsystems → (5.5.1 nicht einseitig umkehrbar = Transformationsreferenz) → geodätisch (kartesisch) = Typ des Empfänger-Referenzsystems	
Format	Unstrukturierte Sprachmeldung	Strukturierte Erfassung in Notfallsystem der AZ

Für den Forschungsauftrag relevant sind diejenigen Datenschnittstellen, wo der Inhalt maschinenlesbar in standardisierter Form als INTERLIS-Transfer übertragen werden kann. Daher werden nur diejenigen Schnittstellen näher betrachtet, wo der Datenaustausch zwischen zwei Softwareeinheiten stattfindet, also zum Beispiel zwischen der Verkehrsinformationszentrale und den Navigationssystemen, welche die RDS-TMC-Meldungen empfangen und interpretieren können.

Die Beschreibung des Fachinhalts ist in der Regel mit INTERLIS problemlos möglich. Dies kann deshalb im Forschungsauftrag rein exemplarisch erfolgen. Hingegen ist das Thema der Bezugssysteme vertieft zu prüfen: kann die Sicht des Senders und des Empfängers mit INTERLIS beschrieben werden, respektive benötigt man hier zusätzliche neue Sprachelemente? Weiter sind allenfalls zwischen dem Sender und dem Empfänger zusätzlich noch Transformationen von Referenzwerten nötig, da sich die Daten beim Sender und dem Empfänger nicht auf das gleiche Bezugssystem beziehen. Auch hierzu sind die entsprechenden Sprachelemente zu identifizieren sowie die entsprechenden Bezugssysteme zu beschreiben. Bezüglich Format ist es eine rein technische Frage, ob die beteiligten Systeme in der Lage sind, ihre Daten auch als INTERLIS aufzubereiten,

respektive INTERLIS zu lesen. Die Beschreibung der Szenarien umfasst also den Fachinhalt, das Bezugssystem und das Format aus Sicht des Senders und aus Sicht des Empfängers (siehe nachfolgende Abbildung).

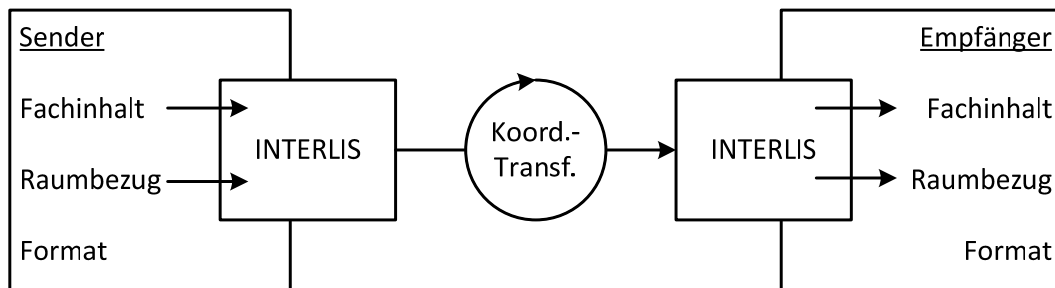


Abb. 4.19 Datentransfer mit Strukturumbau (=Koordinatentransformation)
Vereinfachung von Abb. 3.2 in Abschnitt 3.2

Generell kann zu den geometrischen Elementen, die in den Szenarien vorkommen, d.h. zu den zu transformierenden Orten, festgehalten werden: Wir beschränken uns auf die Transformation von Punkten. Denn Linien können als Folgen von Punkten (Stützpunkten, Eckpunkten) betrachtet werden und Flächen sind durch Linien berandet. Bei den Linien können wir uns punkto Verbindung benachbarter Stützpunkte vorerst ohne weiteres auf Strecken (Geradenstücke) beschränken.

4.6.2 Beschreibung der Szenarien

Wir müssen uns vorläufig auf das Szenario 1 Verkehrsunfall mit Staumeldung beschränken. Hauptgrund ist der Mangel an Daten zu den anderen Szenarien.

Dieses Szenario erlaubt uns, praktisch die umkehrbare Eindeutigkeit der Transformationen RBBS → CH1903 und CH1903 → RBBS nachzuweisen und mit den Eigenschaften der entsprechenden MISTRA-Services zu vergleichen.

4.6.2.1 Szenario 1: Verkehrsunfall mit Staubildung

Bei der Informationskette Strassenbenutzer → Alarmzentrale → Polizei → kantonale Verkehrsleitstelle → VMZ-CH → Viasuisse → Radio geht es insbesondere um die Transformationen Telefonanruf → NSkm → CH1903 → TMC-Location → Radiomeldung. Bei der Erfassung der Unfalldaten für die Unfallstatistik hat man die Schnittstelle Polizei (Unfallprotokoll) → MISTRA VUM mit der Transformation RBBS → CH1903 für einzelne Kantone. Details siehe Anhänge IV.1 und V.9

4.6.2.2 Szenario 2: Einrichten einer Dauerbaustelle

Hier lautet die Informationskette Filiale Gebietseinheit → VMZ-CH → Viasuisse → Radio / Verkehrsteilnehmer Navigationsgerät mit den Transformationen NSkm → CH1903 → TMC Location / GDF. Details siehe Anhang IV.2. Die weitere Informationskette VMZ-CH → KLZ → WTA mit den Transformationen CH1903 → (WTA Selektion) → NSkm entfällt, da für die Nationalstrassen die WTA-Steuerung direkt ab VMZ-CH durch Knopfdruck erfolgt.

4.6.2.3 Szenario 3: Verkehrsdatenerfassung und Verkehrslagedarstellung

Diese Informationskette lautet Zählstelle → VMZ-CH → Google-Maps mit den Transformationen NSkm → CH1903 → WGS84. Zur Verkehrsdatenerfassung zählt auch die Schnittstelle für eine Staumeldung durch Verkehrsteilnehmer von Viasuisse → VMZ-CH mit der Transformation TMC Location → CH1903. Ferner die Schnittstelle für die Nachführung der Netzdaten von TomTom (Teleatlas) → MISTRA BS mit der Transformation GDF → CH1903. Details siehe Anhang IV.3

4.7 Beispielgebiet und sonst verfügbare Daten

4.7.1 Kriterien für die Auswahl des Beispielgebietes

Für die Auswahl des Beispielgebietes werden folgende Kriterien herangezogen:

- Text Verfügbarkeit Daten Bezugssystem: Es sollen alle typischen und oft genutzten Bezugssysteme verfügbar sein.
- Verfügbarkeit Fachdaten: Es sollen Fachdaten verwendet werden, die in unterschiedlichen Bezugssystemen lokalisiert sind.
- Vielfältigkeit der Daten am gleichen Ort: Die unterschiedlichen Fachdaten müssen für den gleichen Raumausschnitt zur Verfügung stehen.
- Ausschnitt: Betrachtet werden soll ein Ausschnitt der Hochleistungsstrassen, wenn möglich mit einem Anschlussbereich oder einer Verzweigung.

4.7.2 Bezugssysteme

Neben anderen interessierenden Eigenschaften muss die Lage der Realweltobjekte (bzw. ihrer Abstraktionen) digital beschrieben werden können. Dazu dienen die sog. Bezugssysteme, wovon es verschiedene Typen gibt. Ein Bezugssystem besteht aus einem Referenzbereich, einem Referenzsystem (Koordinatensystem) und einem Referenzrahmen. Die Beschreibung der Lage erfolgt durch die Referenzwerte (die Koordinaten) bezogen aufs Referenzsystem (Koordinatensystem) des Bezugssystems. Grundlagen zu den Bezugssystemen siehe Kapitel 2, interessierende Bezugssysteme siehe oben, Kapitel 4.4.

In der Übersichtstabelle „Typen, Nutzung und Verfügbarkeit der Bezugssysteme“ im Anhang V.1 sind die für den Forschungsauftrag betrachteten Bezugssysteme und die verfügbaren Daten kurz beschrieben.

4.7.3 Fachdaten

Für die Fachdaten werden die Verfügbarkeit Unfalldaten, Baustellen und Verkehrstelematikausrüstung geprüft. Diese sind von der Lokalisierung unterschiedlich und decken somit den Grossteil der zu erwartenden Transformationsfälle ab. Zu jedem der drei Themen Unfälle, Baustellen (dauerhafte und temporäre) und Verkehrstelematik enthält der Anhang V.2 eine tabellarische Zusammenfassung mit Beschreibung von Inhalt und verwendeten Referenzsystemen, mit einer Beurteilung der Verfügbarkeit entsprechender Daten sowie der möglichen Bezugsquellen.

4.7.4 Empfehlung Beispielgebiet

Aufgrund der verfügbaren Daten wird das Beispielgebiet im Raum Lausanne gewählt und zwar so, dass die auf der N1 und N9 bei Lausanne startende respektive endende Verkehrstelematikausrüstung vollständig berücksichtigt wird (s. in Anhang V.3). In diesem Gebiet stehen sämtliche betrachteten Bezugssysteme zur Verfügung, ebenso sind von allen betrachteten Fachinformationen echte Daten verfügbar.

5 Element B: Konzeptionelle Datenmodellierung

Die konzeptionelle Datenbeschreibungssprache muss Sprachelemente zur Verfügung stellen, damit man einerseits Bezugssysteme präzise beschreiben kann – das ist das Thema von 5.5 – und andererseits diese Bezugssystem-Modelle auch einsetzen kann, was in 5.6. und 5.7. besprochen wird. Dabei ist der Referenzbereich eines Bezugssystems meistens implizit durch das Referenzsystem dieses Bezugssystems gegeben und der Referenzrahmen muss durch Messungen und bauliche Massnahmen in der Realwelt realisiert werden. Daher kann man sich bei der konzeptionellen Modellierung auf die Referenzsysteme beschränken.

Mit den in 5.5 bis 5.7 bereitgestellten Sprachelementen werden in 5.8 die Datenmodelle der Klassen erarbeitet, welche als Instanzen die Referenzsysteme CH1903 bzw. RBBS haben. Dann wird im Anwendungsbeispiel Verkehrsunfälle von 5.9 gezeigt, wie diese Referenzsystem-Instanzen zum Einsatz kommen.

Im Einleitungsabschnitt 5.1 werden die von INTERLIS und von ISO 19111 angebotenen allgemeinen Möglichkeiten zur Modellierung von Referenzsystemen und Transformationen verglichen. Die bisherige Anwendung der INTERLIS-Möglichkeiten für geodätische Referenzsysteme ist in 5.2 skizziert, ebenso in 5.3 das in diesem Projekt neu entwickelte Konzept für kurvilineare und topologische Referenzsysteme. Dabei wird schon klar, dass noch ein wesentliches konzeptionelles Sprachelement fehlt, nämlich der Datentyp GRAPH für die Beschreibung von Graphen, die von den topologischen Referenzsystemen benötigt werden. In 5.4 wird der in diesem Projekt entwickelte Vorschlag für den Datentyp GRAPH vorgestellt.

Das ganze Kapitel enthält nur projektrelevanten Text.

5.1 Möglichkeiten zur Modellierung von Referenzsystemen und Transformationen

Dem objektorientierten Formalismus entspricht zunächst die Möglichkeit, dass man ein Referenzsystem als Klasse betrachtet und die Transformation von Referenzwerten bezüglich dieses Referenzsystems in Referenzwerte bezüglich eines anderen Systems als Methoden dieser Klasse. Dabei müssten aber in der Methodensammlung einer Referenzsystem-Klasse die Transformationen nach allen anderen Referenzsystemen verwaltet werden. In einer solchen Struktur wäre nicht ersichtlich, dass zu einer Transformation immer 2 Referenzsysteme gehören, ein Start- und ein Zielsystem. Auch wäre es schwierig, mit dieser Struktur im Netz der durch Transformationen verbundenen Referenzsysteme den minimalen Weg zu finden zwischen zwei gegebenen Referenzsystemen, d.h. den Weg mit der minimalen Anzahl Transformationen um vom einen System ins andere Referenzwerte umzubauen.

Eine andere Möglichkeit ist, die Referenzsysteme nach wie vor als Klassen zu modellieren, aber die Transformationen zwischen ihnen als Beziehungen. Dann zeigt schon die graphische Übersicht klar, zwischen welchen Systemen Transformationen möglich sind. Von den Transformationen aus gesehen ist auch klar, welche Referenzsysteme durch sie je verknüpft sind. Das Datenmodell der Koordinaten(-Referenz)systeme im Anhang I des INTERLIS Referenzhandbuchs [18] verwendet diese zweite Möglichkeit (Abb. 5.20)

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass wiederum die Referenzsysteme Klassen sind und dass auch die Transformationen Klassen sind, die je zu zwei (ev. verschiedenen) Referenzsystemklassen Beziehungen haben. Dieses Prinzip wird in der ISO-Norm ISO19111 [12] verwendet. Im Unterschied zum INTERLIS Modell sind die verschiedenen Koordinatensystem-Typen bei ISO nicht auseinander gehalten. Es ist daher auch hier schwieriger, im Graph der Referenzsysteme und Transformationen einen minimalen Weg zu finden, wie oben beschrieben (Abb. 5.21).

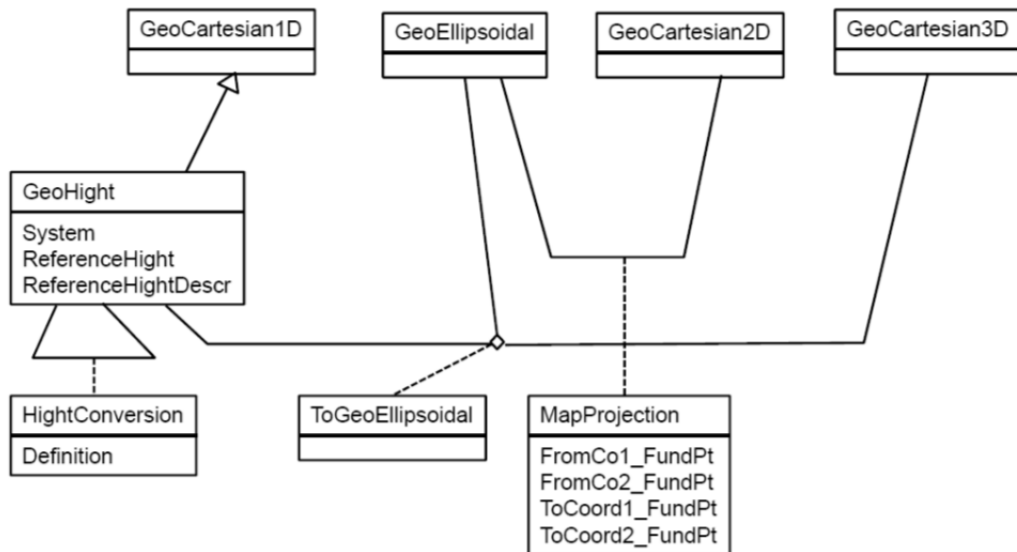


Abb. 5.20 Referenzsysteme und Transformationen (Ausschnitt) in INTERLIS Ref HB [18] Anhang I.

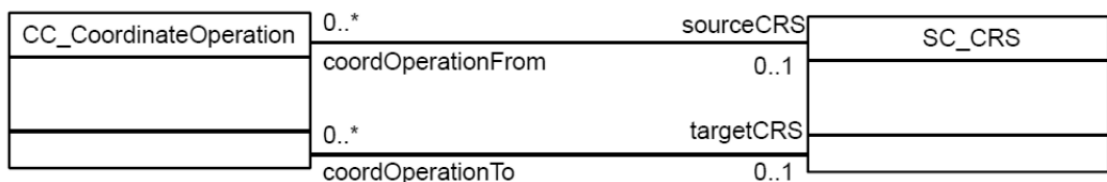


Abb. 5.21 Referenzsysteme Transformations-Klasse (Operation) und Referenzsystem-Klasse (CRS) in ISO19111 [12]

5.2 Bisher: Modellierung geodätischer Referenzsysteme

Hier geht es um die konzeptionelle, system- und formatunabhängige Beschreibung der geodätischen Referenzsysteme, die wir im Realitätsausschnitt in Umgangssprache beschrieben haben. Es handelt sich dabei um CH1903, CH1903+ und WGS84 (siehe 4.4.1). Wir nennen die geodätischen Referenzsysteme auch Koordinatensysteme, denn bei den entsprechenden Referenzwerten handelt es sich um Koordinaten. Wir verwenden als konzeptionelle Beschreibungssprachen UML und INTERLIS2 und betrachten im Folgenden die damit zur Verfügung stehenden Möglichkeiten. Aus Sicht der Daten sind Koordinatensysteme durch ihre Achsen definiert. Entsprechende konzeptionelle Sprachelemente werden in INTERLIS2 zur Verfügung gestellt. Details dazu finden sich in den Abschnitten 5.5 und 5.5.1.

5.3 Neu: Modellierung kurvilinearere und topologischer Referenzsysteme

Auch für diese Typen sollen die Referenzsysteme als Klassen und die Transformationen zwischen ihnen und den geodätischen Referenzsystemen als Beziehungen modelliert werden. Wie wir schon im Grundlagenabschnitt 2.4 gesehen haben, kommt bei den kurvilinearen Referenzsystemen ein neuer Achsentyp dazu, den man bei geodätischen Referenzsystemen nicht braucht, bedingt durch den andersartigen Referenzbereich. Bei geodätischen Referenzsystemen haben wir als Referenzbereich den ganzen Raum, eine Ebene oder eine Gerade, allenfalls die Oberfläche einer Kugel oder eines Rotationsellipsoides. Dafür genügen Geraden, allenfalls Kreis- oder Ellipsenbogen als Achsen. Diese genügen nicht, um den Referenzbereich auszumessen, der z.B. eine zusammenhängende glatte im Raum eingebettete Fläche ist, die einer Strasse der Realwelt entspricht, die eventuell gewellt ist und Kurven haben kann. Die Achsen eines solchen Referenzsystems sind also Kurven.

renzsystems passen sich dem Referenzbereich an, insbesondere ist im erwähnten Beispiel die erste Achse ein Linienzug, der in der Strassenfläche verläuft (siehe 2.4 und 4.2). Dafür gab es bis jetzt noch keinen passenden Achstyp. In 5.5.3 werden als neue Typen vorgeschlagen und erläutert `pathAxis` und `lengthSetAxis`.

Ebenfalls speziell sind die topologischen Bezugssysteme. Dort handelt es sich gemäss 2.4 und 4.4.3 beim Referenzbereich um einen Graph, dessen Knoten und Kanten eventuell gar keine Geometrie haben. Beim entsprechenden Referenzsystem hat man es damit nicht mehr mit Achsen zu tun. Hingegen muss es eigentlich aus dem ganzen Graph bestehen. Wir haben also die merkwürdige Situation, dass das Referenzsystem mit dem Referenzbereich übereinstimmt. Wir brauchen daher im Fall topologischer Bezugssysteme nicht konzeptionelle Sprachelemente für neue Typen von Achsen, aber solche zur Beschreibung von Graphen. Diese werden in 5.4 vorgeschlagen und ihre Verwendung für topologische Referenzsysteme in 5.5.4.

5.4 Neue konzeptionelle Sprachelemente für Graphen (Topologie allgemeiner Liniennetze)

Die Definition von Graph mit Hinweisen auf die Anwendung der verschiedenen Typen von Graphen für Strassendaten ist in Kapitel 4.2 zu finden.

Bisher gab es in INTERLIS nur die Möglichkeit, die Topologie der Gebietseinteilung für die Maschine erkennbar präzise zu beschreiben mit Hilfe des Datentyps `AREA`. Es soll neu auch möglich sein, die Topologie von Liniennetzen zu beschreiben, damit z.B. die sog. Fachnetze der Strassenverwaltung konzeptionell modelliert werden können. Auch, damit auf Strassennetzen Ereignisse „grob“ lokalisiert werden können, wozu man sogenannte „topologische“ Bezugssysteme benötigt. Diese wiederum brauchen als Koordinatensystem ein (Linien-) Netz als Referenz, wie wir in 5.5.4 sehen werden

Zur konzeptionellen Beschreibung von linienförmigen topologischen Strukturen wie Graphen (allgemein) und Netze (spezielle Graphen) führen wir ein neues INTERLIS Sprachelement `GRAPH` ein. Die Syntax des Graph ist die folgende:

```
GraphDef = 'GRAPH' Name Properties<NOCYCLES,CONNECTED,TREE,PLANAR> '='
  'NODES' ([CoordType-DomainRef] ['ATTRIBUTES' StructureRef])
  | (['DERIVED' 'FROM' ViewableRef [GeomAttr-Name]
    ['ATTRIBUTES' StructAttr-Name] )';'
  'EDGES' ([LineType-DomainRef] ['ATTRIBUTES' StructureRef])
  | ( ['DERIVED' 'FROM' ViewableRef [GeomAttr-Name]
    ['ATTRIBUTES' StructAttr-Name]
    [';' 'LINKED' 'BY' AssociationRef ] ] ) ';'
  'END' Name ';'
```

Die Werte der Eigenschaften (Properties) bedeuten, dass für den Graph gilt:

- `NOCYCLES`: Keine Zyklen,
- `CONNECTED`: Zusammenhängend,
- `PLANAR`: Kreuzungsfrei in einer Ebene darstellbar,
- `TREE`: Keine Zyklen und zusammenhängend und planar.

Kommt keine der Eigenschaften vor, dann handelt es sich um einen allgemeinen Graph, der Zyklen enthalten kann und weder zusammenhängend noch planar zu sein braucht. Die Eigenschaften `NOCYCLES` und `CONNECTED` gelten unabhängig voneinander, `TREE` (Baum) ist eine Abkürzung für `NOCYCLES` und `CONNECTED` zusammen, `PLANAR` gilt unabhängig von `NOCYCLES` bzw. `CONNECTED`. Hingegen gilt: Hat ein Graph die Eigenschaft `TREE`, dann ist er auch `PLANAR`. Es ist möglich, Netztopologien mit (`DERIVED FROM`), oder ohne Bezug auf zugrundeliegende Fachdaten zu definieren. Netztopologien können optional eine Geometrie haben (`CoordType-DomainRef`, `LineType-DomainRef`, `GeomAttr-Name`). Netztopologien können optional Fachattribute haben (`StructureRef`, `StructAttr-Name`). Ein minimales Beispiel, um eine Netztopologie

ohne Bezug zu Fachdaten zu definieren:

```
GRAPH Netz =  
  NODES;  
  EDGES;  
END Netz;
```

Hier ein Beispiel für eine Netztopologie mit Geometrie ohne Bezug zu Fachdaten:

```
GRAPH Netz =  
  NODES CHKoord;  
  EDGES CHDirLine;  
END Netz;
```

Und ein Beispiel für eine Netztopologie mit Geometrie und Fachattributen, aber ohne Bezug zu zugrundeliegende Fachdaten:

```
STRUCTURE DetailsZuQuelle =  
  Name : TEXT;  
END DetailsZuQuelle;  
GRAPH Netz =  
  NODES CHKoord ATTRIBUTES DetailsZuQuelle;  
  EDGES CHDirLine;  
END Netz;
```

Dieselben Fachdaten bilden evtl. verschiedene Netztopologien. Oder für die Fachgemeinschaft steht nicht die Netztopologie im Vordergrund (soll aber trotzdem beschrieben werden). Die folgenden Beispiele zeigen zwei Varianten, um eine Netztopologie (ohne Geometrie) auf der Basis von Fachdaten zu definieren (am Beispiel von Strassen und Kreuzungen):

Beschreibung der Variante, aktuelles Modell Zusatz für Topologie des Liniennetzes mit Hilfe von GRAPH
<p>1. Kanten und Knoten sind über eine Assoziation verknüpft (explizite Netztopologie)</p> <pre>TOPIC Variante1 = CLASS Kreuzung = END Kreuzung; CLASS Strasse = END Strasse; ASSOCIATION sk = s -- {1..*} Strasse; k -- {2} Kreuzung; END sk; GRAPH Netz = NODES DERIVED FROM Kreuzung; EDGES DERIVED FROM Strasse; LINKED BY sk; END Netz; END Variante1;</pre>
<p>2. Knoten sind eine Klasse, Kanten sind die Assoziation.</p> <pre>TOPIC Variante2 = CLASS Kreuzung = END Kreuzung; ASSOCIATION Strasse= a -- {1} Kreuzung; e -- {1} Kreuzung; END Strasse; GRAPH Netz = NODES DERIVED FROM Kreuzung; EDGES DERIVED FROM Strasse; END Netz; END Variante2;</pre>

Es gibt unzählige weitere Arten, um Fachdaten zu modellieren, die implizit auch eine Netztopologie enthalten. In diesen Fällen muss mit Hilfe von Sichten (**VIEW**) eine entsprechende Datenumstrukturierung (semantische Transformation) spezifiziert werden, als Basis für die Netztopologiedefinition.

3. Kanten und Knoten sind über einen gemeinsamen Attributwert (z.B. KreuzungNummer) verknüpft (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante3 =
  CLASS Kreuzung =
    KreuzungNummer : TEXT;
  END Kreuzung;
  CLASS Strasse =
    KreuzungNummerAnfang : TEXT;
    KreuzungNummerEnde : TEXT;
  END Strasse;

  !! Umstrukturierung auf Variante 1
  VIEW StrasseU UNION OF a-Strasse,b-Strasse;
  =
    KreuzungNummer:TEXT :=
      a->KreuzungNummerAnfang,
      b->KreuzungNummerEnde;
  END StrasseU;

  VIEW skJoin JOIN OF StrasseU,Kreuzung;
  WHERE StrasseU->KreuzungNummer
    ==Kreuzung->KreuzungNummer;
  =
  END skJoin;

  ASSOCIATION sk DERIVED FROM skJoin =
    Arole -- Strasse := skJoin -> StrasseU;
    Brole -- Kreuzung := skJoin -> Kreuzung;
  END sk;

  GRAPH Netz =
    NODES DERIVED FROM Kreuzung;
    EDGES DERIVED FROM Strasse;
    LINKED BY sk;
  END Netz;
END Variante3;
```

Weitere Varianten für die Modellierung von Fachdaten mit darin enthaltenen Netztopologien:

4. Kanten und Knoten sind über eine gemeinsame Geometrie (Knotenpunkt und Kantenendpunkt) verknüpft (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante4 =
  CLASS Kreuzung =
    Lage : COORD ...;
  END Kreuzung;
  CLASS Strasse =
    Lage : POLYLINE ...;
  END Strasse;

  END Variante4;
```

5. Kanten und Knoten sind über eine gemeinsame Geometrie (Knotenpunkt) verknüpft (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante5 =  
CLASS Kreuzung =  
  Lage : COORD ...;  
END Kreuzung;  
CLASS Strasse =  
  KreuzungLageAnfang : COORD ...;  
  KreuzungLageEnde : COORD...;  
END Strasse;  
END Variante5;
```

6. nur Kanten mit einer Geometrie und keine Knoten. Knoten (inkl. Geometrie) ergeben sich aus den gemeinsamen Kantenendpunkten (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante6 =  
CLASS Strasse =  
  Lage : POLYLINE ...;  
END Strasse;  
END Variante6;
```

7. nur Kanten mit einer Geometrie und keine Knoten. Knoten (inkl. Geometrie) ergeben sich aus den gemeinsamen Kantenendpunkten (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante7 =  
CLASS Strasse =  
  KreuzungLageAnfang : COORD ...;  
  KreuzungLageEnde : COORD...;  
END Strasse;  
END Variante7;
```

8. nur Kanten mit zwei Endpunktbezeichnungen und keine Knoten. Knoten ergeben sich aus gemeinsamen Kantenendpunktbezeichnungen (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante8 =  
CLASS Strasse =  
  KreuzungNummerAnfang : TEXT;  
  KreuzungNummerEnde : TEXT;  
END Strasse;  
END Variante8;
```

9. nur Knoten mit Bezeichnung und zwei oder mehr Zielknotenbezeichnungen und keine Kanten. Kanten ergeben sich aus Knotenbezeichnungspaaren (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante9 =  
CLASS Kreuzung =  
  KreuzungNummer : TEXT;  
  StrassenZiel : LIST OF KreuzungNummer;  
END Kreuzung;  
END Variante9;
```

10. nur Knoten mit Geometrie und zwei oder mehr Zielknotengeometrien und keine Kanten. Kanten ergeben sich aus Knotengeometriepaaren (implizite Netztopologie)

```
TOPIC Variante10 =  
CLASS Kreuzung =  
  Lage : COORD ...;  
  StrassenZiel : LIST OF COORD ...;  
END Kreuzung;  
END Variante10;
```

11. mehrere Arten von Knoten

```
TOPIC Variantell =
CLASS Source =
  Position: CHCoord;
END Source;
CLASS River =
  Geometry: CHDirLine;
END River;
CLASS Lake =
  Geometry: CHSurface2;
END Lake;
ASSOCIATION Water_net =
  from -- Source OR River OR Lake;
  to -- River OR Lake;
END Water_net;

!! Umstrukturierung auf Variante 1
VIEW KnotenU UNION OF a~Source,b~River,c~Lake; =
END KnotenU;

GRAPH Netz =
  NODES DERIVED FROM KnotenU;
  EDGES DERIVED FROM Water_net;
END Netz;

END Variantell;
```

5.5 Konzeptionelle Sprachelemente für die Modellierung von Bezugssystemen

Die geodätischen (d.h. kartesischen und ellipsoidischen) Referenzsysteme (auch Koordinatensysteme genannt) der verschiedenen Dimensionen sowie die Transformationen zwischen ihnen sind im Datenmodell `CoordSys` modelliert (Anhang I des INTERLIS Referenzhandbuchs [18]). Dabei spezialisiert man die Basiselemente `COORDSYSTEM` und `AXIS` aus dem Basisdatenmodell `INTERLIS` (Anhang A des INTERLIS Referenzhandbuchs [18]), welche wir kurz in 5.5.1 besprechen. Die Spezialisierung dieser Basiselemente für geodätische (d.h. kartesische und ellipsoidische) Koordinatensysteme in Abschnitt 5.5.2 zusammengefasst. Die Instanzen einiger gängiger Koordinatensysteme dieser Typen sind auch in der INTERLIS 2 XML Datei `MiniCoordSysData.xml` zu finden (auch im Anhang I des INTERLIS Referenzhandbuchs [18]). Datenmodelle und Instanzen für kurvilineare und topologische Referenzsysteme sowie für die Transformationen zwischen diesen und den bereits modellierten Koordinatensystemen fehlen und entsprechende Vorschläge werden in den Abschnitten 5.5.3 und 5.5.4 vorgestellt.

Es genügt nicht, Referenzsysteme zu modellieren, sie müssen in Anwendungsmodellen auch eingesetzt werden können. Bisher ist es möglich, im `DOMAIN` Bereich eines INTERLIS Anwendungsmodells einen Koordinaten-Wertebereich (allgemein: einen Wertebereich für Referenzwerte) zu definieren mit oder ohne Angabe, um welches Koordinatensystem (allgemein: Referenzsystem) es sich handelt. In beiden Fällen gilt: Wird dieser Koordinaten-Wertebereich in einem geometrischen Attribut einer Klasse eingesetzt, dann verwenden alle Instanzen dieser Klasse dasselbe Koordinatensystem. Neu soll es nun auch möglich sein, im `DOMAIN` Bereich anzugeben, dass beim Einsatz des Koordinaten-Wertebereichs in einer Klasse nicht jede Instanz dieser Klasse dasselbe Koordinatensystem brauchen muss. Details sind im Abschnitt 5.7 zu finden.

Schliesslich sind, entsprechend den Änderungen der konzeptionellen Beschreibungssprache auch die Regeln für die automatische Herleitung der Transferformatbeschreibung anzupassen. Siehe dazu Abschnitt 6.2

5.5.1 Basiselemente für die Beschreibung von Referenzsystemen

Wie in Abschnitt 2.4 erläutert, ist ein Referenzsystem im Raum von den Daten aus gesehen definiert durch seine Achsen. INTERLIS stellt daher die Struktur **AXIS** und die (abstrakten) Basis-Sprachelemente **METAOBJECT**, **REFSYSTEM** und **COORDSYSTEM** zur Verfügung im internen Modell **INTERLIS**:

```
STRUCTURE AXIS =
  PARAMETER
    Unit: NUMERIC [ANYUNIT];
END AXIS;

CLASS METAOBJECT (ABSTRACT) =
  Name: MANDATORY NAME;
  UNIQUE Name;
END METAOBJECT;

CLASS REFSYSTEM (ABSTRACT) EXTENDS METAOBJECT =
END REFSYSTEM;

CLASS COORDSYSTEM (ABSTRACT) EXTENDS REFSYSTEM =
  Axis: LIST {1..3} OF AXIS;
END COORDSYSTEM;
```

AXIS und **COORDSYSTEM** können verwendet werden, um konkrete Referenzsysteme zu definieren, wie wir in den folgenden Abschnitten sehen werden.

5.5.2 Modellierung geodätischer Koordinatensysteme

Die Achsen geodätischer Koordinatensysteme können Geraden sein oder Kreis- bzw. Ellipsen-Bogen entsprechend der Art des Referenzbereiches, den sie auszumessen erlauben. Für Geraden als Achsen steht die Struktur **LengthAXIS** zur Verfügung, für Kreis- bzw. Ellipsen-Bogen als Achsen die Struktur **AngleAXIS**. Aus dem Datenmodell **Coordsys** im Anhang I des Referenzhandbuchs zeigen wir hier nur die INTERLIS Beschreibung der **LengthAXIS** (eine Spezialisierung der allgemeinen Struktur **AXIS**) sowie deren Einsatz in der Beschreibung der Klasse **GeoCartesian3D**, der 3-dimensionalen kartesischen Koordinatensysteme (Spezialisierung der Klasse **COORDSYS**).

```
STRUCTURE LengthAXIS EXTENDS INTERLIS.AXIS=
  ShortName: TEXT*12;
  Description: TEXT*255;
  PARAMETER
    Unit (EXTENDED): NUMERIC [INTERLIS.LENGTH];
END LengthAXIS;

CLASS GeoCartesian3D EXTENDS INTERLIS.COORDSYSTEM=
  Definition: TEXT*70;
  Axis (EXTENDED): LIST {3} OF LengthAXIS;
END GeoCartesian3D;
```

5.5.3 Modellierung kurvilinear Referenzsysteme

Hier haben wir es mit Referenzsystemen zu tun, die als erste Achse nicht eine Gerade oder einen Ellipsenbogen haben sondern einen Weg in einem Graph bzw. einen Linienzug im Raum. Für das konzeptionelle Datenmodell solcher kurvilinear Referenzsysteme brauchen wir die beiden neuen Achsentypern **PathAXIS** für Achsen, die einem Weg in einem Graph entsprechen, d.h. einer Kantenfolge, falls keine Geometrie definiert ist (wie bei den topologischen Referenzsystemen), bzw. einen Linienzug im Raum, falls eine Geometrie existiert (wie bei den kurvilinearen Referenzsystemen).. Andererseits brauchen wir für den Fall der kurvilinearen Referenzsysteme eine Verallgemeinerung der

bereits angetroffenen geraden Achse `LengthAXIS`, nämlich `LengthSetAXIS` für die ganze Menge von Geraden, die in jedem Punkt der Polylinie der `PathAXIS` auf dieser Polylinie senkrecht stehen und im Referenzbereich liegen.

Die konzeptionellen Datenmodelle dieser beiden Achstypen sowie diejenigen der kurvilinearen Koordinatensysteme (`GeoCurvilinear1D`, `GeoCurvilinear2D`, `GeoCurvilinear3D`) lauten:

```
STRUCTURE PathAXIS EXTENDS INTERLIS.AXIS=
  ShortName: TEXT*12;
  Description: TEXT*255;
  PARAMETER
    Unit (EXTENDED): NUMERIC [INTERLIS.LENGTH];
END PathAXIS;

STRUCTURE LengthSetAXIS EXTENDS INTERLIS.AXIS =
  ShortName: TEXT*12;
  Description: TEXT*255;
  Direction: MANDATORY (left, right, up, down);
  PARAMETER
    Unit (EXTENDED): NUMERIC [INTERLIS.LENGTH];
END LengthSetAXIS;

CLASS GeoCurvilinear1D EXTENDS INTERLIS.COORDSYSTEM=
  !! Axis[1] instanceof PathAXIS with Polyline Geometry
  CurveClassRef: TEXT;
  PolylineAttributePath: TEXT;
END GeoCurvilinear1D;

CLASS GeoCurvilinear2D EXTENDS INTERLIS.COORDSYSTEM=
  !! Axis[1] instanceof PathAXIS with Polyline Geometry
  !! Axis[2] instanceof LengthSetAXIS
  CurveClassRef: TEXT;
  PolylineAttributePath: TEXT;
END GeoCurvilinear2D;

CLASS GeoCurvilinear3D EXTENDS INTERLIS.COORDSYSTEM=
  !! Axis[1] instanceof PathAXIS with Polyline Geometry
  !! Axis[2] instanceof LengthSetAXIS
  !! Axis[3] instanceof LengthSetAXIS
  CurveClassRef: TEXT;
  PolylineAttributePath: TEXT;
END GeoCurvilinear3D;
```

Diese Klassen sind im internen Modell `INTERLIS` definiert, weil sie eine spezielle Kodierung der `COORD` Werte zur Folge haben.

Einige Details zu den kurvilinearen Koordinatensystemen:

- `CurveClassRef` ist der qualifizierte Name der Klasse, welche die Polylinie der `PathAXIS` enthält (z.B. `Nationalstrassen.Strassenachse.Strasse` im folgenden Modell).
- `PolylineAttributePath` ist der Pfad auf das Attribut, das die Geometrie der kurvilinearen `PathAXIS` darstellt, z.B. `Achsgeometrie` im folgenden Beispiel ohne Strukturattribute:

```
MODEL Nationalstrassen ... =
  TOPIC Strasseachse =
    CLASS Strasse =
      Achsgeometrie : DIRECTED POLYLINE ...;
    END Strasse;
  END Strasseachse;
END Nationalstrassen.
```

Ist das Geometrieattribut in einem Strukturelement, muss ein ausführlicherer Attributpfad verwendet werden. Um alle Strukturelemente (im Beispiel von der Struktur **strassenabschnitt**) zu berücksichtigen, kann das Schlüsselwort **ANY** als Indexwert für den Namen des Attributs im **PolylineAttributePath** verwendet werden, das diese Struktur als Attributstyp hat (für die folgende Polyliniendefinition mit Struktur also **Achsgeometrie[ANY].teilgeometrie**).

```
MODEL Nationalstrassen ... =
  TOPIC Strasseachse =
    STRUCTURE Strassenabschnitt =
      teilgeometrie : DIRECTED POLYLINE ...;
    END Strassenabschnitt;
  CLASS Strasse =
    Achsgeometrie : LIST {1..*} OF Strassenabschnitt;
  END Strasse;
  END Strasseachse;
END Nationalstrassen.
```

5.5.4 Modellierung topologischer Referenzsysteme

Für eine Staumeldung genügt es zu wissen, zwischen welchen Knoten des Strassenetzes der Stau ist (z.B. zwischen der Raststätte Stalvedro und dem Gotthard Südportal). Ein Referenzsystem, das solche Ortsangaben wie „zwischen“, „neben“, „in der Nähe von“ ermöglicht, heisst topologisches Referenzsystem. Für das konzeptionelle Datenmodell des topologischen Referenzsystems braucht es somit keine Achsdefinitionen (wie z.B. **PathAXIS** und **LengthSetAXIS**). Hingegen muss die Menge der referenzierbaren Objekte (z.B. Raststätten), die Menge der zu referenzierenden Objekte (z.B. zwei: "Raststätte Stalvedro" und "Gotthard Südportal") und weitere Angaben (z.B. "zwischen") definiert werden können. Das konzeptionelle Datenmodell des topologischen Referenzsystems (**GeoTopological**) lautet daher:

```
CLASS GeoTopological EXTENDS INTERLIS.REFSYSTEM =
  GraphOrViewableRef: TEXT;
  InterpolationDetails: TEXT;
  MinRefObjects : 1..10; !! 1 if UNDEFINED
  MaxRefObjects : 1..10; !! 1 if UNDEFINED
END GeoTopological;
```

Dazu einige Details: **GraphOrViewableRef** ist der qualifizierte Name der Graph- oder Klassen-Definition, deren Instanzen als zu referenzierende Objekte in Frage kommen (z.B. **Nationalstrassen.Strassen.Netz** für die Knoten und die Kanten des Graphs, -definiert wie anschliessend). **InterpolationDetails** ist ein optionaler Verweis auf eine Struktur die weitere Angaben zur Lagebezeichnung enthält (z.B. "zwischen"). **MinRefObjects** und **MaxRefObjects** definiert die Anzahl der zu referenzierenden Objekte.

```
MODEL Nationalstrassen ... =
  TOPIC Strassen =
    CLASS Kreuzung =
    END Kreuzung;
  CLASS Strasse =
  END Strasse;
```

```
ASSOCIATION sk =
  s -- {1..*} Strasse;
  k -- {2} Kreuzung;
END sk;

GRAPH Netz (CONNECTED) =
  NODES DERIVED FROM Kreuzung;
  EDGES DERIVED FROM Strasse;
  LINKED BY sk;
END Netz;
END Strassen;
END Nationalstrassen.
```

5.6 Syntax für die Definition von Instanzen im Modell

Damit Koordinatensysteme vollständig als Teil des Modells definiert werden können – wie in Abschnitt 5.7 Verwendung von Referenzsystemen im Detail beschrieben wird –, braucht es eine Syntax für die Definition von Objekten (Instanzen). Diese definieren wie folgt:

```
Instance = '{' { AttributeValue | TechValue } '}'.
TechValue = '*' Attribute-Name ':' Constant.';'.
AttributeValue = Attribute-Name ':' ( Value
  | ( '[' Value { ',' Value } ']' ) );'.
Value = Constant | ([ ClassRef ] Instance ).
```

Beispiel:

```
01: REFSYSTEM BASKET LinRefSys ~ INTERLIS.RefSys
02:   OBJECTS OF INTERLIS.GeoCurvilinear2D
03:   { Name : "RBBS2D";
04:     Axis :
05:     [ INTERLIS.PathAXIS
06:       {},
07:       INTERLIS.SetLengthAXIS
08:       { Direction: #right;
09:       }
10:     ];
11:     CurveClassRef: "Nationalstrassen.Strassenachse.Strasse";
12:     PolylineAttributePath: "Achsgemetrie";
13:   };
```

Auf Zeile 03 wird der Wert für das Attribut **Name** definiert.

Auf den Zeilen 04-10 werden mehrere Werte für das Attribut **Axis** definiert.

Auf den Zeilen 07.09 wird ein Strukturelement der Struktur

INTERLIS.SetLengthAXIS definiert.

Auf Zeile 08 wird der Wert für das Attribut **Direction** definiert.

Auf Zeile 11 wird der Wert für das Attribut **CurveClassRef** definiert.

Auf Zeile 12 wird der Wert für das Attribut **PolylineAttributePath** definiert.

5.7 Verwendung von Referenzsystemen

```
DOMAIN
  HKoord = COORD
  48000.000 .. 85000.000 [m] {CHLV03[1]},
  7000.000 .. 31000.000 [m] {CHLV03[2]},
  -200.000 .. 5000.000 [m] {SwissOrthometricAlt[1]},
  ROTATION 2 -> 1;
```

Dieser Modellausschnitt zeigt, wie es bisher möglich ist, im **DOMAIN** Bereich eines INTERLIS Anwendungsmodells einen Wertebereich für Referenzwerte zu definieren mit

der Angabe, um welches Referenzsystem es sich handelt. Die Kartenprojektion des Referenzsystems CH1903 heisst **CHLV03**. Dabei sind **CHLV03** und **SwissOrthometricAlt** Instanzen von zwei Referenzsystem-Klassen, die schon bis jetzt am Anfang des Datenmodells eingeführt werden müssen wie folgt:

```
IMPORTS CoordSys;
REFSYSTEM BASKET BCoordSys ~ CoordSys.CoordSysTopic
OBJECTS OF GeoCartesian2D : CHLV03;
```

Die Angabe, um welches Referenzsystem es sich handelt, kann im Anwendungsmodell weggelassen werden, ist aber dann in Prosa zum Modell zu dokumentieren.

```
DOMAIN
HKoord = COORD
480000.000 .. 850000.000 [m],
70000.000 .. 310000.000 [m],
-200.000 .. 5000.000 [m],
ROTATION 2 -> 1;
```

Neu soll bei der Definition eines Wertebereichs für Referenzwerte im **DOMAIN** Abschnitt auch angegeben werden können, dass pro Instanz ein unterschiedliches Referenzsystem zulässig ist wie folgt:

```
DOMAIN
HKoord = COORD
480000.000 .. 850000.000 [m] {ANY},
70000.000 .. 310000.000 [m] {ANY},
-200.000 .. 5000.000 [m] {SwissOrthometricAlt[1]},
ROTATION 2 -> 1;
```

Der Verweis auf ein kurvilineares Koordinatensystem funktioniert identisch. Aber das Koordinatensystem-Objekt muss eine Instanz der Klasse **GeoCurvilinear2D** oder **GeoCurvilinear3D** oder einer Erweiterung davon sein.

```
REFSYSTEM BASKET LinRefSys ~ INTERLIS.RefSys
OBJECTS OF INTERLIS.GeoCurvilinear2D {
Name : "RBBS2D";
Axis : [
INTERLIS.PathAXIS {
INTERLIS.SetLengthAXIS {Direction: #right;} ];
CurveClassRef: "Nationalstrassen.Strassenachse.Strasse";
PolylineAttributePath: "Achsgemetrie";},
};
```

```
DOMAIN
Rbbs2dKoord = COORD
0.000 .. 10000.000 [m] {RBBS2D[1]},
0.000 .. 500.000 [m] {RBBS2D[2]},
ROTATION 1 -> 2;
```

Heute bestehen die 2-dimensionalen kurvilinearen Koordinaten eines Punktes aus den folgenden Werten: Bezugspunktidentifikation (inklusive Achsidentifikation) + u -Koordinate + v -Koordinate. Also es braucht zwei Koordinatenwerte (eben u und v) sowie die Identifikation des Sektors auf dem sich der Punkt befindet. Der Sektor wird identifiziert über seinen Anfangspunkt, den Bezugspunkt, zusammen mit der Identifikation der Achslinie, deren Teil der Sektor ist. Diese Bezugspunktidentifikation ist unumgänglich. Die 2-dimensionalen kurvilinearen Koordinaten eines Punktes bestehen also aus 3 Werten. Es bleibt bei diesen 3 Werten, wenn die Sektoren verschiedener Achslinien die Achsobjekte eines Koordinatensystems und eindeutig identifiziert sind. Ist aber jede einzelne Achslinie ein Koordinatensystem (seine Sektoren sind die Achsobjekte) und es kommen in derselben Datei Punkte vor, die über verschiedene Achslinien d.h. Koordinatensysteme referenziert

werden müssen, dann wechselt das Koordinatensystem und es käme noch ein vierter Wert dazu. Dann braucht es tatsächlich pro Instanz verschiedene Koordinatensysteme.

Der Verweis auf ein topologisches Referenzsystem funktioniert analog. Aber das Referenzsystem-Objekt muss eine Instanz der Klasse `GeoTopological` oder einer Erweiterung davon sein. Und im `DOMAIN` wird als Schlüsselwort für die Beschreibung des Wertebereichs nicht mehr `COORD` gebraucht, sondern `LOCREF`.

```
STRUCTURE TMCTopoDetails =
  Interpolation : MANDATORY (near,between);
END TMCTopoDetails;

REFSYSTEM BASKET TopoRefSys ~ INTERLIS.RefSys
OBJECTS OF INTERLIS.GeoTopological
{ Name : "TMCLoCodes";
  GraphOrViewableRef: "Nationalstrassen.Strassen.Netz";
},
{ Name : "TMCLoCodesPlus";
  GraphOrViewableRef: "Nationalstrassen.Strassen.Netz";
  InterpolationDetails : "TMCTopoDetails";
  MinRefObjects : 1;
  MaxRefObjects : 2;
};

DOMAIN
  LoCodRef = LOCREF {TMCLoCodes};
  LoCodRefDetails = LOCREF {TMCLoCodesPlus};
```

Die Syntaxregeln werden wie folgt geändert:

```
LocRefType = 'LOCREF' RefSys.

RefSys = ( '{' (RefSys-MetaObjectRef [ '[' Axis-PosNumber ']' ])
           / 'ANY' '}'
           | '<' Coord-DomainRef [ '[' Axis-PosNumber ']' ] '>' ).

MetaDataBasketDef = ( 'SIGN' | 'REFSYSTEM' ) 'BASKET' Basket-Name
  Properties<FINAL>
  [ 'EXTENDS' MetaDataBasketRef ]
  '~' TopicRef
  { 'OBJECTS' 'OF' ClassRef
    ( ':' MetaObject-Name { ',' MetaObject-Name } )
    / (MetaObject-Instance { ',' MetaObject-Instance } )
  } ';'.
```

Zur Syntax von *Instance* siehe Kapitel 5.6

5.8 Datenmodelle der interessierenden Bezugssysteme

5.8.1 CH1903, Landeskoordinaten Schweiz

Wie wir im Realitätsausschnitt 4.4.1.1 notiert haben, handelt es sich beim Landeskoordinatensystem grundsätzlich um ein 3-dim. kartesischen Koordinatensystem. Präzise formuliert handelt es sich um die Kombination eines 2-dim kartesischen Referenzsystems (CH Projektion) und eines 1-dim. kartesischen Referenzsystems (orthometrische Höhe). Daher spielen zwei Klassen von Referenzsystemen eine Rolle: `GeoCartesian2D` und `GeoHeight`. *Abb. 5.22* zeigt einen Ausschnitt aus den Datenmodellen `INTERLIS` und `CoordSys` (Anhänge A und I des INTERLIS2-Referenzhandbuches [18]) mit den Sprachelementen, die für die Definition dieser Klassen benötigt werden.

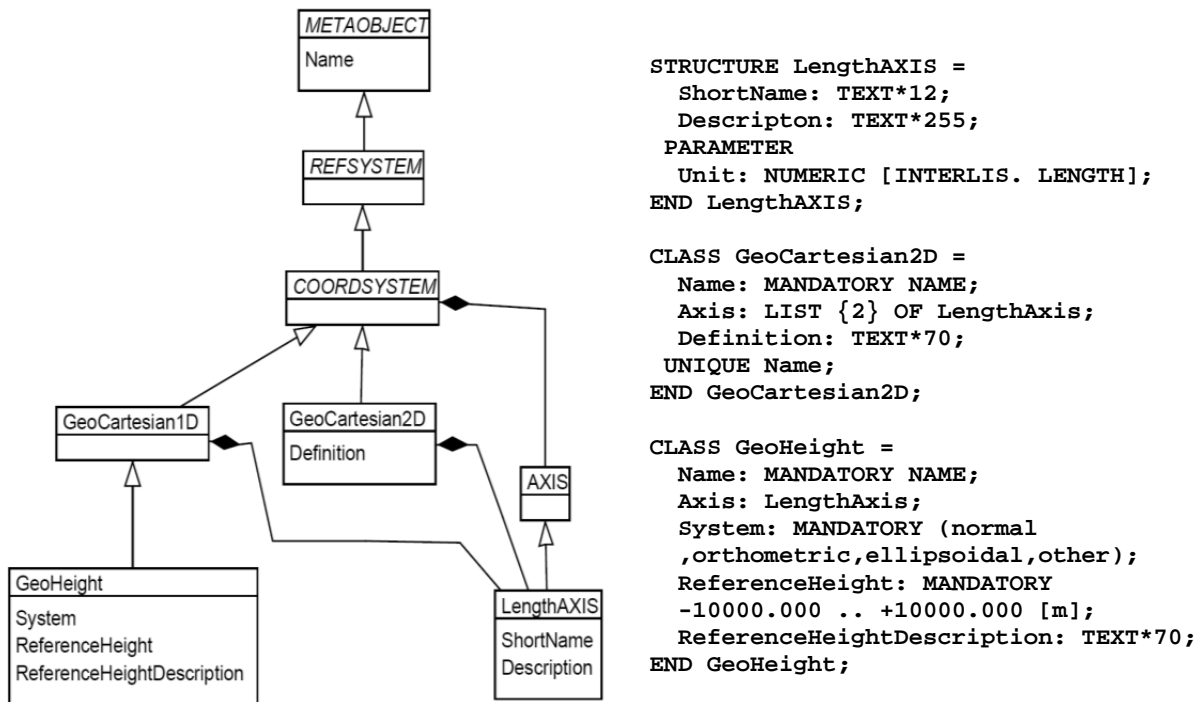


Abb. 5.22 Klassen *GeoCartesian2D* und *GeoHeight*

Links ist das UML-Diagramm mit der Vererbungshierarchie der verschiedenen abstrakten Klassen, von denen *GeoCartesian2D* und *GeoHeight* eine Spezialisierung sind. Diese Referenzsysteme brauchen 2 bzw. 1 Gerade als Achsen, deren Reihenfolge wesentlich sind. Rechts ist der entsprechende INTERLIS2 Text. Dabei ist die Vererbungshierarchie „flachgewalzt“, d.h. alle Attribute der generellen (und abstrakten) Klassen sind in die spezialisierten (und konkreten) Klassen *GeoCartesian2D* und *GeoHeight* verschoben und nur noch diese beiden spezialisierten Klassen sind in INTERLIS2 beschrieben. Die zwei Geraden als Achsen von *GeoCartesian2D* mit fester Reihenfolge sind durch den Attributstyp `LIST {2} OF LengthAXIS` beschrieben. Dabei ist *LengthAXIS* nicht ein „elementarer“ Attributstyp, sondern hat zwei Attribute und einen Parameter, muss daher durch eine sog. `STRUCTURE` eingeführt werden.

Die Kartenprojektion des Referenzsystems CH1903 heisst *CHLV03* und ist eine Instanz der Klasse *GeoCartesian2D* also ein Datenobjekt. Ebenso ist die orthometrische Höhe eine Instanz von *GeoHeight* und auch ein Datenobjekt namens *swissOrthometricAlt*. *Abb. 5.23* zeigt einen Ausschnitt aus der Datei *MiniCoordsysData.xtf* mit diesen beiden Datenobjekten. Damit ist das Landeskoordinatensystem präzis beschrieben. In 5.9 werden wir sehen, wie diese Metadatenobjekte im Rahmen der Datenmodelle von Start- und Zielsystem zum Einsatz kommen.

```

<CoordSys.CoordsysTopic.GeoHeight TID="BCoordSys.SwissOrthometricAlt">
  <Name>SwissOrthometricAlt</Name>
  <Axis>
    <CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
      <ShortName>h</ShortName>
      <Description>Swiss Orthometric Altitude</Description>
    </CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
  </Axis>
  <System>orthometric</System>
  <ReferenceHeight>373.600</ReferenceHeight>
  <ReferenceHeightDescr>Pierre du Niton</ReferenceHeightDescr>
  <EllipsoidRef REF="BCoordSys.Bessel"/>
  <GeoidRef REF="BCoordSys.CHGeoid"/>
  <GravityRef REF="BCoordSys.CHDeviationOfTheVertical"/>
</CoordSys.CoordsysTopic.GeoHeight>
  
```

```
<CoordSys.CoordsysTopic.GeoCartesian2D TID="BCoordSys.CHLV03">
  <Name>CHLV03</Name>
  <Axis>
    <CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
      <ShortName>Y</ShortName>
      <Description>East-value</Description>
    </CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
    <CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
      <ShortName>X</ShortName>
      <Description>North-value</Description>
    </CoordSys.CoordsysTopic.LengthAXIS>
  </Axis>
  <Definition>Geodetic Cartesian 2D Refsystem, Swiss Projection</Definition>
</CoordSys.CoordsysTopic.GeoCartesian2D>
```

Abb. 5.23 Instanzen von GeoCartesian2D und GeoHeight

5.8.2 RBBS, räumliches Basisbezugssystem

Dabei handelt es sich um ein kurvilineares Referenzsystem, wie im Realitätsausschnitt 4.4.2.1 erläutert ist. Abb. 5.24 zeigt den entsprechenden Ausschnitt aus den Datenmodellen INTERLIS und CoordSys (Anhänge A und I des INTERLIS2-Referenzhandbuches [18]). Links ist das UML-Diagramm wieder mit der Vererbungshierarchie wie in Abb. 5.22. Rechts ist der entsprechende INTERLIS2 Text. Dabei ist die Vererbungshierarchie auch wieder „flachgewalzt“, d.h. alle Attribute der generellen (und abstrakten) Klassen sind in die spezialisierte (und konkrete) Klasse GeoCURVILIN2D verschoben und nur noch diese ist in INTERLIS2 beschrieben. Wie in 5.5.3 ausführlich beschrieben, braucht es jetzt zwei verschiedene Achstypen, PathAXIS und LengthSetAXIS und diese werden erst als Metaobjekte definitiv festgelegt.

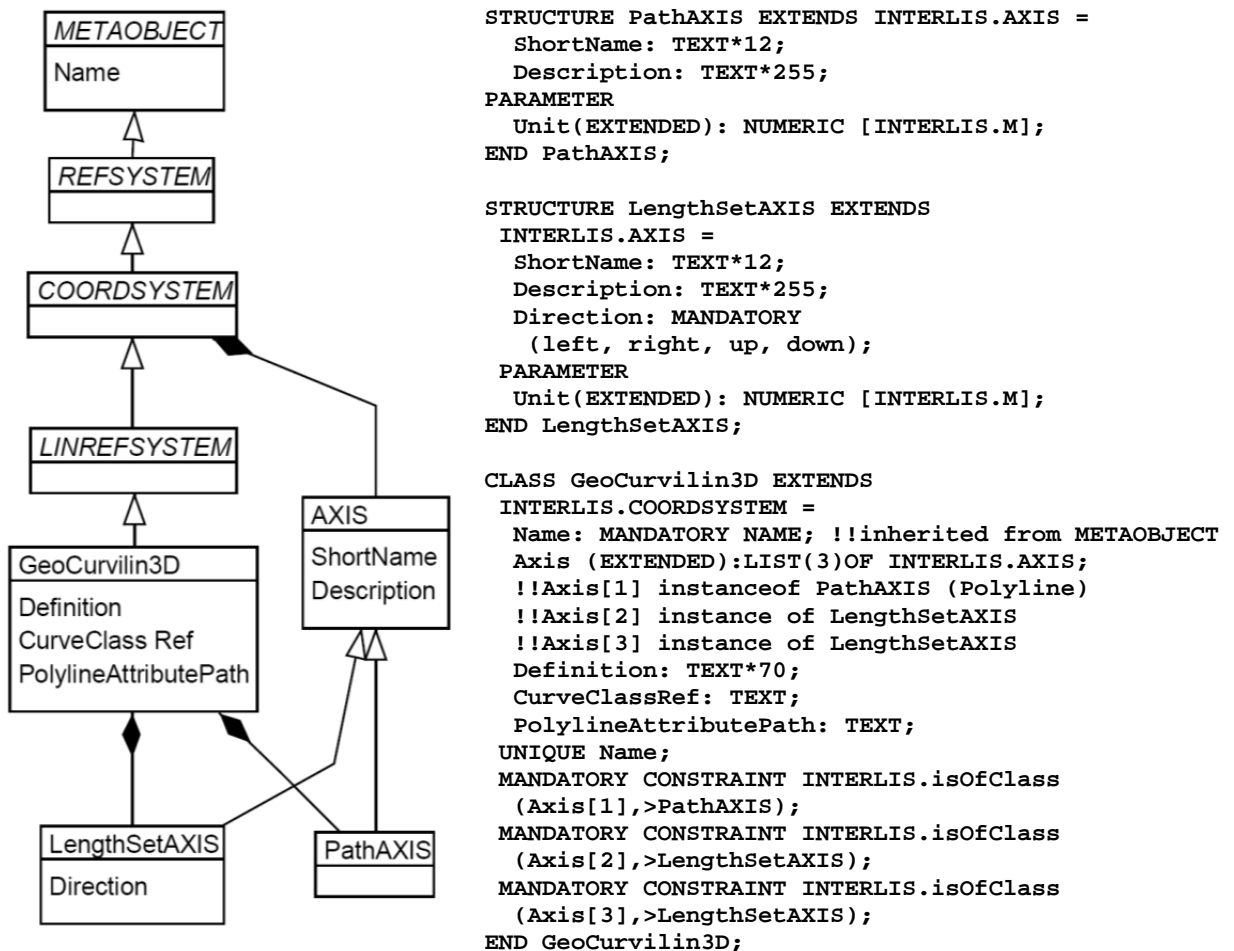


Abb. 5.24 Klasse GeoCurvilinear3D

Das RBBS ist eine Instanz der Klasse `GeoCurvilinear3D`, also ein Datenobjekt. *Abb. 5.25* zeigt einen Ausschnitt aus der Datei `MiniCoordsysData.xtf` mit diesem Datenobjekt. Da nun aber dieses Refsystem-Objekt ändern kann bei jedem Anwendungsmodell (vor allem wegen der Attribute `CurveClassRef` und `PolylineAttributePath`), müsste es für jedes Anwendungsmodell in `MiniCoordsysData.xtf` einen Refsystem-Eintrag geben. Daher ist es zweckmässiger, die Refsys-Objekte zu Beginn des entsprechenden Anwendungsmodells genau zu definieren wie in *Abb. 5.27* im Behälter (`BASKET`) `LinRefSys`. Dort sind allerdings verschiedene optionale Attributwerte weggelassen.

```
<CoordSys.CoordsysTopic.GeoCurvilinear3D TID="BCoordSys.RBBS3D">
  <Name>RBBS3D</Name>
  <Definition>Curvilinear 3D Refsystem, «Räuml.Basis-Bezugssystem»</Definition>
  <Axis>
    <CoordSys.CoordsysTopic.PathAXIS>
      <ShortName>u</ShortName>
      <Description>value along curvilinear axis line</Description>
    </CoordSys.CoordsysTopic.PathAXIS>
    <CoordSys.CoordsysTopic.LengthSetAXIS>
      <ShortName>v</ShortName>
      <Description>value orthogonal to the curvilinear axis-line</Description>
      <Direction>right</Direction>
    </CoordSys.CoordsysTopic.LengthSetAXIS>
    <CoordSys.CoordsysTopic.LengthSetAXIS>
      <ShortName>w</ShortName>
      <Description>value orthogonal to u and v</Description>
      <Direction>up</Direction>
    </CoordSys.CoordsysTopic.LengthSetAXIS>
  </Axis>
  <CurveClassRef>Axis.Axis.AxisSegment</CurveClassRef>
  <PolylineAttributePath>Geometry->Geometry</PolylineAttributePath>
</CoordSys.CoordsysTopic.GeoCartesian2D>
```

Abb. 5.25 Instanz RBBS der Klasse GeoCurvilinear3D

5.9 Vollständige Datenmodelle der Start- und Zielsysteme

Als Verkehrsunfalldaten stand uns eine Excel-Tabelle zur Verfügung, die gemäss *Abb. V.43* gegliedert ist. In derselben Tabelle gab es CH1903-Koordinaten (linke Seite, Kolonnen x-Koordinate und y-Koordinate in m) und RBBS-Koordinaten desselben Unfallortes (rechte Seite, Kolonnen RBBS-Name, -Bezugspunkt, -Distanz, -Abstand, ebenfalls in m). Um ein Start- und ein Zielsystem zu erhalten, modellierten wir zwei Klassen und verteilten die Attribute gemäss UML-Diagramm von *Abb. 5.26*.

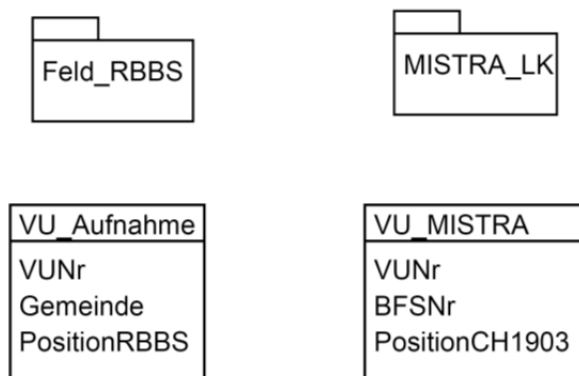


Abb. 5.26 UML-Diagramm der Verkehrsunfall-Klassen VU_Aufnahme und VU_MISTRA

Dabei war uns nur wesentlich, dass wir in den verschiedenen Klassen je ein anderes Koordinatensystem zu modellieren hatten. Die entsprechenden Details sind im INTERLIS 2 Text von *Abb. 5.27* ersichtlich.

```
MODEL Verkehrsunfaelle (en) AT "mailto:hgnaegi@localhost"
VERSION "2012-07-08" =
  IMPORTS UNQUALIFIED INTERLIS;
  IMPORTS UNQUALIFIED CoordSys;
  IMPORTS Axis;    !!Details dazu siehe Anhang VII.1

REFSYSTEM BASKET GeodRefSys ~ CoordSys.CoordsysTopic
  OBJECTS OF GeoCartesian2D: CHLV03;
REFSYSTEM BASKET LinRefSys ~ CoordSys.CoordsysTopic
  OBJECTS OF GeoCurvilinear2D
  { Name: "RBBS2D";
    Axis:
    [ INTERLIS.PathAXIS {},
      INTERLIS.SetLengthAXIS
      { Direction: #right
        }
    ];
    CurveClassRef: "Axis.Axis.AxisSegment";
    PolylineAttributePath: "Geometry->Geometry";
  }
DOMAIN
  LKoord = COORD 480000 .. 840000 [m]{CHLV03[1]} ,
           80000 .. 360000 [m]{CHLV03[2]} ,
           ROTATION 2 -> 1;
  RBBS2DCoord = COORD 0.00 .. 10000.00 [m]{RBBS2D[1]},
                -500.00 .. 500.00 [m]{RBBS2D[2]},
                ROTATION 1 -> 2;

TOPIC Feld_RBBS =
  CLASS VU_Aufnahme =
    VUNr: MANDATORY 1 .. 15000;
    Gemeinde: MANDATORY TEXT*30;
    PositionRBBS: MANDATORY RBBS2DCoord;
  END VU_Aufnahme;
END Feld_RBBS;

TOPIC MISTRA_LK =
  CLASS VU_MISTRA =
    VUNr: MANDATORY 1 .. 15000;
    BFSNr: MANDATORY 1 .. 9999;
    PositionCHL903: MANDATORY LKoord;
  END VU_MISTRA;
END MISTRA_LK;

END Verkehrsunfaelle.
```

Abb. 5.27 INTERLIS 2 Datenmodell der Verkehrsunfall-Themen *Feld* und *MISTRA*

5.10 Konzeptionelle Beschreibung der Transformationen

Die konzeptionelle Beschreibung von Referenzwert-Transformationen soll zwei Dinge leisten. Einerseits präzise beschreiben, zwischen welchen Referenzsystemen Referenzwerte transformiert werden können und andererseits, welches die Schritte sind einer solchen Transformation, die ja durch ein Computerprogramm realisiert werden muss. Die Details der Transformationen sind der Beschreibung der Programme zu entnehmen (Kapitel 9.2) sowie den Programmen selbst (Anhang VI).

5.10.1 Übersicht: Transformationen als Beziehungen zwischen Referenzsystem-Klassen

In Abb. 5.28 ist RBBS2CH1903 dargestellt mit den Methoden `newAxis`, `transform` und `inverseTrafo` als Abbildung zwischen den Klassen `GeoHeight` und `GeoCar-`

tesian2D (welche zusammen ein 3-dimensionales kartesisches Referenzsystem bilden) und **GeoCurvilinear3D**, der Klasse der 3-dim. kurvilinearen Referenzsysteme.

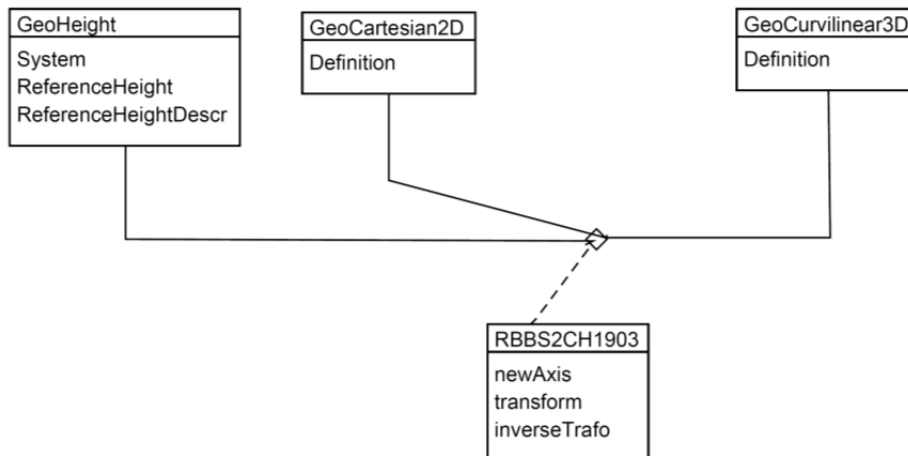


Abb. 5.28 Die Transformation **RBBS2CH1903** mit den Operationen **newAxis**, **transform** und **inverseTrafo** als Beziehung im UML Diagramm der Referenzsystem-Klassen (ILI-RefHB [18] Anhang I)

5.10.2 Die Methode **newAxis** von **RBBS2CH1903**

Methodenkopf:

```
newAxis (int ndimI,int nvI,double sigmaI[[[]],double linDistI[])
```

Parameter:

- ndimI** (Input) Dimension der Achsstützpunkt-Koordinaten
- nvI** (Input) Anzahl der Achsstützpunkte
- sigmaI[[[]]** (Input) CH1903 Koordinaten der Achsstützpunkte
max. Index 1: **nvI**
max. Index 2: **ndimI**
- linDistI[]** (Input) Abstand der Achsen-Stützpunkte vom Anfangspunkt (= Bezugspunkt) des Sektors entlang der Strassenachse gemessen (in der Realwelt!)
max. Index: **nvI**

Die Berechnung besteht aus folgenden 2 Schritten

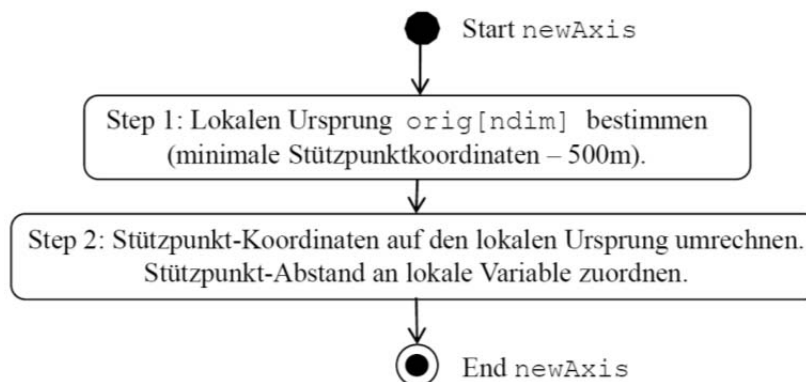


Abb. 5.29 Konzeptionelle Darstellung der Programmschritte der Operation **newAxis** als UML-Ablaufdiagramm

5.10.3 Die Methode transform von RBBS2CH1903

Methodenkopf:

`transform (double uPI,double vPI,double wPI,double pi2I,int iUnfallI)`

Parameter:

`uPI, vPI, wPI` (Input) RBBS-Koordinaten (u, v, w) von Punkt P
`pi2I` (Input) LN02-Höhe
`iUnfallI` (Input) Unfallnummer

Resultate:

`pi00, pi10, pi20` (Output) CH1903-Koordinaten (π_0, π_1, π_2) von Punkt P

Nebst den RBBS-Koordinaten (u, v, w) muss auch der Normalhöhenwert π_2 als Input-Parameter übergeben werden, da zur Zeit die Achsstützpunkte keine Höhenwerte haben. Die LK sind in der Ausprägung Kartenprojektion CHLV03 als (π_0, π_1) und Normalhöhe LN02 als π_2 des Referenzsystems CH1903 gegeben.

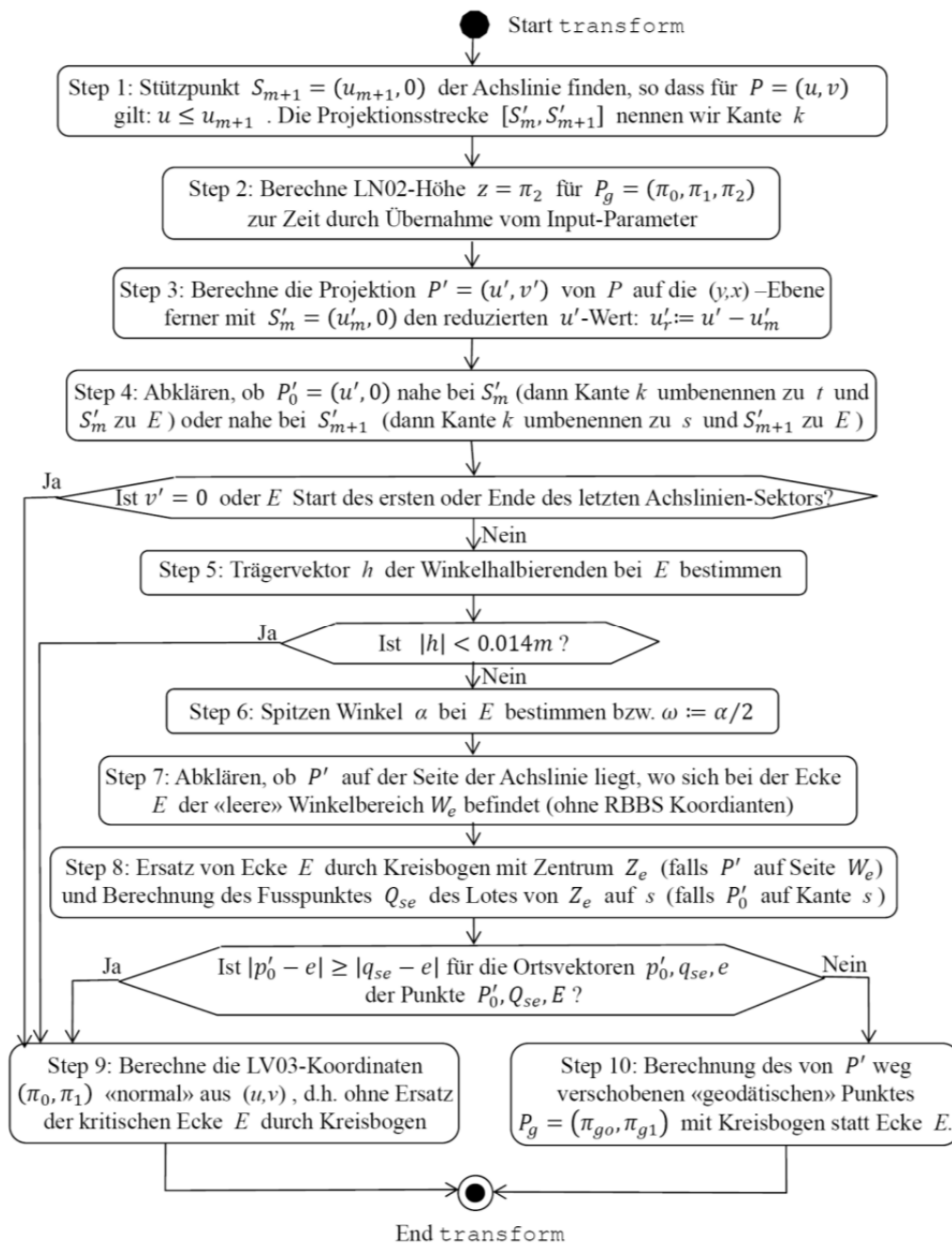


Abb. 5.30 Programmschritte der Operation transform als UML-Ablaufdiagramm

6 Element C: Standard Transferformate

Ein wesentlicher Vorteil des modellbasierten Vorgehens ist ja, dass aus dem konzeptionellen Datenmodell automatisch gemäss normativ festgelegten Codierungsregeln die Beschreibung des Formats für den Datentransfer automatisch hergeleitet werden kann. Da wir in Kapitel 5 neue konzeptionelle Sprachelemente eingeführt haben, müssen wir dafür auch die Codierungsregeln ergänzen. Zunächst für den neuen Datentyp **GRAPH** (in 6.1), dann aber auch für Referenzwerte (Koordinaten) bezüglich kurvilineareren und topologischer Referenzsysteme (in 6.2). In 6.3 finden sich Anwendungsbeispiele für CH1903-Daten bzw. für RBBS-Daten. Das ganze Kapitel enthält nur projektrelevanten Text.

6.1 Formatregeln für den neuen Datentyp **GRAPH** gemäss 5.4

6.1.1 Minimum Daten

```
<MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk TID="0">
  <NODE TID="1">
  </NODE>
  <NODE TID="2">
  </NODE>
  <EDGE TID="3">
    <NODE1 REF="1"/>
    <NODE2 REF="2"/>
  </EDGE>
</MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk>
```

6.1.2 Daten haben optional Verweis auf Basisobjekte

```
<MeinModel.MeinTopic.Kreuzung TID="100">
</MeinModel.MeinTopic.Kreuzung>
<MeinModel.MeinTopic.Strasse TID="200">
</MeinModel.MeinTopic.Strasse>
<MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk TID="0">
  <NODE TID="1">
    <BASE REF="100"/>
  </NODE>
  <NODE TID="2">
  </NODE>
  <EDGE TID="3">
    <NODE1 REF="1"/>
    <NODE2 REF="2"/>
    <BASE REF="200"/>
  </EDGE>
</MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk>
```

6.1.3 Daten haben optional Geometrie

```
<MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk TID="0">
  <NODE TID="1">
    <COORD>...</COORD>
  </NODE>
  <NODE TID="2">
  </NODE>
  <EDGE TID="3">
    <NODE1 REF="1"/>
    <NODE2 REF="2"/>
    <POLYLINE>...</POLYLINE>
  </EDGE>
</MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk>
```


6.1.4 Daten haben optional weitere Facheigenschaften

```
<MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk TID="0">
  <NODE TID="1">
    <USER>
      <MeinModel.MeinTopic.MeineStruktur>
        ...
      </MeinModel.MeinTopic.MeineStruktur>
    </USER>
  </NODE>
  <NODE TID="2">
  </NODE>
  <EDGE TID="3">
    <NODE1 REF="1"/>
    <NODE2 REF="2"/>
    <USER>
      <MeinModel.MeinTopic.MeineStruktur>
        ...
      </MeinModel.MeinTopic.MeineStruktur>
    </USER>
  </EDGE>
</MeinModel.MeinTopic.MeinNetzwerk>
```

6.2 Erweiterung der Formatregeln für Referenzwerte

Bis jetzt gab es keine Angabe des Referenzsystems bei den Referenzwerten im Transfer, da alle Instanzen einer Klasse denselben Wertebereich für Referenzwerte und damit auch dasselbe Referenzsystem hatten.

```
<COORD><C1>%Wert%</C1><C2>%Wert%</C2>...</COORD>
```

Neu soll es nun aber möglich sein, dass verschiedene Instanzen derselben Klasse verschiedene Referenzsysteme brauchen. Man muss daher das Referenzsystem im Transfer angeben können. Die Kodierung erfolgt als XML-Attribut (ähnlich zur Kodierung der übrigen Referenzen).

```
<COORD CRS="%OID%">
  <C1>%Wert%</C1><C2>%Wert%</C2>...
</COORD>
```

Für `GeoCurviline2D` und `GeoCurviline3D` Referenzsysteme sind die folgenden Angaben erforderlich:

- Verweis auf das Objekt, das die Achse enthält (cco=Curve Class Object)
- falls die Geometrie in einem Strukturelement ist, ist es zusätzlich notwendig, das betreffende Strukturelement zu bezeichnen
- falls das CRS pro Instanz unterschiedlich sein kann, ist zusätzlich der Verweis auf das CRS notwendig

```
<COORD [CRS="%OID%"] CCO="%OID%" [GEOM="%StructElePath%"]>
  <C1>%Wert%</C1><C2>%Wert%</C2>...
</COORD>
```

Wie in 5.7 dargelegt wurde, bestehen die 2-dimensionalen kurvilinearen Koordinaten eines Punktes also aus 3 Werten. Hier entspricht das XML-Element `C1` der u -Koordinate, das XML-Element `C2` der v -Koordinate und das XML-Attribut `CCO` der Sektoridentifikation. Es bleibt bei diesen 3 Werten, wenn verschiedene Achslinien zusammen ein Koordinatensystem bilden und die Sektoren über alle beteiligten Achslinien hinweg eindeutig identifiziert sind. Ist aber jede einzelne Achslinie ein Koordinatensystem (ihre Sektoren sind die Achsobjekte) und es kommen in derselben Datei Punkte vor, die über verschiedene Achslinien d.h. Koordinatensysteme referenziert werden müssen, dann

wechselt das Koordinatensystem und es käme noch ein vierter Wert dazu, nämlich das XML-Attribut **CRS** der Achslinien- (=Koordinatensystem-) Identifikation. Bei kurvilinearen CRS ist die Kantenrichtung gegeben durch die **DIRECTED POLYLINE**, als welche die Geometrie der **PathAXIS** definiert ist.

Für topologische Referenzsysteme sind die folgenden Angaben erforderlich:

- Verweis auf das oder die Referenzobjekte
- evtl. weitere Angaben
- falls das Referenzsystem pro Instanz unterschiedlich sein kann, ist zusätzlich der Verweis auf das CRS notwendig im **LOCREF** Starttag.

```
<LOCREF [CRS="%OID%"]>
  <REFOBJECT REF="%OID%"/>
  evtl. weitere <REFOBJECT REF="%OID%"/>
  <USER>
    <MeinModel.MeinTopic.TMCTopoDetails >
      <Interpolation>near</Interpolation>
    </MeinModel.MeinTopic.TMCTopoDetails >
  </USER>
</LOCREF>
```

6.3 Standard Transferformate der Anwendungsmodelle

Abb. 6.31 enthält ein Datenobjekt (Instanz) der Klasse **VU_Aufnahme** in INTERLIS2-XML. Für die Referenzsysteme vom Typ **GeoCurviline2D** und **GeoCurviline3D** sind gemäss 6.2 die folgenden Angaben erforderlich: Die XML-Attribute **CCO** ev. auch **GEOM** und **CRS** sowie die XML-Elemente **c1**, **c2** und ev. auch **c3**.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<TRANSFER xmlns="http://www.interlis.ch/INTERLIS2.3"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.interlis.ch/INTERLIS2.3
  Verkehrsunfaelle.xsd">
<HEADERSECTION SENDER="ceis" VERSION="2.3">
  <MODELS>
    <MODEL NAME="Verkehrsunfaelle" URI="mailto:hgnaegi@localhost"
      VERSION="2012-07-08"/>
  </MODELS>
</HEADERSECTION>
<DATASECTION>
  <Verkehrsunfaelle.Feld_RBBS BID="1">
    <Verkehrsunfaelle.Feld_RBBS.VU_Aufnahme TID="2">
      <VUNr>162</VUNr>
      <Gemeinde>Ittigen</Gemeinde>
      <PositionRBBS>
        <COORD CCO="dad30331-c8d9-6740-bbe1-a34fee044a2e"
          GEOM="Geometry->Geometry">
          <C1>405.963</C1>
          <C2>-3.538</C2>
        </COORD>
      </PositionRBBS>
    </Verkehrsunfaelle.Feld_RBBS.VU_Aufnahme>
  </Verkehrsunfaelle.Feld_RBBS>
</DATASECTION>
</TRANSFER>
```

Abb. 6.31 Datenobjekt (Instanz) der Klasse **VU_Aufnahme** in INTERLIS2-XML

Die folgende Abb. 6.32 enthält ein Datenobjekt (Instanz) der Klasse `VU_MISTRA` in INTERLIS2-XML. Die Zeilen rund um das XML-Element `DATASECTION` sind dieselben wie in Abb. 6.31.

```
<DATASECTION>
  <Verkehrsunfaelle.MISTRA_LK BID="b2">
    <Verkehrsunfaelle.MISTRA_LK.VU_MISTRA TID="o2">
      <VUNr>162</VUNr>
      <BFSNr>362</BFSNr>
      <PositionCH1903>
        <COORD>
          <C1>602131.0</C1>
          <C2>203486.0</C2>
        </COORD>
      </PositionCH1903>
    </Verkehrsunfaelle.MISTRA_LK.VU_MISTRA>
  </Verkehrsunfaelle.MISTRA_LK>
</DATASECTION>
```

Abb. 6.32 Datenobjekt (Instanz) der Klasse `VU_MISTRA` in INTERLIS2-XML

7 Element D: 1:1 Prozessoren für Start- und Zielsysteme

Da die Realisierung als Demonstrator beschränkt werden musste auf die Transformationen RBBS ↔ CH1903, da als Daten nur gerade die Verkehrsunfälle zur Verfügung standen und da schliesslich auch nicht Zeit blieb, um die Transformationsalgorithmen in die konzeptionellen Sprachen zur Beschreibung der semantischen Transformation UMLT / ILIT einzubauen, konnte darauf verzichtet werden, die als Excel Tabelle gegebene Start- (und Ziel-) Datei der Verkehrsunfälle (siehe *Abb. V.43*) vor der Koordinatenwert-Transformation noch aufs Standard-Transferformat umzubauen (gemäss *Abb. 6.31*, *Abb. 6.32*) mit Hilfe von 1:1 Prozessoren, wie es beim modellbasierten Datentransfer mit Strukturumbau vorgesehen ist.

Im Rahmen dieser Arbeit war es wichtiger, die Verkehrsunfalldaten der Excel-Tabelle in eine für die Tests der Algorithmen zweckmässige Datenbankstruktur einzulesen (siehe Kapitel 9.2 (d)).

8 Element E: Strukturumbau mit semantischer Transformation

Wie im Kapitel 7 erläutert, ist der dort beschriebene Verzicht auf den Umbau des proprietären Startformats (Excel-Datei) auf das Standardformat mittels 1:1 Prozessor wesentlich begründet im hier zu beschreibenden Verzicht auf die Realisierung von Element E des modellbasierten Vorgehens zum Datentransfer mit Strukturumbau. Nämlich zum Verzicht darauf, die Transformationsalgorithmen in die konzeptionellen Umbausprachen UMLT / ILIT einzubauen, in folgendem Sinne.

Die Transformationsalgorithmen RBBS ↔ CH1903 sind in den Abschnitten 4.5.7 und 4.5.8 als Teil des Realitätsausschnitts (Element A) in Umgangssprache formuliert. In Abschnitt 5.10 sind sie konzeptionell graphisch und als Methodenkopf textuell dargestellt (Element B). In 9.2 ist ihre Realisierung als Java-Programm besprochen. Diese Transformationsalgorithmen sollten schliesslich zur Verfügung stehen als Elemente der semantischen (bzw. semantikerhaltenden) Transformation einer Datenstruktur in eine andere. D.h. sie sollten als Sprachelemente integriert werden in eine konzeptionelle Sprache zur Beschreibung des Strukturumbaus. Im UML / INTERLIS Umfeld drängen sich dazu die grafische Umbausprache UMLT und die textuelle ILIT auf. In diesem Kapitel 8 war geplant, die Erweiterung von UMLT/ILIT um Funktionen des Referenzsystem-Umbaus zu erläutern. Das entfällt, denn auf Grund der extrem einfachen Datenlage konnte und auf Grund des Zeitmangels musste auf diese Erweiterung von Element E verzichtet werden.

9 Implementierung des Demonstrators

Dieses Kapitel enthält gleichzeitig ein Hauptergebnis des Projektes und einen Hauptmangel. Das Kapitel enthält nur projektrelevanten Text.

Zuerst zum Hauptergebnis. Es ist gelungen, Programme zu entwickeln und erfolgreich zu testen, die eine umkehrbar eindeutige Transformation ermöglichen zwischen den geodätischen (hier CH1903) und den kurvilinearen Referenzsystemen (hier RBBS) mit Achslinien ausschliesslich aus Strecken (Geradenstücken) bestehend als erster Achse. Die Detailbeschreibung der Algorithmen findet sich in 9.2 bzw im Anhang IX und diejenige der erfolgreichen Tests in 9.3 .

Der Hauptmangel präsentiert sich gnadenlos in *Abb. 9.33*: Nur für einen lächerlich kleinen Teil des interessanten ausgewählten Kommunikationsnetzwerks von *Abb. 4.5* war es uns möglich, Testdaten zu bekommen, wie *Abb. 9.33* zeigt, obschon diese Daten vorhanden sein müssen. Entsprechend wenige der in 4.5 beschriebenen Referenzwert-Transformationen konnten effektiv programmiert werden. Immerhin die umkehrbar eindeutige Transformation RBBS \leftrightarrow CH1903. Und damit konnte auch die Programmiererfahrung gesammelt werden, so dass die jetzt noch fehlenden aber im Konzept programmierbereit vorliegenden Transformationen in einem Folgeprojekt zügig zu implementieren sind.

9.1 Kommunikationsnetzwerk im Beispielgebiet

Abb. 9.33 zeigt den Ausschnitt aus dem gesamten Kommunikationsnetzwerk (*Abb. 4.5*, Kapitel 4.3), in welchem wir die Tests mit den Referenzsystemen RBBS und CH1903 sowie mit den Transformationen zwischen diesen durchführten.

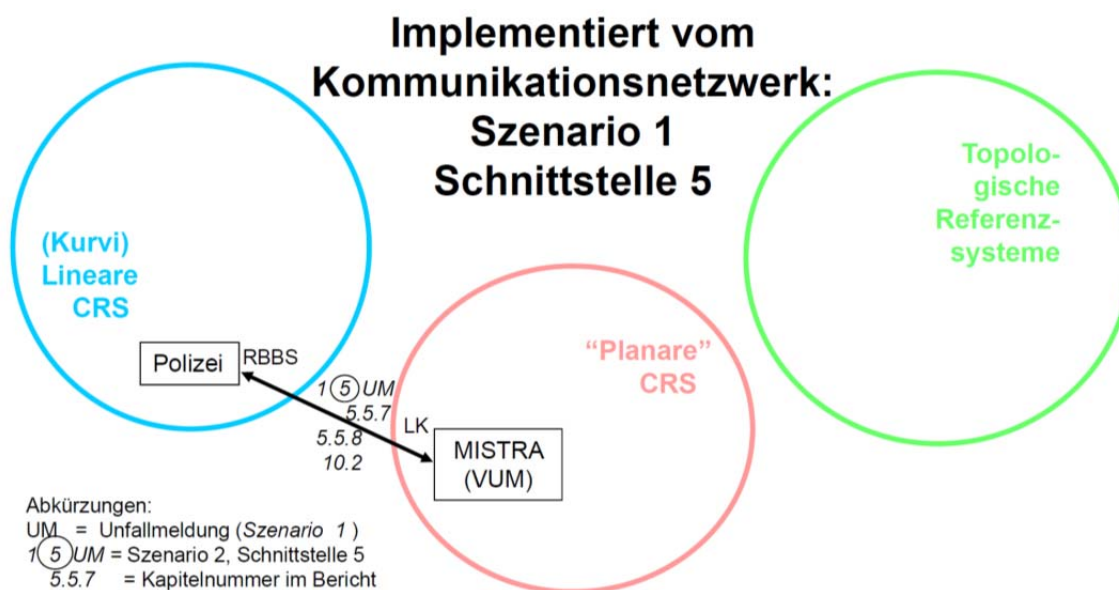


Abb. 9.33 Verwendeter Ausschnitt des Kommunikationsnetzwerks (*Abb. 4.5*, Kapitel 4.3)

9.2 Beschreibung der Umsetzung

Wie schon im Vorgängerprojekt MDaInSVT war es auch diesmal ein Hauptproblem, zu Daten zu kommen. Wir beschränken uns daher zunächst auf Verkehrsunfalldaten aus MISTRA, die uns von E. Bernard als Excel-Datei zur Verfügung gestellt wurden. Dabei haben wir in derselben Datei für die Unfallorte sowohl RBBS-Werte als auch CH1903-Werte. Es lassen sich daher folgende Berechnungen und Vergleiche durchführen:

- Messung Annahme RBBS, eigene Berechnung CH1903, Vergleich mit CH1903 Daten

- Messung Annahme CH1903, eigene Berechnung RBBS, Vergleich mit RBBS Daten
- Messung Annahme RBBS, Berechnung CH1903, Rückrechnung RBBS + Vergleich mit Startwert
- Messung Annahme CH1903, Berechnung RBBS, Rückrechnung CH1903 + Vergleich mit Startwert
- Messung Annahme RBBS, Berechnung CH1903 mit MISTRA Service, Vergleich mit eigener Berechnung (von 1.)
- Messung Annahme CH1903, Berechnung RBBS mit MISTRA Service, Vergleich mit eigener Berechnung (von 2.)

Summary

Number of valid records

- 1198 record(s) for Axis.Axis.Axis exported.
- 2144 record(s) for Axis.Axis.AxisSegment exported.
- 12455 record(s) for Axis.Axis.Sector exported.
- 12455 record(s) for Axis.Axis.Materialization exported.
- 12455 record(s) for Axis.Axis.Plate exported.
- 1 record(s) for Axis.AxisCatalogs.RoadOwner exported.
- 2 record(s) for Axis.AxisCatalogs.Database exported.
- 3 record(s) for Axis.AxisCatalogs.AxisType exported.
- 1 record(s) for Axis.AxisCatalogs.AxisStatus exported.
- 13 record(s) for Axis.AxisCatalogs.MarkerType exported.
- 38 record(s) for Axis.AxisCatalogs.SectorMaterializationType exported.
- 9 record(s) for Axis.AxisCatalogs.PlateType exported.
- 4 record(s) for Axis.AxisCatalogs.PlateLabelType exported.
- 7 record(s) for Axis.AxisCatalogs.PlateFixationType exported.
- 13 record(s) for Axis.AxisCatalogs.PlateLocationType exported.
- 2 record(s) for Axis.AxisCatalogs.CaptureMethod exported.

Total: 40800 record(s)

Number of invalid records

Total: 0 record(s)

Number of interlis classes without data

- 0 record(s) for Axis.AxisCatalogs.GeometryType exported.
- 0 record(s) for Axis.Axis.CalPoint exported.
- 0 record(s) for Axis.Axis.CalPointDisp exported.

Total: 3 class(es)

Abb. 9.34 Log-Daten der Achsdatenbeschaffung aus MISTRA (Ausschnitt)

```
<Axis.Axis.Sector TID="GUID:52539f78-b104-6d41-98f2-08c1efae926e"
  OPERATION="INSERT">
  <Sequence>359.3</Sequence>
  <SectorName>304</SectorName>
  <SectorLength>262.5</SectorLength>
  <Km>1.663</Km>
  <MarkerGeometry>
    <COORD>
      <C1>690124.494</C1>
      <C2>209483.179</C2>
      <C3>0.000</C3>
    </COORD>
  </MarkerGeometry>
  <MarkerType>
    <Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef>
      <Reference REF="GUID:d1169bde-89a9-1241-83f0-2c5669cd2a40" />
    </Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef>
  </MarkerType>
  <rAxisSegmentLR REF="GUID:02791365-645d-ec45-8ffb-4606b1c2787d" />
</Axis.Axis.Sector>
```

Abb. 9.35 Ausschnitt aus der Achsdatei in INTERLIS 2 XTF: Objekt der Klasse Sector

Die Achsen der Nationalstrassen stammen aus MISTRA (siehe Abb. 9.34 mit Log-Daten) im INTERLIS2-XML-Format (Ausschnitt mit Objekt der Klasse sector siehe Abb. 9.35,

ausführlicheres Beispiel in Anhang VII.2). Vom dazu passenden Datenmodell in INTERLIS 2 CSL enthält *Abb. 9.36* einen Ausschnitt mit dem INTERLIS 2 Modell der Klasse *sector*. Ein umfangreicheres Beispiel mit 3 wichtigen Klassen siehe Anhang VII.1)

```
!!=====
!! Sector or Reference Point
!!=====
CLASS Sector =
  Sequence: MANDATORY 0.000 .. 1000000.000 [INTERLIS.m]; !! sorting of ref
    !! points on segment: Sequence(1st) = 0; Sequence(2nd) = SectorLength(1st)
  SectorName: MANDATORY TEXT*64; !! name of sector
  SectorLength: MANDATORY 0.000 .. 1000000.000 [INTERLIS.m] !! length of sector
  Km: MANDATORY 0.000 .. 1000.000 [Units.km]; !! kilometer on axis at reference
    !! point (increasing/decreasing value over all segments)
  MarkerGeometry: MANDATORY Coord3; !! planar version of reference point, is
    !! calibrating, is snapped to segment geometry
  MarkerAccuracyHorizontal: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! horizontal accuracy
  MarkerAccuracyVertical: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! vertical accuracy
  MarkerType: Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef; !! type of marker on the road
  MarkerDescription: TEXT*256; !! description of marker
END Sector;
```

Abb. 9.36 Ausschnitt aus dem INTERLIS2-Modell der MISTRA-Achsen: Klasse Sector

Die Algorithmen für die Berechnung der Koordinatentransformationen RBBS → CH1903 und CH1903 → RBBS wurden in Java programmiert. Die entsprechende Klasse heisst *RBBS2CH1903* und hat die 3 Methoden

newAxis: Neue Achse organisieren
transform: Transformation RBBS → CH1903 für einen Punkt
inverseTrafo: Transformation CH1903 → RBBS für einen Punkt

Die Unfalldaten werden beim ersten Programmablauf aus der Datei in eine relationale Datenbank eingelesen. Es steht eine Funktion zur Verfügung, mit der alle Daten unfallweise gelesen werden können:

```
public Iterator<Unfall> listUnfall()
```

Für die Daten wird die folgende Struktur definiert:

```
public class Unfall {.....}
```

Die Achsdaten werden beim ersten Programmablauf aus der Datei in eine relationale Datenbank eingelesen. Es stehen die folgenden Funktionen zur Verfügung, um die ganze Achse, einen einzelnen Sektor oder Segment zu lesen:

```
public ArrayList<AxisSegment> getaxis(String owner, String
  axisname, String positioncode)
public AxisSector getaxisSector(String owner, String axisname,
  String positioncode, String sectorName)
public AxisSegment getaxisSegment(String owner, String axisname,
  String positioncode, String sectorName)
```

Für die Daten werden die folgenden Strukturen definiert:

```
public class AxisSector {.....}
class AxisSegment {.....}
```

Die Detailbeschreibung der Algorithmen in Umgangssprache zusammen mit den verwendeten Formeln findet sich in Anhang IX, das Java-Programm der Transformationen, d.h. die Klasse *RBBS2CH1903* in Anhang VI.

9.3 Tests

9.3.1 RBBS ↔ CH1903 mit konstruiertem Beispiel 1:1000

Um Nebeneffekte zunächst auszuschliessen und um möglichst viele Aspekte der Algorithmen zu überprüfen, wurde auf mm-Papier ein Testbeispiel konstruiert (Abb. 9.37). Die Achslinie hat die Stützpunkte S_0 bis S_8 . Je zwei aufeinanderfolgende Stützpunkte sind verbunden durch eine Strecke (Geradenstück). Testpunkte sind P_0 bis P_{39} . Die Lage des Testpunktes mit RBBS-Koordinaten (u, v) wird markiert mit einem „plus“ +. Die Lage des Testpunktes für die Landeskoordinaten CH1903 (y, x) wird manchmal gekennzeichnet durch ein Kreislein o, nämlich dann, wenn die Lage des Testpunktes in CH1903 verschieden ist von der Lage in RBBS. Das ist der Fall, wenn der Testpunkt (in RBBS- oder CH1903-Koordinaten) im kritischen Bereich eines Achsstützpunktes liegt.

Betrachten wir zuerst den kritischen Winkelbereich W_e beim Stützpunkt S_3 . Jeder Testpunkt in W_e hat zwar CH1903-Koordinaten aber keine RBBS-Koordinaten bezüglich der Achslinie, die aus Strecken (Geradenstücken) besteht. Bei der Transformation CH1903 → RBBS muss also W_e geleert werden, Testpunkte darin, bzw. genauer: Testpunkte im Nachbar-Winkelbereich mit doppeltem Öffnungswinkel wie W_e und symmetrisch zur Winkelhalbierenden h wie W_e sind zu verschieben. Und umgekehrt: Bei der Transformation RBBS → CH1903 ist W_e aufzufüllen mit Punkten aus dem Nachbarwinkelbereich. Die Testpunkte P_4, P_5, P_9 , mit gleichem RBBS-Koordinatenwert $v = 20$ aus dem Nachbar-Winkelbereich von W_e zeigen das Vorgehen des Algorithmus: Der Achsstützpunkt S_3 und die Enden der dort zusammenstossenden Achslien-Strecken werden ersetzt durch einen Kreisbogen mit Zentrum Z_e und Radius r . Testpunkt P_4 auf dem Rand des Nachbarbereichs von W_e bleibt, wo er ist. Hingegen die Testpunkte P_5 und P_9 werden auf einem Kreis vom Radius $2r$ um Z_e im Nachbarbereich verschoben, P_9 nach W_e hinein. Da P_9 (RBBS) auf der Randlinie von W_e liegt, kommt P_9 (CH1903) auf die Winkelhalbierende h zu liegen.

Nun zum andersartigen kritischen Winkelbereich W_d bei Stützpunkt S_2 . Jeder Testpunkt in W_d hat eindeutig CH1903-Koordinaten aber zwei RBBS-Koordinatenpaare entstehend durch Projektion auf die beiden bei S_2 zusammenstossenden Achslienstrecken. Da die Strassenachse in der Realwelt keine Ecken hat, resultiert aus einer Messung immer nur ein RBBS-Koordinatenpaar (u, v) . Transformiert man aber mit Hilfe einer Achslinie, die Ecken hat und aus geraden Verbindungen dieser Ecken besteht, nach CH1903, dann muss man diese Doppelbelegung auseinandernehmen, sonst ist die Rücktransformation CH1903 → RBBS nicht eindeutig. Und umgekehrt: Bei der Transformation RBBS → CH1903 ist die Doppelbelegung wieder herzustellen. Die Testpunkte $P_{14}, P_{15}, P_{16}, P_{17}, P_{18}$ mit gleichem RBBS-Koordinatenwert $v = -15$ zeigen das Vorgehen des Algorithmus. Der Achsstützpunkt S_2 und die Enden der dort zusammenstossenden Achslien-Strecken werden ersetzt durch den Kreisbogen K mit Zentrum Z_d auf der Winkelhalbierenden h . Testpunkt P_{14} auf dem Rand des Winkelbereichs W_d bleibt, wo er ist. Hingegen werden die Testpunkte $P_{15}, P_{16}, P_{17}, P_{18}$ auf einem Parallelkreis zu K um Z_d in die eine Hälfte von W_d (hier oberhalb der Winkelhalbierenden h) verschoben. P_{18} (RBBS) liegt auf der Randlinie von W_d , daher kommt P_{18} (CH1903) auf die Winkelhalbierende h zu liegen.

Die Berechnungsergebnisse der Transformationen RBBS→CH1903→RBBS sind in Abb. 9.38 zusammengefasst, und zwar nur die Transformationen von Testpunkten aus Abb. 9.37, die sich in kritischen Winkelbereichen befinden. Ausgehend von den exakt bekannten RBBS-Werten (u, v) werden die CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) berechnet mit der Methode `RBBS2CH1903.transform`. Die resultierenden CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) wurden unmittelbar anschliessend zur Rücktransformation auf RBBS-Koordinaten der Methode `RBBS2CH1903.inverseTrafo` gefüttert, um die umkehrbare Eindeutigkeit des Transformationspaares mit möglichst geringen Rundungsverlusten zu überprüfen.

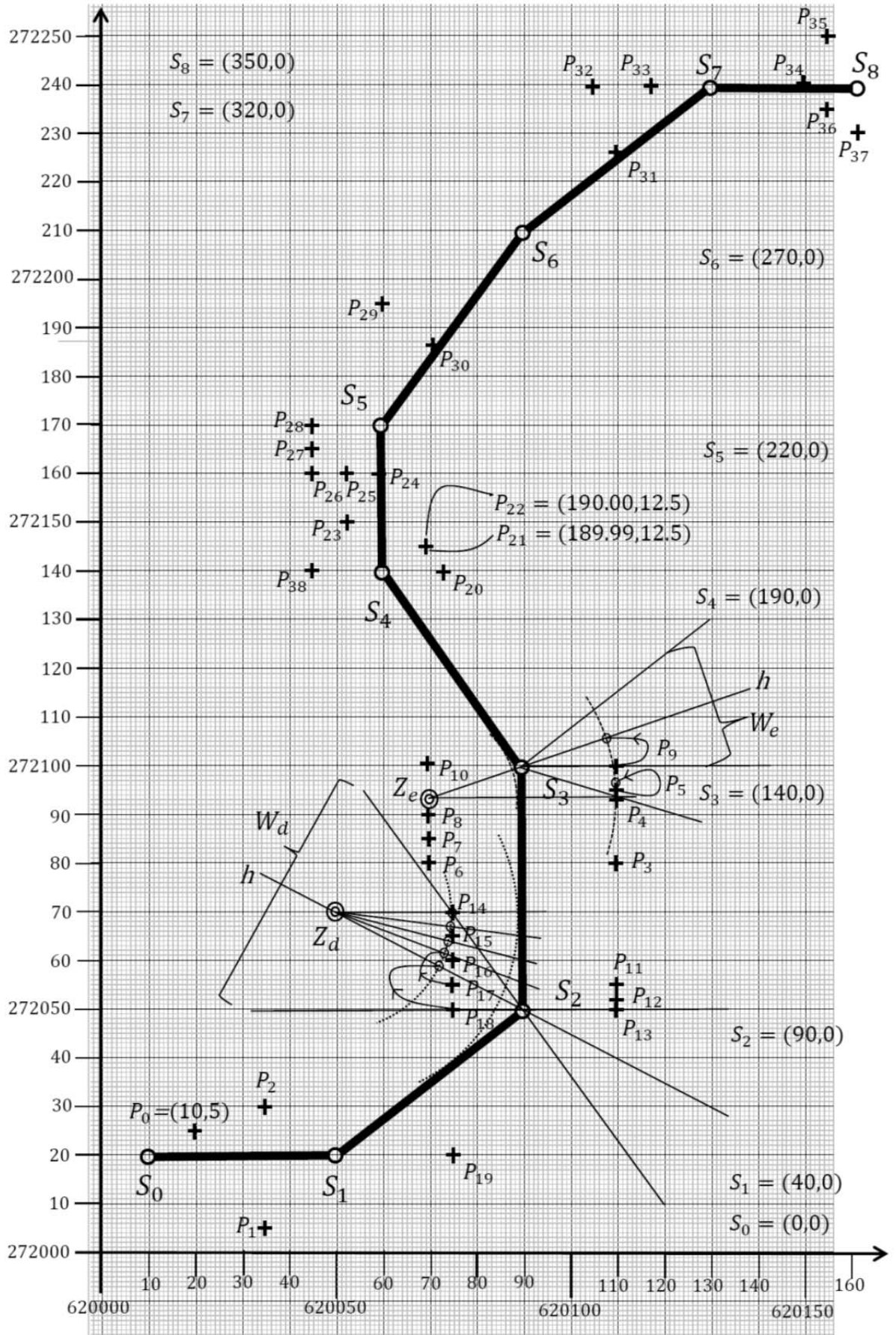


Abb. 9.37 Testdaten Masstab1:1000, Achslinie und transformierte Punkte

Punkt	u/v orig	π_0	/	π_1 Rechnung	u	/	v zurück
P5	135.0	20.0	620109.8618303298	272096.6551525275	135.00000000001464		19.999999999960654
P8	130.0	-20.0	620069.8470933668	272087.7607881519	130.00000000004405		-20.000000000050893
P9	140.0	20.0	620107.947331922	272105.982443974	140.0		19.99999999990894
P10	140.0	-20.0	620068.7170824512	272092.9056941504	140.00000000003683		-20.000000000040355
P11	95.0	20.0	620108.8057000058	272050.29857499857	95.00000000001869		20.000000000030525
P12	92.0	20.0	620107.1390676354	272045.1443729458	91.9999999999937		19.9999999999933
P13	90.0	20.0	620105.77708764	272042.11145618	90.0		20.000000000026155
P15	105.0	-15.0	620074.8069469178	272066.89913163526	104.99999999994763		-15.00000000004722
P16	100.0	-15.0	620074.2535625036	272063.93660937407	99.99999999994634		-15.00000000001302
P17	95.0	-15.0	620073.4082294392	272061.2219139603	94.99999999996515		-15.00000000004214
P18	90.0	-15.0	620072.360679775	272058.8196601125	90.0		-14.999999999989031
P21	189.99	12.5	620073.3034055345	272144.4291974868	189.99000000000545		12.499999999993914
P22	190.0	12.5	620073.301823468	272144.43394115596	189.99999999996317		12.499999999982144
P28	220.0	-15.0	620046.5395010585	272174.48683298053	220.00000000002044		-14.99999999997371
P38	190.0	-15.0	620046.5395010585	272135.51316701947	189.99999999997954		-14.9999999999737

Abb. 9.38 Vergleich Startwert RBBS, Zielwert CH1903 und Rückrechnungswert RBBS der „kritischen“ Testpunkte aus Abb. 9.37.

Wie Abb. 9.38 zeigt, sind die Unterschiede zwischen (u, v) original und (u, v) nach Rückrechnung aus den transformierten CH1903-Koordinaten erst in der 10. Stelle nach dem Dezimalpunkt auszumachen.

9.3.2 RBBS ↔ CH1903 mit Verkehrsunfalldaten und Nationalstrassen Achsen aus MISTRA

Der Vergleich der Abb. 4.5 (Kapitel 4.3: Kommunikationsnetzwerk Szenarien 1, 2, 3) und Abb. 9.33 (Kapitel 9.1: Verwendeter Ausschnitt des Kommunikations-netzwerks) zeigt deutlich, dass uns für konkrete Testrechnungen ausserordentlich be-scheidene Daten aus der Strassenpraxis zur Verfügung standen. Nämlich gerade mal eine Excel-Tabelle mit Verkehrsunfalldaten (Ausschnitt daraus siehe Abb. 9.39) und, von den zur Bearbeitung benötigten Strassenachsen, nur diejenigen der Natio-nalstrassen (siehe dazu Anhang VII: Datenmodell-Ausschnitt in Abschnitt VII.1, Daten-Ausschnitt in Abschnitt VII.2).

Welche der gegebenen Koordinaten, sei es als RBBS-Werte oder als CH1903-Werte, aus Abb. 9.39 „normal“ umgerechnet werden konnten, und welche den Ersatz einer Achs-Ecke durch einen Kreisbogen erforderten, wird beiden Berechnungsergebnissen der Abb. 9.40 und Abb. 9.41 besprochen. Hier zunächst einige allgemeine Vorbemerkungen:

- Wie in Anhang IX (d) beschrieben, wurden die als Excel-Tabelle vorhandenen Unfall-daten in einer Datenbank abgespeichert und waren sequentiell abrufbar.
- Wie in Anhang IX (e) beschrieben, wurden die als ILI2-XML-Datei samt Datenmodell erhaltenen Achslinien der Nationalstrassen ebenfalls als Datenbank organisiert und waren über die Schlüssel Sektornummer, Segment-OID, Achslinien-OID, Richtungstyp zugreifbar.
- Die Praxisdaten haben drei theoretische Probleme zu Tage gefördert, an die wir beim konstruierten Beispiel nicht gedacht hatten:
 - (1) (u, v) -Werte von Verkehrsunfällen mit $u > 0$ bezogen sich auf den letzten Sektor eines Segments, der die Länge 0 hat (gelöst).
 - (2) Ein Stützpunkt der Achslinie ist nicht eine Ecke derselben, sondern ein Punkt, der exakt auf einer Geraden liegt, die beide Achslinienstrecken enthält, die in diesem Punkt zusammenstossen (gelöst).
 - (3) Für einen RBBS-Punkt in kritischem Bereich ist der seitliche Abstand v von der Achslinienstrecke, auf welche sich die Messung bezieht, wesentlich grösser als die Länge dieser Achslinienstrecke, d.h. der RBBS-Punkt befindet sich ausserhalb des Referenzbereiches der Achslinie (gelöst).
- Es gibt Inkonsistenzen in den Verkehrsunfalldaten. Details dazu siehe die Bespre-chung von Abb. 9.40 und Abb. 9.41.
- Nur wenige Koordinatenwerte (Typ RBBS oder CH1903) der Verkehrsunfalldaten waren in kritischen Bereichen.

VU#	E-Koord	N-Koord	RBBS Eig	RBBS Name	RBBS BezPt	RBBS u	RBBS v	Anz Unfälle
55	595731	197656	CH	CH.1124=	0	+357	-6	1
162	602131	203486	CH	CH.N1-	1A	+411	-0	1
329	630859	169095	CH	CH.N8-	16	+0	+0	1
513	611850	179176	CH	CH.N6-	270	+960	-3	1
685	737724	139673	CH	CH.N13=	280	+988	+0	1
721	784337	195704	CH	CH.N28=	280	+947	+0	1
1191	506804	140584	CH	CH.N1-	340	+786	+0	1
1192	504915	137543	CH	CH.N1-	310	+150	+0	1
1616	615457	171794	CH	CH.1766=	0	+40	-6	1
1739	615697	232040	CH	CH.N1+	35A	+530	+5	1
1741	616662	232933	CH	CH.N1+	36A	+855	+4	1
2237	601980	202100	CH	CH.N1-	1660	+551	-3	1
2238	601990	202103	CH	CH.N1-	1660	+561	-3	1
2410	610698	184246	CH	CH.1762=	0	+54	+0	1
2686	757363	190552	CH	CH.A13154=	0	+20	+23	1
2775	532328	158956	CH	CH.N1+	695A	+5294	+0	1
2807	539823	154667	CH	CH.N9+	80	+250	+0	1
2810	541793	153164	CH	CH.N9-	100	+883	+0	1
2851	501826	132934	VD	CH.N1COPP=	E00	+32	-14	1

Abb. 9.39 Testdaten von einigen „normal“ und „kritisch“ lokalisierten Verkehrsunfällen

Die Tabelle von Abb. 9.39 enthält in der ersten Kolonne (VU#) die Zeilennummer des Verkehrsunfalls in der Excel-Tabelle. Dann folgen die originalen CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) des Verkehrsunfall-Punktes P (Kolonne pi0/pi1 orig). Daraus wurden mit der Methode `RBBS2CH1903.inverseTrafo` die RBBS Koordinaten berechnet (Kolonne u v Rechnung). Musste bei dieser Berechnung ein Stützpunkt der Achslinie durch einen Kreisbogen ersetzt werden, dann wurde für diese (u, v) Werte unmittelbar anschliessend die Rücktransformation gestartet nach CH1903 mit der Methode `RBBS2CH1903.transform` und die nächste Kolonne enthält die zurückgerechneten CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) (Kolonne pi0/pi1 zurück). Enthält die Kolonne keinen Eintrag, dann war der Ausgangs-CH1903-Punkt nicht in einem kritischen Bereich und die Transformation nach RBBS war „normal“.

VU#	pi0/pi1 orig	u	v Rechnung	pi0/pi1 zurück	Sektor
55	595731.0 197656.0	346.6489877591685	1.1578157907262574		CH.1124=.0
162	602131.0 203486.0	407.4166895079886	-2.6063736296824263	602131.0 203486.0	CH.N1-.1A
329	630859.0,169095.0	0.0	0.0	Der angegebene Sektor hat 1 StützPt	CH.N8-.16
513	611850.0,179176.0	959.9486090281882	-3.219075267255755		CH.N6-.270
721	784337.0,195704.0	875.4363761599334	-138.56706746979953	784337.0 195704.0	CH.N28=.280
1192	504915.0,137543.0	150.36303228378355	0.14652774873928598		CH.N1-.310
1616	615457.0,171794.0	40.8274508311945	-5.487704558365154	615457.0 171794.0	CH.1766=.0
1741	616662.0,232933.0	854.7371059929069	3.8442891727582396		CH.N1+.36A
2238	601990.0,202103.0	1366.9328101083884	-3.4819685724667724		CH.N1-.1660
2410	610698.0,184246.0	53.95995284070064	0.7520413237221493	610698.0 184246.0	CH.1762=.0
2686	757363.0,190552.0	19.372002850176	23.463739204380968	757363.0 190552.0	CH.A13154=.0
2775	532328.0,158956.0	0.0	0.0	Der angegebene Sektor hat 1 StützPt	CH.N1+.695A
2810	541793.0,153164.0	883.0815853204634	0.008342573433604608		CH.N9-.100
2851	501826.0,132934.0	31.9999999999956	-14.00000000001814	501826.0 132934.0	CH.N1COPP=.E00

Abb. 9.40 Vergleich Startwert CH1903, Zielwert RBBS und Rückrechnungswert CH1903 für die Testdaten von Abb. 9.39

VU#	u/v orig	pi0	/	pi1 Rechnung	u	/	v zurück	Sektor
55	357.0	-6.0	595720.9463391372	197665.82055304424	357.143373		-8.958884	CH.1124=.0
162	411.0	0.0	602134.0098622678	203489.2423798135				CH.N1-.1A
513	960.0	-3.0	611849.7815236418	179175.94611099933				CH.N6-.270
685	988.0	0.0	737723.5898103944	139672.15094802744				CH.N13=.280
721	947.0	0.0	784270.8081336819	195557.3391735788				CH.N28=.280
1191	786.0	0.0	506804.05419457285	140584.24834645752				CH.N1-.340
1616	40.0	-6.0	615456.3352483449	171793.7509966016	40.0		-6.0	CH.1766=.0
1739	530.0	5.0	615696.3835494482	232040.3030896557				CH.N1+.35A
2237	551.0	-3.0	601200.6209491831	202048.9417670899				CH.N1-.1660
2410	54.0	0.0	610698.540960534	184246.52658966917				CH.1762=.0
2686	20.0	23.0	757362.6885074332	190550.63606003497	20.0		23.0	CH.A13154=.0
2775	5294.0	0.0	535845.114	152074.188				CH.N1+.695A
2807	250.0	0.0	539822.6424590693	154667.50100289268				CH.N9+.80
2851	32.0	-14.0	501825.96762628335	132933.8546533387	32.0		-14.0	CH.N1COPP=.E00

Abb. 9.41 Vergleich Startwert RBBS, Zielwert CH1903 und Rückrechnungswert RBBS für die Testdaten von Abb. 9.39

Für verschiedene Verkehrsunfälle befinden sich die Landeskoordinaten (aus Abb. 9.39) in einem kritischen Bereich der Achse mit dem angegebenen Bezugspunkt, nämlich für diejenigen, mit einem Eintrag in der Kolonne **pi0/pi1 zurück** von Abb. 9.40, d.h. für die Nummern 162, 721, 1616, 2410, 2686, 2851. Nicht in einem kritischen Bereich befinden sich hingegen die entsprechenden RBBS-Koordinaten (aus Abb. 9.39) der Nummern 162, 721, 2410, weil es für diese in der Kolonne **u/v zurück** von Abb. 9.41 keinen Eintrag mit Rückrechnung CH1903 → RBBS gibt zur Kontrolle der Hinrechnung RBBS → CH1903. Das deutet auf eine unabhängige Bestimmung von CH1903- und RBBS-Koordinaten hin. Diese Vermutung wird gestützt durch die teilweise grossen Unterschiede zwischen den gegebenen RBBS-Werten aus Abb. 9.39 (Kolonne **u/v orig** von Abb. 9.41) und den berechneten RBBS-Werten (Kolonne **u/v Rechnung** von Abb. 9.40).

Da mit einem Endsektor der Länge 0 eines Achssegments weder in der einen noch in der anderen Richtung transformiert werden kann, ist in diesem Fall ein Fehler zu melden, wie es beim Verkehrsunfall Nr 2775 sowohl in Abb. 9.40 als auch in Abb. 9.41 der Fall ist. Vermutlich handelt es sich dabei um eine falsche Bezugspunktidentifikation. Hingegen muss noch abgeklärt werden, warum bei Nr. 329 nur bei der einen Transformation (CH1903 → RBBS in Abb. 9.40) ein Endsektor der Länge 0 gemeldet wird, nicht aber bei der anderen (RBBS → CH1903 in Abb. 9.41).

Merkwürdig und abzuklären ist auch noch, warum für Nr. 55 zwar die RBBS Koordinaten in kritischem Bereich sind (Abb. 9.41), nicht aber die CH1903 Koordinaten (Abb. 9.40). In Abb. 9.41 stimmt auch die Rückrechnung auf RBBS Koordinaten für Nr. 55 auffallend schlecht mit den Original RBBS-Werten überein verglichen mit den Rückrechnungswerten für die Nr. 1616, 2686, 2851. Der Grund dafür ist ein Problem des Algorithmus, wenn die dem Messpunkt nächstgelegene Strecke (Geradenstück) der Achse eine Länge hat, die wesentlich kleiner ist als der seitliche Abstand v des Messpunkts. Oder mit anderen Worten: Wenn der Messpunkt ausserhalb des Referenzbereichs des kurvilinearen Referenzsystems liegt. Neu liefert der Algorithmus in diesem Fall die Fehlermeldung „Messung ausserhalb des Referenzbereichs“.

9.3.3 RBBS ↔ CH1903 Kontrollrechnungen mit MISTRA-Services

Hier zunächst das Ergebnis der Transformationen CH1903 → RBBS → CH1903 mit Hilfe der MISTRA Services ausgehend von den CH1903-Koordinaten von *Abb. 9.39*:

vu#	pi0,pil orig	u,v Rechnung MISTRA	pi0,pil zurück MISTRA
55	595731.0, 197656.0	146.649, 1.145	595731.0, 197656.0
162	602131.0, 203486.0	405.963, -3.538	602131.0, 203486.0
329	630859.0, 169095.0	0.02, -0.401	630859.0, 169095.0
513	611850.0, 179176.0	959.857, -1.226	611850.0, 179176.0
685	737724.0, 139673.0	987.925, 2.813	737724.0, 139673.0
721	784337.0, 195704.0	283.397, -0.272	784337.0, 195704.0
1191	506804.0, 140584.0	784.773, -0.611	506804.0, 140584.0
1192	504915.0, 137543.0	151.612, -0.244	504915.0, 137543.0
1616	615457.0, 171794.0	79.863, 5.515	615457.0, 171794.0
1739	615697.0, 232040.0	530.626, 6.981	615697.0, 232040.0
1741	616662.0, 232933.0	855.479, 7.062	616662.0, 232933.0
2237	601980.0, 202100.0	355.917, -8.338	601980.0, 202100.0
2238	601990.0, 202103.0	366.35, -8.706	601990.0, 202103.0
2410	610698.0, 184246.0	99.114, 0.751	610697.993, 184246.007
2686	757363.0, 190552.0	74.908, -23.471	757363.0, 190552.0
2775	532328.0, 158956.0	893.784, -0.461	532328.0, 158956.0
2807	539823.0, 154667.0	250.562, 0.251	539823.001, 154667.0
2810	541793.0, 153164.0	883.082, -0.43	541793.0, 153164.0
2851	501826.0, 132934.0	31.77, -14.019	501825.756, 132933.447

Abb. 9.42 Ausgehend vom Startwert CH1903, Berechnung des Zielwerts RBBS (mit MISTRA Services) und daraus wieder den Rückwert (mit MISTRA Services) für die Verkehrsunfalldaten von Abb. 9.39.

Die Rückrechnungen der letzten beiden Kolonnen stimmen genau überein mit den Ausgangswerten der Kolonnen 2 und 3 wie beim `inverseTrafo` Algorithmus von *Abb. 9.40*. Hingegen gibt es bei den berechneten RBBS-Werten teilweise grosse Unterschiede zu den originalen Werten (Kolonne RBBS u und RBBS v in *Abb. 9.39* bzw. Kolonne `u/v orig` in *Abb. 9.41*) und zu den vom `transform` Algorithmus berechneten Werten (Kolonne `u/v Rechnung` in *Abb. 9.40*). Diese Unterschiede sind zu analysieren – allenfalls durch ein Folgeprojekt –, wobei vom MISTRA Service mindestens der jeweils verwendete Bezugspunkt bekannt sein muss.

Ebenso wesentlich erscheint uns die Kontrolle der `transform` Berechnungen durch die MISTRA Services. Das kann nachgeholt werden – allenfalls durch ein Folgeprojekt –, sobald klar ist, wie Achse und Bezugspunkt definiert werden können beim Aufruf des Service.

10 Erreichen der Ziele und Schlussfolgerungen

10.1 Erreichen der Ziele

Die Zielsetzungen gemäss Kapitel 1.4 sind im Folgenden *kursiv* geschrieben.

Es gilt aufzuzeigen, dass und wie das Gesamtmodell für Referenzsysteme und Transformationen in der Praxis eingesetzt ist, das in der Norm SN 671'941 «Strassenverkehrstelematik Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen» definiert ist. Dieses Ziel kann in die folgenden Teilziele 1 bis 4 gegliedert werden:

Teilziel 1

Analyse und präzise Beschreibung praktischer Ausprägungen der im Gesamtmodell der Norm SN 671'941 definierten Typen von Referenzsystemen und Transformationen anhand praxisnaher Datenaustauschprozesse mit Daten aus der Realität.

Um dieses Ziel zu erreichen wurde ein Beispielgebiet mit möglichst vielen praktischen Ausprägungen von Referenzsystemen und Transformationen definiert (Raum Lausanne). Ferner wurden Szenarien festgelegt, die passende Tests ermöglichten. Entsprechend dem zu verifizierenden Gesamtmodell (Abb. 1.1 Seite 11) zeigt die Übersicht von Abb. 4.5 (Seite 31) den Praxisrahmen für 3 Testszenarien:

- Unfälle
- Baustellen
- Verkehrstelematik

Im Beispielgebiet Raum Lausanne sollten entsprechende Meldungen für diese Testszenarien zur Verfügung stehen.

Kapitel 4.4 enthält als Resultate der Analyse die **präzisen Beschreibungen in Umgangssprache der interessierenden Bezugssysteme** der Typen geodätisch („planar“), kurvilinear („linear“) und topologisch.

Ein Bezugssystem hat 3 Elemente:

- Das Gebiet, in welchem die Lage von Realweltobjekten beschrieben werden soll (Referenzbereich).
- Ein „Koordinaten“system zur Beschreibung der Lage (allgemein Referenzsystem)
- Die Materialisierung des „Koordinaten“systems in der Realität, um Messungen der Lage zu ermöglichen (Referenzrahmen).

„Koordinaten“ steht in „“, weil Messwerte in topologischen Referenzsystemen nicht wirklich als Koordinaten bezeichnet werden können (Bsp: Bei Knoten A, zwischen Knoten B und C). Daher auch der allgemeine Begriff Referenzwert für eine Messung in einem Referenzsystem. Interessanterweise mussten wir feststellen, dass nicht für alle Bezugssysteme der Referenzrahmen klar ist.

Die Arbeit konzentrierte sich auf Transformationen von Referenzwerten, Transformationen von Referenzsystemen wurden nicht behandelt. Zu den verschiedenen Kategorien von Transformationen wurden die folgenden Beispiele analysiert:

- geodätisch ↔ kurvilinear CH1903 ↔ NSkm, CH1903 ↔ RBBS
- kurvilinear ↔ topologisch RBBS ↔ GDF (Teleatlas)
- topologisch ↔ geodätisch GDF ↔ CH1903, TMC Location Code ↔ CH1903
- geodätisch ↔ geodätisch WGS84 ↔ CH1903
- kurvilinear ↔ kurvilinear NSkm ↔ RBBS
- topologisch ↔ topologisch GDF (Teleatlas) ↔ GDF (Navtec)

Kapitel 4.5 enthält die **Detailbeschreibungen der Transformationen in Umgangssprache**. Es stellte sich die Frage, welche der Transformationen umkehrbar eindeutig¹

¹ anschaulich: Die Rücktrafo eines transformierten Referenzwerts liefert den Ausgangswert der Hintrafo.

bzw. einseitig umkehrbar² sind. Diese Frage konnte geklärt werden und ist in 4.5 für alle untersuchten Transformationen beantwortet. von besonderem Interesse waren die Transformationen RBBS ↔ CH1903. Dazu war nämlich auch verschiedenen Berichten zu entnehmen (z.B. Anhänge VIII.5, VIII.19, VIII.20), dass diese Transformationen nicht einmal einseitig eindeutig sind, wenn die Achslinie des RBBS nur aus geraden Stücken besteht, was der Normalfall ist. Bei jeder Ecke einer solchen Achslinie gibt es kritische Winkelbereiche, in denen Punkte überhaupt keine kurvilinearen Koordinaten haben oder aber zwei (vgl. Anhang VIII.5, *Abb. VIII.47*). Die Idee, für Punkte in solchen kritischen Bereichen die entsprechende Ecke für die Transformationen hin und zurück durch einen Kreisbogen zu ersetzen, konnte erfolgreich zu einem Algorithmus entwickelt, programmiert und getestet werden. **Ein Hauptresultat lautet: Die Transformationen RBBS ↔ CH1903 sind umkehrbar eindeutig.**

Es gab mehrere Probleme bei diesen Arbeiten:

- Es konnten keine Transformationsalgorithmen gefunden werden ausser für WGS84 ↔ CH1903 und NSkm ↔ RBBS. Damit mussten für alle anderen Transformationen eigene Algorithmen entwickelt werden.
- Es war zunächst vorgesehen, alle Transformationen bis und mit Implementierung als Programm voranzutreiben (Prototyp). Dies war nicht möglich, da der Zeitaufwand für die Realisierung des umkehrbar eindeutigen Algorithmus RBBS ↔ CH1903 bereits so gross war, dass weitere Implementierungen in der Forschungsarbeit nicht abgedeckt werden konnten.
- In der verfügbaren Zeit ist es nicht gelungen, genügend breit gefächerte Daten aus dem Beispielgebiet oder aus einem anderen Gebiet zu erhalten (trotz umfangreich angelegter Anfrage / Suche bei verschiedenen Stellen). Einzig Verkehrsunfalldaten standen zur Verfügung (Vergleiche auch Kapitel 9.1 *Abb. 9.33* mit Kapitel 4.3 *Abb. 4.5*).

Teilziel 2

Aufzeigen der Möglichkeiten und Grenzen des modellbasierten Vorgehens zum Schaffen der datentechnischen Voraussetzungen für automatische Koordinatentransformationen zwischen verschiedenen Referenzsystemen. Dabei sollen die nötigen Algorithmen im modellbasierten Vorgehen bei der semantischen Transformation integriert werden.

Die 5 Phasen des modellbasierten Vorgehens bildeten den Rahmen des Forschungsprojektes und sind auch der rote Faden des Berichts:

- A Realitätsausschnitt: Schweregeicht war die Beschreibung in Umgangssprache von Referenzsystemen und Referenzwert-Transformationen.
- B Konzeptionelle Modellierung: Es wurde ein Vorschlag für neue UML-INTERLIS Sprachelemente ausgearbeitet für die konzeptionelle Modellierung von kurvilinearen und topologischen Referenzsystemen. Diese bewährten sich im kleinen Beispiel Verkehrsunfälle. Ferner wurde das UML-Ablaufdiagramm eingesetzt zur konzeptionellen Beschreibung der programmierten Algorithmen.
- C Automatische Herleitung der Formatbeschreibung aus dem konzeptionellen Datenmodell: Den neuen Sprachelementen entsprechende Erweiterungen des Codierungskapitels 3 des INTERLIS Referenzhandbuchs [18] wurden ausgearbeitet.
- D 1:1 Prozessor zum Umbau proprietärer Format ↔ Standardformat: Fehlt.
- E Einbau der Transformationen in die Semantische Transformation: Fehlt.

Fazit und Bemerkungen:

- Das modellbasierte Vorgehen hat sich erneut bewährt. Die konzeptionelle Beschreibungssprache ist erweiterbar für die neuen Referenzsysteme. Ebenso die Codierungsregeln.
- Die konzeptionelle Beschreibung von Algorithmen mit Hilfe des UML-Ablaufdiagramms vermittelt guten Überblick über diese Algorithmen.
- Es fragt sich dabei, ob dieses UML-Ablaufdiagramm schon vor Programmierung und

² anschaulich: Die soeben formulierte Aussage gilt nur für den Transformationsstart beim einen der beiden beteiligten Referenzsysteme.

Test sinnvoll ist, oder erst als nachträgliche Dokumentation. Denn Überlegungsfehler kommen erst bei der Implementierung zum Vorschein.

- Vorallem aus Daten-Mangel war es nicht sinnvoll, die Phasen D und E umzusetzen (siehe dazu Kapitel 7 und 8).

Teilziel 3

Herstellen des Bezugs zu den internationalen Normen (ISO 14825 GDF, ISO 19111 Coordinate Reference Systems, ISO 19148 Linear Reference Systems, ISO 17572 1,2,3 ITS Location referencing gemäss VSS 671941)

ISO 19111 braucht für die konzeptionelle Beschreibung der geodätischen Referenzsysteme und der Transformationen zwischen diesen je nur eine Klasse (siehe Kapitel 5.1 *Abb. 5.21*). In der UML-INTERLIS Lösung gibt es für jeden Typ Referenzsystem eine Klasse und die Transformationen sind nicht Klassen sondern Beziehungen zwischen den Referenzsystemklassen (siehe Kapitel 5.1 *Abb. 5.20*). Das ist kein Widerspruch, aber **das CH-Modell in UML-INTERLIS ist praxisorientierter und konkreter.**

ISO 19148 unterscheidet die beiden Typen kurvilineare und topologische Referenzsysteme über das sog. Basisobjekt, das sowohl der Realwelt (Strassenachse) als auch der Abstraktion derselben angehören kann (Achslinie bzw. Graph). Während das CH-Modell nur Referenzwerte bezüglich eines Referenzsystems kennt (in ISO 19148 sog. „abstrakte“ Referenzwerte), kommen bei ISO auch „relative“ (z.B. bezüglich eines Trottoirs) und „interpolierte“ Referenzwerte vor. Da für diese beiden Zusatztypen Transformationen auf Referenzwerte bezüglich irgendeines Referenzsystems ausgeschlossen sind, ist der CH-Verzicht darauf vertretbar. Von Transformationen kurvilinearere oder topologischer Referenzwerte ist in ISO 19148 nicht die Rede.

Im Laufe des Projektes zeigte sich der Bedarf, den Zusammenhang mit der EU Forschung zu klären (z.B. Themen ROSATTE [5] und ADASIS [27],[28]). Dies war im Rahmen der Forschungsarbeit aus Zeit- und Budgetgründen nicht möglich.

Teilziel 4

Erarbeiten der Grundlagen für die vorgesehenen Normen 671941-1 und 671941-2.

Der umkehrbar eindeutige Algorithmus RBBS ↔ CH1903 kann normativ festgelegt werden.

10.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Das Gesamtmodell aus SN 671941 ist zu präzisieren durch konkrete Algorithmen für die vorgesehenen Transformationen. Diese Präzisierung sollte allerdings erst stattfinden, wenn alle Transformationen erfolgreich programmiert und getestet sind.
- Für ein Folgeprojekt zur Programmierung (z.B. VSS 2011/713) muss unbedingt sichergestellt sein, dass die benötigten Daten auch wirklich zur Verfügung stehen,
- Es sollte abgeklärt werden, ob die umkehrbar eindeutigen Transformationen RBBS ↔ CH1903 (oder CH1903+) Organisation und Datensicherung von Strassendaten vereinfachen können.
- SN 671941-1: „Konzeptionelles Datenmodell für Transformationen“ enthält sinnvollerweise die in Abschnitt 4.5 „Interessierende Referenzwert-Transformationen“ in Umgangssprache (sog „semantisch“) beschriebenen Algorithmen. Diese sind allerdings zuerst zu programmieren und dann als UML-Ablaufdiagramm darzutellen.
- SN 671941-2: „Einsatz des Gesamtmodells für Referenzsysteme und Transformationen in der Praxis der SVT“ wird zweckmässigerweise ein Nachfolgediagramm des Gesamtmodells (*Abb. 1.1*, Seite 11) enthalten nach dessen Bereinigung gemäss den Teilzielen 1 und 2.

Anhänge

I	Verfügbarkeit der Bezugssysteme	92
I.1	CH1903, CH1903+.....	92
I.2	WGS84.....	92
I.3	RBBS.....	92
I.4	GDF.....	92
I.5	Location Codes	92
I.6	Open Street Map.....	92
II	Verfügbarkeit von Fachdaten.....	93
II.1	Unfälle	93
II.2	Dauerbaustellen	93
II.3	Temporäre Baustellen.....	93
II.4	VT Ausrüstung	93
III	Details zu Grundlegendokumenten.....	94
III.1	ISO 19111 – Spatial Referencing by Coordinates [12].....	94
III.2	ISO 19148 – Location based services - Linear reference systems [13]	97
IV	Details zu den Testszenarien	99
IV.1	Szenario 1: Verkehrsunfall mit Staubildung.....	99
IV.2	Szenario 2: Einrichten einer Dauerbaustelle.....	100
IV.3	Szenario 3: Verkehrsdatenerfassung und Verkehrslagedarstellung	101
V	Details zur Wahl des Beispielgebiets.....	104
V.1	Bezugssysteme.....	104
V.2	Fachdaten	105
V.3	Empfehlung Beispielgebiet.....	106
V.4	Elemente und Verbindungen im Beispielgebiet	107
V.5	Details zu: Verkehrstelematik Systemarchitektur.....	108
V.6	Details zu: Verkehrstelematik Datenflüsse	111
V.7	Verkehrstelematik Datenobjekte und Schnittstellen	111
V.8	Verkehrstelematik Verkehrszähler	113
V.9	Unfälle	113
V.10	Dauerbaustellen	114
V.11	Temporäre Baustellen.....	114
VI	Programme der Transformationen.....	115
VII	Achslinien des RBBS.....	127
VII.1	Konzeptionelles Datenmodell in INTERLIS 2 (Ausschnitt)	127
VII.2	Datenobjekte Im INTERLIS 2 XML Transferformat (Beispiele)	128
VIII	Grundlagentexte und deren Bedeutung für das Forschungsprojekt.....	131
VIII.1	VSS 1999/261 – Architektur und Zeitaspekte von SVT-Daten	131
VIII.2	SN 671941–SVT–Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen[39] ..	131
VIII.3	SN 612031 INTERLIS 2 – Modellierung und Datentransfermethode [18]	131
VIII.4	VSS 1999/10 – SYRROU Système de repérage spatial des données routières.....	131
VIII.5	VSS 2000/362 – AGRAM – Acquisition de la géométrie de référence des axes	131
VIII.6	SN 64091x – Strasseninformationssysteme – Linearer Bezug ([34],[35],[36],[37],[38]).	136
VIII.7	ISO 14825 – ITS – Geographic Data Files (GDF) - Overall data specification [10].....	137
VIII.8	ISO 17572-1, 2, 3 - ITS - Location referencing for geographic databases [11]	137
VIII.9	ISO 19111 – Spatial Referencing by Coordinates [12]	137
VIII.10	ISO 19148 – Location based services - Linear reference systems [13]	138
VIII.11	SN 671951 (Entwurf) – SVT - Funktionale Systemarchitektur.....	139
VIII.12	VSS 2002/706 – NAVAROU –Fahrzeugnavigationsdaten für das SVM [6]	139
VIII.13	VSS 2001/701 – Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen [31].....	139
VIII.14	VSS 2003/901 – Datenverarb. für verkehrsträgerübergreifende Mobilitätssteuerung....	140
VIII.15	Konzept für die Übernahme von Navigationsdaten in MISTRA [23].....	141
VIII.16	VSS 2007/903 – MDaInSVT, modellbasierter Transfer (INTERLIS) in der SVT [7].....	141
VIII.17	MISTRA Datenkatalog www.mistra.ch [1].....	141
VIII.18	EU Forschungsprojekte.....	142
VIII.19	VSS 19/94 - Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und GIS [25].....	142
VIII.20	MISTRA – Systemdesign Web-Services V1.4 [30].....	144

VIII.21	Systemarchitektur Schweiz (SA-CH) und Fachapplik. Verkehrsmanagement (FA VM).	144
IX	Beschreibung der Umsetzung	146
IX.1	newAxis	146
IX.2	transform.....	146
IX.3	inverseTrafo	151
IX.4	Zugriff auf die Unfalldaten	159
IX.5	Zugriff auf die Achsen	159

I Verfügbarkeit der Bezugssysteme

I.1 CH1903, CH1903+

Ganze Schweiz

I.2 WGS84

Ganze Schweiz

I.3 RBBS

Gemäss *Abb. I.1*

I.4 GDF

Gemäss *Abb. I.2*

I.5 Location Codes

Gemäss *Abb. I.3*

I.6 Open Street Map

Wird nicht bearbeitet



Abb. I.1 Verfügbarkeit des RBBS



Abb. I.2 Verfügbarkeit von GDF Daten



Abb. I.3 Verfügbarkeit von Location Codes

II Verfügbarkeit von Fachdaten

II.1 Unfälle

Gemäss folgender Übersichtskarte:

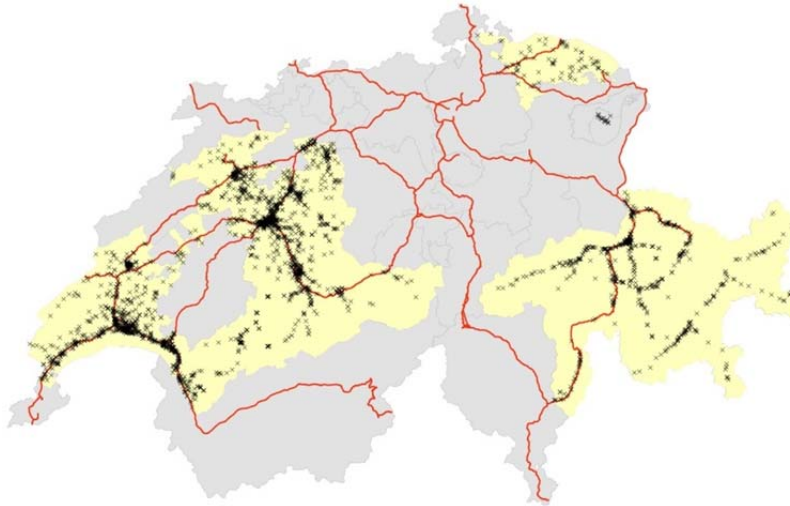


Abb. II.4 Verfügbarkeit von Unfalldaten

II.2 Dauerbaustellen

Gemäss folgender Übersichtskarte



Abb. II.5 Verfügbarkeit von Dauerbaustellen

II.3 Temporäre Baustellen

Siehe Detailbeschreibung des Beispielgebietes in Anhang V.11.

II.4 VT Ausrüstung

Siehe Detailbeschreibung des Beispielgebietes in den Anhängen V.5 bis V.8.

III Details zu Grundlegendokumenten

III.1 ISO 19111 – Spatial Referencing by Coordinates [12]

Dieser ISO Standard definiert ein konzeptionelles Modell für Koordinatensysteme und die Transformation von einem Koordinatensystem in ein anderes.

Die Koordinatensysteme werden in horizontale (2D) und vertikale (1D) unterteilt. Der Zeitaspekt kann als weitere Dimension aufgefasst werden und entsprechend auch als ein 1D Koordinatensystem beschrieben werden.

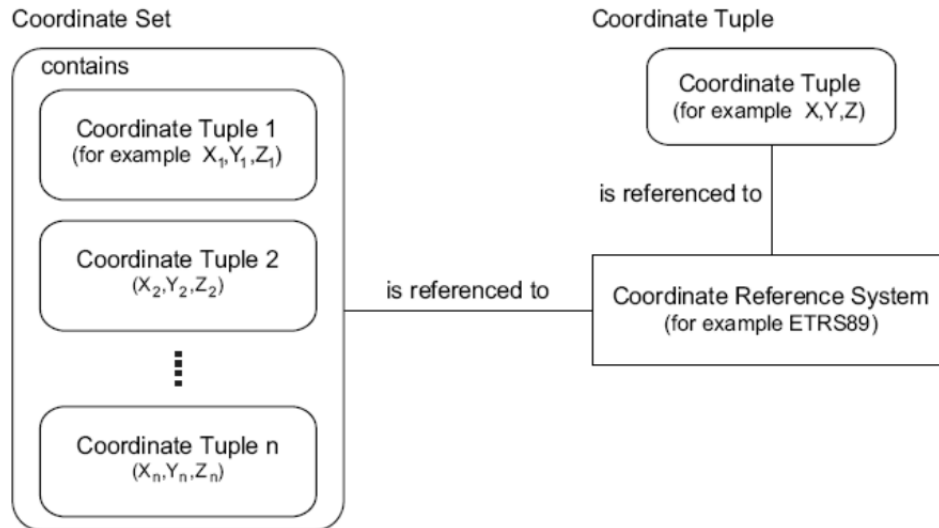


Abb. III.6 Übersicht zu Koordinatenmenge, Koordinatentupel und Referenzsystem

Für die Koordinatentransformation werden zwar Strukturen definiert, um diese zu beschreiben, die eigentliche Semantik der Funktion (die "Mathematik") wird aber nicht definiert.

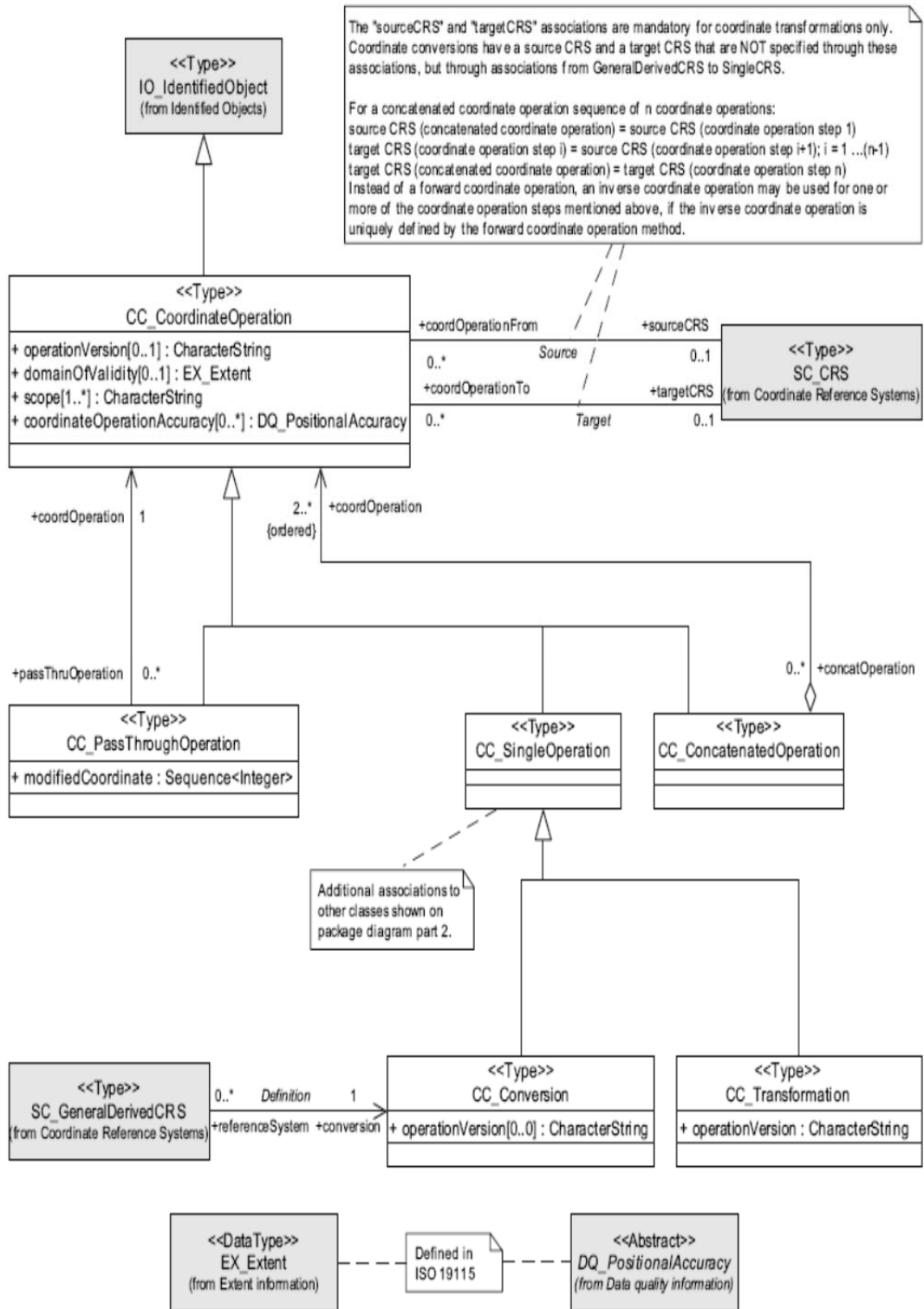


Abb. III.7 UML-Diagramm Transformation (CC_CoordinateOperation) von einem Start-Referenzsystem (SC_CRS, Rolle sourceCRS) nach einem Ziel-Referenzsystem (SC_CRS, Rolle targetCRS) als Beziehung zwischen zwei Klassen.

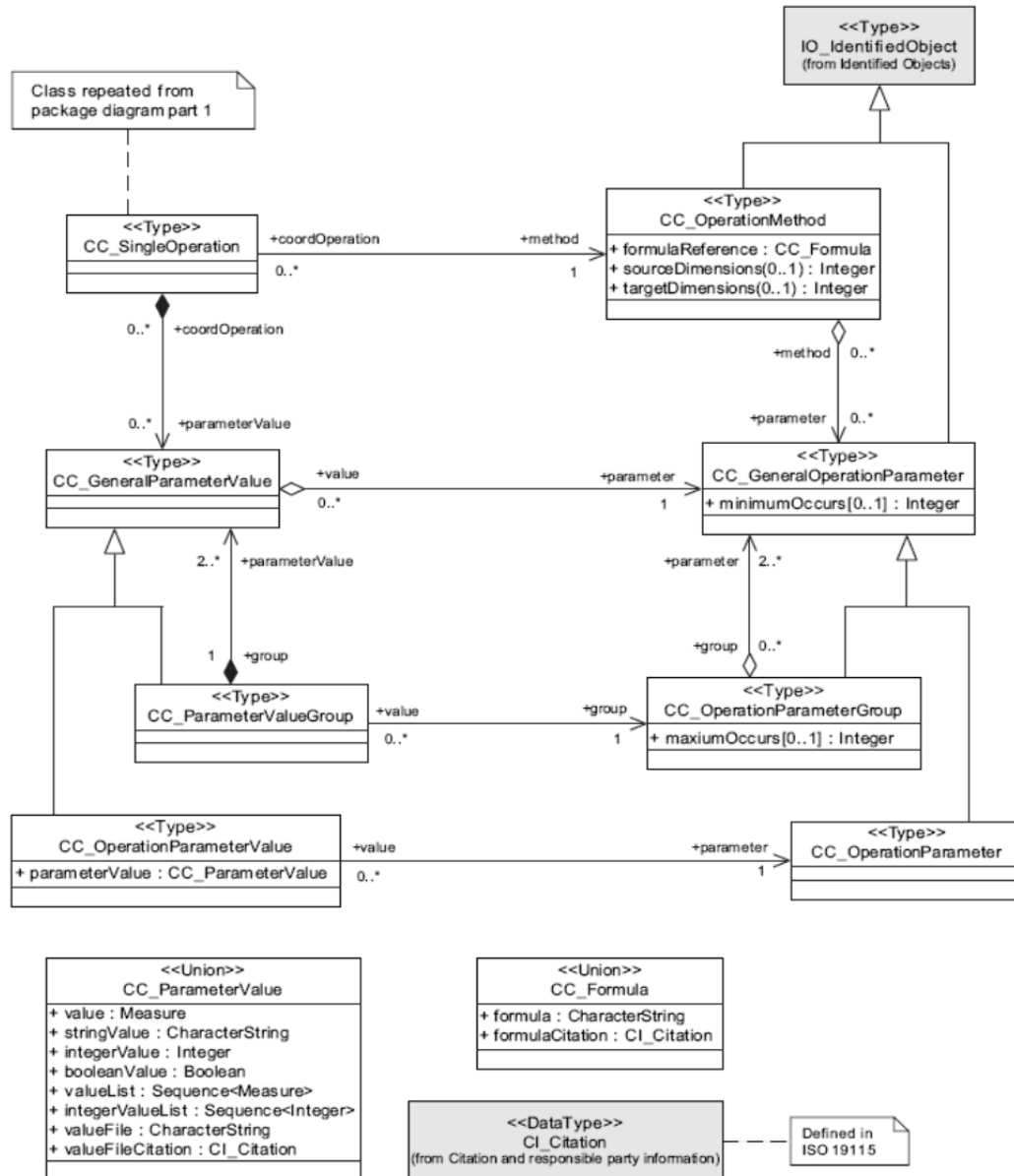


Abb. III.8 Details zum Type CC_SingleOperation

Um die "Mathematik" zu definieren muss (in Abb. III.8) die Klasse CC_OperationMethod spezialisiert werden (z.B. durch eine neue Klasse "Helmertransformaion"). Mit Hilfe der Klasse CC_OperationParameterValue kann die "Mathematik" konfiguriert werden (z.B. für Helmert: Verschiebungsvektor, Maßstabsfaktor und Drehmatrix)

Wichtige Begriffe (Originaldefinitionen):

- coordinate conversion: coordinate operation in which both coordinate reference systems are based on the same datum
- coordinate transformation: coordinate operation in which the two coordinate reference systems are based on different datums
- datum: parameter or set of parameters that define the position of the origin, the scale, and the orientation of a coordinate system
- coordinate reference system: coordinate system which is related to an object by a datum. NOTE For geodetic and vertical datums, the object will be the Earth.
- coordinate system: set of mathematical rules for specifying how coordinates are to be assigned to points

III.2 ISO 19148 – Location based services - Linear reference systems [13]

Dieser ISO Standard definiert ein konzeptionelles Modell für Angabe der Lage durch Referenzierung von einem linienförmigen Basisobjekt, Längslage zum Basisobjekt und optional eine Querlage zum Basisobjekt. Es werden hier also die kurvilieneare Referenzsysteme konzeptionell definiert (mit UML Klassendiagrammen).

Als Basisobjekt sind drei Arten möglich: die Bezeichnung eines Realweltobjektes (z.B. die Autobahn "A1"), eine Linienförmige Geometrie (z.B. eine Folge von Stützpunkte) oder eine topologische Kante (z.B. die Verbindung von Bern nach Zürich).

Die Längslage zum Basisobjekt kann auf drei Arten definiert werden: absolut (z.B. km 5 ab Anfang A1), relativ (z.B. 5km ab Raststätte Grauholz) oder interpoliert (in der Hälfte der A1).

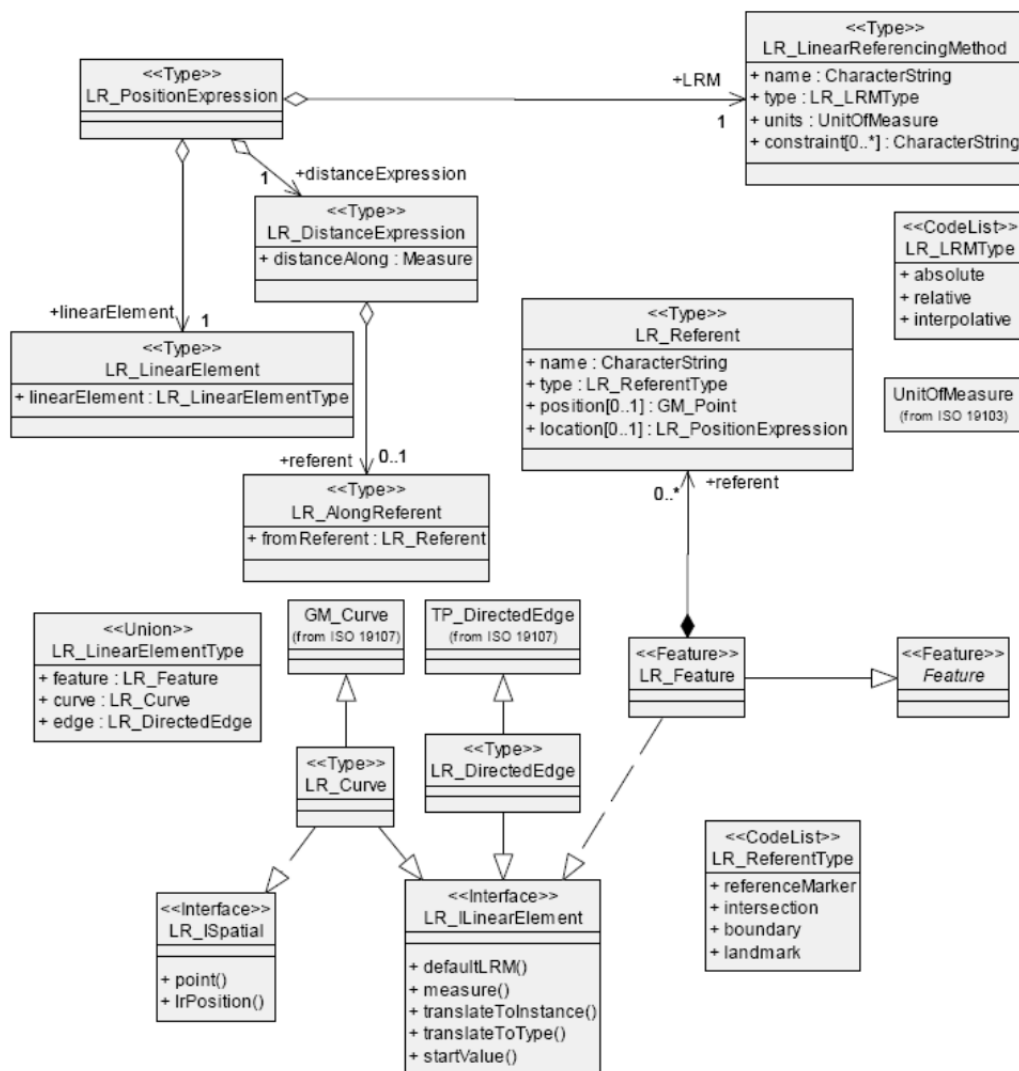


Abb. III.9 UML Diagramm zum kurvilinearen Referenzwert (LR_PositionExpression) und zur Achslinie (LR_Referent) gemäss ISO19148 Linear Referencing

Die Lage als geometrischer Punkt kann nur ermittelt werden (mit Hilfe der Operation LR_IJSpatial.point()), wenn das Bezugsobjekt eine Geometrieangabe (GM_Curve) ist.

Die Querlage zum Basisobjekt kann auf zwei Arten definiert werden: absolut (5m ab Basisobjekt) oder relativ (5 Meter ab Trottoir). Die Definitionen für die Angabe der Querlage sind eine optionale Erweiterung der Basisspezifikation.

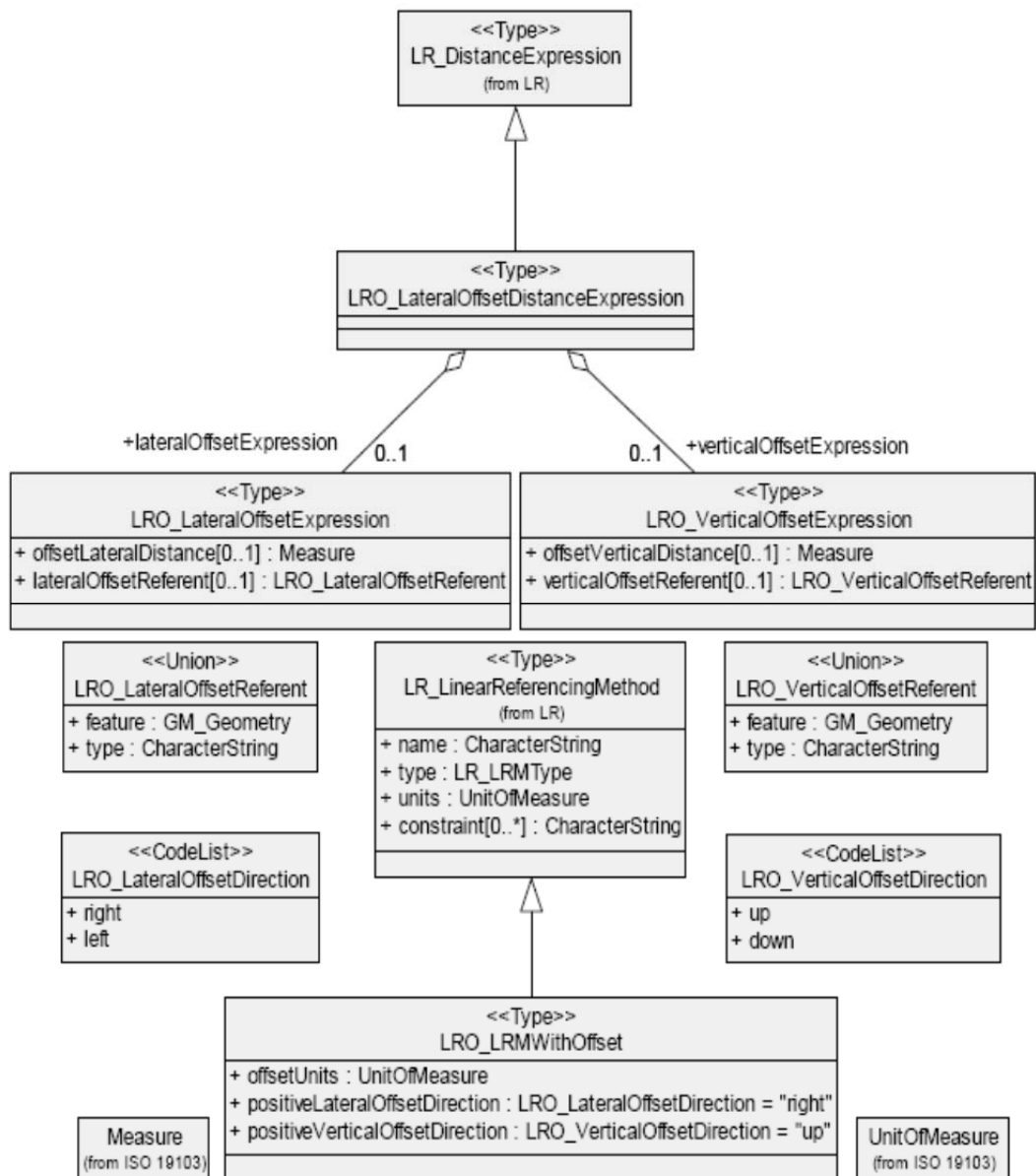


Abb. III.10 UML Diagramm mit Details zu zwei Types aus Abb. III.9, nämlich LR_DistanceExpression und LR_LinearReferencingMethod

Weitere Erweiterungen: Ereignisse (Basisdefinition für Realweltobjekte die einen punktuellen oder streckenartigen Bezug zum Basisobjekt haben und an einem Zeitpunkt oder während einer Zeitdauer stattfinden), Segmentierung (Basisdefinition für Realweltobjekte mit Eigenschaften die sich entlang des Basisobjektes ändern).

Wichtige Begriffe (Originaldefinitionen):

- direct position: position described by a single set of coordinates within a coordinate reference system
- location: identifiable geographic place
- position: data type that describes a point or geometry potentially occupied by an object or person
- linearly referenced location: location whose position is specified using linear referencing
- linear referencing: specification of a location relative to a linear element as a measurement along (and optionally offset from) that element
- linear element: 1-dimensional object that serves as the axis along which linear referencing is performed

IV Details zu den Testszenarien

IV.1 Szenario 1: Verkehrsunfall mit Staubildung

(A) Verbale Beschreibung

Auf der A9 Verzweigung Villars-Sainte ereignet sich ein Verkehrsunfall mit Staubildung, welcher sich auch auf die A1 auswirkt. Infolge dessen muss die Verbindungsrampe von der A1 auf die A9 (von Genf kommend Richtung Vevey vollständig gesperrt werden. Die Dauer der Sperrung ist ca. 3 Stunden. Die Verkehrsteilnehmer werden über Radio und WTA über die Sperrung und Umleitung informiert. Für den Einsatz am Ereignisort werden neben den Blaulichtorganisationen Polizei, Feuerwehr und Sanität auch noch ein Abschleppdienst sowie der Umweltfachberater aufgeboten (auslaufendes Gefahrgut respektive dessen Einleitung in die Entwässerung muss beurteilt werden.).

(B) Ereigniskette und Informationsflüsse Szenario 1

Abb. IV.11 Szenario 1, Übersicht Schnittstellen

Ereignis/Aktivität	Akteure, Systeme, Schnittstellen
Unfall melden	Verkehrsteilnehmer
	Telefon
Alarmzentrale bietet Polizei auf	Operator Alarmzentrale
	System X
Unfall an Verkehrsleitzentrale melden	Polizei
	Funk, Telefon
Verkehrsmeldung wird aufgenommen	VLZ-Operator
	GEWI-TIC
Verkehrsteilnehmer werden informiert	Viasuisse
	GEWI-TIC
Unfallstatistik	Kt.Polizei ev. Stadtpolizei
	Unfallprot., Tablett, RBBS

(C) Datenaustauschschnittstellen Szenario 1

Abb. IV.12 Schnittstelle ①: Eingabe Unfallmeldung in Journal Alarmzentrale

	Sender (Verkehrsteilnehmer, Telefon)	Empfänger (Alarmzentrale, Journal)
Fachinhalt	Unfallmeldung	Unfallmeldung / Journaleintrag
Raumbezug	Positionierung gemäss Angabe Verkehrsteilnehmer: km-Angabe oder „zwischen 2 Ein-/Ausfahrten der Autobahn Ax“	NSkm
Format	Unstrukturierte Meldung ohne Format	Strukturierte Eingabe in Journal - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit +

Abb. IV.13 Schnittstelle ②: Unfall an Verkehrsleitzentrale melden

	Sender (Polizei, Funk, Telefon)	Empfänger (VLZ, GEWI-TIC)
Fachinhalt	Unfallmeldung	Verkehrsmeldung (Unfall)
Raumbezug	NSkm	LK und TMC-Location-Code
Transform.	kurvilinear → (4.5.1 nicht einseitig umkehrbar) → geodätisch (kartesisch) → (4.5.6 nicht einseitig umkehrbar) → topologisch	
Format	Strukturierte Eingabe in Journal - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit + Funkmeldung oder Telefon	Strukturierte Eingabe in GEWI-TIC - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit Format GEWI.TIC, Ereigniscode „Unfall“

Abb. IV.14 Schnittstelle ③: Verkehrsteilnehmer informieren

	Sender (Viasuisse, GEWI-TIC)	Empfänger (Radiogerät)
Fachinhalt	Verkehrsmeldung (Unfall), codiert	Verkehrsmeldung (Unfall) Text
Raumbezug	TMC-Location	Ortsnamen
Transform.	topologisch → (4.5.11 umkehrbar eindeutig) → topologisch	
Format	TIC-File, XML oder Text (Mail) - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit Format = ② Empfänger	Textmeldung auf Radio - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit

Abb. IV.15 Schnittstelle ④: Unfallprotokoll für Unfallstatistik erstellen

	Sender (Kantons- od. Stadt-Polizei)	Empfänger (MISTRA VUM)
Fachinhalt	Journaleintrag (wie Sender ②)	Unfallstatistik
Raumbezug	RBBS	LK (und RBBS)
Transform.	kurvilinear → (4.5.7 umkehrbar eindeutig) → geodätisch (kartesisch)	
Format	Strukturierte Eingabe von - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit + in Journal (Formular) oder mit Tablett (Tabletformat)	MISTRA VUM Format - Ereignis (Unfall), Ort, Datum, Zeit

IV.2 Szenario 2: Einrichten einer Dauerbaustelle

(A) Verbale Beschreibung

Die langfristige Planung von Baustellen erfolgt in den Filialen aufgrund der durchzuführenden Projekte. Die Erfassung einer Baustelle erfolgt durch die Filiale / Gebietseinheiten (GE) in TESI. Die erfassten Baustellen werden anschliessend durch die Verkehrsmanagement-Zentrale Schweiz, VMZ-CH in Emmenbrücke, einer verkehrstechnischen Prüfung unterzogen. Bei einer Freigabe erfolgt die Erfassung einer Verkehrsmeldung in GEWI-TIC, welche via Verkehrsinformationszentrale Schweiz, VIZ-CH (Viasuisse), an die Radiostationen versendet wird. Die Baustellen werden zur Information für die Schwertransporte zudem auf der durch das ASTRA betriebenen Internetplattform truckinfo.ch publiziert. Die VMZ-CH setzt für jede Dauerbaustelle noch entsprechende Verkehrsmanagement-Massnahmen (Aktivierung von Verkehrsmanagementplänen, VMP) um, mit welchen die Verkehrsteilnehmer über Wechseltextanzeigen informiert werden.

(B) Ereigniskette und Informationsflüsse Szenario 2

Abb. IV.16 Szenario 2, Übersicht Schnittstellen

Ereignis/Aktivität	Akteure, Systeme, Schnittstellen		
Projekte erfassen	Filialen		
	MISTRA		
Baustelle planen	Filiale/Gebietseinheit		
	MS Excel od. andere		
Erfassung/Freigabe einer Baustelle	Filiale/Gebietseinheit	①	VMZ-CH
	TESI (NSkm)		GEWI-TIC (TMC LC) & LK
Verkehrsmeldung erfassen	VMZ-CH		VIZ-CH
	GEWI-TIC (TMC LC) & LK		GEWI-TIC (TMC LC) ohne LK
Verkehrsteilnehmer informieren	VIZ-CH	②	Radiostationen
	GEWI-TIC (TMC Loc.Codes)		Ortsnamen
	VIZ-CH	③	Verkehrsteilnehmer
	GEWI-TIC (TMC Loc.Codes)		RDS-TMC
VM-Massnahme umsetzen	VIZ-CH	④	Navigationsgerät
	GEWI-TIC (TMC Loc.Codes)		GDF
VM-Massnahme umsetzen	VMZ-CH		Wechseltextanzeige
	Knopfdruck		Direkte Verbindung

(C) Datenaustauschschnittstellen Szenario 2

Abb. IV.17 Schnittstelle ①: Eingabe einer Baustelle in TESI und dazu Verkehrsmeldung

	Sender (Filiale/GE, TESI)	Empfänger (VMZ-CH, GEWI-TIC)
Fachinhalt	Baustelle	Verkehrsmeldung (Baustelle)
Raumbezug	NSkm	LK und TMC-Location Codes
Transform.	kurvilinear → (4.5.1 nicht einseitig umkehrbar) → kartesisch → (4.5.6 nicht einseitig umkehrbar) → topologisch	
Format	Strukturierte Eingabe in TESI-Tool - Art der Baustelle (Dauerbaust., Tagesbaustelle, Nachtbaustelle) - Ort der Baustelle: NS Nr, Beginn (km), Ende (km), Länge (km) - Datum, Zeit Beginn und Ende TESI proprietäres Austauschformat	Strukturierte Eingabe in GEWI-TIC - Ereignis (Baustelle) - Ort (TMC-Loc) Anfang und Ende - Zeitpunkt (Datum, Zeit) und Dauer (Zeit) GEWI-TIC proprietäres Austauschformat

Abb. IV.18 Schnittstelle ②: Verkehrsteilnehmer über Radiostationen informieren

	Sender (VIZ-CH, GEWI-TIC)	Empfänger (Radiostationen)
Fachinhalt	Verkehrsmeldung (Baustelle), codiert	Verkehrsmeldung (Baustelle) Text
Raumbezug	TMC-Location	Ortsnamen
Transform.	topologisch → (4.5.11 umkehrbar eindeutig) → Ortsnamen	
Format	Datenstruktur & Format: ① Empfänger	Daten wie ① Empfänger, Radiomeldung

Abb. IV.19 Schnittstelle ③: Verkehrsteilnehmer über Radio im Fahrzeug informieren

	Sender (VIZ-CH, GEWI-TIC)	Empfänger (Radiogerät im Auto)
Fachinhalt	Verkehrsmeldg (Baustelle), codiert	Meldung (Baustelle), Text & Geoinfo
Raumbezug	TMC-Location	LK bzw. WGS84 (?)
Transform.	topologisch → (4.5.5 einseitig umkehrbar) → geodätisch (kartesisch) → (4.5.10 umkehrbar eindeutig) → geodätisch (ellipsoidisch)	
Format	Datenstruktur und Format wie ① Empfänger (?)	Textmeldung auf Radio (?) räumliche Ausdehnung auf Display (?)

Abb. IV.20 Schnittstelle ④: Verkehrsteilnehmer über Navigationssystem informieren

	Sender (VIZ-CH, GEWI-TIC)	Empfänger (Navigationsgerät)
Fachinhalt	Verkehrsmeldg (Baustelle), codiert	Verkehrsmeldung (Baustelle), Grafik
Raumbezug	TMC-Loc, bzw. LK	GDF
Transform.	topologisch → (4.5.10 einseitig umkehrbar) → geodätisch (kartesisch) → (4.5.4 nicht einseitig umkehrbar) → topologisch	
Format	Datenstruktur und Format wie ① Empfänger	Karte auf Navigationsgerät mit Grafik der Baustelle, GDF-Format

Abb. IV.21 Schnittstelle ⑤: VM-Massnahme umsetzen (?)

	Sender (KLZ, VIS)	Empfänger (Wechseltext)
Fachinhalt	Schaltbefehl	Schaltbefehl, Anzeige mit Inhalt
Raumbezug	LK	NSkm (?)
Transform.	kartesisch → (4.5.2 nicht einseitig umkehrbar) → kurvilinear	
Format	(?????)	(?????)

IV.3 Szenario 3: Verkehrsdatenerfassung und Verkehrslagedarstellung

(A) Verbale Beschreibung

Die Verkehrsdatenerfassung von Online-Daten auf dem Nationalstrassennetz dient als Grundlage für eine globale Verkehrslagedarstellung, welche ihrerseits dem grossräumigen Verkehrsmanagement dient. Der Zweck ist, den Verkehr landesweit oder auf

Ebene einer Region zu lenken, oder auf einer längeren Achse zu leiten. Als Online-Daten sind Daten zu verstehen, die unmittelbar nach deren Erfassung zur Verfügung stehen und für das Verkehrsmanagement eingesetzt werden.

Die Verkehrslageabbildung in Echtzeit wird durch die Verkehrsmanagement-Zentrale Schweiz (VMZ-CH) in Emmenbrücke erstellt. Sie umfasst das Netz der Nationalstrassen sowie die Strassen die für das Verkehrsmanagement der Nationalstrassen von Bedeutung sind. Sämtliche Verkehrsdaten, die auf dem Netz erhoben werden, werden durch die VMZ-CH aufbereitet und bereitgestellt. Basierend auf den beiden Kenngrössen Dichte und mittlere Geschwindigkeit werden die folgenden Verkehrszustände errechnet und auf der Verkehrslage dargestellt im System GEWI/POLYDROM.

- Freier Verkehr (grün)
- Dichter Verkehr (gelb)
- Zählflussender Verkehr (Orange)
- Stau (inklusive stockender Verkehr) (rot)

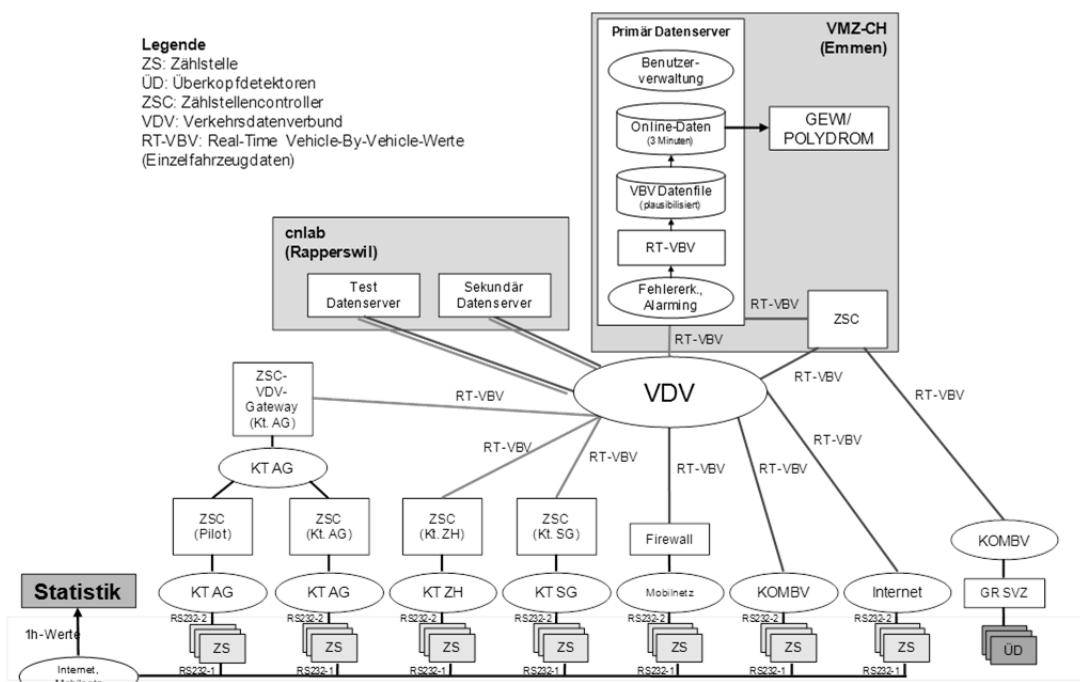


Abb. IV.22 Schema der Datenübertragung von der Zählstelle bis in GEWI/POLYDROM

(B) Ereigniskette und Informationsflüsse Szenario 3

Abb. IV.23 Szenario 3, Übersicht der Schnittstellen

Ereignis/Aktivität	Akteure, Systeme, Schnittstellen
Erfassung Einzelfahrzeugdaten	Zählstelle
	Marksmann660
Plausibilisierung, Aggregation, Berechnung Verkehrszustand	VMZ-CH
	cnlab-Datenserver
Darstellung der Verkehrslage	VMZ-CH
	GEWI/POLYDROM
Staumeldung	Viasuisse (z.B. nach Meldung Verkehrsteilnehmer)
	TMC Location Code in GEWITIC Meldung (Stau)
GDF-Nachträge von TomTom	TomTom (Teleatlas)
	GDF

(C) Datenaustauschschnittstellen Szenario 3

Abb. IV.24 Schnittstelle ①: Erfassung Einzelfahrzeugdaten

	Sender (Zählstelle, Marksmann660)	Empfänger (VMZ-CH, cnlab-Server)
Fachinhalt	Einzelfahrzeugdaten	Einzelfahrzeugdaten
Raumbezug	Zählstellencode	LK
Transform.	Zählst.code → (enlab-Tabelle, umkehrbar eindeutig) → geodätisch (kartesisch)	
Format	Datenformat gem. Kap. V.8.1 - Zählstellencode, Messung	Datenformat (?) - Zählstellenort in LK, Messung

Abb. IV.25 Schnittstelle ②: Plausibilisierung, Aggregation und Übertragung der Online-Daten, Berechnung des Verkehrszustandes

	Sender VMZ-CH, cnlab-Datenserver	Empfänger VMZ-CH, GEWI/POLYDROM
Fachinhalt	Aggregierte Online-Daten	Verkehrszustand in Messabschnitt (mit TMC-Link = Paar von TMC-Locs)
Raumbezug	LK	TMC-Link
Transform.	geodätisch (kartesisch) → (4.5.6 nicht einseitig umkehrbar) → topologisch	
Format	Messungen, ev. aggregiert - Zählstellenorte LK, Messungen ? - Abschnittgrenzen LK, aggr. Werte ? Datenformat ?	Verkehrszustand - Messabschnitt als TMC-Link ? - Verkehrszustand als Aufzähltyp ? Format GEWI / Polydrom?, wo definiert?

Abb. IV.26 Schnittstelle ③: Darstellung der Verkehrslage

	Sender GEWI/POLYDROM)	Empfänger Web-Client für Verkehrslagedarstellung
Fachinhalt	Verkehrszustand	Verkehrslage Nationalstrassennetz
Raumbezug	TMC-Link	LK bzw. WGS84
Transform.	topologisch → (4.5.5 einseitig umkehrbar) → geodätisch (kartesisch) → 4.5.10 (umkehrbar eindeutig) → geodätisch (ellipsoidisch)	
Format	Verkehrszustand Wie Schnittstelle ② Empfänger (?)	Verkehrslage CH mit Übersichtskarte des NSnetzes in Google Earth, Farbcode IV.3 (A), Format KML (?)

Abb. IV.27 Schnittstelle ④: Staumeldung

	Sender Viasuisse, z.B. Meldg von Verkehrsteilnehmer	Empfänger VMZ-CH, Radiostationen)
Fachinhalt	Staumeldung	Verkehrslage
Raumbezug	TMC Location Code	LK und RBBS
Transform.	topologisch → (4.5.5 einseitig umkehrbar) → geodätisch (kartesisch) → (4.5.8 umkehrbar eindeutig) → kurvilinear (RBBS)	
Format	GEWI-TIC, csv-Format	INTERLIS 2 XML

Abb. IV.28 Schnittstelle ⑤: GDF-Nachträge von Teleatlas

	Sender (TomTom – Teleatlas)	Empfänger (MISTRA Basissyst.)
Fachinhalt	Achslinienkorrekturen und Attribute	Korrekt. Basisdaten Achslinien & Attrib.
Raumbezug	GDF	LK und RBBS
Transform.	topologisch → (4.5.3 einseitig umkehrbar durch Inset SA mit FME progr.) → geodätisch (kartesisch) → (4.5.8 umkehrbar eindeutig) → kurvilinear (RBBS)	
Format	GDF ASCII (?)	INTERLIS 2 XML inkrementell

V Details zur Wahl des Beispielgebiets

Für die Auswahl des Beispielgebiets werden folgende Kriterien herangezogen:

- Verfügbarkeit Daten Bezugssystem: Es sollen alle typischen und oft genutzten Bezugssysteme verfügbar sein.
- Verfügbarkeit Fachdaten: Es sollen Fachdaten verwendet werden, die in unterschiedlichen Bezugssystemen lokalisiert sind.
- Vielfältigkeit der Daten am gleichen Ort: Die unterschiedlichen Fachdaten müssen für den gleichen Raumausschnitt zur Verfügung stehen.
- Ausschnitt: Betrachtet werden soll ein Ausschnitt der Hochleistungsstrassen, wenn möglich mit einem Anschlussbereich oder einer Verzweigung. Restliche Formatierung wie normaler Text

V.1 Bezugssysteme

Neben anderen interessierenden Eigenschaften muss die Lage der Realweltobjekte (bzw. ihrer Abstraktionen) digital beschrieben werden können. Dazu dienen die sog. Bezugssysteme, wovon es verschiedene Typen gibt. Ein Bezugssystem besteht aus einem Referenzbereich, einem Referenzsystem (Koordinatensystem) und einem Referenzrahmen. Die Beschreibung der Lage erfolgt durch die Referenzwerte (die Koordinaten) bezogen aufs Referenzsystem (Koordinatensystem) des Bezugssystems. Grundlagen zu den Bezugssystemen siehe Kapitel 2, interessierende Bezugssysteme siehe Kapitel 4.4.

Gemäss SN 671'941 werden drei Haupttypen von Bezugssystemen unterschieden:

- Geodätische (oder „planare“) Bezugssysteme (z.B. dasjenige mit dem Koordinatensystem CH1903)
- Kurvilineare (oder „lineare“) Bezugssysteme (z.B. dasjenige mit dem Räumlichen Basisbezugssystem RBBS)
- Topologische Bezugssysteme (z.B. dasjenige mit dem Referenzsystem GDF)

Die kurvilinearen und topologischen Bezugssysteme kommen meist in kombinierter Form mit geodätischen Bezugssystemen vor. Das heisst, es ist in der Regel eine Abbildung in ein geodätisches Bezugssystem möglich, so dass diese Daten u.a. auf einer Karte dargestellt werden können. Von den oben genannten Bezugssystemen werden in der amtlichen Vermessung (AV) und im Topologischen Landschaftsmodell (TLM) der Swisstopo die geodätischen Bezugssysteme (CH1903 oder CH1903+) verwendet.

In der Übersichtstabelle *Abb. V.29* sind die für den Forschungsauftrag betrachteten Bezugssysteme und die verfügbaren Daten kurz beschrieben.

In MISTRA stehen von den in *Abb. V.29* genannten Bezugssystemen das RBBS, die NSkm sowie das CH1903 zur Verfügung. Die Umrechnung zwischen RBBS und CH1903 ist direkt im Kern von MISTRA integriert und steht auch als Webdienst zur Verfügung. Bezüglich NSkm besteht zurzeit noch eine Übergangslösung, welche in naher Zukunft durch eine einheitliche Definition der NSkm in der ganzen Schweiz abgelöst werden soll. Weiter wird es zukünftig auch zusätzliche Möglichkeiten geben, die Umrechnung in andere Sichten (zum Beispiel Tunnelkilometer) durchzuführen.

Abb. V.29 Typen, Nutzung und Verfügbarkeit der Bezugssysteme

Bezugssystem	Typ, Grund- nutzen	Nutzung	Verfügbar
1. CH1903, CH1903+	geodätisch, 4.4.1.1, 4.4.1.2, 5.5.2 swisstopo	Referenzwerte sind die Y-, X- und Z-Koordinate	Ganze Schweiz
2. WGS84	geodätisch 4.4.1.3, swisstopo	Referenzwerte sind X-, Y- und h-Koordinate oder Längen- und Breitengrad sowie ellipsoide Höhe.	Ganze Welt
3. RBBS	kurvilinear 4.4.2.1, 5.5.3, SN 640912	Referenzwerte sind Achse, Bezugspunkt, Distanz zum Bezugspunkt und Querlage zur Achse. Jede Achse hat zudem eine Geometrie im geodätischen Bezugssystem CH1903. Damit können alle kurvilinear referenzierten Daten in das geodätische Bezugssystem umgerechnet werden (und umgekehrt).	Ganze Schweiz Nationalstrassen, Kantonsstrassen und alle Gemeindestrassen
4. NSkm	kurvilinear 4.4.2.2, 5.5.3, ASTRA	Referenzwerte wie RBBS, Achsen z.T. übereinstimmend. Jede Achse hat zudem eine Geometrie im geodätischen Bezugssystem CH1903.	Ganze Schweiz Nationalstrassen
5. GDF	topologisch 4.4.3.1, 5.5.4, ISO 14825	Referenzwerte sind die Identifikationen von Abschnitt und/oder Knoten. Jede Kante und jeder Knoten hat zudem eine Geometrie im geodätischen Bezugssystem WGS84. Damit sind alle Daten auch ins geodätische Bezugssystem umzurechnen.	Flächendeckend ganze Schweiz (ganze Welt)
6. Location Code	topologisch 4.4.3.2, 5.5.4, ISO 17572	Referenzwerte sind die Identifikationen von Abschnitt und/oder Knoten. Hauptanwendung ist die Referenzierung von Verkehrsmeldungen. Die Knoten verfügen (in der Schweiz) als Eigenschaft über Koordinaten im geodätischen WGS84 Bezugssystem. Damit lassen sich diese Daten u.a. auch kartografisch darstellen.	Flächendeckend ganze Schweiz (ganze Welt), aber nur wichtigste Strassen
7. Open Street Map	topologisch 4.4.3.4, WGS 84	Referenzwerte sind die Identifikationen von Abschnitt und/oder Knoten.	Ganze Schweiz (ganze Welt), allerdings nicht überall vollständig.

V.2 Fachdaten

Wie schon bei MDATrafo [7] hatten wir Probleme mit der Beschaffung von Originaldaten (Beispiel: Baustellendaten bei der Eingabe in TESI oder in einem proprietären TESI Format). Trotz Kontakten von R.Rüegg und D. Tschopp mit der VZ Emmen war es nicht möglich zu Daten zu kommen, auch nicht zu Daten ausserhalb des Beispielgebiets.

Für die Fachdaten werden die Verfügbarkeit Unfalldaten, Baustellen und Verkehrstelematikausrüstung geprüft. Diese sind von der Lokalisierung unterschiedlich und decken somit den Grossteil der zu erwartenden Transformationsfälle ab.

Abb. V.30 Unfälle (SN 640947)

Beschreibung	Jeder Unfall in der Schweiz wird als Einzelunfall erfasst und in der Fachapplikation MISTRA Unfall gespeichert. Neben dem Unfallort sind auch Angaben über die beteiligten Fahrzeuge und Personen verfügbar (Details siehe Anhang V.9).
Raumbezug	Jeder Unfall wird mit Landeskoordinaten im CH1903 erfasst. Zusätzlich wird jeder Unfall auch im RBBS lokalisiert. Dies ist für bestimmte Auswertungen (Unfallabschnitte) zwingend nötig. Weiter sind auch Ortsangaben wie Strasse/Hausnummer möglich.
Verfügbarkeit	Die Unfalldatenbank ist beim ASTRA im Aufbau. Ab 1.1.2011 werden sämtliche Unfälle der Schweiz in dieser Datenbank erfasst. Das Bild im Anhang II.1 zeigt die verfügbaren Unfälle im Zeitraum Januar bis April 2010: Kantone VD, BE, GR.

Abb. V.31 Dauerbaustellen (SN 640944, SN 640945)

Beschreibung	Alle aktiven und bereits geplanten Baustellen der Nationalstrassen werden in STRADA-DB/Joker erfasst. Neben den Referenzwerten werden einige wenige zusätzliche Attribute erfasst, z.B. zeitliche Gültigkeit und ob der Verkehr durch diese Baustelle behindert wird. Details siehe Anhang V.10.
Raumbezug	Kurvilineares Bezugssystem des RBBS. Zusätzlich können auch Angaben zu gebräuchlicher Nationalstrassen-Kilometrierung gemacht werden.
Verfügbarkeit	Auf den Nationalstrassen für die ganze Schweiz. Karte siehe Anhang II.2

Abb. V.32 Temporäre Baustellen (SN 640944, SN 640945)

Beschreibung	Für die Planung der temporären Baustellen wurde durch das ASTRA in den letzten Wochen das Tool TESI (Temporäre Signalisation) schweizweit eingeführt.
Raumbezug	Die Erfassung der Baustellen geschieht über die gebräuchliche Angabe von Nationalstrassenbezeichnung, Nationalstrassenabschnitt, Ausfahrten, Fahrtrichtung, Anschlüssen und Kilometrierung. Intern verwendet das Tool eine eigene Nummerierung der Baustellen mit einer sogenannten GEWI-Nr. Details siehe Anhang V.11.
Verfügbarkeit	Auf den Nationalstrassen für die ganze Schweiz.

Abb. V.33 VT-Ausrüstung (ASTRA Dokument: Système de repérage et d'identification du matériel électronique)

Beschreibung	VT-Ausrüstung ist schweizweit auf dem Nationalstrassennetz in unterschiedlicher Ausprägung vorhanden. Abhängig vom gewählten Beispielgebiet sind weitere detaillierte Abklärungen notwendig (Detailbeispiel siehe Anhang V.8).
Raumbezug	Für eine einheitliche strukturelle Sicht und Kennzeichnung auf dem Schweizer Nationalstrassennetz liegt seitens des ASTRA eine Richtlinie für ein Anlagenkennzeichnungssystem AKS-CH vor (siehe Anhang V.7.1). Dabei werden die Referenzwerte der VT-Ausrüstung in MISTRA mit einer der folgenden Methoden bestimmt: <ul style="list-style-type: none"> • Entweder explizit mit einem kurvilinearen Bezugssystem (RBBS) oder einem geodätischen Bezugssystem (Landeskoordinaten) oder • durch Anhängen an Fachobjekte mit Referenzwerten, wie Räume in Zentralen, Kabinen, Schränke und Regale. <p>Die Referenzwerte müssen die Aufstellungsorte der VT-Ausrüstung im Fahrraum und in den Zentralen in hinreichender Feinheit und in praxisorientierter Form beschreiben können. MISTRA (=KUBA) Infrastrukturobjekte, wie Tunnels und Brücken, müssen dazu hierarchisch weiter durch Fachobjekte aufgliedert werden, welche die Referenzwerte liefern.</p>
Verfügbarkeit	Auf den Nationalstrassen für die ganze Schweiz.

V.3 Empfehlung Beispielgebiet

Aufgrund der verfügbaren Daten wird das Beispielgebiet im Raum Lausanne gewählt und zwar so, dass die auf der N1 und N9 bei Lausanne startende respektive endende Verkehrstelematikausrüstung vollständig berücksichtigt wird. In diesem Gebiet stehen sämtliche betrachteten Bezugssysteme zur Verfügung, ebenso sind von allen betrachteten Fachinformationen echte Daten verfügbar.

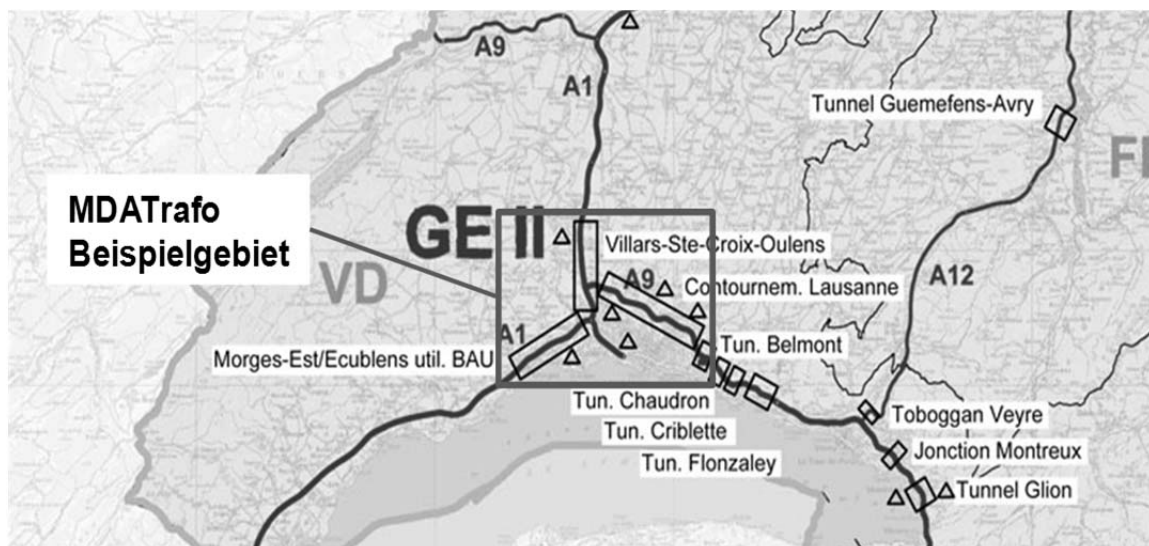


Abb. V.34 Beispielgebiet auf N1 und N9

In den folgenden Kapiteln werden die Elemente und Verbindungen der Verkehrstelematikausrüstung im Beispielgebiet beschrieben.

V.4 Elemente und Verbindungen im Beispielgebiet

V.4.1 VT-Verkehrssteuerung

Im Beispielgebiet sind die folgenden Verkehrssysteme vorhanden:

- A1 - VBS Morges-Ecublens, Anlage seit Januar 2010 in Betrieb
- A1 - VBS Villars-Ste-Croix - Oulens, Anlage im Bau, Inbetriebsetzung 2010
- A9 - VBS Umfahrung Lausanne, Anlage in Planung

Die Anlagen bestehen aus Signalisationsmittel von folgenden Typen:

- Wechseltextanzeigen (WTA)
- Gefahrensignalisation (VLS-G)
- Geschwindigkeitssignalisation (VLS-H)
- Vorschriftssignalisation (VLS-V)
- Wechselwegweisung (WWW)
- Fahrstreifenlichtsignale (FLS)

Die Referenzwerte dieser Anlagen und deren Teile sind die gebräuchlichen Angaben von Nationalstrassenbezeichnung, Nationalstrassenabschnitt, Ausfahrten, Fahrtrichtung, Anschlüssen und Kilometrierung. Für die Kommunikation werden Datenpunkte definiert, welche über eine AKS-Codierung eindeutige Referenzwerte sicherstellen.

V.4.2 VT-Video

Im Rahmen eines ASTRA-Projektes wurden die Videodaten in die Systeme der Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) in Emmen integriert. Für die Visualisierung der Standorte der Videokameras wurden diese auf einer Karte positioniert (Zusammenarbeit mit Swisstopo). Hierzu wurden Landeskoordinaten für die einzelnen Standorte berechnet. Zusätzlich existiert eine Darstellung der Standorte basierend auf Google Maps mittels einer Beschreibung in KML (Keyhole Markup Language). KML ist ein XML- Dateiformat zum Speichern geografischer Elemente wie z. B. Punkte, Linien, Bilder, Polygone.



Abb. V.35 Standorte Videokameras im Beispielgebiet

V.4.3 VT-Verkehrszähler

Die Verkehrszählung im Beispielgebiet erfolgt über Messstellen des Kantons VD (kantonale Messstellen) und des ASTRA (nationale Messstellen). Die kantonalen Messstellen sind grösstenteils Überkopf-Verkehrsdetektoren, welche in die VBS integriert sind und dort über entsprechende Algorithmen automatische regionale und lokale Stauwarnung berechnen. Die Daten der kantonalen und nationalen Messstellen werden zudem auch zu Statistikzwecken verwendet.

Die kantonalen Messstellen haben die gebräuchlichen Angaben von Nationalstrassenbezeichnung, Nationalstrassenabschnitt, Ausfahrten, Fahrtrichtung, Anschlüssen und Kilometrierung als Referenzwerte. Die nationalen Messstellen des ASTRA sind in einem Messstellenverzeichnis aufgeführt und haben Landeskoordinaten.

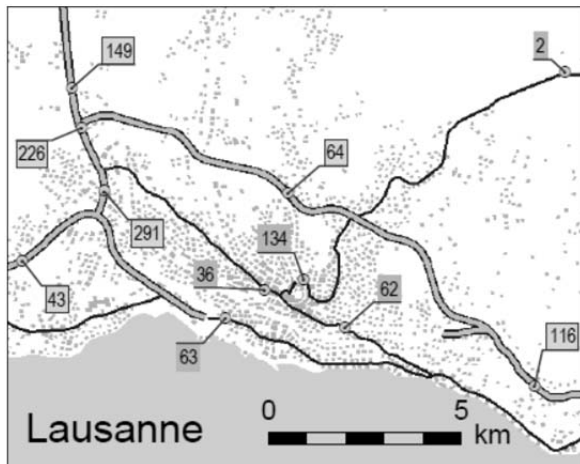


Abb. V.36 ASTRA-Messstellen im Raum Lausanne

Abb. V.37 Liste der ASTRA-Messstellen im Raum Lausanne

Zählstellen-Nr.	Zählstellen-Bezeichnung	Strasse	Koord. Ost	Koord. West
43	Preverenges (AR)	A1	531160	153570
64	Cont. De Lausanne	A9	538074	155288
149	Mex (AR)	A1	532454	158072
226	Crissier (AR)	A1	532721	157017
291	Renens (AR)	A1	533308	155358

V.4.4 Baustellen von ASTRA Filialen oder Gebietseinheiten

Dauerbaustellen und temporäre Baustellen sind gemäss den im Anhang V.2 beschriebenen Bezugssystemen vorhanden.

V.4.5 Unfalldaten von Notrufsäule oder Telefon

Die Unfalldaten sind gemäss den im Anhang V.2 beschriebenen Bezugssystemen vorhanden.

V.5 Details zu: Verkehrstelematik Systemarchitektur

Das Autobahnnetz des Kanton Waadt ist in 4 Zonen („zones“) untergeteilt (Rennaz, Bursins, Yverdon und Blécherette). Die 4 Zonen müssen unabhängig von deren Leitzentralen („centre de conduite“) aus, oder aus der Zentrale in Blécherette kontrolliert werden können. Jede Zone besteht aus einem oder mehreren Sektoren („secteurs“). Ein Sektor kann entweder ein Tunnel, ein Abschnitt offener Strecke, oder eine Kombination von beiden sein. In den Sektoren befinden sich Ausrüstungen/Anlagen („installations d'équipement“), die alle zu einer Nutzungsdomäne („domaine d'exploitation“) gehören. Eine Ausrüstung kann eine Nutzungsdomäne haben, die geographisch nicht auf einen Teil eines Sektors beschränkt ist, sondern eine ganze Zone abdeckt.

Die geographische Verteilung der Prozesse und deren Autonomiebedarf auferlegen ein verteiltes Informatiksystem. Um das System verwalten zu können gibt es deshalb auf jeder Ebene ein zugeordnetes System. Auf der Ebene des Kantons ist das Informatiksystem die „Gestion Générale“ (GG); für die Zonen sind es die „Gestion de Zone“ (GZ); für die Sektoren sind es die „Gestion de Secteurs“ (GS); und für die Domäne sind es die „Controleurs de Tête“ (CT). Für jedes System wurden klare und strenge Rollen definiert, um eine hierarchische Zusammenarbeit zu ermöglichen. Diese dezentrali-

sierte Struktur gewährleistet eine Kontinuität des Gesamtbetriebs bei einer Störung. Falls eine Störung unten in der Hierarchie erfolgt, gehen Betriebsfunktionen verloren. Falls eine Störung oben in der Hierarchie erfolgt, sind die Verwaltungsfunktionen betroffen. Das System ist nur blockiert wenn Störungen gleichzeitig auf allen Ebenen erfolgen. *Abb. V.38, Abb. V.39* und *Abb. V.40* sind schematische Pläne der Netzwerkachitektur in den verschiedenen Zonen (um die Lesbarkeit zu verbessern wurde der Plan in drei Schemas untergeteilt). Die einzelnen Verwaltungssysteme werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

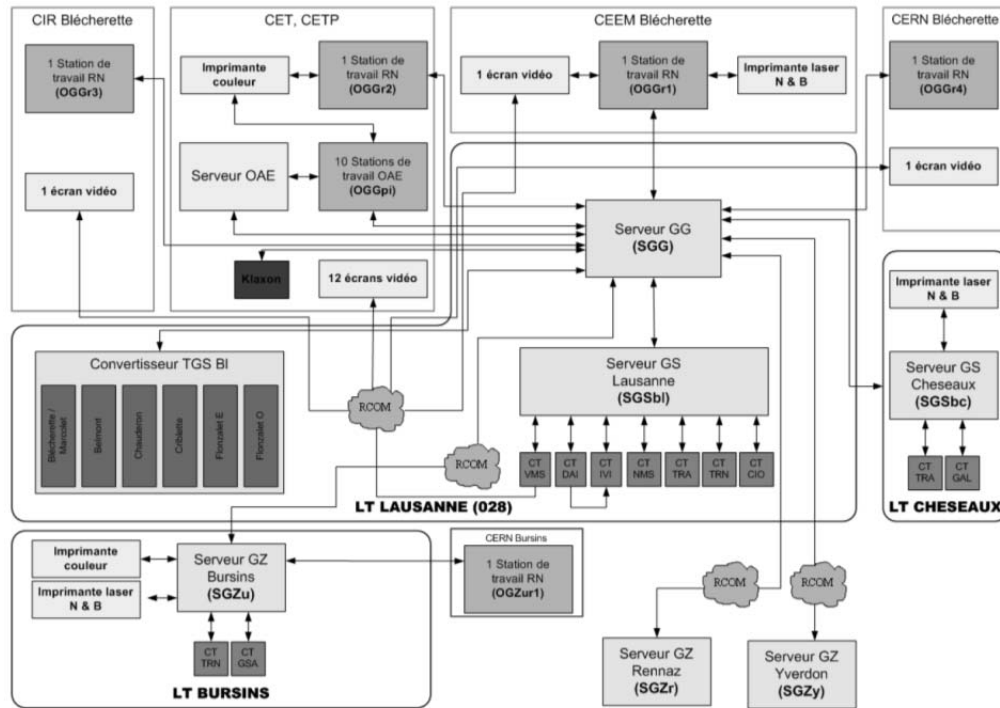


Abb. V.38 Zone Blécherette (SGG)

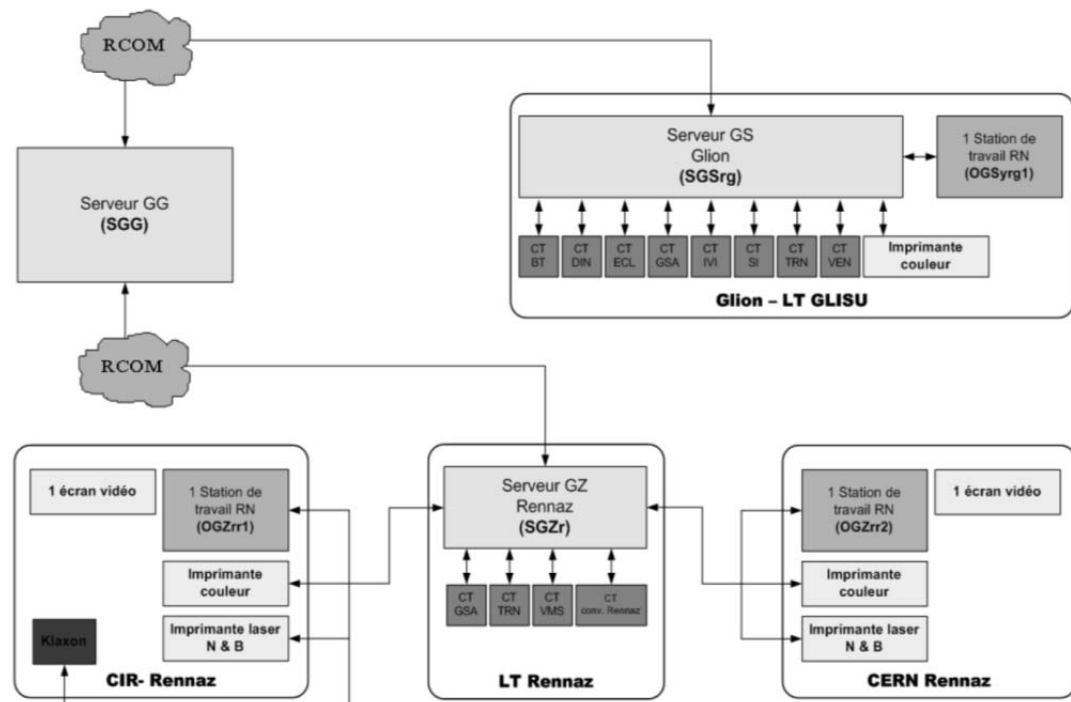


Abb. V.39 Zone Yverdon (SGZY)

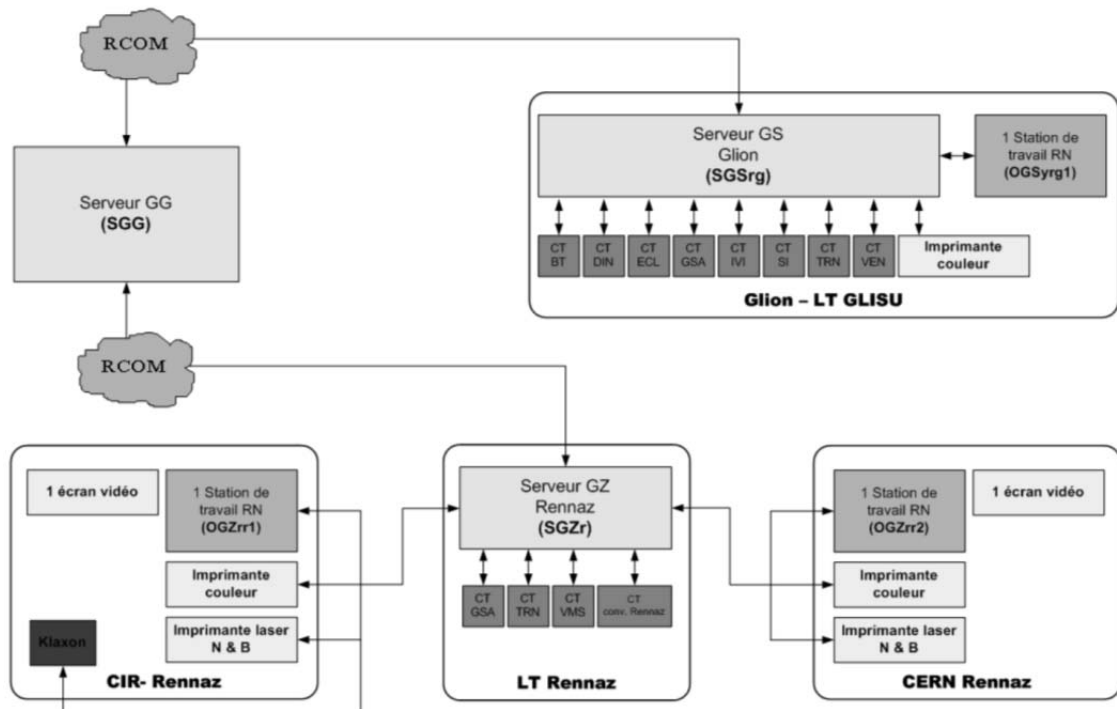


Abb. V.40 Zone Rennaz

V.5.1 Gesamtverwaltung (GG)

Die Gesamtverwaltung befindet sich in der Zentrale in Blécherette. Die Operateure können von der Zentrale aus das gesamte Autobahnnetz des Kantons verwalten. Von Blécherette aus können die untergeordneten Zonen (Rennaz, Yverdon, Bursins und Blécherette) zentralisiert verwaltet werden. Die GG ermöglicht allgemein die Verwaltung des Verkehrs, der Tunnels, und die technische Verwaltung aller Elektromechanischen Ausrüstungen entlang den Autobahnen A1, A5, A9, A12 und A9b im Kanton Waadt. Die GG speichert die Daten auf ihrer Ebene, sowie die Daten aus den GZ und GS Ebenen.

V.5.2 Zonenverwaltung (GZ)

Die Zonenverwaltungen befinden sich in den Zentralen Rennaz, Yverdon und Bursins und ermöglichen die Verwaltung aller Anlagen im Einflussbereich. Aus geographischen Gründen wird die Zone Blécherette direkt vom GG aus gesteuert. Die GZ ermöglicht allgemein die Verwaltung des Verkehrs, der Tunnels, und die technische Verwaltung aller Elektromechanischen Ausrüstungen in der zugeordneten Zone. Sie speichert die Daten auf seiner und den unteren Ebenen, um einen unabhängigen Betrieb jederzeit zu ermöglichen.

V.5.3 Sektorverwaltung (GS)

Die Sektorverwaltung ermöglicht die Verwaltung aller angebotenen Anlagen. Sie ist einer GZ untergeordnet und enthält alle notwendigen Elemente für die Betreuung des Sektors. Im normalen Betrieb koordiniert sie die Informationsflüsse zwischen den verschiedenen CT, sowie zwischen den CT und der GZ, und den CT und der GG. Sie speichert die Daten die im Notfall (oder bei einem Unterbruch der Verbindungen mit der GG oder GZ) notwendig sind und übersteht die Notfälle (Brand, usw.) indem sie den Betrieb des Sektors auch ohne externe Befehle gewährleistet. Die GS ermöglicht allgemein die Verwaltung des Verkehrs, der Tunnels, und die technische Verwaltung aller Elektromechanischen Ausrüstungen im zugeordneten Sektor.

V.5.4 Kopfrechner (CT)

Der Kopfrechner wird so benannt weil er der „Kopf“ einer Ausrüstung/Anlage ist. Er ist seiner GS direkt untergeordnet. Er enthält alle notwendigen Elemente für die Betreuung und Steuerung der entsprechenden Ausrüstung. Die Struktur der Anlage hängt von der

Komplexität der Ausrüstung ab. Eine Anlage kann einen Automat (AT) oder untergeordneten Rechner (CS) beinhalten. Die Anlagen verwalten die zugeordneten Funktionen unabhängig. Der CT ist das Hauptelement der gesteuerten Anlage. Er wird so nahe wie möglich an der Anlage installiert (z.B. im Tunnel). Er handelt die manuellen Befehle, die technischen Alarme, die Verkehrsalarne und die Statusänderungen auf der Ebene der gesamten Anlage. Falls die Kommunikation mit dem GS unterbrochen ist, werden die letzten empfangenen Befehle weiterdurchgeführt. Für die Kommunikation mit der Anlage werden spezifische Protokolle verwendet. Die CT bilden eine spezialisierte „Konzentratorebene“, die Daten sammelt und der GS weiterleitet mit dem SGE/CT Protokoll. Die CT leiten Echtzeitdaten an die Verwaltungssysteme (SGE) mit Hilfe des TCP Protokoll weiter. Der CT speichert den Status aller untergeordneten Ausrüstungen in einer Echtzeitdatenbank und meldet dem SGE jede Statusänderung. Dieser Hauptinformationsfluss bildet der Datenerfassungsfluss. Um eine Statusänderung zu detektieren wird die Anlage periodisch abgefragt oder beauftragt, periodische Meldungen an den CT zu schicken.

V.6 Details zu: Verkehrstelematik Datenflüsse

Die Art der Kommunikation zwischen den Rechner hängt von der Distanz ab. Aus Sicht der Verwaltungssysteme kann die GG mit deren GZ und mit allen GS kommunizieren. Die GZ müssen die Möglichkeit haben, mit der GG, sowie mit deren GS zu kommunizieren. Die GS können mit deren GZ und mit der GG kommunizieren. Auf diese Weise können sogar beim Ausfall einer GZ, die untergeordneten Sektoren von der GG aus verwaltet werden.

Die Kommunikationen zwischen den Benutzer GS_GZ, GZ_GG und GS_GG erfolgen über ein durchsichtiges Datennetz (RCOM) das IP-basiert ist. Die Bandbreite beträgt 100Mb/s. Der Nachrichtaustausch ist auf einer Middleware basiert (Smartsocket von Tibco).

Die Datenaustausche zwischen den CT und den GS sind TCP/IP basiert, und erfolgen über ein „Local Area Network“ (LAN). Auf der „Transport“ Ebene wird ein proprietä-res Protokoll der Steria verwendet (Texpro).

In der GG werden alle Meldungen gespeichert. Die Meldungen zu und von der GG gehören zu vier Klassen:

- „changement_alarne“: Alarm (Kommunikationsunterbruch, Störungen, usw.)
- „changement_alerte“: Warnung (Stau, Stehendes Fahrzeug, usw.)
- „changement_commande“: Befehl (Anlage ein/aus, Beleuchtung anpassen, usw.)
- „changement_etat“: Status (Status Verkehr, Status Geschwindigkeitsgrenze, usw.)

V.7 Verkehrstelematik Datenobjekte und Schnittstellen

V.7.1 AKS Kodierung

Der AKS Code besteht aus drei Blöcken, die Informationen betreffend die Lokalisierung, den Typ usw. enthalten. Jede elektromechanische Anlage auf der Strasse oder in einem Unterhaltsgebäude wird mit einem AKS Code identifiziert. Der erste Block bestimmt die Anlage zu der das Objekt gehört. Der zweite Block definiert den Ort, wo sich das Objekt befindet. Der dritte Block definiert den Namen des Objektes. Für jeden Block gibt es ein Präfix im AKS Code.

Die Präfixe sind folgendermassen definiert:

- Block 1: „=“ (Anlage)
- Block 2: „+“ (Ort)
- Block 3: „-“ (Name)

Es gibt vier mögliche Ortsbeschreibungsarten. Der Ort wird anders beschrieben, wenn sich das Objekt auf einer Strasse, auf einer Kreuzung, in einem Lokal oder irgendwo anders (weder auf einer Strasse, noch in einem Lokal) befindet. Wenn sich das Objekt auf einer Strasse befindet, sieht die Ortsbeschreibung z.B. folgendermassen aus:

- Strassenname („Axe routier“, max 7)_Kilometrierung(„Kilométrage“,max 5)_Nummer („Numero de l'élément“)

Eine detaillierte Beschreibung des AKS kann im Dokument “Système de repérage et d'identification du matériel électromécanique“ gefunden werden.

V.7.2 Objektklassen

Im ÜLS System wird für jedes Objekt auf der Strecke eine „Klasse“ definiert. Die Struktur einer Klasse sieht folgendermassen aus:

- „Libellé Classe“: Name der Klasse
- „Classe“: Kürzel der Klasse
- „Sous-classe“: Unterklasse

Zu jeder Klasse gehören auch noch Attribute. Die Haupteigenschaften eines Attributens sind folgendermassen definiert:

- „Type d'attribut“: Attributstyp
- „Attribut“: Kürzel des Attributes
- „Libellé d'attribut“: Name des Attributes
- „Prio“: Priorität

Für gewisse Attribute werden dazu auch noch mögliche Werte definiert. Für jeden Wert wird ein „Libellé Valeur“ (Name des Wertes) definiert. *Abb. V.41* zeigt die Klassendefinition einer Messkamera.

	Classe	Sous-classe	Type d'Attribut	Libellé Attribut	Prio	Cmd	Maintenue	Type Cmd	Free Cmd	Cle de supervision	Conf. Operateur	Val	Libellé Valeur	Criticité	TA Attribut
992	U	Caméra de dét.	cad	4											
993	U			TK ada	présence alarme	0	0			abcepti					
994	U			TK ate	présence alerte	0	0			abcepti					
995	U			TA dab	Déplacement caméra	0	0			abcepti					
996	U			TA dac	Défaut caméra	0	0			abcepti					
997	U			TK dsb	Déplacement caméra	0	0			abcepti					
998	U											0	absent	0	
999	U											1	présent	0	
1000	U			TK dsc	Défaut caméra	0	0			abcepti					
1001	U											0	absent	0	
1002	U											1	présent	0	
1003	U			TK stt	Etat trafic courant	0	0			abcepti					
1004	U											0	normal	0	
1005	U											1	ralenti	0	

Abb. V.41 Screenshot der Klassendefinition für „Caméra de détection“

V.7.3 Objekte

Jedes Objekt ist Instanz einer Klasse. Eine Instanz wird hauptsächlich durch eine Identifikationsnummer, einen Namen, eine Lokalisierung, und eine Klasse eindeutig bezeichnet. Dazu enthält die Beschreibung auch die GS des Objektes. Die Beschreibung der Instanz enthält auch den AKS Code wenn vorhanden.

V.8 Verkehrstelematik Verkehrszähler

V.8.1 Datenformat und Daten

```

TIME = 00:09:59
* SITE = 01920101
* SENSORS = LL LL LL LL LL LL LL LL
* PRUNITS = KPH-CM-10KG
* CLASS = SWISS10
* OSPFILTER = ALL
* OSPTIME = 0
* OSPVEH = 0
* HEAD DDMYY HHMM SS HH RESCOD L D HEAD GAP SPD LENTH CS CH
033475 010710 0010 18 42 000000 2 1 99.9 99.9 51 453 3 VL
033476 010710 0010 44 19 000000 1 1 99.9 99.9 62 444 3 L
033477 010710 0011 09 48 000000 1 1 25.2 25.0 49 394 3 L
033478 010710 0011 10 36 000000 1 1 0.8 0.5 54 327 2 H
033479 010710 0011 28 75 000000 1 1 18.3 18.1 56 395 3 L
033480 010710 0011 39 27 000000 1 1 10.5 10.2 56 470 3 VL
033481 010710 0012 18 95 000000 2 1 99.9 99.9 49 423 3 VL
033482 010710 0012 23 67 000000 1 1 44.4 44.1 57 418 3 M
033483 010710 0012 35 49 000000 1 1 11.8 11.5 48 408 3 L
033484 010710 0015 04 39 000000 1 1 99.9 99.9 72 506 3 VL
033485 010710 0015 38 59 000000 1 1 34.2 33.9 48 404 3 VL
033486 010710 0015 56 07 000000 1 1 17.4 17.1 50 408 3 L
033487 010710 0015 58 16 000000 1 1 2.0 1.7 51 445 3 L
033488 010710 0016 22 26 000000 2 1 99.9 99.9 65 491 3 VL
033489 010710 0016 53 91 000000 1 1 55.7 55.4 55 424 3 L
033490 010710 0017 10 36 000000 1 1 16.4 16.1 52 239 2 H
033491 010710 0017 16 76 000000 1 1 6.4 6.2 43 430 3 L
033492 010710 0017 20 51 000000 2 1 58.2 57.9 57 313 2 H
033493 010710 0017 50 57 000000 1 1 33.8 33.4 53 438 3 L
033494 010710 0018 44 03 000000 1 1 53.4 53.1 47 435 3 M

```

----- Chassishöhe (VL, L, M, H)
 ----- Fahrzeugklasse nach SWISS 10: 1 Bus, Car
 2 Motorrad
 3 Personenwagen
 4 Personenwagen mit Anhänger
 5 Lieferwagen
 6 Lieferwagen mit Anhänger
 7 Lieferwagen mit Aufleger
 8 Lastwagen
 9 Lastenzug
 10 Sattelzug
 ----- Fahrzeuglänge (cm)
 ----- Geschwindigkeit (km/h)
 ----- Abstand Fahrzeugfront-Fahrzeugheck (sec)
 ----- Abstand Fahrzeugfront-Fahrzeugheck (sec)
 ----- Fahrtrichtung (1=Normal 2=Gegenrichtung)
 ----- Fahrstreifen-Nr.
 ----- Reserve-Code
 ----- Zeit (1/100 sec)
 ----- Zeit (sec)
 ----- Zeit (HHMM)
 ----- Datum (TTMMJJ)
 ----- Fortlaufende Nummerierung der Fahrzeuge

Abb. V.42 Beispieldatensatz

V.8.2 Standorte

Die Standorte der nationalen Messstellen des ASTRA innerhalb des Realitätsausschnitts können Abb. V.36 und Abb. V.37 entnommen werden (Abschnitt V.4 „Elemente und Verbindungen im Beispielgebiet“, Unterabschnitt V.4.3 „VT-Verkehrszähler“, Seite 107). Eine komplette Liste der nationalen Messstellen des ASTRA ist auf der Webseite des ASTRA³ aufgeführt.

V.9 Unfälle

Jahr	Monat	Kanton	BFS Gs	BFS Gemeinde	x-Koordinate	y-Koordinate	RBBS Name	RBBS Bezugspunkt	RBBS Distanz	RBBS Abstand	Anzahl Unfälle
2010	Januar	Zürich	229	Wiesendangen	701726	265447	CH.N7+	0	+280	+0	1
2010	Januar	Bern	301	Aarberg	587532	208751	BE.1795.1=	1	+1393	-1	1
2010	Januar	Bern	301	Aarberg	587087	210592	BE.1795.0=	1	+10050	-0	1
2010	Januar	Bern	302	Bargen (BE)	583427	209789	BE.646.0=	1	+8558	+0	1
2010	Januar	Bern	303	Grossaffoltern	592010	211228	BE.1118.0=	1	+5965	-3	1
2010	Januar	Bern	303	Grossaffoltern	592030	212535	BE.1868.2=	1	+11621	-4	1

Abb. V.43 Beispiele von Unfalldaten

³ URL: <http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00299/00301/00379/index.html?lang=de>

V.10 Dauerbaustellen

The screenshot shows the 'MORGES - Ecublens' project configuration screen. At the top, there is a toolbar with various icons. Below it, the project name 'MORGES - Ecublens' is displayed. The 'version' is 'E', 'Validité' is '13.08.2009', and 'Date réf.' is '13.08.2009'. The 'PROJET' field is empty. The 'Axe' is 'CH', 'N1', and 'N2'. The 'PR début' is '600' and 'PR fin' is '640'. The 'Distance' is '.000', 'Ecart' is '.000', and 'Largeur' is '20.000'. The 'ENTRAVE' is 'non', 'PRIORITE' is 'Projet clé', and 'COUCHES' is 'Aménagement en projet'. The 'COMpte' is empty. The 'DATE DEB' is '01.01.2010' and 'DATE FIN' is '31.12.2010'. The 'DEB' is '60.0' and 'KM FIN' is '64.0'. The 'UEUR' is '4.0'. The 'INTERVENANT' is 'Morges - Ecublens'.

Abb. V.44 Zugriff auf Dauerbaustellen

V.11 Temporäre Baustellen

The screenshot shows the 'Commentaires' section of the software. A comment by 'Fritz Muster (F3)' on '22.04.2010 17:23' is visible. Below the comment, there are fields for 'Baustellennummer (GEWI-Nr.)', 'GE Nummer', 'Datum', 'Ersteller', and 'Status'. The 'Datum' is '22.04.2010 17:23', 'Ersteller' is 'Max Muster (GE X)', and 'Status' is 'Freigegeben'. Below these fields, there is a table with columns 'Art', 'Ort', 'Zeitpunkt', 'Verkehrsbeschränkung', 'Zuständigkeiten', 'Bemerkungen', and 'Belegungen'. The table contains several rows of data, including 'Nationalstrassen Nummer', 'Nationalstrassen Abschnitt', 'Fahrtrichtung', 'Location A', 'Location B', 'Kilometer', 'Erhaltungsabschnitt (nur bei baulichem Unterhalt, z.B.: ERA)', 'Länge der Baustelle (km)', and 'Wanderbaustelle oder fixe Baustelle?'. The 'Wanderbaustelle oder fixe Baustelle?' field has radio buttons for 'mobil' and 'fix'.

Abb. V.45 GEWI Daten temporärer Baustellen. Wie schon in Anhang V.2 erwähnt, war es nicht möglich, Baustellendaten zu beschaffen

VI Programme der Transformationen

```
public class RBBS2CH1903 {

    double      alf0,alf1; //planar CH1903-coord of point A:=Qx of s or t (alfa)
    double      aQE;      //a, coefficient in quadratic equation
    double      bet0,bet1; //planar CH1903-coordinates of end-point B of s (beta)
    double      bQE;      //b, coefficient in quadratic equation
    double      chi0,chi1; //planar CH1903-coordinates of vector h (chi)
    double      calibr[]; //calibration for each axis-line edge: lengthRW/lenghProj
    double      cosBeta;  //Cosinus of angle beta = pi - alfa = pi - 2*omega
    double      cosBetaHalf; //Cosinus of angle beta/2 = pi/2 - omega
    double      cosEta;   //Cosinus of angle eta
    double      cosOmega; //Cosinus of angle omega = alfa/2
    double      cosPhi;   //Cosinus of angle phi between pg-e and h (or -h)
    double      cQE;      //c, coefficient in quadratic equation
    double      delta0,delta1; //difference in first or second coordinate
    double      detQE;    //determinant in the solution for the quadratic eqtn.
    double      dig0,dig1; //planar CH1903-coordinates of vector f (digamma)
    double      dist;     //distance between 2 points in the projection plane
    double      distAxlBdrd; //dist. betw. axis line and boundary of ref. domain
    double      distmin;  //minimal dist. between point P' and ax-line vertices
    double      distQsE;  //distance between points Qs and E
    double      distQsPProj0,distQtPProj0; //distance between Qs,Qt and P'0
    double      distQsPt; //distance between points Qs and Pt (= old T)
    double      distPE;   //distance between the points P(') and E;
    double      distPS;   //dist. between points P(') and S (axline vertex);
    double      distPProj0E; //distance between the points P'0 and E;
    double      distRW;   //distance between 2 points in the real world
    double      edgeLength; //contains sLength or tLength
    String      edgeType; //for s or t //((greek epsilon)
    double      eps0,eps1; //planar CH1903-coordinates of end-point E of s and t
    double      factor;   //help variable, factor
    double      gam0,gam1; //planar CH1903-coordinates of end-point G of t (gamma)
    double      hLength;  //length of vector h
    double      hVar;     //help variable
    int         iP;       //index of testpoint
    int         idim;     //index of vertex-coordinates dimension
    double      iot0,iot1; //planar CH1903-coord vector j (greek iota)
    int         iv;       //index of axline-vertices
    int         ivE;      //index of axline-vertex E //lambda)
    double      lam0,lam1; //planar CH1903-coordinates of vector l (letter L,
    double      lastDist; //last calculated distance (see dist)
    double      linDist[]; //linear dist (reality) between axis-vertex & -start
    double      my0,my1;  //planar CH1903-coord of vector m := p'0 on s (greek my)
    int         nCritiInverse = 0; //number of critical inverse trafos (node->arc)
    int         nCritiTrafo = 0; //number of critical trafos RBBS->CH1903(node->arc)
    int         nCritiRevInverse = 0; //nr of critcl reverse inv tr (node->arc)
    int         nCritiRevTrafo = 0; //nr of critcl reverse trafos (node->arc)
    int         ndim;     //number of dimensions of axline-vertex CH1903-coord
    int         nNormInverse = 0; //number of normal inverse trafos (node remains)
    int         nNormTrafo = 0; //number of normal trafos (node remains)
    int         nNormRevInverse = 0; //nr of normal reverse inv tr (node remains)
    int         nNormRevTrafo = 0; //nr of normal reverse inv tr (node remains)
    int         nv;       //number of vertices in axline //ny)
    double      ny0,ny1;  //planar CH1903-coord of vector n := p'0 on t (greek
    double      orig[];   //planar CH1903-coordinates of local origin
    double      pi[];     //planar local CH1903-coord of P geodetic (greek pi)
    double      pi0,pi1;  //planar local CH1903-coord of P geodetic (greek pi)
    double      pi00,pi10,pi20; //(Output) CH1903-coord of P geodetic (greek pi)
    double      pir0,pir1; //planar local CH1903-coord of vector p' - e (greek pi)
    double      pit0,pit1; //planar local CH1903-coord of point Pt (greek pi)
    double      radius;   //radius of the circle which replaces the vertex
    double      radiusD,radiusE; //radius of vertex circle, P on double used
    double      scalP;    //scalar product \ (resp. empty) angle side
    double      sigma[][]; //planar CH1903-coord. of axline-vertices S (greek)
}
```

```

double      sig0,sig1; //planar CH1903-coordinates of vector s := b - e (sigma)
double      sinEta;   //Sinus of angle eta
double      sinOmega, sinSqOmega; //Sinus, sin*sin of angle omega = alfa/2
double      sLength;  //length of axline straight line segment s nearest P
double      sumsq;    //sum of squared coordinate differences
double      sumsqh, sumsqt, sumsqqs; //sum of sq.coord.diff.of h,t,s
double      sumsqamM, sumsqnmM, sumsqmMz; //sum of sq.c.d. of a-m, n-m, m-z
double      sumsqzMe, sumsqlMg, sumsqpMs; //sum of sq.c.d. of z-e, l-g, p-s
double      sumsqpMe, sumsqgMf; //sum of sq.c.d. for p-e, t-a, g-f
double      sumsqamPt, sumsqnmPt; //sum of sq.c.d. for a-pt, n-pt /(s or t)
double      tanBeta;  //tangens of angle beta /tical region K and edge k
double      tanTheta; //tangens of angle theta between border line of cri-
double      tau0,tau1; //planar CH1903-coordinates of vector t (tau)
double      tLength;  //length of axline straight line segment t near s
double      uProjRest; //value of RBBS-u of P'0 minus RBBS-u of last
//axis-line vertex before P'0 in the projection plane
double      uProjCompl; //dist(E,P'0) for P'0 on edge s
double      uB,uE,uG,uS; //RBBS-u-coordinate of axline vertices B, E, G, S
double      vPO,uPO,wPO; //(Output) calculated RBBS-coordinate of point P
double      uSLast;   //RBBS-u-coordinate of last axline vertex S
double      vectP;    //vector product
double      vectPxH,vectPxT; //vector product pr x h, pr x t
double      vectPxS;  //vector product pr x s . Attention: s := b - e
double      vectSxT;  //vector product s x t . Attention: s := b - e
double      vProj;    //value of vPI or vPO in the projection plane
double      x1,x2;    //solutions of the quadratic equation at inverseTrafo
boolean     yCircleObslt; //at E a cicle is obsolete, not needed /of it
boolean     yMidAxis;  //vertex E is in the middle of the axline, not an end
boolean     yOtherTraTooO; //(Output), yes calculate the other trafo as well
boolean     yPONs,yPOnT; //point P on axline-edge s resp. t
boolean     yPOnEAS;   //point P on Empty Angle (axline-) Side (see step7)
boolean     yPProj0OnS; //TRUE: P'0 on edge s, FALSE: P'0 on edge t
double      zet0,zet1; //planar local CH1903-coord. of circle center Z (zeta)
double      zetg0,zetg1; //planar geod. CH1903-coord. of circle center Z (zeta)

```

```

// accept and install the axis line used for the transformations RBBS<->CH1903
// *****

```

```

public void newAxis (int ndimI, int nvI, double sigmaI[][], double linDistI[]) {

    iP = -1;
    ndim = ndimI;
    nv = nvI;
    orig = new double[ndim]; //CH1903-coordinates of local origin
    sigma = new double[nv][ndim]; //local coord of axline vertices S
    calibr = new double[nv];
    linDist = new double[nv];
    pi = new double[ndim]; //local coordinates of point P to be transformed

    //step 0: Define local origin and transform CH1903-coordinates of axline-
    //vertices to it
    for (idim = 0; idim < ndim; idim++) {orig[idim] = 900000.0E0;}
    for (iv = 0; iv < nv; iv++) {
        for (idim=0; idim<ndim; idim++) {
            if (sigmaI[iv][idim] < orig[idim]) orig[idim] = sigmaI[iv][idim];
        } //idim
    } //iv
    for (idim=0; idim<ndim; idim++) {
        orig[idim] = orig[idim] - orig[idim] % 500.0E0 - 100.0E0;}
    for (iv = 0; iv < nv; iv++) {
        linDist[iv] = linDistI[iv];
        for (idim=0; idim<ndim; idim++) {
            sigma[iv][idim] = sigmaI[iv][idim] - orig[idim];
        } //idim
    } //iv
    return;
}

```

```

// Transformation RBBS (u,v) to CH1903 (y,x) by transform
// *****

public void transform (double uPI, double vPI, double wPI, double pi2I
, int iUnfallI, boolean yIsOtherTrafoI) {

    iP = iP + 1;
    dist = 0.0E0;
    yOtherTrafoO = false;

    //step 1: Find vertex S[n] of the axis-line, with u-value >= u-value of P.
    //condition: The calibration points are integrated in the axis-line as ver-
    //tices. For each vertex, the parameter calibr contains the calibration
    //factor (= length in reality / length in projection plane >= 1) for the
    //following straight-line segment of the axis-line. This is needed to
    //install the minimal necessary ad hoc relationship between the axis in
    //reality and its corresponding abstraction, the axis-line. Because the
    //axis-line doesn't follow the real axis precisely enough, consisting only
    //of straight line segments and having no height at the vertices.
    //Treat at the beginning the cases no or negative number of axis vertices
    //(nv<1) and only one axis vertex (nv=1, last axis sector of length 0!)
    if (nv < 1) {
        pi00 = 0.0E0;
        pi10 = 0.0E0;
        pi20 = pi2I;
        System.out.println("**** RBBS2CH1903.transform L162: Der angegebene Sektor "
+ "hat " + nv + " StützPt\n****   Trafo von (u,v)=( " + uPI + ", " + vPI
+ ") auf LK unmöglich -> (y,x) := (0,0)");
        return;
    }
    //<---escape RBBS2CH1903
    }
    if (nv == 1) {
        pi00 = sigma[0][0] + orig[0];
        pi10 = sigma[0][1] + orig[1];
        pi20 = pi2I;
        if ( ! (uPI == 0.0E0 && vPI == 0.0E0))
            System.out.println("**** RBBS2CH1903.transform L173: Der angegebene Sektor "
+ "hat " + nv + " StützPt"
+ "\n****   genaue Trafo von (u,v)=( " + uPI + ", " + vPI + ") auf LK unmöglich"
+ "\n****   -> (y,x) := ( " + pi00 + ", " + pi10 + " ), d.h. Koordinaten des "
+ "einzigsten StützPt");
        return;
    }
    //<---escape RBBS2CH1903
    }
    for (iv = 0; iv < nv; iv++) {
        lastDist = dist;
        sumsq = 0.0E0;
        for (idim = 0; idim < ndim; idim++) {
            sumsq = sumsq + (sigma[iv+1][idim] - sigma[iv][idim])
                *(sigma[iv+1][idim] - sigma[iv][idim]);
        }
        dist = Math.sqrt(sumsq);
        distrW = linDist[iv+1] - linDist[iv];
        calibr[iv] = distrW / dist;
        if (linDist[iv+1] >= uPI) break; //the end-node is in the axline-segment
    }
    uS = linDist[iv+1];
    //TODO: if uPI < 0 or uPI > uS of the last axline-node: error message

    //step 2: Calculate the CH1903-height z = pi[2] of point P.
    //remark: This is for the moment not possible, because the vertices of the
    //axline have no height coordinate values, sigma[iv][2] = 0 for all the iv.
    //Therefore the z-value of P has to be provided as argument.
    pi20 = pi2I;

    //step 3: Calculate the projection values of uPI, vPI called uProjRest,
    //vProj, where uProjRest is only the distance of P0Proj on s (resp. on t)

```

```

//from the start vertex S[iv-1] of s (resp. S[iv] of t).
uProjRest = (uPI - linDist[iv]) / calibr[iv];
vProj = - vPI / calibr[iv]; //counterclock-positive ref.sys. is needed

//step 4: find for the edge of the axis-line containing P'0 (the projection
//of P' to the axis-line) the end vertex E nearest to P'0. This is either
//S[iv] or S[iv+1].
//If E = S[iv+1], we call the axis-line-edge with P'0 edge"s", its start
//vertex is S[iv]=:B, the following edge is called "t", its start vertex
//is E, its end vertex is G:=S[iv+2] and the boolean variable yPProj0OnS
//is true.
//If E = S[iv], we call the axis-line-edge with P'0 edge"t", starting with
//E and ending with G:=S[iv+1], the preceding edge then is called "s"
//starting with S[iv-1]=:B and ending with E and the boolean variable
//yPProj0OnS is false. because P'0 lies on t not on s.
yPProj0OnS = 2*uProjRest >= dist;
if (yPProj0OnS) { //P'0 is on edge s near to its end vertex S[iv+1] =: E
  sLength = dist;
  yMidAxis = iv+2 < nv;
  //this means that iv <= nv-3? Yes: For being positioned "somewhere in the
  //middle of the axis", P'0 near the end vertex of an edge should not be
  //on the last edge of the axis-line. iv is the index of the start vertex
  //of the axis-line-edge. Because the last possible vertex-index is not
  //nv (the total number of vertices in the axis-line) but only nv-1 (the
  //index starts at 0!), the loop for the start-vertex of an edge goes from
  //index 0 to nv-2 and is interrupted at last if iv=nv-2 that means has
  //values iv<=nv-2, but nv-2 as start-index of the last edge has to be
  //excluded, therefore iv<nv-2 indicates yMidAxis=true.
  bet0 = sigma[iv][0];
  bet1 = sigma[iv][1];
  eps0 = sigma[iv+1][0];
  eps1 = sigma[iv+1][1];
  if (yMidAxis) {
    gam0 = sigma[iv+2][0];
    gam1 = sigma[iv+2][1];
    tau0 = gam0 - eps0; tau1 = gam1 - eps1;
    sumsqt = tau0*tau0 + tau1*tau1;
    tLength = Math.sqrt(sumsqt);
  }
  distPProj0E = sLength - uProjRest;
  ivE = iv + 1;
}
else { //P'0 is on edge t near to its start vertex S[iv]
  tLength = dist;
  yMidAxis = iv > 0;
  if (yMidAxis) {
    bet0 = sigma[iv-1][0];
    bet1 = sigma[iv-1][1];
    sLength = lastDist;
  }
  eps0 = sigma[iv][0];
  eps1 = sigma[iv][1];
  gam0 = sigma[iv+1][0];
  gam1 = sigma[iv+1][1];
  tau0 = gam0 - eps0; tau1 = gam1 - eps1;
  distPProj0E = uProjRest;
  ivE = iv;
  uS = uS - distrW;
}

//step 5: Calculate the "Winkelhalbierende" at vertex E not end of axline
//proceeding: Given the vectors b, e, and g of the vertices B, E and G,
//calculate the vectors t := g - e (from step 4), s := b - e,
//l := e + s*|t|/|s| and f = (g + l)/2 then finally h = f - e gives
//the generating vector of the straight line bisecting the angle at E
if (yMidAxis && vProj != 0.0E0) {
  sig0 = bet0 - eps0; sig1 = bet1 - eps1;
  lam0 = eps0 + sig0*tLength/sLength;
  lam1 = eps1 + sig1*tLength/sLength;
}

```

```

dig0 = (lam0 + gam0)/2.0E0;
dig1 = (lam1 + gam1)/2.0E0;
chi0 = dig0 - eps0; chi1 = dig1 - eps1;

//step 6: Calculate the angle alfa at point E in the triangle BEGB resp.
//the angle omega = alfa/2, or better cos(omega) = |h|/|t| and sin(omega) =
//|g-f|/|t|
if (Math.abs(chi0) <= 0.01E0 && Math.abs(chi1) <= 0.01E0)
    yCircleObslt = true;
else {
    yCircleObslt = false;
    sumsqh = chi0*chi0 + chi1*chi1;
    cosOmega = Math.sqrt(sumsqh/sumsqt);
    sumsqgMf = (gam0 - dig0)*(gam0 - dig0) + (gam1 - dig1)*(gam1 - dig1);
    sinOmega = Math.sqrt(sumsqgMf/sumsqt);

//step 7: Decide, if P is on the convex side of the axis-line at vertex E
//(containing the part of the plane with double use of each point by RBBS-
//coordinates) or on the concave side (containing the "empty" part of the
//plane called "empty angle" (or "dead angle") with no use of any point by
//RBBS-coordinates). For the last case the boolean variable yPOnEAS (for
//yes: P is On Empty Angle Side) is TRUE, for the first case FALSE. Use the
//vector product vectP to decide.
    vectP = sig0*taul - sig1*tau0;
    yPOnEAS = Math.signum(vectP) == Math.signum(vProj);

//step 8: Calculate the distance dist(Qs,E) between the vertex E and the
//basic point Qs of the perpendicular from Z to the straight line segment s
//(or t) being different, if the point P lies on the empty angle side of the
//axis-line or on the convex one.
//Then calculate the coordinates zet0, zet1 of the circle center Z on
//the angle bisecting straight line h with distance radius from the axline
//straight line segments s and t. radius is defined as abs(vProj). For z
//in the empty angle case holds: z = e + h*r/(|h|*sinOmega) and in the
//double use angle case: z = e + h*dist(Qs,E)/(|h|*cosOmega).
//The distance dist(P'0,E) between the basic point P'0 of the perpendicular
//from P' (the projection of point P to the XY-plane) to s (or t) and the
//vertex E is already calculated in step 4.
    radius = Math.abs(vProj);
    if (yPOnEAS) {
        distQsE = radius * Math.sqrt(sumsqh/sumsqgMf);
        factor = radius * tLength / Math.sqrt(sumsqh*sumsqgMf);
    }
    else {
        hVar = 2.0E0 * radius / (sumsqgMf - sumsqh);
        distQsE = hVar * Math.sqrt(sumsqgMf * sumsqh);
        factor = hVar * tLength * Math.sqrt(sumsqgMf / sumsqh);
    }
    zet0 = eps0 + chi0*factor;
    zet1 = eps1 + chi1*factor;
    zetg0 = orig[0] + zet0;
    zetg1 = orig[1] + zet1;
} // if (Math.abs(chi0) <= 0.01E0 && Math.abs(chi1) <= 0.01E0)
}

//step 9: Calculate the planar XY-coordinates of P' without replacing the
//vertex E by a circle if dist(P'0,E) > dist(Qs,E).
if (!yMidAxis || (yMidAxis && distPProj0E >= distQsE) || (vProj == 0.0E0
|| yCircleObslt)) {
    if (yPProj0OnS) {
        edgeType = "s, s"; edgeLength = sLength;
        delta0 = ((eps0 - bet0)*uProjRest - (eps1 - bet1)*vProj)/sLength;
        delta1 = ((eps1 - bet1)*uProjRest + (eps0 - bet0)*vProj)/sLength;
        pi00 = orig[0] + bet0 + delta0;
        pi10 = orig[1] + bet1 + delta1;
    }
    else {
        edgeType = "t, t"; edgeLength = tLength;
        delta0 = ((gam0 - eps0)*uProjRest - (gam1 - eps1)*vProj)/tLength;

```

```

    delta1 = ((gam1 - eps1)*uProjRest + (gam0 - eps0)*vProj)/tLength;
    pi00 = orig[0] + eps0 + delta0;
    pi10 = orig[1] + eps1 + delta1;
}
if (yIsOtherTrafoI) nNormRevTrafo = nNormRevTrafo + 1;
else nNormTrafo = nNormTrafo + 1;
if (nNormTrafo%100==0 || yIsOtherTrafoI){
    System.out.println ("... RBBS2CH1903.transform "
        + "L350: P" + iUnfallI + "(u,v)=( " + uPI + ", " + vPI + ") normal "
        + "\n... CH1903-Koordinaten P (pi00,pi10) = ( " + pi00 + ", " + pi10 + ")");
}
return;
//<---escape method transform after calculating CH1903-coordinates without help-
// circle at a vertex of the axis
}

//steps 10: First provide the message of point in critical region near a
//vertex of the axis.
if (yPProj0OnS) {
    edgeType = "s, s"; edgeLength = sLength;
}
else {
    edgeType = "t, t"; edgeLength = tLength;
}
if (yIsOtherTrafoI) nCritiRevTrafo = nCritiRevTrafo + 1;
else nCritiTrafo = nCritiTrafo + 1;
System.out.println ("=== RBBS2CH1903.transform L372: P" + iUnfallI
+ " (u,v) = ( " + uPI + ", " + vPI + ")");

//Then replace the way QsQt consisting of straight line segments by a
//circle arc tangential to s in Qs (= A) and to t in Qt (= N) with radius
//equal to v', the projection value of the second curvilinear coordinate v.
//Case distinction is needed first if point P' is situated on the side of
//the axis with the empty angle (yPonEAS == true) or on the axis side with
//the doubly covered angle (yPonEAS == false), and second if the projection
//PProj0 of P to the axis is situated on the edge s before the critical ver-
//tex (yPProj0OnS == true) or on the edge t after the critical vertex
//(yPProj0OnS == false).
if (yPProj0OnS) {
    my0 = bet0 + ((eps0 - bet0) * uProjRest / sLength);
    my1 = bet1 + ((eps1 - bet1) * uProjRest / sLength);
    edgeLength = sLength;
}
else {
    my0 = eps0 + ((gam0 - eps0) * uProjRest / tLength);
    my1 = eps1 + ((gam1 - eps1) * uProjRest / tLength);
    edgeLength = tLength;
}
sumsqmMz = (my0-zet0)*(my0-zet0) + (my1-zet1)*(my1-zet1);
tanTheta = Math.sqrt(sumsqgMf / sumsqh); //used later for distAxlBdrd
if (yPonEAS) {
    cosEta = radius / Math.sqrt(sumsqmMz);
    pi0 = zet0 + 2.0E0 * (my0 - zet0)*cosEta;
    pi1 = zet1 + 2.0E0 * (my1 - zet1)*cosEta;
}
else {
    tanTheta = (tanTheta - (1.E0/tanTheta))*0.5E0; //see later distAxlBdrd
    sumsqzMe = (zet0-eps0)*(zet0-eps0) + (zet1-eps1)*(zet1-eps1);
    radiusD = Math.sqrt(sumsqzMe * sumsqgMf / sumsqt);
    factor = (radiusD - radius) / Math.sqrt(sumsqmMz);
    pi0 = zet0 + (my0 - zet0)*factor;
    pi1 = zet1 + (my1 - zet1)*factor;
}
//The transformation from curvilinear to geodetic reference system with
//replacing a vertex of the axis line by a circle arc is only invertable
//for points inside the reference domain, which depends at every vertex on
//the angle between the incoming and the outgoing stright line segemnt. Its
//latitude, i.e. the distance between its outer border and the axis line is
//measured by the variable distAxlBdrd.

```



```

distAxlBdrd = edgeLength * tanTheta * 0.5E0;
if (Math.abs(vProj) > distAxlBdrd)
    System.out.println ("*** RBBS2CH1903 L416: Pt P" + iUnfallI + "(u,v)=(("
        + uPI + "," + vPI + ") hat |v| > " + distAxlBdrd + ", ist ausserhalb"
        + "\n*** des Referenzbereichs. Folgende CH1903-Koord von Pg sind daher"
        + " fraglich!");
pi00 = pi0 + orig[0];
pi10 = pi1 + orig[1];
System.out.println ("=== CH1903-Koordinaten Pg (pi0,pi1) = (" + pi0
    + "," + pi1 + ")");
yOtherTraTooO = true;
return;
} //transform

// Transformation CH1903 (y,x) to RBBS (u,v) by inverseTrafo
// *****

public void inverseTrafo (double pi0I, double pi1I, double pi2I, double wPI
    , int iUnfallI, boolean yIsOtherTrafoI) {

    //step 0: Local coordinates of P' and other preliminaries
    pi[0]= pi0I - orig[0]; pi[1] = pi1I - orig[1];
    pi0 = pi[0];          pi1 = pi[1];
    iP = iP + 1;
    distmin = 10000000.0E0;
    yOtherTraTooO = false;

    //step 1: Find vertex S'[n] of the axis-line projection a', with minimal
    //distance to the projection P' of point P in the x-y-plane.
    //Treat at the beginning the cases no or negative number of axis vertices
    //(nv<1) and only one axis vertex (nv=1, last axis sector of length 0!)
    if (nv < 1) {
        uPO = 0.0E0;
        vPO = 0.0E0;
        wPO = wPI;
        System.out.println("*** RBBS2CH1903.inverseTrafo L472: Der angegebene "
            + "Sektor hat " + nv + " StützPt\n*** Trafo von (pi0,pi1)=((" + pi0I
            + "," + pi1I + ") auf RBBS unmöglich -> (u,v) := (0,0)");
        return;
    }
    //<---escape RBBS2CH1903
    }
    if (nv == 1) {
        uPO = 0.0E0;
        vPO = 0.0E0;
        wPO = wPI;
        if ( ! (pi0I == sigma[0][0] && pi1I == sigma[0][1]))
            System.out.println("*** RBBS2CH1903.inverseTrafo L483: Der angegebene "
                + "Sektor hat " + nv + " StützPt"
                + "\n*** genaue Trafo von (pi0,pi1)=((" + pi0I + "," + pi1I
                + ") auf RBBS unmöglich"
                + "\n*** -> (u,v) := (" + uPO + "," + vPO + "), d.h. RBBS-Koordinaten "
                + "des einzigen StützPt");
        return;
    }
    //<---escape RBBS2CH1903
    }
    for (iv = 0; iv < nv; iv++) {
        sumsqpMs = 0.0E0;
        for (idim = 0; idim < ndim; idim++) {
            sumsqpMs = sumsqpMs + (pi[idim] - sigma[iv][idim])
                *(pi[idim] - sigma[iv][idim]);
        }
        distPS = Math.sqrt(sumsqpMs);
        if (distPS < distmin) {

```

```

        distmin = distPS;
        ivE = iv;
    }
}
uE = linDist[ivE];
yMidAxis = ivE > 0 && ivE < nv-1;

//step 2: Calculate the RBBS-hight wPO of point P.
//remark: This is for the moment not possible, because the vertices of the
//axline have no hight coordinate values, sigma[iv][2] = 0 for all the iv.
//Therefore the w-value of P has to be provided as argument.
wPO = wPI;

//step 3: Define the neighbour vertices B = S[ivE-1] before and G = S[ivE+1]
//after vertex E = S[ivE] on the axis-line and the lengths sLength,
//tLength of of the neighbour straight line edges s and t at vertex E.
eps0 = sigma[ivE][0];
eps1 = sigma[ivE][1];
pir0 = pi0 - eps0;
pir1 = pi1 - eps1;
sumsq = pir0*pir0 + pir1*pir1;
distPE = Math.sqrt(sumsq);
if (ivE > 0) { //E is not the first vertex of the axis-line
    bet0 = sigma[ivE-1][0];
    bet1 = sigma[ivE-1][1];
    sig0 = bet0 - eps0; sig1 = bet1 - eps1;
    sumsq = sig0*sig0 + sig1*sig1;
    sLength = Math.sqrt(sumsq);
    calibr[ivE-1] = (uE - linDist[ivE-1]) / sLength;
}
if (ivE < nv-1) { //E is not the last vertex of the axis line
    gam0 = sigma[ivE+1][0];
    gam1 = sigma[ivE+1][1];
    tau0 = gam0 - eps0; tau1 = gam1 - eps1;
    sumsq = tau0*tau0 + tau1*tau1;
    tLength = Math.sqrt(sumsq);
    calibr[ivE] = (linDist[ivE+1] - uE) / tLength;
}
if (ivE == 0) {yPProj0OnS = false; yPOnEAS = true;}
if (ivE == nv-1) {yPProj0OnS = true; yPOnEAS = true;}

//step 4: Calculate the "Winkelhalbierende" at vertex E not end of axline
//preceding: Given the vectors b, e, and g of the vertices B, E and G,
//calculate the vectors t := g - e , s := b - e (from step 3),
//l := e + s*|t|/|s| and f = (g + l)/2 then finally h = f - e gives
//the generating vector of the straight line bisecting the angle at E
if (yMidAxis) {
    lam0 = eps0 + sig0*tLength/sLength;
    lam1 = eps1 + sig1*tLength/sLength;
    dig0 = (lam0 + gam0)/2.0E0;
    dig1 = (lam1 + gam1)/2.0E0;
    chi0 = dig0 - eps0; chil = dig1 - eps1;
    if (Math.abs(chi0) <= 0.01E0 && Math.abs(chil) <= 0.01E0)
        yCircleObslt = true;
    else {
//step 5: Decide, if P is on the convex side of the axis-line at vertex E
//(containing the part of the plane with double use of each point by RBBS-
//coordinates) or on the concave side (containing the "empty" part of the
//plane called "empty angle" (or "dead angle") with no use of any point by
//RBBS-coordinates). For the last case the boolean variable yPOnEAS (for
//yes: P is On Empty Angle Side) is TRUE, for the first case FALSE. Use the
//scalar product scalP of vectore p'-e and h to decide.
        scalP = pir0*chi0 + pir1*chil;
        yPOnEAS = (scalP < 0.0E0);
//step 6: Decide, if P'0 will be positioned on the axis-line edge s or t.

```

```

//For the last case "on s" the boolean variable yPProj0OnS (for yes: P'0 is
//located on axis-line edge s) is TRUE, for the case "on t" FALSE. Use the
//vector product vectP of vectore p'-e and h to decide.
    vectPxH = pir0*chi1 - pirl*chi0;
    vectSxT = sig0*taul - sig1*tau0;
    if (vectSxT < 0.0E0) yPProj0OnS = vectPxH <= 0.0E0; //axis turns to left
    else yPProj0OnS = vectPxH >= 0.0E0; //axis turns to right

//step 7: Decide, if P' is in the normal neighbourhood of vertex E, so
//that E needs not to be replaced by a circle arc, or in the critical
//neighbourhood. The condition depends on the value of yPOnEAS and
//With (a).(b) denoting the scalar product of the vectors a and b holds
//yPOnEAS == true: cos(phi) = (pg-e).(-h)/( |pg-e||h| )
//                    <= cos(beta) = ( |f-g|**2 - |f-e|**2 ) / |t|**2
//yPOnEAS == false: cos(phi) = (pg-e).(h)/( |pg-e||h| )
//                    <= cos(beta/2) = |f-g|/|t|
    sumsqpMe = pir0*pir0 + pirl*pirl;
    sumsqh = chi0*chi0 + chil*chil;
    hVar = Math.sqrt(sumsqpMe*sumsqh);
    cosPhi = scalP / hVar;
    sumsqMf = (gam0 - dig0)*(gam0 - dig0) + (gam1 - dig1)*(gam1 - dig1);
    cosBeta = (sumsqMf - sumsqh) / sumsqt;
    cosBetaHalf = Math.sqrt(sumsqMf / sumsqt);
    if (yPOnEAS) yCircleObslt = - cosPhi <= cosBeta;
    else yCircleObslt = cosPhi <= cosBetaHalf;
    if (yPProj0OnS) {
        vectPxS = pir0*sig1 - pirl*sig0;
        yPOnS = (vectPxS == 0.0E0); yPONt = false;
        edgeType = "s, s"; edgeLength = sLength;
    }
    else {
        vectPxT = pir0*taul - pirl*tau0;
        yPONt = (vectPxT == 0.0E0); yPOnS = false;
        edgeType = "t, t"; edgeLength = tLength;
    } // if (yProj0OnS)
} // if (Math.abs(chi0) <= 0.01E0 && Math.abs(chil) <= 0.01E0)
} // if (yMidAxis)

//step 8: Calculate the curvilinear uv-coordinates of P' without replacing
//the vertex E by a circle.
if (!yMidAxis || (yMidAxis && yCircleObslt) || yPOnS || yPONt) {
    if (yPProj0OnS) {
        scalP = pir0*sig0 + pirl*sig1;
        uProjCompl = scalP/sLength;
        uPO = uE - uProjCompl*calibr[ivE-1];
        vProj = vectPxS/sLength;
        vPO = - vProj*calibr[ivE-1];
    }
    else {
        scalP = pir0*tau0 + pirl*taul;
        uProjRest = scalP/tLength;
        uPO = uE + uProjRest*calibr[ivE];
        vProj = vectPxT/tLength;
        vPO = vProj*calibr[ivE];
    }
    if (yIsOtherTrafoI) nNormRevInverse = nNormRevInverse + 1;
    else nNormInverse = nNormInverse + 1;
    if (nNormInverse%100 == 0 || yIsOtherTrafoI) {
        System.out.println ("... RBBS2CH1903.inverseTrafo "
            + "L612: P' + iUnfallI + "(pi0,pi1) = (" + pi0I + "," + pi1I + ") normal "
            + "\n... RBBS-Koordinaten P (uPO,vPO) = (" + uPO + "," + vPO + ")");
        yOtherTraTooO = false;
    }
    return;
}
//<---escape method inversTrafo after calculating RBBS-coordinates without
//help-circle at the nearest vertex of the axis
} // if yMidAxis etc

```

```

//message of point in critical region at the nearest vertex of the axis.
if (yIsOtherTrafoI) nCriticRevInverse = nCriticRevInverse + 1;
else nCriticInverse = nCriticInverse + 1;
System.out.println ("=== RBBS2CH1903.inverseTrafo L645: P" + iUnfallI
+ "(pi0,pil) = (" + pi0 + "," + pil + ")")
+ "\n=== kritisch bei Achsecke # " + ivE + " (von " + (nv-1)
+ ") S (uS,vS) = (" + uE + ",0.0)");

//step 9: Calculate the distance  $x = |z - e|$  between e and the circle
//center z. A quadratic equation has to be solved.  $pr := p' - e$  is the
//(reduced) vector from vertex E to P'.
//In step 10 finally the RBBS-coordinates (u,v) of P' are calculated.
//Because the calculations are very different for the empty angle case (e)
//and the doubly used anglecase (d), we separate the cases for the steps
//9 ans 10: 9e & 10e, 9d & 10d
tanTheta = Math.sqrt(sumsqMf / sumsqh); // = tan Omega
if (yPOnEAS) {

//step 9e: calculate x for the empty angle case, Pg in Ke
aQE = 1 - 4.0E0 * (sumsqMf/sumsq);
bQE = - 2.0E0 * scalP / Math.sqrt(sumsqh);
cQE = sumsqPMe;
detQE = bQE*bQE - 4.0E0*aQE*cQE;
if (detQE < 0.0E0) {
System.out.println ("*** RBBS2CH1903.inverseTrafo L672: P" + iUnfallI
+ "(pi0,pil) = (" + pi0I + "," + pilI + ")")
+ "\n*** hat negative Determinante! detQE = " + detQE
+ "\n*** aQE = " + aQE + ", bQE = " + bQE + ", cQE = " + cQE);
return;
}
//<-----escape method inversTrafo without calculating RBBS-coordinates with help-
// circle at nearest vertex of the axis because of negative determinant
}
x1 = (- bQE + Math.sqrt(detQE))/(2.0E0*aQE);
x2 = (- bQE - Math.sqrt(detQE))/(2.0E0*aQE);
factor = x2 / Math.sqrt(sumsqh);
zet0 = eps0 + chi0*factor;
zet1 = eps1 + chi1*factor;

//step 10e: calculate (u,v) for the empty angle case, Pg in Ke
//Calculate the relative curvilinear coordinates uProjRest, vProj, where
//uProjRest is only the distance of P'0 on s (resp. on t) from the start
//vertex S[iv-1] (= B) of s (resp. S[iv] (= E) of t) and provide the RBBS
//values uPO, vPO from uProjRest and vProj (= |radius|).
//uPO = uS + uProjRest * calibr[iv];
//vPO = - vPproj * calibr[iv]; //counterclock-positive ref.sys. was used
cosOmega = Math.sqrt(sumsqh/sumsq);
distQsE = x2 * cosOmega; // == distQtE !!
sinOmega = Math.sqrt(sumsqMf/sumsq);
radius = x2 * sinOmega;
vProj = radius;
pit0 = (pi0 + zet0) / 2.0E0;
pit1 = (pil + zet1) / 2.0E0;
if (yPProj0OnS) {
//(u,v) for Pg in Ke and P'0 in s
edgeLength = sLength;
factor = x2 * Math.sqrt(sumsqh/(sumsq*sumsq));
alf0 = eps0 + sig0 * factor;
alf1 = eps1 + sig1 * factor;
sumsqMpt = (alf0-pit0)*(alf0-pit0) + (alf1-pit1)*(alf1-pit1);
distQsPProj0 = Math.sqrt(sumsqMpt * (4.0E0*radius*radius - sumsqMpt))
/ (2.0E0*radius - (sumsqMpt/radius));
uProjCompl = distQsE - distQsPProj0;
uPO = uE - uProjCompl*calibr[ivE-1];
vPO = - Math.signum(vectPxS)*Math.abs(radius)*calibr[ivE-1];
}
else {
//(u,v) for Pg in Ke and P'0 in t
edgeLength = tLength;
}
}

```

```

factor = x2 * Math.sqrt(sumsqh)/sumsqt;
ny0 = eps0 + tau0 * factor;
ny1 = eps1 + tau1 * factor;
sumsqnMpt = (ny0-pit0)*(ny0-pit0) + (ny1-pit1)*(ny1-pit1);
distQtPProj0 = Math.sqrt(sumsqnMpt * (4.0E0*radius*radius - sumsqnMpt))
              / (2.0E0*radius - (sumsqnMpt/radius));
uProjCompl = distQsE - distQtPProj0; //distQtE == distQsE !!!
uPO = uE + uProjCompl*calibr[ivE];
vPO = Math.signum(vectPxT)*Math.abs(radius)*calibr[ivE];
}

wPO = wPI;

}
else {

//step 9d: calculate x for the doubly used angle case, Pg in Kd
tanTheta = (tanTheta - (1.E0 / tanTheta)) * 0.5E0;
aQE = 1 - (sumsqt/(4.0E0 * sumsqgMf));
bQE = - 2.0E0 * scalP / Math.sqrt(sumsqh);
cQE = sumsqpMe;
detQE = 4.0E0*(scalP*scalP/sumsqh - aQE*cQE);
if (detQE < 0.0E0) {
    System.out.println ("***   RBBS2CH1903.inverseTrafo L752: P" + iUnfallI
        + " (pi0,pi1) = (" + pi0 + "," + pi1 + ")
        + "\n***   hat negative Determinante! detQE = " + detQE
        + "\n***   aQE = " + aQE + ", bQE = " + bQE + ", cQE = " + cQE);
    return;
}
//<-----escape method inversTrafo without calculating RBBS-coordinates with help-
// circle at nearest vertex of the axis because of negative determinant
}
x1 = (- bQE + Math.sqrt(detQE))/(2.0E0*aQE);
x2 = (- bQE - Math.sqrt(detQE))/(2.0E0*aQE);
factor = x1 / Math.sqrt(sumsqh);
zet0 = eps0 + chi0*factor;
zet1 = eps1 + chi1*factor;

//step 10d: calculate (u,v) for the doubly used angle case, Pg in Kd
//Calculate the relative curvilinear coordinates uProjRest, vProj, where
//uProjRest is only the distance of P'0 on s (resp. on t) from the start
//vertex S[iv-1] (= B) of s (resp. S[iv] (= E) of t) and provide the RBBS
//values uPO, vPO from uProjRest and vProj (= |radius|).
//uPO = uS + uProjRest * calibr[iv];
//vPO = - vPproj * calibr[iv]; //counterclock-positive ref.sys. was used
cosOmega = Math.sqrt(sumsqh/sumsqt);
distQsE = x1 * cosOmega; // == distQtE !!
sinSqOmega = sumsqgMf/sumsqt;
sinOmega = Math.sqrt(sinSqOmega);
radius = x1 * sinOmega;
radiusE = 0.5E0*x1*(2.0E0*sumsqgMf - sumsqt) / Math.sqrt(sumsqt*sumsqgMf);
vProj = radiusE;
factor = 2.0E0 * sinSqOmega;
pit0 = zet0 + (pi0 - zet0) * factor;
pit1 = zet1 + (pi1 - zet1) * factor;
factor = x1 * Math.sqrt(sumsqh/(sumsq*sumsqt));
if (yPProj0OnS) {
    //(u,v) for Pg in Kd and P'0 in s
    edgeLength = sLength;
    alf0 = eps0 + sig0 * factor;
    alf1 = eps1 + sig1 * factor;
    sumsqampt = (alf0-pit0)*(alf0-pit0) + (alf1-pit1)*(alf1-pit1);
    distQsPProj0 = Math.sqrt(sumsqaMpt * (4.0E0*radius*radius - sumsqampt))
                / (2.0E0*radius - (sumsqampt/radius));
    uProjCompl = distQsE - distQsPProj0;
    uPO = uE - uProjCompl*calibr[ivE-1];
    vPO = - Math.signum(vectPxS) * Math.abs(radiusE)*calibr[ivE-1];
}
else {
    //(u,v) for Pg in Kd and P'0 in t

```

```
    edgeLength = tLength;
    ny0 = eps0 + tau0 * factor;
    ny1 = eps1 + tau1 * factor;
    sumsqnMpt = (ny0-pit0)*(ny0-pit0) + (ny1-pit1)*(ny1-pit1);
    distQtPProj0 = Math.sqrt(sumsqnMpt * (4.0E0*radius*radius - sumsqnMpt))
        / (2.0E0*radius - (sumsqnMpt/radius));
    uProjCompl = distQsE - distQtPProj0; //distQtE == distQsE !!!
    uPO = uE + uProjCompl*calibr[ivE];
    vPO = Math.signum(vectPxT) * Math.abs(radiusE)*calibr[ivE];
}

wPO = wPI;
}

//Test if point Pg lies inside the reference domain of this reference system
//and reference value transformation. Detailed remark see end of step 10 of
//the preceding method "transform".
distAxlBdrd = edgeLength * tanTheta * 0.5E0;
if (Math.abs(vProj) > distAxlBdrd)
    System.out.println ("*** RBBS2CH1903 L782: Pt Pg" + iUnfallI + "(pi0,pi1)=( "
        + pi0 + "," + pi1
        + "\n*** mit v = " + vProj + " hat |v| > " + distAxlBdrd + ", ist also"
        + "\n*** ausserhalb des Referenzbereichs. Folgende RBBS-Koord von P "
        + "sind daher fraglich!");
System.out.println ("=== Z(zet0,zet1) = (" + zet0 + "," + zet1
+ "), distQsE = "+ distQsE
+ "\n=== RBBS-Koord. P(uPO,vPO) = (" + uPO + "," + vPO + ")");
yOtherTraTooO = true;

return;

} //inverseTrafo
} //RBBS2CH1903
```

VII Achslinien des RBBS

VII.1 Konzeptionelles Datenmodell in INTERLIS 2 (Ausschnitt)

Der folgende Ausschnitt aus dem Datenmodell `Axis` und dem Thema `Axis` zeigt die Beschreibung derjenigen Klassen, die für das Auffinden der benötigten Achsen in MISTRA wesentlich waren. Diese RBBS-Achsen der Nationalstrassen wurden gebraucht, um die Tests mit den Unfalldaten durchzuführen (siehe Abschnitt 9.3.2, Seite 83 ff). Von den Attributstypen, die in anderen Themen des Modells definiert wurden (etwa der Attributstyp `AxisTypeRef` der aus Topic `AxisCatalogs` übernommen wird), sind die entsprechenden Definitionen hier nicht aufgeführt.

```
MODEL Axis (en) AT "http://www.mistra.ch/" VERSION "2010-12-24" =

IMPORTS UNQUALIFIED CHBaseTypes
      , UNQUALIFIED CHGeometryLV03
      , UNQUALIFIED type_Axis
      , Units;
DOMAIN
  !! Position code (+, -, =); compiler doesn't cope with these values
  AxisPositionCode = (plus, minus, equal);

TOPIC Axis =
  !!=====
  !! Structures
  !!=====

STRUCTURE Measure =
  Measure: MANDATORY 0.000 .. 1000000.000 [INTERLIS.m]; !! LIST OF requires
  !! CLASS or STRUCTURE, max. sector length: 1'000km, Precision: 1mm
END Measure;

STRUCTURE AxisSegmentGeometry =
  Geometry: MANDATORY LineWithAltitude; !! 3D PolyLine with STRAIGHTS, no
  !! ARCS or Spirals supported (INTERLIS does not support spirals anyhow)
  LinDist: LIST {2 .. *} OF Measure; !! for EACH vertex: calibrated distance along
  !! axis to 1st vertex, this constraint must be checked by the application
  CaptureMethod: Axis.AxisCatalogs.CaptureMethodRef; !! method of capturing the
  !! line geometry
  CaptureDate: INTERLIS.XMLDate; !! date when geometry has been captured
  AccuracyHorizontal: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! horizontal accuracy
  AccuracyVertical: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! vertical accuracy
END AxisSegmentGeometry;

!!=====
!! Axis (the logical unit), container of Axis segments The axis is uniquely
!! identified in human readable form by the triple Owner, AxisName and
!! AxisPositionCode
!!=====
CLASS Axis =
  Validity: MANDATORY ObjectVersionInfo; !! describes a version of the axis;
  !! there is exact one version at a given time
  Owner: MANDATORY TEXT*12; !! owner of axis, ASTRA manages the unique values
  !! (strings and numbers)
  DatabaseId: MANDATORY INTERLIS.UUIDOID; !! original database ID of axes,
  !! ASTRA manages the IDs
  AxisName: MANDATORY TEXT*64; !! name of axis
  AxisNameLong: TEXT*256; !! road name, usually as indicated on street signs
  AxisPositionCode: MANDATORY AxisPositionCode; !! position code
  AxisType: MANDATORY Axis.AxisCatalogs.AxisTypeRef; !! axis type
  Status: MANDATORY Axis.AxisCatalogs.AxisStatusRef; !! life cycle status

  UNIQUE Owner, AxisName, AxisPositionCode;
  EXISTENCE CONSTRAINT Owner REQUIRED IN Axis.AxisCatalogs.RoadOwner:OwnerCode;
  EXISTENCE CONSTRAINT DatabaseId REQUIRED IN Axis.AxisCatalogs.Database:DatabaseId;
END Axis;
```

```

!!=====
!! Axis Segment, the "Main Class"
!!=====
CLASS AxisSegment =
  Sequence: MANDATORY 1 .. 10000 [Units.CountedObjects]; !! may be used for
  !! sorting segments in a list (in a non-geographic context), unique per axis
  SegmentName: MANDATORY TEXT*64; !! name of axis segment
  Geometry: MANDATORY AxisSegmentGeometry; !! 3D reference geometry for axis
  !! segment
END AxisSegment;

!!=====
!! Sector or Reference Point
!!=====
CLASS Sector =
  Sequence: MANDATORY 0.000 .. 1000000.000 [INTERLIS.m]; !! sorting of ref
  !! points on segment: Sequence(1st) = 0; Sequence(2nd) = SectorLength(1st)
  SectorName: MANDATORY TEXT*64; !! name of sector
  SectorLength: MANDATORY 0.000 .. 1000000.000 [INTERLIS.m] !! length of sector
  Km: MANDATORY 0.000 .. 1000.000 [Units.km]; !! kilometer on axis at reference
  !! point (increasing/decreasing value over all segments)
  MarkerGeometry: MANDATORY Coord3; !! planar version of reference point, is
  !! calibrating, is snapped to segment geometry
  MarkerAccuracyHorizontal: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! horizontal accuracy
  MarkerAccuracyVertical: 0.000 .. 100.000 [INTERLIS.m]; !! vertical accuracy
  MarkerType: Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef; !! type of marker on the road
  MarkerDescription: TEXT*256; !! description of marker
END Sector;

!!=====
!! Associations between Classes of Logical Unit "Axis"
!!=====
ASSOCIATION Axis_AxisSegment =
  rAxisContainer -- {1} Axis; !! axis refers to axis segments
  rAxisSegment -- {1..*} AxisSegment;
END Axis_AxisSegment;

ASSOCIATION AxisSegment_Sector =
  rAxisSegmentLR --<#> {1} AxisSegment ; !! axis segment is composed out of sectors
  rLinearReference -- {2..*} Sector;
END AxisSegment_Sector;

END Axis; !!end of TOPIC Axis
END Axis; !!end of MODEL Axis

```

VII.2 Datenobjekte Im INTERLIS 2 XML Transferformat (Beispiele)

Es folgt ein Ausschnitt aus der Transferdatei mit Achsdaten, die uns zur Verfügung stand. Sie ist im XTF-Transferformat (INTERLIS 2 XML) und enthält je ein Datenobjekt der Klassen `Axis`, `AxisSegment` und `sektor`. Das `Axis`- und das `sektor`-Objekt sind vollständig. Hingegen beim `AxisSegment`-Objekt sind nur von wenigen Strützpunkten der Achslinie deren Landeskoordinaten und deren Bezugsdistanz u vom Bezugsort angegeben. Anstelle der weggelassenen Daten befindet sich

```

<Axis.Axis.Axis TID="GUID:2e78fffb-74de-db4f-8834-75fd904b22e2" OPERATION="INSERT">
  <Validity>
    <Axis.Axis.ObjectVersionInfo>
      <VersionValidFrom>1900-01-01</VersionValidFrom>
      <VersionValidTo>9999-12-31</VersionValidTo>
      <ObjectValidFrom>1900-01-01</ObjectValidFrom>
      <ObjectValidTo>9999-12-31</ObjectValidTo>
    </Axis.Axis.ObjectVersionInfo>
  </Validity>
  <Owner>CH</Owner>
  <DatabaseId>9a5f4478-d4d0-4a3b-8d07-cdfa525b7d90</DatabaseId>

```



```
<AxisName>N4SEEW</AxisName>
<AxisNameLong>Anschluss Seewen</AxisNameLong>
<AxisPositionCode>equal</AxisPositionCode>
<AxisType>
  <Axis.AxisCatalogs.AxisTypeRef>
    <Reference REF="GUID:953ae54d-c978-7a40-b2bf-dd21b06ded28" />
  </Axis.AxisCatalogs.AxisTypeRef>
</AxisType>
<Status>
  <Axis.AxisCatalogs.AxisStatusRef>
    <Reference REF="GUID:040eeb90-09a3-5749-bd0e-5e0c67e3ee1c" />
  </Axis.AxisCatalogs.AxisStatusRef>
</Status>
</Axis.Axis.Axis>

<Axis.Axis.AxisSegment TID="GUID:02791365-645d-ec45-8ffb-4606b1c2787d"
OPERATION="INSERT">
  <Sequence>99</Sequence>
  <SegmentName>IS..RN..000001849299</SegmentName>
  <Geometry>
    <Axis.Axis.AxisSegmentGeometryRef>
      <Geometry>
        <POLYLINE>
          <COORD>
            <C1>690256.289</C1>
            <C2>209508.342</C2>
            <C3>0.000</C3>
          </COORD>
          <COORD>
            <C1>690218.536</C1>
            <C2>209450.220</C2>
            <C3>0.000</C3>
          </COORD>
          .....
          <COORD>
            <C1>690306.675</C1>
            <C2>209297.820</C2>
            <C3>0.000</C3>
          </COORD>
        </POLYLINE>
      </Geometry>
      <LinDist>
        <Axis.Axis.Measure>
          <Measure>0.000</Measure>
        </Axis.Axis.Measure>
        <Axis.Axis.Measure>
          <Measure>69.647</Measure>
        </Axis.Axis.Measure>
        <Axis.Axis.Measure>
          <Measure>69.992</Measure>
        </Axis.Axis.Measure>
        .....
        <Axis.Axis.Measure>
          <Measure>616.755</Measure>
        </Axis.Axis.Measure>
        <Axis.Axis.Measure>
          <Measure>621.800</Measure>
        </Axis.Axis.Measure>
      </LinDist>
      <CaptureMethod>
        <Axis.AxisCatalogs.CaptureMethodRef>
          <Reference REF="GUID:f158b02a-d08b-0b41-8ffe-9de9950c65fb" />
        </Axis.AxisCatalogs.CaptureMethodRef>
      </CaptureMethod>
    </Axis.Axis.AxisSegmentGeometryRef>
  </Geometry>
  <rAxisContainer REF="GUID:2e78ffffb-74de-db4f-8834-75fd904b22e2" />
</Axis.Axis.AxisSegment>
```

```
<Axis.Axis.Sector TID="GUID:52539f78-b104-6d41-98f2-08c1efae926e"  
  OPERATION="INSERT">  
  <Sequence>359.3</Sequence>  
  <SectorName>304</SectorName>  
  <SectorLength>262.5</SectorLength>  
  <Km>1.663</Km>  
  <MarkerGeometry>  
    <COORD>  
      <C1>690124.494</C1>  
      <C2>209483.179</C2>  
      <C3>0.000</C3>  
    </COORD>  
  </MarkerGeometry>  
  <MarkerType>  
    <Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef>  
      <Reference REF="GUID:d1169bde-89a9-1241-83f0-2c5669cd2a40" />  
    </Axis.AxisCatalogs.MarkerTypeRef>  
  </MarkerType>  
  <rAxisSegmentLR REF="GUID:02791365-645d-ec45-8ffb-4606b1c2787d" />  
</Axis.Axis.Sector>
```

VIII Grundlagentexte und deren Bedeutung für das Forschungsprojekt

VIII.1 VSS 1999/261 – Architektur und Zeitaspekte von SVT-Daten

Enthält die Resultate der Vorarbeiten für die Norm SN 671941 (siehe VIII.2) [17].

VIII.2 SN 671941 – SVT – Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen[39]

Diese Norm enthält das Gesamtmodell (siehe 1.1 *Abb. 1.1*), dessen praktischer Einsatz Thema dieses Forschungsprojektes ist. Verschiedene Teile der Norm werden in den folgenden Abschnitten dieses Berichtes hier besprochen:

- Gesamtmodell: Abschnitte [39] 6 (Grundsätze mit *Abb. 1* Klassen und Instanzen von Bezugssystemen) und [39] 8 (Grundlagen der Transformation mit *Abb. 3* Grundprinzip für den Datenaustausch der VM-Anwendungen) werden hier in Kapitel 1.1 bis 1.4 und Kapitel 2 sowie teilweise in Kapitel 4.1 und 4.2 aufgegriffen.
- Terminologie: Abschnitt [39] 4 (Begriffe) wird hier berücksichtigt im Kapitel 4.1 (Die Realwelt der Strassen), Kapitel 4.2 (Die Abstraktion der Strassen) und im Glossar.

VIII.3 SN 612031 INTERLIS 2 – Modellierung und Datentransfermethode [18]

Definition der konzeptionellen Datenbeschreibungssprache INTERLIS 2 ([18] Kap.2) und der Codierungsregeln für die automatische Herleitung der Beschreibung des ILI2-XML Transferformats aus dem Datenmodell ([18] Kap. 3). Verschiedene Grundlagenthemen sind in der Einleitung ([18] Kap. 1) sowie in verschiedenen Anhängen ([18] A bis K) besprochen. Hier nehmen wir insbesondere Bezug auf:

- Koordinaten-Referenzsysteme, kartesische und ellipsoidale ([18] Anhang I, S.145 bis 158) in 2.1 bis 2.5, 4.4, 4.5 und 5.2

VIII.4 VSS 1999/10 – SYRROU Système de repérage spatial des données routières.

Enthält Vorarbeiten zu den Normen 64091x. In SYRROU [8] wird festgestellt, dass zur Integration der neuen GPS-basierten Messungen ins RBBS es notwendig ist, die Geometrie der Strassenachse genau zu kennen. SYRROU äusserte sich nicht zu der Frage, wie diese Geometrie zu bestimmen ist ([8] S.6). Dies ist Thema des Nachfolge-Forschungsprojektes AGRAM [24].

VIII.5 VSS 2000/362 – AGRAM – Acquisition de la géométrie de référence des axes

AGRAM [24] ist Nachfolge-Forschungsprojekt von SYRROU [8] und befasste sich wie dieses mit Vorarbeiten zu den Normen 64091x (siehe Anhang VIII.5.2). Diese Studien sind wesentlich für verschiedene Themen unserer Arbeit hier.

VIII.5.1 Einleitung und Zusammenfassung

Zunächst wird festgestellt, dass zum Zeitpunkt des Rapport final (2003) die Achsgeometrie ausschliesslich für die graphische Darstellung der Strassendaten genutzt wurde, eine Empfehlung für weitergehende Nutzung aber fehle ([24] S.5). Dann wird aber festgestellt, dass für den Datenaustausch mit GIS die Transformation von kurvilinearen Koordinaten des Strassenunterhalts auf Landeskoordinaten unabdingbar ist und dass auch dafür entsprechende Normen fehlen ([24] S.5).

AGRAM-Ziele ([24] 1.2 S.7) sind:

- Präzisionsforderung an die Geometrie der Strassenachsen und der Strassendaten
- Analyse der Quellen von Geodaten für die Bestimmung der Achsgeometrie
- Analyse der Eignung von GPS für die Messung der Achsgeometrie
- Tests und Hinweise für Normen

VIII.5.2 Bedürfnisse des Managements Strassenerhaltung (MSE) bezüglich Achsgeometrie

In Abschnitt [24] 2.1 sind die technischen Prozesse in und zwischen Realwelt und Strasseninformationssystem (SIS) kurz beschrieben welche Strassendaten betreffen:

- (a) Erfassung und Absteckung (levé et implantation)
- (b) Datensicherung / Datenspeicherung (stockage)
- (c) Visualisierung (visualisation)
- (d) Bearbeitung / Verarbeitung (traitement).

Abschnitt [24] 2.2 erörtert die Bedürfnisse der einzelnen Fachprozesse (processus métier) der Strassenerhaltung betreffend Bezugssysteme, beginnend mit einer Übersicht S. 11. Dann wird jeder Fachprozess besprochen vom normalen Unterhalt ([24] 2.2.1 entretien courant) bis zum Management von Multiprojekten ([24] 2.2.12 management multiprojet). Schon in der Übersicht [24] S. 11 fällt auf, dass insbesondere für die Datensicherung das Landeskoordinatensystem (hier „planares“ Koordinatensystem genannt) nur für 5 der 12 Fachprozesse als wesentlich (grande utilité) bewertet wird, für weitere 3 nützlich (utile) und für 4 als unnütz (pas utile). Das hat wohl mit den eingesetzten Bewertungskriterien zu tun. Offensichtlich nicht berücksichtigt wurde die Stabilität der Bezugssysteme.

Abschnitt [24] 2.3 beschreibt die Bedürfnisse auf Grund der wechselseitigen Abhängigkeit von kurvilinearen Bezugssystemen und Geometrien. Um z.B. GPS-Messungen ohne Präzisionsverlust in ein kurvilineares Bezugssystem umrechnen zu können braucht es eine entsprechend genaue Abstraktion der Strassenachse als Achslinie (Referenzgeometrie).

Abschnitt [24] 2.4 gibt mit den Tabellen [24] 2.1 und [24] 2.2 eine übersichtliche Darstellung der Präzisionsanforderungen an die Achslinie (Referenzgeometrie) abhängig von den betrachteten Objekten des Strassenraums.

VIII.5.3 Konzepte für die Modellierung des RBBS und der Geometrien

Abschnitt [24] 3.1 beschreibt die existierende Modellierung in Strassendatenbanken und in [24] 3.1.1 zunächst die verwendeten Bezugssysteme. Es werden 3 Typen unterschieden: (A) Das kurviliare sog. Basisbezugssystem (RBBS) zur Messung und Absteckung von Orten im Realitätsausschnitt Strassenraum, (B) die topologischen sog. Betriebsnetze als Sekundärsysteme für Auswertung und Einsatz von Strassendaten, und (C) das kartesische (sog. „planare“) Bezugssystem der Landeskoordinaten, ursprünglich ausschliesslich gedacht für die graphische Darstellung von Strassendaten. Neue Messmethoden (z.B. mit GPS) brauchen aber auch für Messung und Absteckung kartesische Bezugssysteme. Die Transformation (A) \leftrightarrow (C) stützen sich auf Achsgeometrien und Kalibrierungspunkte, deren Koordinaten in beiden Systemen bekannt sind. Die folgende *Abb. VIII.46* ist eine Übersetzung von Figur [24] 3-2 nach UML und ins Deutsche.

Wir verwenden in *Abb. VIII.46* die Terminologie, welche in Kap. 4.1 und 4.2 im Detail beschrieben wird. Der obere Teil der *Abb. VIII.46* entspricht der Realwelt (4.1), der untere eingerahmte Teil, der für digitale Bearbeitung notwendigen Abstraktion der Realwelt (4.2). Insbesondere betreffen „Orte“ immer Realweltobjekte (Knotenort, Objektort). Zu einem Knoten kann es mehrere Knotenpunkte geben (jeder entsprechend einem Knotenort der Realität), nämlich einen auf jedem Abschnitt, der bei diesem Knoten beginnt oder endet. Knoten (abstrakt) sind nicht direkt Sektoren (abstrakt) zugeordnet

Nicht zutreffend scheinen uns die Bemerkungen am Fuss der Felder A und C in Fig. [24] 3-2, die wir in *Abb. VIII.46* entsprechend modifiziert haben. Wenn man das kurvilineare Bezugssystem A als *ein* Bezugssystem bezeichnet, müsste man dazu vermerken, dass

es aus n Achslinien besteht, deren Bezugsrahmen fleissig ändert gemäss baulichen Massnahmen im Strassenbereich. Und wenn man beim X/Y -Bezugssystem C n mögliche Projektionen notiert, dann liegt die Betonung auf *möglich*. Denn praktisch hat man in der Schweiz *eine* Projektion, nämlich die des Landeskoordinatensystems, dessen Bezugsrahmen nur alle 100 Jahre einmal ändert.

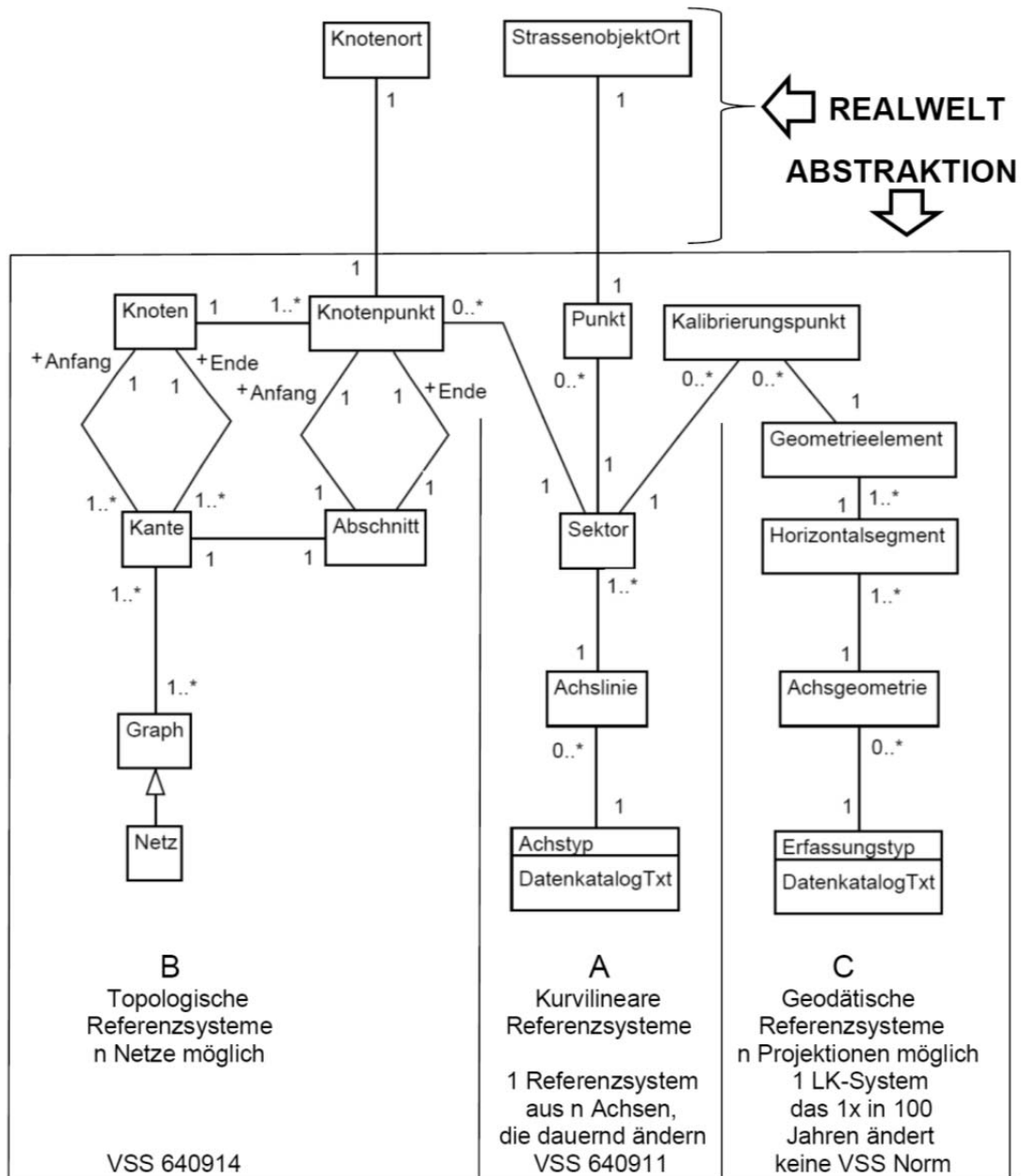


Abb. VIII.46 Konzeptionelles Schema der Raumbezugssysteme in der SDB (modifiziert)

In [24] 3.1.2 wird dargestellt, wie die 3-dimensionale (kurz 3D) Geometrie der Strassenachse, die sog. **Achsgeometrie**, in der Strassendatenbank verwaltet wird. Die Achsgeometrie ist die vektorielle Beschreibung der Achslinie in einem Raumbezugssystem. Deren Verwaltung erfolgt einerseits als **Horizontalgeometrie**, wie die Projektion der Achslinie auf die XY -Ebene der Landeskoordinaten genannt wird, andererseits als **Vertikalgeometrie**, wie man die Landeskoordinaten-Höhe Z als Funktion der sog. absoluten kurvilinearen Abszisse u' bezeichnet. u' ist die kurvilineare Distanz auf der Horizontalgeometrie. In unserem konzeptionellen Datenmodell hat jede Achslinie von vorherein eine 3D-Geometrie in Form eines 3D-Linienzuges (Datentyp **POLYLINE**) entsprechend dem **Geometriesegment** in der Strassendatenbank, dessen Stützpunkte in 3D-Landeskoordinaten gegeben sind. Als Verbindungstyp von zwei Stützpunkten (entsprechend dem

Geometrielement in der Strassendatenbank) sind in der Horizontalgeometrie Kreisbogen und Strecken vordefiniert, andere Verbindungstypen wie z.B. Klothoiden können auch eingeführt werden. Als Verbindungstyp in der Vertikalgeometrie kommt z.Z. nur die Strecke vor. Tabelle [24] 3-1 enthält mit den Parametern der Geometrielemente eine zweckmässige Übersicht der Daten, die notwendig sind zur Codierung der Verbindungstypen. Diese Angaben können direkt vom 1:1-Prozessor verwendet werden für den Datenumbau vom proprietären Strassenformat in das angestrebte Standardformat.

Abschnitt [24] 3.2 stellt neben die „Referenzgeometrie der Strassenachse“, welche benötigt wird, um kurvilineare und „planare“ Koordinaten ineinander umzurechnen, noch die „Darstellungsgeometrien der Strassenachse“, welche die grafische Darstellung der Strassenachse in Karten verschiedener Massstäbe ermöglichen. Betrachten wir die Strassenachse der Realwelt (siehe Kap. 4.1) und deren Abstraktion durch eine Achslinie im Raum (siehe Kap. 4.2), dann haben wir neben der (Referenz-) Achslinie, die dem Verlauf der Strassenachse möglichst genau entspricht, verschiedene Darstellungs-Achslinien, die wegen der in den Karten kleinerer Massstäbe (wie 1:25000, 1:50000 etc.) nötigen Generalisierungen und Schiebungen dem realen Achsverlauf nur angenähert entsprechen.

In Abschnitt [24] 3.4 (Modellierung der Referenzgeometrie) wird festgehalten, dass die (Referenz-) Achslinie der Strassenachse (d.h. der Unterhaltsachse des MSE) in der Realwelt entsprechen muss. Diese Achslinie ist verschieden vom Linienzug der sog. Konstruktionsachse des Strassenentwurfs. Letzterer besteht horizontal aus zusammenhängenden Stücken von Geraden, Kreisen und Klothoiden, vertikal aus zusammenhängenden Stücken von Geraden und Kreisen. Die Hauptunterschiede zwischen der Konstruktionsachse und der Strassenachse ergeben sich in den Kurven, wo der Strassenentwerfer nach Abschluss der Berechnungen noch sog. Überbreiten (surlagements) beifügt. Die Konstruktionsachse kann nach Abschluss der Bauarbeiten auf der Strasse nicht mehr lokalisiert werden. Immerhin entspricht die Bewegung der Strassenbenützer einer Kurve, die zusammengesetzt ist aus Teilen von Geraden, Kreisen und Klothoiden. Auch kann man voraussetzen, dass die Strassenachse, definiert als Trennlinie zwischen den Fahrbahnen entgegengesetzter Richtung auch einem Linienzug dieses Typs entspricht.

Da der Linienzug der Konstruktionsachse nicht als Achslinie geeignet ist (d.h. als Referenzgeometrie), wird in der Folge besprochen, wie die Achslinie definiert werden soll, damit sie die präzisest mögliche Abstraktion der Strassenachse ist. Als Linienzug besteht sie aus Stützpunkten und Verbindungslinien. Jedem Stützpunkt entspricht ein Ort auf der Strassenachse. von jedem Stützpunkt müssen sowohl seine kurvilinearen Koordinaten ($u, v = 0, w = 0$) als auch seine Landeskoordinaten (x, y, z) bekannt sein. Für die Verbindungslinien gibt es zwei sich widersprechende Forderungen: Einerseits soll die Achslinie die umkehrbar eindeutige Transformation zwischen kurvilinearen Koordinaten (u, v, w) und Landeskoordinaten (x, y, z) ermöglichen. Dazu müssen an jedem Stützpunkt sowohl die beiden Verbindungslinien als auch deren Tangenten stetig ineinander übergehen. Andererseits soll die präzise Messung der Strassenachse möglichst einfach sein. Dazu eignen sich vor allem Strecken (Geradenstücke) als Verbindungslinien (Varianten H1 und V1, Empfehlung in [24] 3.4). Deren Tangenten gehen aber an den Stützpunkten nicht stetig ineinander über, d.h. Achslinien nur mit Strecken erlauben keine umkehrbar eindeutige Transformation $(u, v, w) \leftrightarrow (x, y, z)$. Das Dilemma wird in [24] 3.4 (Seite 36 unten) so formuliert: „Für die Erfassung (l'acquisition) der Achslinie (la géométrie de référence) ist die Abstraktion der Strassenachse durch Strecken (Geradenstücke) am besten geeignet. Für die Anwendung (l'exploitation) der Achslinie“ – und dazu gehört insbesondere deren Verwendung als erste Achse eines kurvilinearen Koordinatensystems bei der Transformation z.B. nach Landeskoordinaten und zurück – „ist nicht unbedingt dieselbe Abstraktion der Strassenachse zweckmässig wie für deren Erfassung. Eine detaillierte Analyse wird notwendig sein, um die für die Anwendungen der Achslinie adäquate Abstraktion der Strassenachse zu bestimmen.“ In [24] 8.3 wird zum Thema „Empfehlungen für die Verwaltung (la gestion) der Achslinie“ ausgeführt: „Die Transformation (x,y,z) nach (u,v,w) und umgekehrt ist fundamental wichtig für den Einsatz der neuen Technologien zur Erfassung (z.B. mit GPS) und Verwaltung (z.B. mit GIS) von Strassendaten. ... Die Achslinie (la modélisation de la géométrie de référence) hat einen wesentlichen Einfluss auf diese Transformation und muss so definiert werden, dass sie der Eindeutigkeitsforderung genügt.“

Im Abschnitt [24] 3.5 werden zwei Konzepte vorgestellt, um für einen Punkt P die Transformation seiner Landeskoordinaten (x, y, z) nach kurvilinearen Koordinaten (u, v, w) zu berechnen. Das erste Konzept betrachtet die Projektion P' des Punktes und a' der Achslinie (Horizontalgeometrie) in der x/y -Ebene und berechnet für P' kurvilineare Koordinaten (u', v') bezüglich a' . Durch Multiplikation mit der Projektionskorrektur und allenfalls mit einem Kalibrierungsfaktor erhält man die kurvilinearen Koordinaten bezüglich der Achslinie a in der Strassenfläche. Die kurvilineare Höhe w wird berechnet auf der Geraden g von P nach P' als Distanz zwischen P und dem Punkt P^* , bei dem g die Strassenfläche durchdringt, was nur stimmt, wenn die Steigung der Strassenfläche in Achsrichtung vernachlässigbar klein ist. Das zweite Konzept setzt eine aus Strecken bestehende Achslinie voraus, sucht die am nächsten bei P gelegene Strecke und berechnet die Landeskoordinaten (x^o, y^o, z^o) der Projektion P^o von P auf die durch die nächstgelegene Strecke von a und eine darauf senkrechte horizontale Gerade definierte Ebene. Bezeichnet P^a die Projektion von P^o auf a , dann ist w die Distanz zwischen P und P^o , v die Distanz zwischen P^o und P^a und u die Länge von a zwischen dem letzten Referenzpunkt und P^a .

Ein Problem, das beim zweiten Konzept immer möglich ist und beim ersten auch, wenn die Achslinie ausschliesslich aus Strecken besteht, ist in Abb. VIII.47 dargestellt. Punkt Q und jeder Punkt der Fläche F_1 ist auf 2 Strecken der Achslinie a' projizierbar, Punkt P und jeder Punkt der Fläche F_2 kann nicht auf eine Strecke von a' projiziert werden.

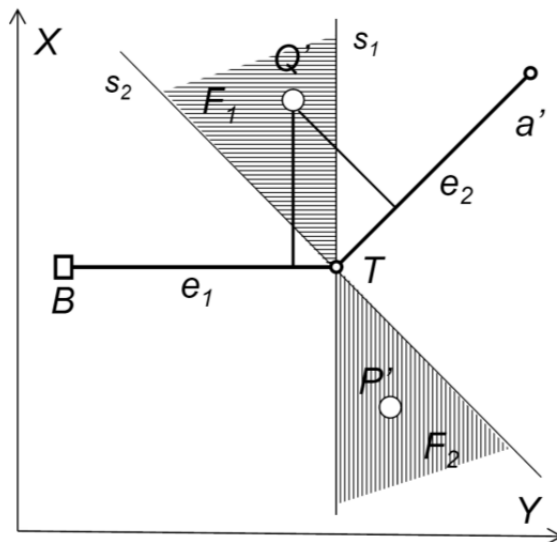


Abb. VIII.47 Problem der Transformation von kartesischen nach kurvilinearen Koordinaten bei Achslinienecken

Das Problem wird angesprochen im Anhang [24] C (Beurteilung der Qualität der Transformation $(x, y) \leftrightarrow (u, v)$ aufgrund der Präzision der verwendeten Achslinie). Im Abschnitt [24] C.4 (Beschreibung der Transformationsalgorithmen) wird darauf hingewiesen, dass in [25] Lösungen zu beiden Aspekten des Problems formuliert sind (siehe Abschnitt VIII.19). Weitere Lösungsvarianten sind in den MISTRA Webservices [30] implementiert (siehe dazu Anhang VIII.20).

Aus den übrigen Kapiteln:

4. Methoden für die Erfassung der Geometrie
5. Erfahrungen mit der Erfassung der Geometrie
6. Konzepte für die Erfassung der Geometrie
7. Vorschlag einer Methodologie
8. Schlussfolgerungen

A.B.C. Anhänge

sind die für dieses Projekt hier relevanten Abschnitte bereits erwähnt worden (8.3 und Anhang C, insbesondere Abschnitt C.4).

VIII.6 SN 64091x – Strasseninformationssysteme – Linearer Bezug ([34],[35],[36],[37],[38])

VIII.6.1 SN 640911 – Grundnorm [34]

Die in Kapitel [34] B (in den Abschnitten [34] 5, 6, 7 Seite 5 und 6) eingeführten Begriffe sind hier in Kapitel für die Abstraktion der Realwelt allgemein systematisch zusammengestellt. Es ist in [34] schwierig, die Realwelt der Strasse und deren Abstraktion auseinander zu halten. Hier findet sich in den Kapiteln 4.1 und 4.2 ein Versuch, sowohl die Realwelt als auch die für Berechnungen unerlässliche Abstraktion der Strasse präzise zu formulieren. Details zu den geodätischen (in [34] planaren), kurvilinearen (in [34] linearen) und topologischen Referenzsystemen (in [34] Bezugssystemen, Abschnitte [34] 11 bis 16, Seiten 12 bis 15) sind hier in Kapitel 4.2 besprochen. Die z.T. etwas anderen Begriffe und z.T. etwas anderen Definitionen (Abschnitte 5 bis 8, Seiten 5, 6) sind in die hier angestrebte konsistente Terminologie (Kapitel Glossar) integriert. Zur Bedeutung der Referenzsysteme sowie zu Beziehungen und Transformationen zwischen diesen (Abschnitte [34] 9, 10, 17, Seiten 7 bis 11 und 15 bis 20) siehe hier Kapitel 2.

VIII.6.2 SN 640912 – RBBS [36]

Die in den Abschnitten „Methode“ ([36] B6, Seite 5) und „Begriffe“ ([36] A5, Seiten 3 bis 5) eingeführten Begriffe sind hier in Abschnitt 4.1 und 4.2 sowie in das Glossar aufgenommen mit dem Versuch, sie einerseits der Realität zuzuordnen (4.1) und andererseits der Abstraktion der Realität (4.2). Weitere Details zum RBBS finden sich in 4.4.2.1 (Bezugssystem) sowie in 4.5.7 und 4.5.8 (Transformationen RBBS ↔ CH1903).

VIII.6.3 SN 640913 – Achsgeometrie [37]

Die Definitionen von Achsgeometrie, Referenzgeometrie, Basisgeometrie, Darstellungsgeometrie und Geometrieelement aus Abschnitt [37] 5 „Geometrien“ und die entsprechenden Ausführungen in [37] 8.2 „Geometrie-Typen“ sowie der Kalibrierungspunkt aus [37] 6 „Kalibrierung“ sind hier in Abschnitt 4.2 „Die Abstraktion der Strasse“ aufgenommen und in Zusammenhang gebracht mit der Achslinie als Abstraktion der Strassenachse. Interessant ist, dass in den Abbildungen [37] 2,4,5,6,8 und 9 die Achslinie immer als glatte Kurve ohne Ecken gezeichnet ist. Nur in Abbildung [37] 3 ist die sog. horizontale Achsgeometrie (d.h. die Projektion der Achslinie in die x-y-Ebene des Landeskoordinatensystems) als Folge von Geradenstücken dargestellt. Dabei ist es diese Abstraktion der Strassenachse, welche vom Forschungsbericht AGRAM [24] empfohlen wird und nicht die glatte Kurve ohne Ecken.

Die in [37] 8.1 „Funktionen“ erklärten Begriffe „Lokalisieren und Abstecken“ sind hier in 4.1 „Die Realwelt der Strasse“ im Zusammenhang mit dem Referenzrahmen eines Referenzsystems zu finden. Das Thema „Modellierung“ von [37] 9 ist in Kap. 5 „Konzeptionelle Datenmodellierung“ besprochen.

Zu [37] 8.1.3 und [37] E „Transformationen“ gibt es hier den Übersichtsabschnitt 2.6 „Referenzwert-Transformationen“, die Detailbeschreibung in Umgangssprache verschiedener Transformation in 4.5 „interessierende Referenzwert-Transformationen“, deren konzeptionelles Datenmodell in 5.10 „Konzeptionelle Beschreibung der Transformationen“ und schliesslich konkret in Java programmierte Transformationsalgorithmen in 9.2 „Beschreibung der Umsetzung“. In 9.2 sind auch Bemerkungen zu [37] 6 und [37] D „Kalibrierung“ zu finden.

VIII.6.4 SN 640914 – Netze und ihre Topologie [38]

Auch hier werden die Definitionen von Strassennetz, Abschnittsnetz, Basisnetz und Netztyp aus [38] 5 „Netze“ übernommen in 4.2 „Die Abstraktion der Strasse“, ferner (Netz-)Abschnitt ([38] 7.1) und Elementarabschnitt ([38] 6.3). Allerdings werden diese Begriffe in den allgemeinen Zusammenhang der kombinatorischen Geometrie gestellt, genauer, der Graphentheorie. Der zugrundeliegende allgemeine Begriff ist der Graph bestehend aus Knoten und Kanten, wobei zu jeder Kante ein Paar von Knoten gehört, nämlich ihre beiden Endknoten.

Es gab Probleme mit zwei in [38] verwendeten Begriffen. Einerseits der Begriff „Strecke“. Er wird in [38] benützt für eine zusammenhängende und abgeschlossene Teilmenge eines Achssegments. Wir verwenden dafür den Begriff „Sektion“ (entsprechend dem franz. Begriff, section), da mit „Strecke“ in der Geometrie ein Geradenstück bezeichnet wird, das abgeschlossen, endlich und zusammenhängend ist. Andererseits der Begriff „Netz“. Damit bezeichnet man in der Graphentheorie einen zusammenhängenden Graph (siehe 4.2). Das in [38] eingeführte „Streckennetz“ kann aber Lücken aufweisen, ist daher kein Netz von Sektionen und wird daher besser als Sektionsgraph bezeichnet.

VIII.7 ISO 14825 – ITS – Geographic Data Files (GDF) - Overall data specification [10]

Geographic Data Files (GDF) ist ein von der Autonavigationsindustrie entwickeltes konzeptionelles und logisches Datenmodell mit Definition eines nicht binären Standard-Datenaustauschformates für vektorisierte Kartendaten, speziell für Strassenkarten. GDF4.0 wurde 2004 unter der Norm ISO 14825:2004 beschrieben. Traditionell haben GDF-Dateien Felder mit fester Breite und 80 Zeichen pro Zeile. Die einzelnen Records können durch Continuation Records fortgesetzt werden.

Die Daten werden in drei Ebenen abgelegt:

- Level 0: Topologie (Knoten, Kante und Fläche)
- Level 1: Objekte mit Attributen (Features)
- Level 2: Komplexe Objekte (Complex Features)

Die GDF5.0-Ausgabe des Standards ersetzt GDF4.0. Die jüngste Überarbeitung des GDF-Standards durch ISO sieht neuerdings auch XML- und SQL-basierte Formate vor.

Im Bericht wird verwendet:

- Detailbeschreibung in Umgangssprache in Kap. 4.4.3.1

VIII.8 ISO 17572-1, 2, 3 - ITS - Location referencing for geographic databases [11]

ISO 17572 spezifiziert Location Referencing Methods (LRM), die Positionen beschreiben im Rahmen von geografischen Datenbanken und die verwendet werden, um transportbezogene Ereignisse zu lokalisieren. Die Norm spezifiziert 2 verschiedene LRMs:

- Pre-coded location references (pre-coded profile)
- Dynamic location references (dynamic profile)

Gliederung der Norm:

- Teil 1 der Norm beinhaltet die allgemeinen Anforderungen und das konzeptionelle Datenmodell für LRM, sowie eine Beschreibung von ausgewählten UML Elementen und eine Einleitung zum TPEG Physical Format. Es gibt keine Hinweise auf den Zusammenhang zwischen TPEG Format und LRM
- Teil 2 der Norm spezifiziert die pre-coded location referencing method.
- Teil 3 der Norm spezifiziert die dynamic location referencing method.

Im Bericht wird verwendet:

- Detailbeschreibung in Umgangssprache in Kap. 5.4.3.2
- Benötigte konzeptionelle Sprachelemente in Kap. 6.3

VIII.9 ISO 19111 – Spatial Referencing by Coordinates [12]

Dieser ISO Standard definiert ein konzeptionelles Modell für Koordinatensysteme und die

Transformation von einem Koordinatensystem in ein anderes (mit UML, siehe auch 5.1 *Abb. 5.21*). Bei den Koordinatensystemen handelt es sich um „planare“ (geodätische) Referenzsysteme, d.h. um kartesische und ellipsoidale. Kurvilineare werden in ISO 19148 [13] behandelt.

Die Koordinatensysteme werden in horizontale (2D) und vertikale (1D) unterteilt. Der Zeitaspekt kann als weitere Dimension aufgefasst werden und entsprechend auch als ein 1D Koordinatensystem beschrieben werden (UML Klassendiagramm in III.1). Während bei ISO 19111 die geodätischen Koordinatensysteme als eine UML-Klasse dargestellt werden (siehe 5.1 *Abb. 5.21*), sind sie in INTERLIS 2 Anhang I [18] unterschieden gemäss den verschiedenen Typen (eine Klasse 3D kartesische Referenzsysteme, eine andere Klasse ellipsoidische Referenzsysteme etc., siehe 5.1 *Abb. 5.20*).

Für die Koordinatentransformation werden zwar Strukturen definiert, um diese zu beschreiben, die eigentliche Semantik der Funktion (die "Mathematik") wird aber nicht definiert (UML Klassendiagramm in III.1). Um die "Mathematik" zu definieren muss `CC_OperationMethod` spezialisiert werden (z.B. durch eine neue Klasse "Helmerttransformation"). Mit Hilfe von `CC_OperationParameterValue` kann die "Mathematik" konfiguriert werden (z.B. für Helmert: Verschiebungsvektor, Maßstabsfaktor und Drehmatrix). Im Gegensatz zu ISO 19111 verwendet INTERLIS 2 Anhang I für die Transformationen nicht Klassen sondern Beziehungen zwischen den Referenzsystem-Klassen mit Attributen für die Parameter (5.1 *Abb. 5.20*).

Die unterschiedlichen Modelle bei ISO 19111 und INTERLIS 2 sind zwar inhaltlich gleichwertig. Aber die detaillierten Referenzsystem-Klassen zusammen mit den Transformations-Beziehungen haben den Vorteil, dass sie ein Netz bilden, in dem verschiedene Transformations-Wege gefunden werden können von einem Start Referenzsystem zu einem Zielreferenzsystem.

Details und wichtige Begriffe (Originaldefinitionen) zu ISO 19111 in Anhang III.1.

VIII.10 ISO 19148 – Location based services - Linear reference systems [13]

Dieser ISO Standard definiert ein konzeptionelles Modell für Angabe der Lage durch Referenzierung von einem linienförmigen Basisobjekt, Längslage zum Basisobjekt und optional eine Querlage zum Basisobjekt. Es werden hier also die kurvilinearen Referenzsysteme konzeptionell definiert (mit UML Klassendiagrammen).

Als Basisobjekt sind drei Arten möglich: die Bezeichnung eines Realweltobjektes (z.B. die Autobahn "A1", entsprechend der Strassenachse in der Realität), eine Linienförmige Geometrie (z.B. eine Folge von Stützpunkten, entsprechend der Achlinie in der Abstraktion der Realität) oder eine topologische Kante (z.B. die Verbindung von Bern nach Zürich, entsprechend der Kante eines Graphs).

Die Längslage zum Basisobjekt kann auf drei Arten definiert werden: absolut (z.B. km 5 ab Anfang A1, entsprechend unseren Referenzwerten bezogen auf ein Referenzsystem), relativ (z.B. 5km ab Raststätte Grauholz) oder interpoliert (in der Hälfte der A1), siehe Anhang III.2 UML-Diagramm für Type `LR_PositionExpression` etc.. Relative oder interpolierte Angaben können nicht umgerechnet werden auf ein Referenzsystem. Die Lage als geometrischer Punkt kann nur ermittelt werden (`Operation LR_ISpatial.point()`), wenn das Bezugsobjekt eine Geometrieangabe (`GM_Curve`) ist.

Die Querlage zum Basisobjekt kann auf zwei Arten definiert werden: absolut (5m ab Basisobjekt) oder relativ (5m ab Trottoir). Die Definitionen für die Angabe der Querlage sind eine optionale Erweiterung der Basisspezifikation, siehe in Anhang III.2 das UML-Diagramm für Type `LR_DistanceExpression` etc.

Weitere Erweiterungen: Ereignisse (Basisdefinition für Realweltobjekte die einen punktuellen oder streckenartigen Bezug zum Basisobjekt haben und an einem Zeitpunkt oder

während einer Zeitdauer stattfinden), Segmentierung (Basisdefinition für Realweltobjekte mit Eigenschaften die sich entlang des Basisobjektes ändern). Transformationen von kurvilinearen oder topologischen Referenzwerten werden nicht besprochen. Weitere Details und wichtige Begriffe (Originaldefinitionen) siehe Anhang III.2.:

VIII.11 SN 671951 (Entwurf) – SVT - Funktionale Systemarchitektur

Die Norm [40] legt funktionale Anforderungen fest, welche bei der Realisierung der Systeme der Strassenverkehrstelematik zu berücksichtigen sind. Die Norm führt sämtliche Funktionen der Strassenverkehrstelematik auf und bestimmt für jede Funktion die Aufgaben, welche durch diese zu erfüllen sind, sowie die zu erzeugende Daten. Für die Funktion „Ereignis- und Gefahrenerfassung“ z.B. sind zum Ort des Ereignisses und zu den Teilen des Strassennetzes, welche durch das Ereignis nicht oder nur eingeschränkt befahren werden können, Daten zu erzeugen. Dieser Norm ist ein entsprechendes Modell des Strassenverkehrs zu Grunde gelegt. Dieses Modell geht von einem Strassennetz aus mit Fahrbahnen auf denen für die Fahrzeuge eine bestimmte Fahrtrichtung vorgegeben ist und die aus mehreren Fahrstreifen bestehen können. Auf den Fahrbahnen gibt es drei Arten von Punkten: Verzweigungspunkte, Zusammenführungspunkte und Wendepunkte. Ein zwischen zwei Punkten der genannten Arten liegender Teil der Fahrbahn wird als Fahrbahnabschnitt bezeichnet. Dieser Feinstruktur (Verzweigungspunkte, Zusammenführungspunkte, Wendepunkte und Fahrbahnabschnitte) ist eine übergeordnete Struktur des Strassennetzes überlagert, welche aus Strassenabschnitten und Knoten besteht.

Orte sind in den Daten, die zwischen den Systemen übertragen werden, auf ein auf das Strassennetz bezogenes Ortsreferenzsystem zu referenzieren. Das Ortsreferenzsystem ist zwischen den verschiedenen Systemen abzustimmen. Die Regeln für die Ortsreferenzierung sind in der Norm SN 671951 definiert. Höhenangaben sind als Höhe über Meer anzugeben und auf das World Geodetic System 1984 (WGS84) zu beziehen.

VIII.12 VSS 2002/706 – NAVAROU –Fahrzeug Navigationsdaten für das SVM [6]

Das Projekt NAVAROU hat zum Ziel das Potential von GDF (Referenzsystem der Auto-navigationsysteme) als Datenmodell für das schweizerische Strasseninformationssystem (SIS, beschrieben in den Normen SN 640.910 ff) zu evaluieren. Im ersten Teil wird der Bedarf an Daten des Strassennetzes für die wichtigsten Arbeitsprozesse im Bereich Unterhalt und Verwaltung der Strasseninfrastruktur identifiziert wie folgt: Kurvilineares Referenzsystem (RBBS), Topologie und Geometrie der Strassenachsen. Im zweiten Teil werden die Definitionen und Datenmodelle für SIS im Detail mit der GDF Norm verglichen und der Kompatibilitätsgrad zwischen den Modellen und Daten des SIS und GDF überprüft. Im dritten Teil werden die Prozeduren für die Transformation der GDF-Daten in ein mit den VSS-Normen kompatibles Format und für den Transfer der GDF-Daten ins SIS erarbeitet. Somit kann eine Datenbank geschaffen werden die verschiedene Referenzsysteme integriert und neue Strassenachsen können anhand des GDF Referenzsystems (topologisches Referenzsystem) ins RBBS (kurvilineares Referenzsystem) eingebaut werden. Schliesslich wird gezeigt, wie Referenzwerte umgerechnet werden.

VIII.13 VSS 2001/701 – Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen [31]

Im Rahmen objektorientierter Modellierung von Strassendaten und von damit ausführbaren Operationen ist das kurvilineare Referenzsystem RBBS ausführlich beschrieben.

- In Kapitel [31] 8.2 „Linearer Bezug“ wird die Gliederung der Achslinie in Achssegmente und Sektoren dargestellt, also die erste Achse des Referenzsystems ([31] 8.2.1 „RBBS“). Zum Verlauf der Achslinie im Raum gibt es nur den Hinweis, dass der Anfangspunkt eines Sektors („Bezugspunkt“ genannt) auch mit „planaren“ d.h. mit geodätischen Koordinaten beschrieben werden muss.
- In [31] 8.2.2 „Raumbezug einer Information“ wird die Codierung der Referenzwerte

- (genannt RBBS-Ort) in diesem Referenzsystem beschrieben.
- Zur Geometrie der Achslinie äussert sich Abschnitt [31] 8.2.3 „Achssegmentgeometrie“. Dem UML-Diagramm ist zu entnehmen, dass einem Achssegment gar keine Geometrie zugeordnet sein kann oder aber ev. mehrere Referenzgeometrien und mehrere Achssegmentgeometrien. Während letztere neben Strecken (Geradenstücken) auch Kreisbogen und Klothoidenstücke enthalten können, sind als Geometrielemente einer Referenzgeometrie offenbar nur Strecken vorgesehen aufgrund der 2 bis * Achspunkte. Es ist nicht ersichtlich, ob der in [31] 8.2.1 erwähnte Bezugspunkt jedes Sektors einem der in [31] 8.2.3 vorkommenden Stützpunkte der verschiedenartigen Geometrien entspricht; auch nicht ob, und wenn ja, wie die in [31] 8.2.1 für Sektoren definierten Längen gewissen in [31] 8.2.3 bei den Kalibrierungselementen zu findenden Längen entsprechen.
 - Abschnitt [31] 8.2.4 „Netze“ beschreibt die im Strassenwesen üblichen Begriffe für die Elemente eines Graphs als UML-Diagramm, wobei Abschnitte und Sektionen (letztere auch hier als „Strecken“ bezeichnet) als Spezialisierungen von sog. Netzsegmenten erscheinen. Dabei haben die Beziehungen verschiedene Bedeutung: Ein Netzsegment liegt genau auf einem Achssegment, diese Beziehung ist eine räumliche Teilmengenbeziehung; hingegen ist die Beziehung z.B. zwischen Gesamtnetz und Zwischennetz eine Untergraph-Beziehung (Teilmenge der Knoten und alle sie verbindenden Kanten) oder eine Vergrößerung (gewisse einfache Knoten samt den sie verbindenden Kanten werden zu einem einzigen komplexen Knoten zusammengefasst, etwa bei Autobahnanschlüssen).

Nicht modelliert werden Transformationen zwischen dem RBBS und anderen Referenzsystemen.

VIII.14 VSS 2003/901 – Datenverarb. für verkehrsträgerübergreifende Mobilitätssteuerung

Die Forschungsarbeit VSS 2003/901 hatte zum Ziel, eine Lösung aufzuzeigen, wie die für das Verkehrsmanagement bzw. für die verschiedenen Verkehrstelematik-Dienste benötigten Daten und Informationen effizient bereitgestellt, mit minimalem Aufwand aufbereitet und für verschiedene Verwendungszwecke genutzt werden können.

Der Forschungsbericht gibt einen Überblick über mögliche Verkehrsdaten zur Verwendung im Verkehrsmanagement und einen Ausblick, wie ein nationaler Verkehrsdatenverbund (VDV-CH) aufgebaut werden könnte. Die Überlegungen des Forschungsberichts basieren auf dem zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts erreichten Stands der Ergebnisse des ASTRA-Projekts VM-CH.

Aufgrund der Weiterentwicklungen des Projekts VM-CH und insbesondere aufgrund der Überlegungen des ASTRA im Zusammenhang mit einer neuen nationalen Systemarchitektur (Projekt SA-CH) entsprechen die dargestellten Konzepte nicht mehr den Gegebenheiten und dem geplanten Aufbau der schweizweit ausgeprägten Systeme zur Verwendung für das Verkehrsmanagement auf der Nationalstrasse. Zudem werden in der Forschungsarbeit VSS 2003/901 Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern und untergeordneten Netzen höchstens marginal behandelt.

Ergänzende Hinweise zu den aktuellen Überlegungen seitens des ASTRA: In den aktuellen Konzepten des ASTRA ist vorgesehen, alle Daten der Nationalstrasse über eine nationale Datenplattform zur Verfügung zu stellen. Dies entspricht dem gesetzlich geforderten VDV-CH. Zudem sind klare Schnittstellen der Systeme der Nationalstrasse zu Systemen anderer Strassennetze und anderer Verkehrsträger vorgesehen. Eine Ausarbeitung dieser Schnittstellen ist Bestandteil der gegenwärtig laufenden Projekte des ASTRA (SA-CH, VM-CH).

VIII.15 Konzept für die Übernahme von Navigationsdaten in MISTRA [23]

Die wesentlichen Transformationskonzepte sind im vorliegenden Bericht berücksichtigt im Abschnitt 4.5.12 „Transformation NSkm → RBBS (kurvilinear → kurvilinear)“ S. 46 ff.

VIII.16 VSS 2007/903 – MDASVT, modellbasierter Transfer (INTERLIS) in der SVT [7]

Ziel dieses Forschungsprojektes war die Vereinheitlichung von Schnittstellen im Bereich der Strassenverkehrstelematik. Dabei wurde das modellbasierte Vorgehen eingeführt und angewandt. Damit konnten die Datenstrukturen, die von verschiedensten Schnittstellen in unterschiedlichen Transferformaten zur Verfügung gestellt werden, einheitlich sowie system- und format-unabhängig präzise konzeptionell beschrieben werden (in UML und INTERLIS2). Ferner konnten aus diesen Datenmodellen anwendungsspezifische Standardformate hergeleitet werden. Es wurde gezeigt, wie dank modellbasierten Werkzeugen die Standarddaten der Schnittstellen einfach vereinheitlicht und zusammengeführt werden können, wenn nötig nach ebenfalls einfach zu realisierendem Strukturumbau dieser Daten, ohne dass Hardware-Umbau an Systemen und Schnittstellen selbst nötig ist.

Mit einem Demonstrator-Programm wurde gezeigt, dass und wie die entwickelten Konzepte in die Realität umzusetzen sind.

Beim Strukturumbau war ursprünglich vorgesehen, auch den Referenzsystemwechsel als Umbaufunktion zur Verfügung zu stellen und entsprechend zu bearbeiten. Darauf wurde auf Anraten der Begleitkommission verzichtet und dieses Thema ist nun Gegenstand von MDATrafo.

VIII.17 MISTRA Datenkatalog www.mistra.ch [1]

Das Managementinformationssystem Strasse und Strassenverkehr (MISTRA) bildet als Gesamtkonzept die Grundlage für Planung, Bau und Betrieb der Strassen mit Schwerpunkt National- und Kantonsstrassen.

MISTRA befasst sich dabei primär mit den statischen Infrastrukturinformationen, nicht aber mit hoch dynamischen Daten wie Online-Verkehrsdaten oder der Verkehrstelematik. Das Strassennetz selbst aber auch die Infrastrukturinformationen aus MISTRA können jedoch Grundlage für Verkehrstelematikanwendungen sein. Umgekehrt können auch statistisch ausgewertete Verkehrstelematikdaten Eingang in das MISTRA-System finden.

An MISTRA beteiligt sind verschiedene Fachbereiche die untereinander auch Daten austauschen müssen. Alle Fachbereiche bewirtschaften Daten mit einem Bezug zum Strassennetz. Als gemeinsames Bezugssystem wird hier das Räumliche Basisbezugssystem (RBBS) verwendet. Dabei handelt es sich um eine Umsetzung des Bezugssystems gemäss den VSS-Normen (SN 64091x). Im MISTRA-Datenkatalog ist die Beschreibung des Bezugssystems und dessen Anwendung vorhanden. Verschiedene Sichten (zum Beispiel die topologische Sicht oder eine Sicht aus einer bestimmten Fachperspektive) werden als Fachnetze über das RBBS gelegt. Durch den gemeinsamen RBBS-Bezug können somit verschiedene Fachsichten ihre Daten gegenseitig austauschen.

Die vollständige GIS-Integration in MISTRA verlangt, dass die RBBS-Bezüge in Landeskoordinaten umgewandelt werden können und umgekehrt. Dafür wird in MISTRA für jede Strassenachse auch eine Geometrie in Landeskoordinaten gepflegt. Als Bezugsrahmen wird das CH1903 verwendet. Die in MISTRA auf das RBBS kurvilinear referenzierten Objekte können mit Hilfe der Achsgeometrie in Landeskoordinaten umgerechnet werden. Umgekehrt können Landeskoordinaten in der Nähe von Strassenachsen über diese Geometrie in RBBS-Koordinaten umgerechnet werden. Die Umrechnungen von Landeskoordinaten in RBBS-Bezüge und umgekehrt sind fester Bestandteil des MISTRA-Basisystems. Je nach Objektklasse sind die Landeskoordinaten oder die RBBS-Bezüge führend

und der andere Bezug ist jeweils abgeleitet. In der Regel werden aber bei jedem Objekttyp beide Bezugsarten gespeichert. Die hier benötigten Umrechnungsfunktionen (nicht nur zwischen Landeskoordinaten und RBBS-Bezügen, sondern auch zwischen RBBS-Bezügen zu unterschiedlichen Zeitständen) werden auch als Webservice für die MISTRA-Fachapplikationen und weitere Anwendungen zur Verfügung gestellt.

Im Zusammenhang mit MDATrafo ist relevant, dass viele RBBS-bezogene Daten existieren, welche auch im Anwendungsbereich von MDATrafo für andere Systeme verfügbar gemacht werden müssen. Umgekehrt kann durch MDATrafo das Spektrum an Quelldaten für MISTRA erweitert werden, da weitere Datenquellen ihre Daten RBBS-konform aufbereiten können.

VIII.18 EU Forschungsprojekte

Studium und Charakterisierung der europäischen Initiativen ADASIS [27], [28] und ROSATTE [5] und deren Zusammenhang mit Transformationen im Strassenbereich muss aus Zeitmangel auf ein Folgeprojekt verschoben werden.

VIII.19 VSS 19/94 - Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und GIS [25]

In [25] Anhang C werden die Koordinatentransformationen $(x, y, z) \leftrightarrow (u, v, w)$ erörtert. Dabei bezeichnen (x, y, z) die Landeskoordinaten eines Punktes (Notation meist mit grossen Buchstaben (X, Y, Z)) und (u, v, w) die kurvilinearen Koordinaten desselben Punktes (meist gemäss RBBS). Dabei wird meist die dritte Koordinate z bzw. w ausgeklammert. Wir selbst beschränken uns vorerst auf die Aussagen im Anhang C zu Punkten und lassen Linien und Flächen, letztere definiert durch ihre Randlinien, beiseite. Und die Elemente unserer Figuren befinden sich immer in der X/Y -Ebene mit den reduzierten kurvilinearen Koordinaten (u', v') .

Abschnitt [25] C.2 behandelt die Transformation $(u, v) \rightarrow (x, y)$. Für Punkte P und Q mit den kurvilinearen Koordinaten (u'_p, v'_p) und (u'_q, v'_q) aus dem kurvilinear doppelt belegten Flächenteil F_1 ändert nach Transformation auf Landeskoordinaten ihre Reihenfolge bezüglich der Distanz zum nächsten Basispunkt B von a' . Denn es gilt zwar $u'_p < u'_q$, aber $dist(P, B) > dist(Q, B)$.

Damit das nicht passiert, wird vorgeschlagen, einen Punkt P im Bereich F_1 über die Winkelhalbierende h von F_1 zum Punkt R zu verschieben durch Korrektur seiner kurvilinearen Längskoordinate $u'_p \rightarrow u'_R$. Die Querkoordinate soll sich nicht ändern $v'_p = v'_R$ (siehe *Abb. VIII.48* und *Abb. VIII.49* entsprechend den *Abb. [25] C-6* und *C-7*). R wird so gewählt, dass folgende Längenverhältnisse gelten:

$$\frac{dist(D_2, R)}{dist(D_2, H)} = \frac{dist(D_2, P)}{dist(D_2, D_1)} \quad u'_R = u'_p - dist(R, P)$$

Analog wird der Punkt Q parallel zu Element e_2 verschoben in den Punkt S , so dass die Längenverhältnisse gelten:

$$\frac{dist(C_1, S)}{dist(C_1, K)} = \frac{dist(C_1, Q)}{dist(C_1, C_2)} \quad u'_S = u'_q - dist(S, Q)$$

Dadurch soll erreicht werden, dass „die Sequenz von Strassenobjekten beibehalten wird“, d.h. wenn $u'_Q > u'_P$ (die Bezugsdistanz von Q zum Basispunkt B grösser ist als diejenige von P) dann soll auch gelten $dist(S, B) > dist(R, B)$ (die euklidische Distanz $dist$ des aus Q verschobenen Punktes S zum Basispunkt B ist grösser als diejenige des aus P verschobenen Punktes R). Wie das Gegenbeispiel in *Abb. VIII.49* zeigt, ist das aber nicht immer der Fall.

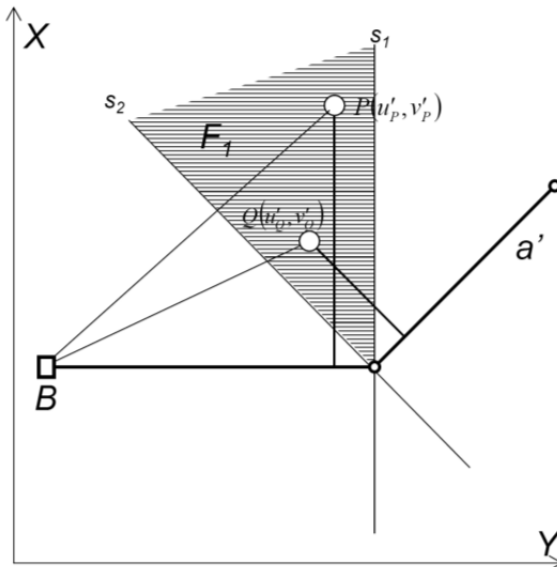


Abb. VIII.48 Im kurvilinear doppelt belegten Flächenstück F_1 ändert die Reihenfolge der Punkte nach Transformation auf Landeskoordinaten.

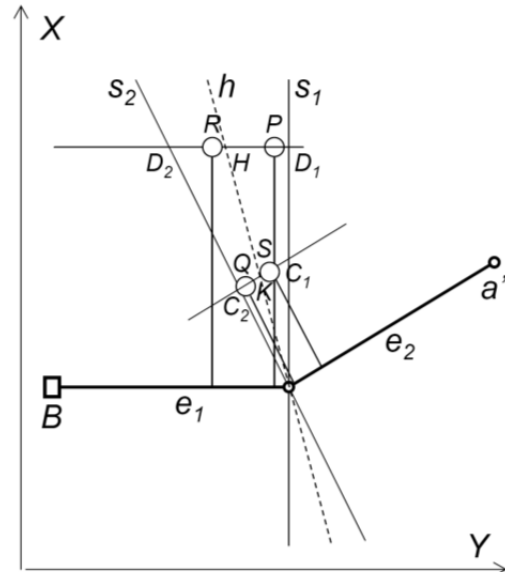


Abb. VIII.49 Verschieben von Punkten im kurvilinear doppelt belegten Flächenstück F_1 , damit die Punktsequenz erhalten bleibt

Dann werden die Punkte im Bereich F_2 betrachtet. In diesem Bereich gibt es gar keine Punkte mit kurvilinearen Koordinaten (u', v') , d.h. nach der Transformation $(u', v') \rightarrow (x, y)$ befindet sich dort ein Loch. Es wird deshalb vorgeschlagen, dieses Loch F_2 von links aus dem Gebiet zwischen e_1 und s_1 und von rechts aus dem Gebiet zwischen e_2 und s_2 aufzufüllen und zwar wie folgt: Ein Punkt P der Fläche F_3 zwischen den Geraden h und k wird über die Senkrechte s_1 ans Element e_1 verschoben zum Punkt R durch Korrektur der kurvilinearen Längskoordinate $u'_p \rightarrow u'_r$. Die Querkoordinate $v'_p = v'_r$ soll sich nicht ändern, bezieht sich daher nicht nur auf Element e_1 , sondern auf die Trägergerade g von e_1 (siehe Abb. VIII.50 entsprechend den Abb. [25] C-9 und C-10). R wird so gewählt, dass folgende Längenverhältnisse gelten:

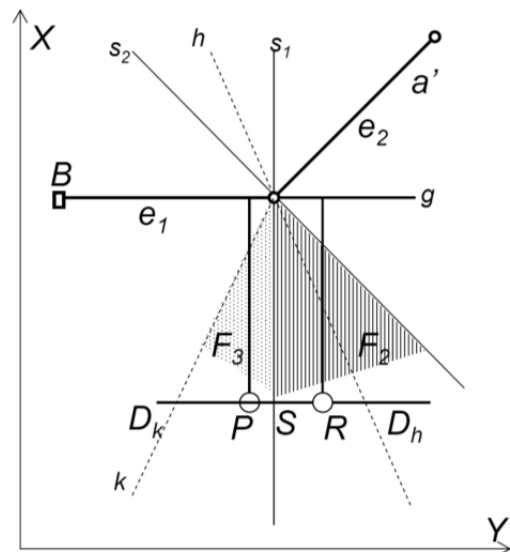


Abb. VIII.50 Verschieben von Punkten aus dem Flächenbereich F_3 ins kurvilinear leere Flächenstück F_2

$$\frac{\text{dist}(D_k, P)}{\text{dist}(D_k, S)} = \frac{\text{dist}(D_k, R)}{\text{dist}(D_k, D_h)} \quad \text{und} \quad u'_r = u'_p + \text{dist}(P, R) \quad .$$

In Abschnitt [25] C.3 wird die inverse Transformation $(x, y) \rightarrow (u, v)$ betrachtet. Dabei wird das Vorgehen für die Transformation von Flächenstücken ausführlich erörtert. Zur Transformation von Punkten wird nur festgehalten, dass dem kartesischen Koordinatenpaar (x, y) eines Punktes im Strassenraum auf der „konvexen“ Seite einer Achslienkurve mehrere kurvilineare Koordinatenpaare (u', v') zugeordnet werden können, ebenso Punkten in der Nähe von zwei Achslien, die sich kreuzen (Figur [25] C-27). Die Probleme, die sich für die Umrechnung $(x, y) \rightarrow (u, v)$ ergeben, wenn die Achslien nur aus Strecken (Geradenstücken) besteht, werden nicht besprochen.

Eine andere Variante der Transformationen $(u, v) \leftrightarrow (x, y)$ der Punkte von und nach den kurvilinear doppelt (wie F_1) bzw. überhaupt nicht belegten Flächen (wie F_2) bei Ecken von Achslinien, die nur aus Strecken (= Geradenstücken) bestehen, ist in 394.5.7 für $(u, v) \rightarrow (x, y)$ und in 4.5.8 für $(x, y) \rightarrow (u, v)$ beschrieben.

VIII.20 MISTRA – Systemdesign Web-Services V1.4 [30]

In [30] werden die Benutzungsdetails beschrieben der drei Webservices „GetAxis“, „TransformRBBS_XY“ und „CheckConnection“. Der letzte dient nur dazu, festzustellen, ob die Webservices überhaupt verfügbar sind. Hingegen stellen die beiden ersten Webservices verschiedene Methoden zur Verfügung um Achsen zu finden und Koordinatentransformationen zu berechnen zwischen CH1903, RBBS und NSkm.

Wenn wir uns auf die neueste Version 1.4 der Web-Services beschränken, sind es die folgenden Methoden

- GetAxesArray ([30] 4.1.3, V1.3) siehe 5.5.1/.2/.4/.8
- TransformRbbsToXY ([30] 5.1.3, V1.2) siehe 5.5.7
- TransformXyToRbbs ([30] 5.1.4, V1.2) siehe 5.5.8
- TransformRbbsToKilometer ([30] 5.1.5, V1.2) siehe 5.5.13
- TransformKilometerToRbbs ([30] 5.1.6, V1.2) siehe 5.5.12

Das Problem der Transformation von CH1903 nach RBBS bei Ecken von Achslinien, die nur aus Strecken (Geradenstücken) bestehen, wird in den ergänzenden Informationen [30] 5.1.4.3 zu Transform XyToRbbs angesprochen (vgl. dazu *Abb. VIII.47* in VIII.5.3). Allerdings wird nur erklärt, wie für Punkte aus dem „toten Winkel“ (z.B. Punkt P aus der Fläche F_2 in *Abb. VIII.47*) die Transformation der Koordinaten (x, y) von CH1903 nach den Koordinaten (u', v') des RBBS in der x - y -Ebene erfolgt.

Bezeichnet T die Ecke von a' in der Nähe von P' (*Abb. VIII.47*) dann gilt offenbar

$$u'(P) = u'(T)$$

$$v'(P) = \text{dist}(P', T)$$

d.h. alle Punkte aus F_2 auf einem Kreisbogen um T durch P' erhalten dieselben RBBS Koordinaten (u', v') .

VIII.21 Systemarchitektur Schweiz (SA-CH) und Fachapplik. Verkehrsmanagement (FA VM)

VIII.21.1 Zielsetzung SA-CH

Für die Nationalstrassen werden einheitliche Systeme realisiert, welche die folgenden drei Anwendergruppen (sogenannte Rollen) optimal und individuell unterstützen: Verkehrsmanagement (wahrgenommen durch die Verkehrsmanagementzentrale Schweiz), Verkehrssicherheit und Ereignisbewältigung (wahrgenommen durch die Kantonspolizeien), Technischer Betrieb und Unterhalt (wahrgenommen durch die Gebietseinheiten).

Die zukünftige Systemarchitektur der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA) der Schweiz ist auf die Prozesse der Anwender ausgerichtet, homogen strukturiert und standardisiert, modular aufgebaut und flexibel für funktionale Erweiterungen, für neue Technologien oder für organisatorische Veränderungen des Umfeldes, nach wirtschaftlichen Grundsätzen ausgelegt.

Alle Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) auf Nationalstrassen sind spätestens 2030 konform zur neuen Systemarchitektur realisiert.

VIII.21.2 Übersicht Systemarchitektur



Abb. VIII.51 Übersicht Systemarchitektur

Die Abbildung zeigt den Grobaufbau der zukünftigen BSA-Systemarchitektur. Die Funktionalitäten der Fachapplikationen entsprechen den Bedürfnissen der Anwendergruppen und werden über diverse Endbenutzergeräte zur Verfügung gestellt. Die Fach- und Basisdienste unterstützen als sogenannte Funktionsbausteine einerseits die Fachapplikationen, andererseits dienen sie als technische Fachdienste der Information, dem Reporting und der Administration. Auf Streckensystem-Ebene befinden sich schliesslich die Anlagen mit ihren Steuerungen sowie die Dienste, mit denen auf die Anlagen zugegriffen werden.

VIII.21.3 Projekt TP INA

Im Rahmen des Projekts TP INA wird die oben erwähnte Fachapplikation Verkehrsmanagement (FA VM) entwickelt, sowie die entsprechenden Fachdienste und Basisdienste. Die Fachapplikation wird in zwei Phasen entwickelt. In der ersten Phase können die Streckensysteme nicht gesteuert werden. Die erste Phase sieht aber u.a. die Ablösung der bestehenden Applikationen GEWI-TIC (Verkehrsmeldungen) sowie TESI (Baustellen-Management) vor. Die Einführung der FA VM Phase I ist, gemäss Projektplanung von Juni 2012, Ende 2013 geplant. Die zweite Phase sieht die Steuerung von Anlagen vor. Die Einführung der FA VM Phase II erfolgt voraussichtlich nicht vor 2015.

VIII.21.4 Transformationen

Tiefbauämter bzw. die Gebietseinheiten wie auch die Polizei gewisser Kantone arbeiten typischerweise hauptsächlich mit der Nationalstrassen-Kilometrierung und damit mit einem kurvilinearen Bezugssystem. Baustellen sowie durch Autofahrer rapportierte Unfälle können mit Hilfe der Kilometrierung auf dem Strassennetz positioniert werden. Verkehrsmeldungen (z.B. Meldungen der ViaSuisse) positionieren Ereignisse nur mit Hilfe von TMC-Referenzpunkten, also mit einem topologischen Modell. Schliesslich werden Adressen und Standorte meistens mit CH-Koordinaten oder WGS84-Koordinaten referenziert. Diese beiden sind planare Bezugssysteme.

Die Systemarchitektur SA-CH wird zukünftig die oben erwähnten Benutzer unterstützen. Weiter werden Daten mittels eines „Geographical Information System“ (GIS) dargestellt. Somit werden Transformationsmethoden hauptsächlich zwischen CH Landeskoordinaten, Nationalstrassen-Kilometrierung, TMC-Locations und Post-Adressen zwingend benötigt.

Seit dem NFA in 2008 und der Übernahme des Nationalstrassennetzes durch den Bund ist das Bedürfnis an zentralen Systemen gewachsen. Die laufenden Projekte Systemarchitektur Schweiz (SA-CH) und INA (Entwicklung der Fachapplikation Verkehrsmanagement FA VM) verlangen, dass Schnittstellen zu externen Systemen unterstützt werden, unter anderem zur Polizei, zur ViaSuisse (VIZ-CH), zu MeteoSchweiz, Swisstopo etc. Diese Schnittstellen wie auch die Prozesse der Applikationen selbst setzen Transformationen zwischen Bezugssystemen voraus.

IX Beschreibung der Umsetzung

Die Algorithmen für die Berechnung der Koordinatentransformationen $RBBS \rightarrow CH1903$ und $CH1903 \rightarrow RBBS$ wurden in Java programmiert. Die entsprechende Klasse heisst `RBBS2CH1903` und hat die 3 Methoden

- `newAxis`: Neue Achse organisieren
- `transform`: Transformation $RBBS \rightarrow CH1903$ für einen Punkt
- `inverseTrafo`: Transformation $CH1903 \rightarrow RBBS$ für einen PunktText

IX.1 newAxis

Die Koordinaten aller n Stützpunkte $S_i, i=1, \dots, n$ der neuen Achse werden übernommen sowie die Kalibrierungsfaktoren für die Streckenstücke unmittelbar nach den Stützpunkten. Ein geeigneter lokaler Nullpunkt wird bestimmt und die Stützpunktkoordinaten werden auf diesen lokalen Nullpunkt umgerechnet.

IX.2 transform

Die Transformation von den RBBS-Koordinaten (u, v, w) eines Punktes P bezüglich der mit `newAxis` eingelesenen Achse auf seine CH1903-Koordinaten (π_0, π_1, π_2) erfolgt in 10 Schritten.

(1)

Finde den Stützpunkt S_{m+1} der Achslinie, dessen erste RBBS-Koordinate u_{m+1} grösser ist als die erste RBBS-Koordinate u von P , $u_{m+1} \geq u$

(2)

Berechne die LN02-Höhe $z = \pi_2$ von P . Das ist im Moment nicht möglich, da die Stützpunkte der Achslinien keine Höhenwerte haben. Die LN02-Höhe von P muss der Methode `transform` als Parameter übergeben werden.

(3)

Berechne die Projektionswerte (u', v') von (u, v) in der x - y -Ebene der CH1903 Lagekoordinaten. Zunächst berechnet sich (u', v') mit Hilfe des Kalibrierungsfaktors cal_m der nächstgelegene Kante k vom Stützpunkt S'_m zu S'_{m+1} der Achslinienprojektion a' gemäss $u' = u/cal_m, v' = v/cal_m$. Bezeichnet $P' = (u', v')$ die Projektion des Punktes P auf die x - y -Ebene und P'_0 der Fusspunkt der Projektion von P' auf die Kante k , dann sei $u'_r = (u - u_m)/cal_m$, der Restwert von u' , d.h. der Abstand zwischen P'_0 und dem Startpunkt S'_m auf der Kante k .

(4)

Abklären, in der Nähe welcher der beiden Stützpunkte (S'_m , bzw. S'_{m+1}) der nächstgelegenen Kante k von a' sich der Fusspunkt P'_0 befindet und entsprechende Definition der Kantensituation vornehmen. Der Stützpunkt näher bei P'_0 heisst neu E .

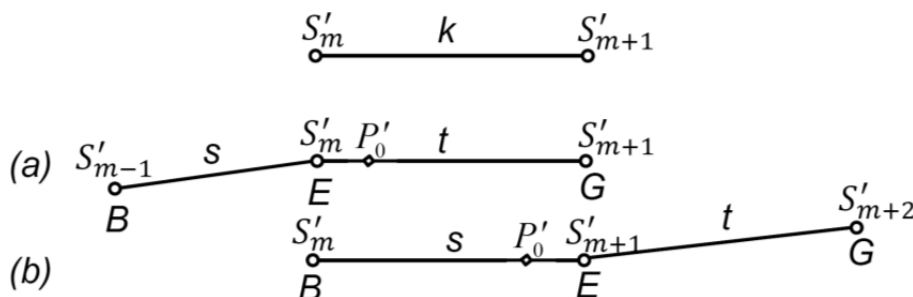


Abb. IX.52 Eckensituation

Befindet sich P'_0 auf der Achslinie a' kurz nach dem Startpunkt S'_m der nächstgelegenen Kante k , bezeichnen wir diesen Startpunkt als E , die Kante, auf der sich P'_0 befindet, als t , deren Endpunkt S'_{m+1} als G , die Vorgängerkante als s und deren Startpunkt S'_{m-1} als B . D.h.

$$B := S'_{m-1}, E := S'_m, G := S'_{m+1}$$

Befindet sich hingegen P'_0 auf der Achslinie a' kurz vor dem Endpunkt S'_{m+1} der nächstgelegenen Kante k , dann bezeichnen wir diesen Endpunkt als kritische Ecke E , die Kante k , auf der sich P'_0 befindet, als s , deren Startpunkt S'_m als B , die Folgekante als t und deren Endpunkte S'_{m+2} als G . D.h.

$$B := S'_m, E := S'_{m+1}, G := S'_{m+2}$$

Die folgenden **Schritte 5, 6, 7, 8** werden nur ausgeführt, wenn der kritische Stützpunkt E sich nicht am Anfang oder am Ende der Achse befindet. Befindet sich P'_0 auf der Kante vom Typ t , d.h. nahe beim Anfangspunkt der Kante, dann ist der kritische Stützpunkt E der Stützpunkt S'_m der Achslinie a' und E ist damit nicht Anfangsstützpunkt der Achse, falls $m > 0$. Befindet sich P'_0 auf der Kante vom Typ s , d.h. nahe beim Endpunkt der Kante, dann ist der kritische Stützpunkt E der Stützpunkt S'_{m+1} von a' und E ist dann nicht Endstützpunkt der Achslinie, wenn $m + 1 < n - 1$ (zur Erinnerung: Der Index m kann Werte > 0 und $< n - 1$ annehmen!).

(5)

Bestimme die Winkelhalbierende beim Achsstützpunkt E wie folgt: Seien b, e und g die Ortsvektoren der Achs-Stützpunkte B, E und G dann gilt für die Kantenvektoren $t := g - e$ und $s := b - e$. Nehmen wir auf der Kante s einen Punkt L mit gleichem Abstand von E wie G (Endpunkt der Folgekante t) von E , dann gilt für den Ortsvektor l von L

$$l = e + s \cdot |t|/|s|$$

Sei F der Mittelpunkt der Verbindungsstrecke von L nach G , dann gilt für dessen Ortsvektor f

$$f = (l + g)/2$$

und für den Vektor h , der die Gerade der Winkelhalbierenden bei E erzeugt, gilt:

$$h = f - e$$

(6)

Bestimmung des Winkels α bei der Ecke E im Dreieck $BEGB$, bzw. besser des Winkels $\omega = \alpha/2$ bzw. von $\cos \omega$ und $\sin \omega$ gemäss:

$$\cos \omega = |h|/|t|, \quad \sin \omega = |g - f|/|t|$$

(7)

Abklären, ob sich Punkt P' auf der „konvexen“ Seite der Achslinie beim Stützpunkt E befindet, oder auf der „konkaven“. Die „konvexe“ Seite enthält den Bereich der x - y -Ebene, in welchem jeder Punkt zwei verschiedene RBBS-Koordinaten hat, einmal bezüglich der Kante s und zum anderen bezüglich der Kante t der Achslinie a' . Die „konkave“ Seite enthält den Bereich der x - y -Ebene, in welchem jeder Punkt gar keine RBBS-Koordinaten hat, den sog. leeren oder toten Winkel (vgl. *Abb. VIII.47*, S. 135). Zur Unterscheidung der beiden Fälle dient im Transformationsprogramm die boolesche Variable `YPONEAS` (Yes: the Point is On the Empy Angle Side). Sie bekommt den Wert `true`, wenn sich P' auf der „konkaven“ Seite der Achslinie bei Stützpunkt E befindet, andernfalls den Wert `false`. Die Bestimmung von `YPONEAS` erfolgt durch Vergleich des Vorzeichens des Vektorprodukts $s \times t$ mit dem Vorzeichen der zweiten RBBS-Koordinate ν' von P' . Sind sie gleich, hat `YPONEAS` den Wert `true`.

(8)

Hier wird die Ecke E der Achslinie a' ersetzt durch einen Kreisbogen. Damit wird die umkehrbare Eindeutigkeit der Transformation $RBBS \rightarrow CH1903$ erreicht. Denn dann kann der leere Winkel auf der einen Seite der Achslinie „aufgefüllt“ und der doppelt

belegte Winkel auf der anderen Seite „entflochten“ werden. Für jeden Punkt P' mit RBBS-Koordinaten (u', v') wird ein individueller Kreis verwendet mit dem Radius abhängig von $|v'|$

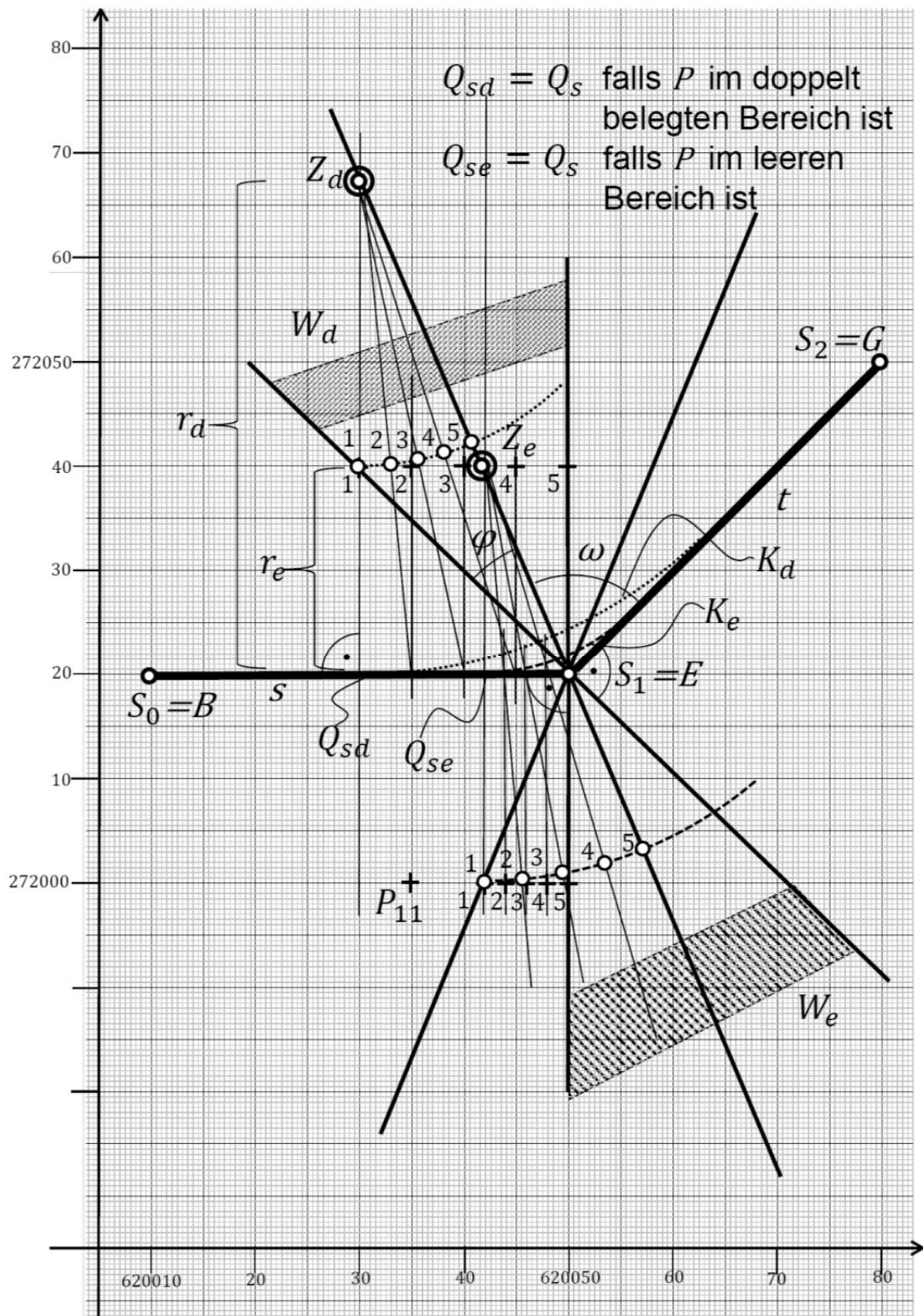


Abb. IX.53 Ersatz der Ecke E durch Kreisbogen

Abb. IX.53 zeigt die Situation von zwei Achslinienkanten s und t , die im Stützpunkt E zusammenstossen. Der Stützpunkt B sei der Bezugspunkt des Sektors. Die Punkte Nr. 0,1,2,3,4 mit den kurvilinearen Koordinaten (31,20), (33.5,20), (36,20), (38,20), (40,20) befinden sich auf der Seite der Achslinie mit dem „leeren Winkel“ W_e im Bereich, aus dem Punkte in diesen leeren Winkel verschoben werden müssen, damit sie CH1903-Koordinaten erhalten können. Zu diesem Zweck wird die Ecke E ersetzt durch den Kreisbogen K_e mit Zentrum Z_e und Radius r_e ($=20$). Der + Punkt Nr. 3 mit kurvilinearen Koordinaten (38,20) wird zum o Punkt Nr. 3 mit den CH1903 Koordinaten ca. (650054, 272001.5) im Abstand $2 \cdot r_e$ ($=40$) von Z_e auf der Geraden durch Z_e und den Fusspunkt Nr. 3 auf s mit den kurvilinearen Koordinaten (48,0). Analog für die anderen Punkte Nr. 0,1,2,4 auf dieser Seite der Achse mit $v' = 20$.

Die Punkte Nr. 0,1,2,3,4 mit den kurvilinearen Koordinaten (20,-20), (25,-20), (30,-20), (35,-20), (40,-20) befinden sich auf der anderen Seite der Achslinie im „doppelt überdeckten Winkel“ W_d und müssen daraus in die einfach belegten Nachbarbereiche verschoben werden, damit ihnen eindeutig CH1903 Koordinaten zugeordnet werden können. Zu diesem Zweck wird die Ecke E ersetzt durch den Kreisbogen K_d mit Zentrum Z_d auf der Winkelhalbierenden der Ecke E und mit Radius

$$r_d = r_e \left(1 + \frac{1}{\sin(\omega - \psi)} \right)$$

Der + Punkt Nr. 2 mit den kurvilinearen Koordinaten (30,-20) wird o Punkt Nr. 2 mit den CH1903 Koordinaten ca. (620035.5, 272040.5) im Abstand $r_d - r_e$ (≈ 30) von Z_d auf der Geraden durch Z_d und den Fusspunkt Nr. 2 auf s mit den kurvilinearen Koordinaten (30,0). Analog für die anderen Punkte Nr. 0,1,3,4 auf dieser Seite der Achse im Bereich W_d mit $v' = 20$. Neben den in Schritt 5 eingeführten Punkten und Ortsvektoren verwenden wir noch die folgenden: Z_e bezeichne das Kreiszentrum, falls der zu transformierende Punkt P auf der Seite der Achse mit dem leeren Winkel W_e liegt, Z_d das Kreiszentrum falls P' auf der Seite der Achse mit dem doppelt belegten Winkel W_d liegt.

Q_{se} ist der Fusspunkt des Lotes von Z_e auf die Achskante s und Q_{sd} der Fusspunkt des Lotes von Z_d auf s . z_e , z_d , q_{se} und q_{sd} sind die entsprechenden Ortsvektoren. Dann gelten folgende Formeln mit $r = |v'|$ (siehe auch Abb. IX.54):

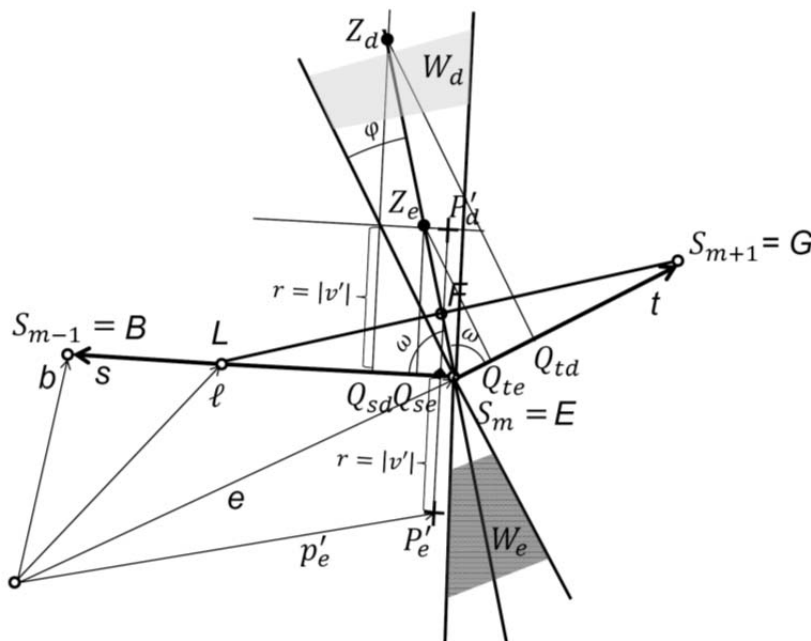


Abb. IX.54 Detailsituation an Achsstützpunkt E

rechnung auf CH1903 auch verschoben in den Punkt $P_g = (\pi_{g0}, \pi_{g1})$. Dessen Ortsvektor heisse p_g .

Diesen neuen Punkt wollen wir bestimmen, indem wir vom Kreiszentrum Z eine Gerade ziehen durch den Fusspunkt P'_o des Lotes von P' auf die Achslinie. Wir brauchen also sicher die CH1903 Koordinaten von P'_o , auf welcher Seite der Achslinie sich der Punkt P' auch immer befindet. Es gilt:

$$p'_0 = b + \frac{e-b}{|s|} \cdot u'_r \quad \text{falls } P'_o \in s \quad \text{bzw.}$$

$$p'_0 = e + \frac{g-e}{|t|} \cdot u'_r \quad \text{falls } P'_o \in t \quad .$$

Falls sich P' auf der Seite der Achse mit W_e befindet, berechnet sich p_g so:

$$p_g = z_e + 2r \frac{p'_0 - z_e}{|p'_0 - z_e|} \quad .$$

Falls sich P' auf der Seite der Achse mit W_d befindet, bestimmt sich p_g so:

$$p_g = z_d + (r_d - r) \frac{p'_0 - z_d}{|p'_0 - z_d|} \quad \text{wobei}$$

$$r_d = |z_d - e| \cdot \cos \omega = |z_d - e| \frac{|g-f|}{|t|}$$

Abb. IX.53 veranschaulicht die Wirkung dieser beiden Transformationen.

Im Java-Programm wird für p'_o die Bezeichnung $m = (\mu_0, \mu_1)$ verwendet.

IX.3 inverseTrafo

Die Transformation von den CH1903-Koordinaten (π_0, π_1, π_2) eines Punktes P auf seine RBBS-Koordinaten (u, v, w) bezüglich der mit `newAxis` eingelesenen Achse erfolgt ebenfalls in 10 Schritten.

(1)

Finde den Stützpunkt S'_m der Achslinienprojektion a' mit der kleinsten Distanz zur Projektion P' von Punkt P in der x - y -Ebene

$$\text{dist}(S'_m, P') = \min \{ \text{dist}(S'_i, P'), i = 1, \dots, n \} \quad .$$

Im Programm werden für $i=1..n-1, m=1..n-1$ die Variablennamen `iv, nv, ivE` verwendet. Hier wird auch noch bestimmt, ob der am nächsten bei P' gelegene Punkt P'_o der Achslinie a' (in der x - y -Ebene) „in der Mitte“ der Achslinie a' liegt (`yMidAxis = true`), d.h. nicht beim Anfangspunkt der ersten oder beim Endpunkt der letzten Kante der Achslinie. Das ist der Fall, wenn $m > 1$ und $m < n$ ist, d.h. wenn der nächstgelegene Stützpunkt E von a' nicht der erste (S'_1) oder der letzte (S'_n) Stützpunkt von a' ist.

(2)

Berechne die RBBS-Höhe w von P . Das ist im Moment nicht möglich, da die Stützpunkte der Achslinie keine Höhenwerte haben. Die RBBS-Höhe w von P muss der Methode `inverseTrafo` als Parameter übergeben werden.

(3)

Bestimme die Nachbarstützpunkte $B := S'_{m-1}$ vor und $G := S'_{m+1}$ nach dem am nächsten bei P gelegenen Stützpunkt $E := S'_m$ der Achslinie. Ferner berechne die Vektoren s und t der bei E aneinanderstossenden Achslinienkanten mit Hilfe der Ortsvektoren b, e, g der Stützpunkte B, E, G gemäss $s := b - e$ und $t := g - e$ sowie deren Längen `|s|` (`s.length`) und `|t|` (`t.length`).

(4)

Jetzt ist die Winkelhalbierende beim Stützpunkt E zu bestimmen mit Hilfe der Vektoren b, e, g, s, t aus Schritt 3. Sei

$$l := e + s|t|/|s| \quad \text{und}$$

$$f := (g + l)/2 \quad \text{dann ist}$$

$$h := f - e$$

ein Vektor, der die Gerade der Winkelhalbierenden erzeugt. Ist dessen Länge $|h| < 0.01\sqrt{2}m$, dann ist E keine „echte“ Ecke sondern liegt auf der Verbindungsgeraden von B nach G und die Umrechnung CH1903 \rightarrow RBBS kann sofort ohne Ersatz von E durch einen Kreisbogen erfolgen (`yCircleObslt = true`).

(5)

Entscheidung, ob sich P' auf derselben Seite der Achslinienprojektion a' befindet wie der Bereich W_e (der sog. „tote Winkel“ mit Punkten ohne kurvilineare Koordinaten), oder auf der anderen mit dem Bereich W_d , wo jeder Punkt zwei kurvilineare Koordinaten hat. Im ersten Fall wird die boolesche Variable `yPOnEAS` (yes: Point On Empty Angle Side) auf wahr gesetzt, im zweiten Fall auf falsch. Berechnungskriterium ist das Vorzeichen des Skalarprodukts von $p - e$ und h wie folgt:

$$yPOnEAS := (p - e) \cdot h < 0.$$

(6)

Abklären, ob sich P'_o auf der Achslinienkante s oder t befindet. Im Fall „auf s “ wird die boolesche Variable `yPProj0ons` wahr gesetzt, im Fall „auf t “, falsch. Zur Berechnung dienen die beiden Vektorprodukte $s \times t$ und $(p - e) \times h$. Wenn sich die Achslinie a' in E nach links wendet (d.h. $s \times t < 0$) dann liegt P'_o auf s , wenn $(p - e) \times h \leq 0$ ist, bzw. auf t , wenn $(p - e) \times h > 0$. Wenn sich a' nach rechts wendet (d.h. $s \times t \geq 0$), dann liegt P'_o auf s , wenn $(p - e) \times h \geq 0$ ist, bzw. auf t , wenn $(p - e) \times h < 0$.

(7)

Bestimme, ob sich P' im kritischen Bereich K um E befindet, der erfordert, dass E ersetzt wird durch einen Kreisbogen.

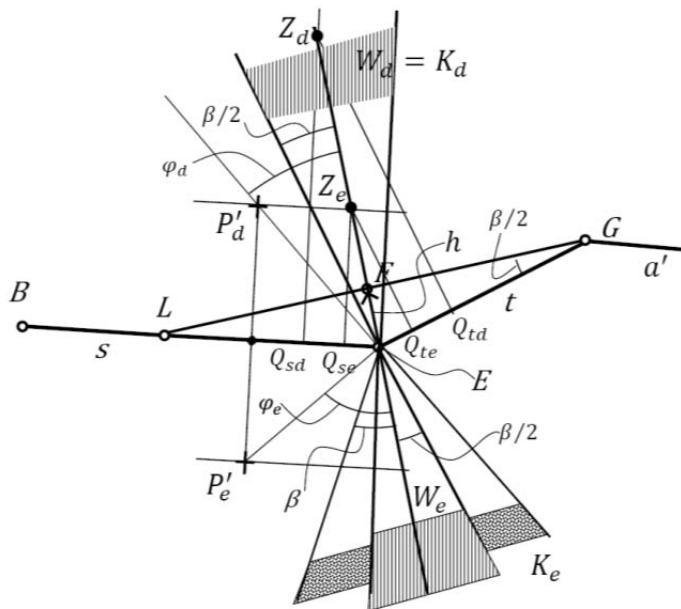


Abb. IX.56 Punkt P'_e (P'_d) und kritischer Bereich K_e (K_d)

Der kritische Bereich K_e auf der Seite der Achslinienprojektion a' mit dem „leeren“ Winkelbereich W_e ist ebenfalls ein Winkelbereich mit Spitze E , allerdings mit Öffnungswinkel 2β . Befindet sich der Punkt P'_e auf dieser Seite, dann bezeichne φ_e den Winkel zwischen den Vektoren $p'_e - e$ und $-h$. Dann liegt P'_e ausserhalb des kritischen Bereichs K_e , falls $\varphi_e \geq \beta$ (bzw. $\cos \varphi_e \leq \cos \beta$), und innerhalb, falls $\varphi_e < \beta$ (bzw. $\cos \varphi_e > \cos \beta$). Dabei berechnet sich $\cos \beta$ so:

$$\cos\beta = \cos^2(\beta/2) - \sin^2(\beta/2) = \frac{|f-g|^2 - |f-e|^2}{|t|^2}$$

Dagegen ist der kritische Bereich K_d auf der Seite von a' mit dem „doppelt belegten“ Winkelbereich W_d identisch mit diesem Winkelbereich, $K_d = W_d$ und hat den Öffnungswinkel β . Für P'_d auf dieser Seite bezeichne φ_d den Winkel zwischen den Vektoren $p'_d - e$ und h . Dann liegt P'_d ausserhalb des kritischen Bereichs K_d , falls $\varphi_d \geq \beta/2$ (bzw. $\cos\varphi_d \leq \cos(\beta/2)$) und innerhalb, falls $\varphi_d < \beta/2$ (bzw. $\cos\varphi_d > \cos(\beta/2)$).

Hier wird auch noch bestimmt, ob P' auf der Kante s liegt, d.h. ob für das Vektorprodukt $(p-e) \times s = 0$ gilt (**yPOnS = true**), bzw auf der Kante t , d.h. ob für das Vektorprodukt $(p-e) \times t = 0$ gilt (**yPOnT = true**).

Die Berechnung der kurvilinearen Koordinaten (u, v) von P' ohne den Stützpunkt E durch einen Kreisbogen zu ersetzen ist dann möglich bzw. nötig, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- P' liegt auf einer der Achskanten s oder t .
- P' ist nahe beim Start- oder End-Stützpunkt der Achslinienprojektion a' , d.h. S_1 oder S_n ist kritischer Achsstützpunkt E .
- Für die Länge des Trägervektors h der Winkelhalbierenden bei E gilt $|h| < 0.01\sqrt{2}m$
- P'_e befindet sich ausserhalb des kritischen Winkelbereichs K_e bzw. P'_d ausserhalb von K_d (gemäss Schritt 7 und Abb. IX.56).

In diesem Fall berechnen sich die RBBS-Koordinaten (u, v) von P' gemäss Abb. IX.57 für den Fall $P'_0 \in s$ wie folgt:

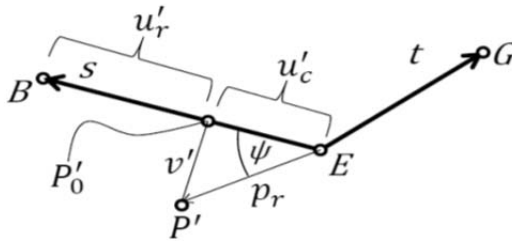


Abb. IX.57 Berechnung der RBBS-Koordinaten von P' ohne Ersatz der kritischen Ecke E durch einen Kernbogen

$$u'_c = |p_r| \cdot \cos\psi \quad ; \quad \cos\psi = \frac{p_r \cdot s}{|p_r||s|} \quad \text{somit}$$

$$u'_c = \frac{(p_r \cdot s)}{|s|}$$

$$u'_r = |s| - u'_c$$

$$u = u_B - u'_r \cdot cal_{m-1}$$

wo cal_{m-1} den Kalibrierungswert zum Achsstützpunkt S_{m-1} bedeutet. Ferner ist

$$v' = |p_r| \cdot \sin\psi \quad ; \quad \sin\psi = \frac{p_r \times s}{|p_r||s|} \quad \text{also}$$

$$v' = \frac{(p_r \times s)}{|s|}$$

$$v = v' \cdot cal_{m-1}$$

Mit den analogen Überlegungen bekommt man für $P'_0 \in t$ das Ergebnis

$$u'_c = \frac{(p_r \cdot t)}{|t|} = u'_r$$

$$u = u_E + u'_r \cdot cal_m$$

$$v' = \frac{(p_r \times t)}{|t|}$$

$$v = v' \cdot \text{cal}_m$$

Die folgenden Schritte 9 und 10 beschreiben, wie man zu RBBS-Koordinaten kommt, wenn der Achslinien-Stützpunkt E durch einen Kreisbogen zu ersetzen ist und daher der Ausgangspunkt P_g zuerst in den Punkt P' verschoben werden muss, bevor für diesen (P') u und v berechnet werden können. In 9 wird die Distanz $\text{dist}(E,Z)$ vom kritischen Achslinienstützpunkt E zum Kreiszentrum Z berechnet, in 10 dann die RBBS-Koordinaten (u,v) von P' . Da die Berechnungen recht grundsätzlich verschieden sind, ob sich der zu transformierende Punkt P' im kritischen Bereich K_e um den „leeren Winkel“ W_e befindet oder in K_d um den „doppelt belegten“ Winkel W_d , unterscheiden wir auch für die Beschreibung entsprechend die Schritte 9e und 10e für den Fall $P' \in K_e$ sowie 9d und 10d für den Fall $P' \in K_d$.

(9d)

Der Ausgangspunkt P_g mit den CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) befinde sich auf der Seite der Achslinienprojektion a' mit dem „doppelt belegten“ Winkelbereich.

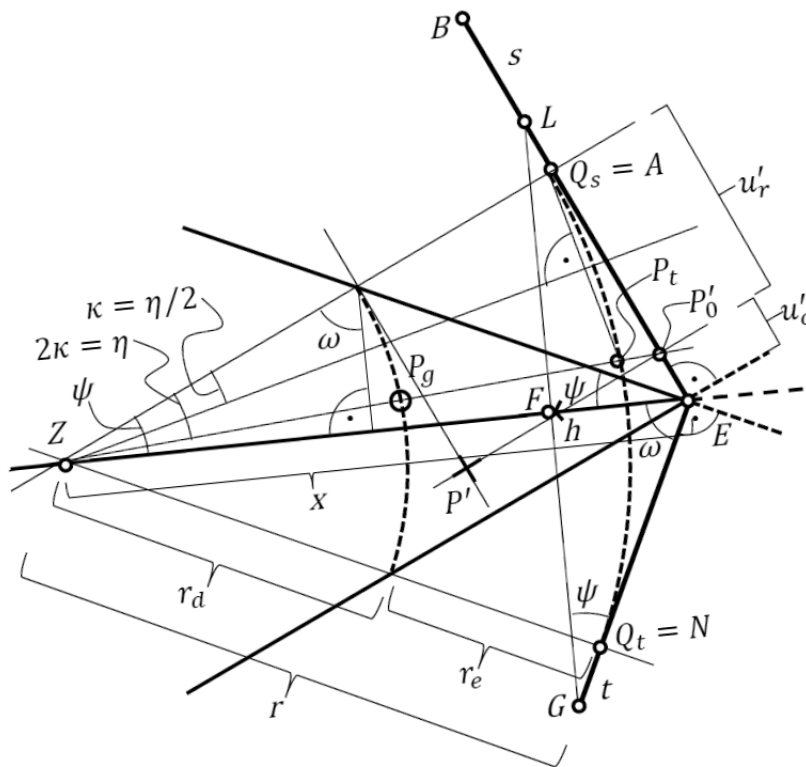


Abb. IX.58 Berechnung von (u,v) für $P_g \in W_d$

Auch hier soll zuerst die Distanz $x := \text{dist}(Z,E) = |z - e|$ zwischen dem Kreiszentrum Z und der am nächsten bei P_g gelegenen Achslinienecke E bestimmt werden. Als Definition für x kann auch die folgende Vektorgleichung angesehen werden

$$z = e + \frac{h}{|h|}x \quad (\text{F1})$$

Bezeichnet r_d den Radius des Kreises um Z , auf dem P_g liegt, und ω die Hälfte des spitzen Winkels zwischen den Achslinienkanten s und t , dann können wir Abb. IX.58 entnehmen

$$\frac{x/2}{r_d} = \sin \omega$$

$$|p_g - z| = r_d = \frac{x}{2 \cdot \sin \omega} \quad (\text{F2})$$

Darin z einsetzen gemäss (F1) und $p_r := p_g - e$ brauchen

$$\left| p_r - \frac{h}{|h|} \right|^2 = \frac{x^2}{4 \cdot \sin^2 \omega}$$

Einsetzen der Koordinaten (π_{r0}, π_{r1}) für p_r sowie (χ_0, χ_1) für h und umformen ergibt

$$\pi_{r0}^2 + \pi_{r1}^2 - 2 \frac{x}{|h|} (\pi_{r0} \chi_0 + \pi_{r1} \chi_1) + \frac{x^2}{|h|^2} (\chi_0^2 + \chi_1^2) = \frac{x^2}{4 \cdot \sin^2 \omega}$$

$$|p_r|^2 - 2 \frac{x}{|h|} (p_r \cdot h) + \frac{x^2}{|h|^2} |h|^2 = \frac{x^2 |t|^2}{4|g-f|^2}$$

auch noch wegen $\sin \omega = |g-f|/|t|$. Damit bekommen wir die folgende quadratische Gleichung in x :

$$\left(1 - \frac{|t|^2}{4|g-f|^2} \right) x^2 - \frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} x + |p_r|^2 = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Für die beiden Lösungen x_1, x_2 gilt:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{\text{Det}}}{2a}, \text{ wobei}$$

$$\text{Det} = b^2 - 4ac = \left(-\frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} \right)^2 - 4 \left(1 - \frac{|t|^2}{4|g-f|^2} \right) |p_r|^2$$

$$= 4 \left[\frac{(p_r \cdot h)^2}{|h|^2} - |p_r|^2 \left(1 - \frac{|t|^2}{4|g-f|^2} \right) \right] \quad \text{im Programm:}$$

$$= 4 * [\text{scalP} * \text{scalP} / \text{sumsqh} - \text{sumsqpMe} * (1 - \text{sumsq} / (4 * \text{sumsqgMf}))]$$

$$-b = + \frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} \quad \text{im Programm}$$

$$= 2 * \text{scalP} / \text{Math.sqrt}(\text{sumsqh})$$

$$2a = 2 \left(1 - \frac{|t|^2}{4|g-f|^2} \right) \quad \text{im Programm}$$

$$= 2 * (1 - \text{sumsq} / (4 * \text{sumsqgMf}))$$

und damit berechnet sich das Kreiszentrum gemäss

$$z = e + x_1 \frac{h}{|h|}$$

(10d)

Nun können wir die RBBS-Koordinaten (u, v) von P' bestimmen. Q_s ist der Fusspunkt des Lotes von Z auf s und q_s der entsprechende Ortsvektor. Für die Bestimmung von u brauchen wir die Distanz $u'_r = \text{dist}(B, P'_0)$ vom Startpunkt B der Kante s zum Fusspunkt P'_0 des Lotes ab Zielpunkt P' auf s . Der Ortsvektor von P'_0 sei p'_0 . Mit dem Abstand $u'_c = \text{dist}(P'_0, E)$ zwischen P'_0 und E gilt:

$$u'_r = |s| - u'_c$$

$$v' = |q_s - z| - r_d (=: r_e)$$

Ferner gilt

$$u'_c = |q_s - e| - |q_s - p'_0| \quad \text{(F3)}$$

Daher müssen wir uns um diese beiden Distanzen kümmern. Einfach ist $|q_s - e|$, dafür gilt nämlich (siehe *Abb. IX.58*)

$$|q_s - e| = x \cdot \cos \omega = x \frac{|h|}{|t|} \quad \text{(F4)}$$

$$q_s = e + |q_s - e| \frac{s}{|s|} = e + x \cdot \cos \omega \frac{s}{|s|} = e + x \frac{|h|s}{|t||s|}$$

$|q_s - p'_0|$ ist schwieriger. Dazu brauchen wir den Winkel η , denn es gilt

$$|q_s - p'_0| = (r_d + r_e) \cdot \tan \eta$$

Nun können wir leider den Winkel η nicht direkt bestimmen, sondern nur über den Winkel $\kappa = \eta/2$ und den können wir nur mit Hilfe des gleichschenkligen Dreiecks ZQ_sP_tZ bestimmen, wobei P_t der Schnittpunkt ist der Geraden durch Z und P_g mit dem Kreis vom Radius $r := r_d + r_e$ um Z als Kreiszentrum. Für den Ortsvektor p_t gilt also gemäss dieser Konstruktionsvorschrift

$$p_t = z + (p_g - z) \frac{r_d + r_e}{r_d}$$

Abb. IX.58 und Formel (F2) von (9d) können wir entnehmen, dass gilt

$$r = r_d + r_e = x \cdot \sin \omega \quad \text{und} \quad r_d = \frac{x}{2 \cdot \sin \omega} \quad \text{also}$$

$$\frac{r_d + r_e}{r_d} = 2 \cdot \sin^2 \omega \quad . \text{Damit und wegen} \quad \sin^2 \omega = \frac{|g - f|^2}{|t|^2} \quad \text{gilt}$$

$$p_t = z + (p_g - z) 2 \frac{|g - f|^2}{|t|^2}$$

Mit Hilfe von p_t können wir jetzt κ bestimmen:

$$\sin \kappa = \frac{|q_s - p_t|/2}{r_d + r_e} = \sin \frac{\eta}{2}$$

Nun brauchen wir aber $\tan \eta = \tan(2\kappa)$. Dazu dient die folgende Formel zum Umbau von Winkelfunktionen:

$$\tan(2\kappa) = \frac{2 \cdot \sin \kappa \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \kappa}}{1 - \sin^2 \kappa}$$

Setzen wir darin unser $\sin \kappa$ von oben ein, dann erhalten wir nach einigem Umformen

$$\tan \eta = \tan(2\kappa) = \frac{|q_s - p_t|}{2r^2 - |q_s - p_t|^2} \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}$$

und damit wird schliesslich

$$|q_s - p'_0| = r \cdot \tan \eta = \frac{|q_s - p_t| \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}}{2r - |q_s - p_t|^2/r} \quad (\text{F5})$$

Im Programm wird für den Punkt Q_s die Bezeichnung A mit den CH1903-Koordinaten (α_0, α_1) verwendet sowie die folgenden Variablennamen

$$|q_s - p_t|^2 = \text{sumsqAMpt}$$

$$r = \text{radius}$$

Durch Einsetzen von (F5) und (F4) in (F3) ergibt sich u'_c und damit auch u'_r . Um u und v zu erhalten, müssen wir noch mit dem Kalibrierungsfaktor von s multiplizieren, das ist cal_{m-1} , und v muss noch das richtige Vorzeichen erhalten, nämlich das umgekehrte des Vektorprodukts $p \times s$, also

$$u = u(S_m) - u'_c \cdot cal_{m-1}$$

$$v = -\text{sign}(p \times s) \cdot r_e \cdot cal_{m-1}$$

(9e)

Jetzt befinde sich der Ausgangspunkt P' mit den CH1903-Koordinaten (π_0, π_1) auf der Seite der Achslinienprojektion a' mit dem „leeren“ Winkelbereich W_e und zwar im kritischen Bereich $K_e \supset W_e$. Auch hier wird bei der Transformation auf RBBS-Koordinaten der Ausgangspunkt verschoben, der Zielpunkt P' mit den RBBS-Koordinaten (u, v) kommt an eine andere Stelle in K_e . Um die beiden Lagen von P' im Folgenden auseinander halten zu können, brauchen wir wieder die Bezeichnung P' für den Zielpunkt (u, v) und den Ausgangspunkt (π_0, π_1) nennen wir ab jetzt P_g (für geodätische Version von Punkt P).

Zuerst ist wiederum die Distanz $x = \text{dist}(Z, E) = |z - e|$ zwischen dem Kreiszentrum Z und der am nächsten bei P_g gelegenen Achslinienecke E zu berechnen nach Formel (F1) von Abschnitt (9d)

$$z = e + \frac{h}{|h|}x \quad (F1)$$

Hat der Kreis, welcher die Ecke E ersetzt, den Radius r , dann befindet sich P_g auf einem Kreisbogen mit Radius $2r$ und es gilt

$$|p_g - z| = 2r = |k - z|$$

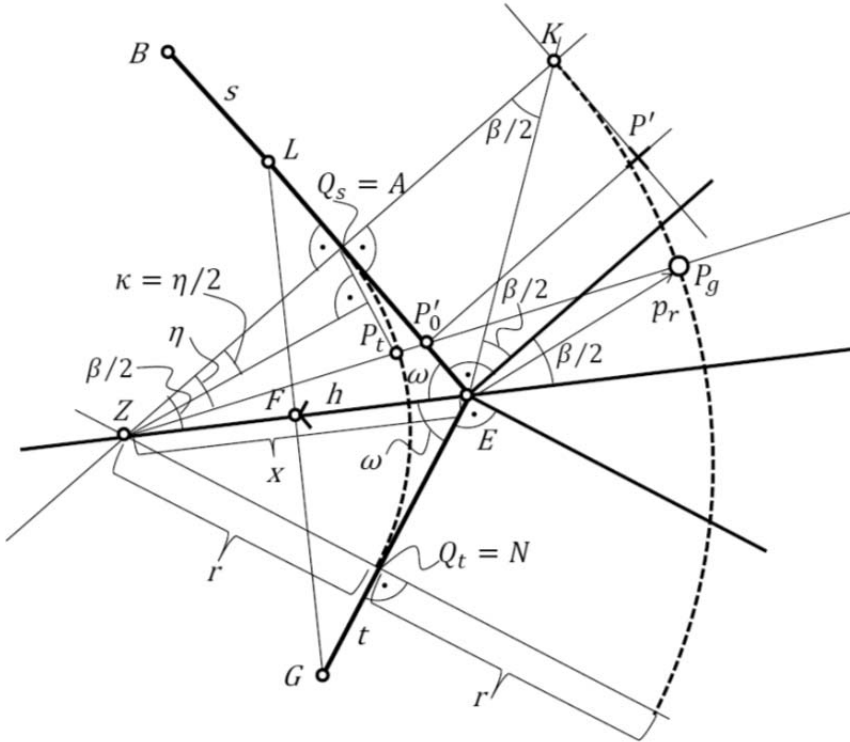


Abb. IX.59 Berechnung von (u,v) für $P_g \in W_e$

Mit ω aus Abb. IX.59 folgt:

$$\frac{r}{x} = \sin \omega \quad \text{also} \quad |p_g - z| = 2x \sin \omega \quad (2e)$$

Darin z einsetzen gemäss (F1) und $p_r := p_g - e$ brauchen

$$\left| p_r - x \frac{h}{|h|} \right|^2 = 4x^2 \sin^2 \omega$$

Einsetzen der Koordinaten (π_{r0}, π_{r1}) für p_r und (χ_0, χ_1) für h und umformen ergibt:

$$\begin{aligned} \pi_{r0}^2 + \pi_{r1}^2 - 2 \frac{x}{|h|} (\pi_{r0} \chi_0 + \pi_{r1} \chi_1) + \frac{x^2}{|h|^2} (\chi_0^2 + \chi_1^2) &= 4x^2 \sin^2 \omega \\ |p_r|^2 - 2 \frac{x}{|h|} (p_r \cdot h) + \frac{x^2}{|h|^2} |h|^2 &= 4x^2 \frac{|g-f|^2}{|t|^2} \end{aligned}$$

wenn noch $\sin \omega = |g-f| / |t|$ berücksichtigt wird. Damit bekommen wir die folgende quadratische Gleichung in x :

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{4|g-f|^2}{|t|^2} \right) x^2 - \frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} x + |p_r|^2 &= 0 \\ ax^2 + bx + c &= 0 \end{aligned}$$

Für die beiden Lösungen x_1, x_2 gilt:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{\text{Det}}}{2a}, \quad \text{wobei}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Det} &= b^2 - 4ac = \left(-\frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} \right)^2 - 4 \left(1 - \frac{4|g - f|^2}{|t|^2} \right) |p_r|^2 \\
 &= 4 \left[\frac{(p_r \cdot h)^2}{|h|^2} - |p_r|^2 \left(1 - \frac{4|g - f|^2}{|t|^2} \right) \right] && \text{im Programm:} \\
 &= 4 * [\text{scalP} * \text{scalP} / \text{sumsqh} - \text{sumsqpMe} * (1 - 4 * \text{sumsqgMf} / (\text{sumsqt}))] \\
 -b &= + \frac{2(p_r \cdot h)}{|h|} && \text{im Programm} \\
 &= 2 * \text{scalP} / \text{Math.sqrt}(\text{sumsqh}) \\
 2a &= 2 \left(1 - \frac{4|g - f|^2}{|t|^2} \right) && \text{im Programm} \\
 &= 2 * (1 - 4 * \text{sumsqgMf} / \text{sumsqt})
 \end{aligned}$$

und damit kann das Kreiszentrum berechnet werden gemäss

$$z = e + x_1 \frac{h}{|h|}$$

(10e)

Nun bestimmen wir die RBBS-Koordinaten (u, v) von P' . Q_s ist wieder der Fusspunkt des Lotes von Z auf S und q_s ist der entsprechende Ortsvektor. Für die Bestimmung von u brauchen wir die Distanz $u'_r = \text{dist}(B, P'_0)$ vom Startpunkt B der Kante s zum Fusspunkt P'_0 des Lotes, ab Zielpunkt P' auf s . Der Ortsvektor von P'_0 sei p'_0 . Mit dem Abstand $u'_c := \text{dist}(P'_0, E)$ zwischen P'_0 und E gilt:

$$\begin{aligned}
 u'_r &= |s| - u'_c \\
 v' &= |k - q_s| = |q_s - z|
 \end{aligned}$$

Ferner gilt

$$u'_c = |q_s - e| - |q_s - p'_0| \quad . \quad (\text{F3e})$$

und für diese beiden Distanzen (siehe Abb. IX.59)

$$|q_s - e| = x \cdot \cos \omega = x \frac{|h|}{|t|} \quad (\text{F4e})$$

$$|q_s - p'_0| = r \cdot \tan \eta$$

Auch hier, wie in (10d), können wir den Winkel η nicht direkt bestimmen, sondern nur über den Winkel $\kappa = \eta/2$ und den können wir nur mit Hilfe des gleichschenkligen Dreiecks ZQ_sP_tZ bestimmen, wobei P_t der Schnittpunkt ist der Geraden durch Z und P_g mit dem Kreis vom Radius r um Z als Kreiszentrum. Für den Ortsvektor p_t gilt also gemäss dieser Konstruktionsvorschrift

$$p_t = z + (p_g - z) \frac{r}{2r} = z + \frac{1}{2}(p_g - z)$$

Mit Hilfe von p_t können wir jetzt κ bestimmen:

$$\sin \kappa = \frac{|q_s - p_t|}{2r} = \sin \frac{\eta}{2}$$

Nun brauchen wir aber wieder $\tan \eta = \tan(2\kappa)$. Dazu dient dieselbe Formel wie in (9d)

$$\tan(2\kappa) = \frac{2 \cdot \sin \kappa \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \kappa}}{1 - \sin^2 \kappa}$$

Setzen wir darin unser $\sin \kappa$ von oben ein, dann erhalten wir nach einigem Umformen

$$\tan \eta = \tan(2\kappa) = \frac{|q_s - p_t|}{2r^2 - |q_s - p_t|^2} \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}$$

und damit wird schliesslich

$$|q_s - p'_0| = r \cdot \tan \eta = \frac{|q_s - p_t| \sqrt{4r^2 - |q_s - p_t|^2}}{2r - |q_s - p_t|^2 / r} \quad (\text{F5e})$$

Im Programm wird für den Punkt Q_s die Bezeichnung A mit den CH1903-Koordinaten (α_0, α_1) verwendet sowie die folgenden Variablennamen

$$|q_s - p_t|^2 = \text{sumsqAMpt}$$

$$r = \text{radius}$$

Durch Einsetzen von (5e) und (4e) in (3e) ergibt sich u'_c und damit auch u'_r . Um u und v zu erhalten, müssen wir noch mit dem Kalibrierungsfaktor von s multiplizieren, das ist cal_{m-1} , und v muss noch das richtige Vorzeichen erhalten, nämlich das umgekehrte des Vektorprodukts $p \times s$, also

$$u = u(S_m) - u'_c \cdot cal_{m-1}$$

$$v = -\text{sign}(p \times s) \cdot r \cdot cal_{m-1}$$

IX.4 Zugriff auf die Unfalldaten

Die Unfalldaten werden beim ersten Programmlauf aus der Datei in eine relationale Datenbank eingelesen. Bei jedem folgenden Programmlauf werden die Daten direkt aus dieser relationalen Datenbank gelesen, um die Zugriffszeiten zu verringern. Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt mit Hilfe von JDBC. Es steht eine Funktion zur Verfügung, mit der alle Daten unfallweise gelesen werden können:

```
public Iterator<Unfall> listUnfall()
```

Für die Daten wird die folgende Struktur definiert:

```
public class Unfall {
    public int Jahr;
    public String Monat;
    public String Kanton;
    public int BFSNr;
    public String Gemeinde;
    public double xKoordinate;
    public double yKoordinate;
    public String RBBS_Eigentuemer;
    public String RBBS_Name;
    public String RBBS_Bezugspunkt;
    public double RBBS_Distanz;
    public double RBBS_Abstand;
    public int Anzahl_Unfaelle;
}
```

IX.5 Zugriff auf die Achsen

Die Achsdaten werden beim ersten Programmlauf aus der Datei in eine relationale Datenbank eingelesen. Bei jedem folgenden Programmlauf werden die Daten direkt aus dieser relationalen Datenbank gelesen, um die Zugriffszeiten zu verringern. Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt mit Hilfe von JDBC. Es stehen die folgenden Funktionen zur Verfügung, um die ganze Achse, einen einzelnen Sektor oder ein Segment zu lesen:

```
public ArrayList<AxisSegment> getaxis(String owner, String
    axisname, String positioncode)
public AxisSector getaxisSector(String owner, String
    axisname, String positioncode, String sectorName)
public AxisSegment getaxisSegment(String owner, String
    axisname, String positioncode, String sectorName)
```

Für die Daten werden die folgenden Strukturen definiert:

```
public class AxisSector {
    public AxisSegment seg=null;
    public double sequence=0.0;
}
```

```
class AxisSegment {  
    String segName=null;  
    int sequence=0;  
    public LineString geom=null;  
    public double lindist[]=null;  
}
```


Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
→ A	A ist ein Begriff, der im Glossar definiert ist
Abb.	Abbildung
Abk.	Abkürzung
Abs.	Absatz (in Gesetzestexten)
Art.	Artikel (in Gesetzestexten)
AKS	Anlagen-Kennzeichnungs-System
ASTRA	Bundesamt für Strassen
CRS	Coordinate Reference System → <i>Referenzsystem</i>
CSL	Conceptual Schema Language, → <i>Datenbeschreibungssprache</i>
DATEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
DDL	Data Description Language, → <i>Datenbeschreibungssprache</i>
de	deutsch
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
Def.	Definition
dim.	dimensional
en	english
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
fr	français
GDF	→ <i>Geographic Data File</i>
GIS	Geografisches Informationssystem
ILIT	→ <i>InterLIs Transformation language</i>
INTERLIS	INTER Land Informations System, d.h. zwischen GIS → <i>INTERLIS</i>
ISO	International Standardisation Organisation
KLZ	Kantonale Leitzentrale
LK	→ <i>Landeskoordinatensystem</i>
LRM	Location Reference Method [11]
LV03	LandesVermessung (19)03
LV95	LandesVermessung (19)95
MDA	Model Driven Approach, → <i>modellbasiertes Vorgehen</i> (Kapitel 7)
MISTRA	Management InformationsSystem STRassen
MOA	Meta Objekt Attribut
MSE	Management Strassenerhaltung (= SGE)
MT	Management des Transports
NS	Nationalstrasse
NSkm	Nationalstrassen Kilometrierung
OSM	Open Street Map
RADEF	Road Administration Data Exchange Format
RBBS	Räumliches → <i>Basisbezugssystem</i>
SA-CH	Systemarchitektur Schweiz
SGE	Système de Gestion de l'Entretien (= MSE)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband
SN	Schweizer Norm
SRB	Système de Repérage de Base (Syn. von → <i>Basisbezugssystem</i>)
SVM	Strassenverkehrsmanagement
SVT	Strassen Verkehrs Telematik
Syn.	Synonym

Abkürzung	Bedeutung
TM	Transport Management
TMC	Traffic Message Channel
TPEG	Transport Protocol Experts Group
TVAV	Technische Verordnung der amtlichen Vermessung
UML	Unified Modelling Language
UMLT	Unified Modelling Language for Transformation
UVEK	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VBS	Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
VDV-CH	Verkehrsdatenverbund der Schweiz
VIZ	Verkehrsinformationszentrale
VM	Verkehrsmanagement
VM-CH	Verkehrsmanagement Schweiz
VMZ	Verkehrsmanagementzentrale
VSS	Verein Schweizer Strassenfachleute
VT	VerkehrsTelematik
VTIn	VerkehrsTeilnehmer
VUM	Verkehrs Unfall Meldungen
WGS84	World Geodetic System (19)84
WTA	WechselTextAnzeige
XML	eXtensible Markup Language

Glossar

Begriff	Bedeutung
Abbildung	(aus einer Menge A in eine Menge Z ;) Vorschrift, die einem Element a aus A genau ein Element z aus Z zuordnet. Syn. Funktion (de), map, mapping (en), application (fr) Bemerkung 1: Mit einer besonderen A . hat man zu tun, wenn die Menge A und die Menge Z je ein \rightarrow <i>Referenzbereich</i> ist, definiert durch ein \rightarrow <i>Koordinatensystem</i> ; \rightarrow <i>Koordinatentransformation</i> . Bemerkung 2: Eine andere spezielle A . ist die \rightarrow <i>Operation</i> , nämlich eine A ., bei welcher die Menge A aus \rightarrow <i>Wertebereichen</i> von \rightarrow <i>Attributen</i> bzw. von Eingabe \rightarrow <i>Parametern</i> besteht, Z aus \rightarrow <i>Wertebereichen</i> von Ausgabe \rightarrow <i>Parametern</i> .
Abschnitt	\rightarrow <i>Kante</i> des \rightarrow <i>Strassennetzes</i> , deren Verlauf definiert ist als Teilmenge einer \rightarrow <i>Achslinie</i> . Syn.: Netzabschnitt Bemerkung: Siehe SN 640914, [38] 7.1.
Abschnittsnetz	\rightarrow <i>Unternetz</i> des \rightarrow <i>Strassennetzes</i> für dessen \rightarrow <i>Kanten</i> \rightarrow <i>Abschnitte</i> definiert sind, welche bestimmte geometrische Selektionskriterien erfüllen. Bemerkung: Siehe SN 640914, [38] 5.2
Abstecken	Auffinden eines \rightarrow <i>Ortes</i> im Realitätsausschnitt durch Übertragung der \rightarrow <i>Referenzwerte</i> seines \rightarrow <i>Punktes</i> in einem \rightarrow <i>Referenzsystem</i> in den \rightarrow <i>Referenzrahmen</i> dieses \rightarrow <i>Referenzsystems</i>
Achsgeometrie	(Vektorielle) Beschreibung der \rightarrow <i>Achslinie</i> in einem \rightarrow <i>Raumbezugssystem</i> . Bemerkung: gemäss SN 640912 RBBS, [36] 5.1 und SN 640913 Achsgeometrie [37] 5.2)
Achslinie	Vereinigungsmenge von \rightarrow <i>Achssegmenten</i> , die höchstens Randpunkte gemeinsam haben, entsprechend einer \rightarrow <i>Strassenachse</i> im Realitätsausschnitt. Syn.: Lineares Element, Basisobjekt (beide en, ISO 19148 [13])
Achssegment	Linienzug im \rightarrow <i>Raum</i> entsprechend einem zusammenhängenden Teilstück einer \rightarrow <i>Strassenachse</i> im Realitätsausschnitt. Bemerkung 1: Ein A . hat einen genau definierten Anfangs- und Endpunkt. Bemerkung 2: Ein A . ist zusammenhängend. Bemerkung 3: Ein A . ist eine 1-dim. \rightarrow <i>Mannigfaltigkeit</i> . Bemerkung 4: Mit Hilfe des Basisbezugssystems RBBS kann ein A . wie folgt beschrieben werden: Segment zwischen dem Ort 1 (Achse; CH;N9+, Bezugspunkt 300, Distanz 100 Meter) und dem Ort 2 (Achse: CH:N9:+, Bezugspunkt 400, Distanz 200 Meter) Bemerkung 5: Ein A . ist Teilmenge einer \rightarrow <i>Achslinie</i> .
Aequivalente Referenzsysteme	Die \rightarrow <i>Referenzsysteme</i> R und S heissen a.R., falls es eine \rightarrow <i>umkehrbar eindeutige</i> \rightarrow <i>Referenzwert-Transformation</i> zwischen R und S gibt. Syn.: Interoperable Referenzsysteme. Bemerkung: Siehe Verallgemeinerung \rightarrow <i>einseitig äquivalente Referenzsysteme</i> .
Argument	\rightarrow <i>Wert</i> eines \rightarrow <i>Parameters</i> .
Attribut	Daten(elemente) entsprechend einer spezifischen Eigenschaft von \rightarrow <i>Objekten</i> einer \rightarrow <i>Klasse</i> . Ein A . hat einen A .-Namen und einen \rightarrow <i>Wertebereich</i> . Syn. Merkmal (de); attribute (en).
Basisbezugssystem	\rightarrow <i>Bezugssystem</i> mit 3-dimensionalem \rightarrow <i>Referenzbereich</i> und \rightarrow <i>kurvilinearem Koordinatensystem</i> . Syn.: Système de repérage de base (fr CH), räumliches Basisbezugssystem (de CH) Abk.: SRB (fr CH), RBBS (de CH) Bemerkung: Vergleiche dazu AGRAM Bericht [24] S. 1 ff und SN 640910.
Basisnetz	\rightarrow <i>Abschnittsnetz</i> ohne \rightarrow <i>Unternetzknoten</i> . Bemerkung: Siehe SN 640914, [38] 5.4; allerdings wird an dieser Stelle auch ein Sektionsgraph B . genannt, wenn er ausschliesslich aus Sektionen zusammengesetzt ist und keine Sektionsgraphen als Untergraphknoten enthält. Dann heisst er ebenfalls <i>Basisnetz</i> , obschon er normalerweise nicht zusammenhängend, also nicht ein \rightarrow <i>Netz</i> ist.
Basisobjekt	Syn. (mehrdeutig, ISO 19148 [13]) für \rightarrow <i>Strassenachse</i> , \rightarrow <i>Achslinie</i> und \rightarrow <i>Kante</i> eines \rightarrow <i>Graphs</i>
Baum	\rightarrow <i>zusammenhängender Graph</i> ohne \rightarrow <i>Zyklen</i> . Syn: arbre (fr), tree (en)

Begriff	Bedeutung
Bezug	Syn (de CH) von → <i>Referenzwert</i> Bemerkung 1: Zur Def. von B. siehe auch SN 640911 [34] 5.2 Bemerkung 2: In SN 640 911 [34] unterscheidet man → <i>Raumbezug</i> , → <i>Topologiebezug</i> und → <i>Zeitbezug</i> .
Bezugsdistanz	Erste → <i>Koordinate u</i> eines Punktes in einem → <i>kurvilinearen Koordinatensystem</i> . Bemerkung: Messvorschrift: Länge (in der Realwelt) der → <i>Strassenachse</i> zwischen der Projektion auf die → <i>Strassenachse</i> des vorhergehenden → <i>Bezugspunktes</i> und der Projektion des zu beschreibenden → <i>Ortes</i> auf die → <i>Strassenachse</i> .
Bezugsort	→ <i>Ort</i> am Anfang eines → <i>Strassensektors</i>
Bezugspunkt	→ <i>Punkt</i> am Anfang eines → <i>Sektors</i> Syn: Point de repaire (fr_CH) Bemerkung: Eingeführt in SN 640912 RBBS, [36] 5.9)
Bezugsrahmen	Mehrdeutiges Synonym für → <i>Referenzrahmen</i> des RBBS (VSS Normen, z.B. [36]) bzw. für → <i>Referenzrahmen</i> eines → <i>geodätischen Koordinatensystems</i> (CH L+T, swisstopo) Bemerkung: Der B. (im Sinne von → <i>Referenzrahmen</i> des RBBS) umfasst die Gesamtheit der Operationen, die es erlauben, die → <i>Bezugspunkte</i> auszuwählen, zu materialisieren, zu beschildern und zu versichern. Ein → <i>Bezugsort</i> (physischer → <i>Bezugspunkt</i>), die Markierung, die Identifizierung, das → <i>Schild</i> und die → <i>Koordinaten</i> sind Elemente, die es ermöglichen, den Fortbestand des → <i>Bezugssystem</i> zu versichern.
Bezugssystem	→ <i>Referenzbereich</i> mit → <i>Referenzsystem</i> und → <i>Referenzrahmen</i> . Syn.: (mehrdeutig) → <i>Raumbezugssystem</i> , système de référence Bemerkung 1: Siehe → <i>lineares B.</i> → <i>planares B.</i> , → <i>Raumbezugssystem</i> . Bemerkung 2: In VSS 640911-1 Bezugskonzepte [35] wird B. verwendet für → <i>Koordinatenreferenzsystem</i> , während wir uns hier damit nicht beschränken auf → <i>Koordinatensysteme</i> (d.h. auf → <i>geodätische</i> oder → <i>kurvilineare Referenzsysteme</i>), sondern B. ist der allgemeine Begriff, der daneben auch noch die → <i>topologischen Referenzsysteme</i> umfasst sowie zu allen → <i>Referenzsystemen</i> auch deren → <i>Referenzbereich</i> und deren → <i>Referenzrahmen</i> .
Darstellungsgeometrie	→ <i>Achsgeometrie</i> aus der Digitalisierung eines kartographischen Werkes oder einer Orthophotographie erzeugt. Bemerkung: Siehe SN640913 Achsgeometrie [37] 5.6, 5.7)
Datei	Def. siehe Informatik. Syn. file (en), fichier (fr).
Daten	Def. siehe Informatik. Syn.: data (en), données (fr).
Datenbeschreibungssprache	Formale Sprache zur exakten Beschreibung von Daten. Syn.: Data description language (DDL), conceptual schema language (CSL) Abk.: DDL, CSL.
Datenelement	Kleinster Bestandteil von → <i>Daten</i> , der mit Hilfe eines → <i>Systems</i> bearbeitet werden kann. Bemerkung: Details dazu siehe Informatik.
Datenmodell	Exakte Beschreibung von Daten (so genanntes → <i>konzeptionelles</i> → <i>Datenschema</i>), die vollständig und in sich geschlossen ist. Das D. ist das hierarchisch höchste → <i>Modellierungselement</i> . Syn. Modell, Datenbeschreibung.
Datenobjekt	Syn. von → <i>Objekt</i>
Datenschema	Beschreibung von Inhalt und Gliederung von → <i>Daten</i> , die einen anwendungsspezifischen Ausschnitt der Realität charakterisieren, sowie von Regeln, die dafür gelten und von → <i>Operationen</i> , welche mit den → <i>Daten</i> ausgeführt werden können. Syn. Datenbeschreibung, Schema, konzeptionelles Schema. Bemerkung 1: Entsprechend dem Abstraktionsniveau, auf dem man die → <i>Daten</i> beschreibt, unterscheidet man das → <i>konzeptionelle Schema</i> , das logische und das physische Schema. Bemerkung 2: Zur Formulierung eines D. gibt es geeignete → <i>Datenbeschreibungssprachen</i> .
Datentransfer	Verschiebung von → <i>Daten</i> von einem → <i>System S</i> zu einer anderen → <i>System Z</i> . <i>S</i> wird bezeichnet als Startsystem, Ausgangssystem, Quelle, Sender, Sendersystem, Source, <i>Z</i> als Zielsystem, Empfänger, Target. Die Lieferung der zu transferierenden → <i>Daten</i> durch → <i>System S</i> wird auch als Export bezeichnet, die Übernahme durch → <i>System Z</i> als Import. Syn. Transfer, Datenübertragung.
Datentransfer-Mechanismus	(Konzeptionelle) → <i>Datenbeschreibungssprache</i> und (physisches) → <i>Transferformat</i> sowie Regeln zur Herleitung eines solchen → <i>Transferformats</i> für Daten, die mit der → <i>Datenbeschreibungssprache</i> beschrieben sind.

Begriff	Bedeutung
Datum	Syn. für \rightarrow <i>terrestrisches Koordinatenreferenzsystem</i> . Bemerkung: In ISO 19111 [12] wird D. allgemeiner definiert als Charakterisierung von Ursprung, Massstab und Orientierung von \rightarrow <i>Koordinatenreferenzsystemen</i> .
Direct position	Syn. (en, ISO 19148 [13]) für \rightarrow <i>Koordinate</i> .
Ebene	2-dimensionaler Unterraum des \rightarrow <i>Raumes</i> . Bemerkung: Details siehe lineare Algebra, z.B. Jänich [14].
Eindeutig	Eine \rightarrow <i>Abbildung</i> von A nach Z ist eindeutig, weil jedem Element von A durch die \rightarrow <i>Abbildung</i> genau ein Element von Z zugeordnet wird. Bemerkung: Siehe Spezialisierungen \rightarrow <i>umkehrbar eindeutig</i> und \rightarrow <i>einseitig umkehrbar</i>
Einseitig äquivalente Referenzsysteme	\rightarrow <i>Referenzsysteme</i> zwischen denen es eine \rightarrow <i>einseitig umkehrbare</i> \rightarrow <i>Referenzwerttransformation</i> gibt. Syn.: Einseitig interoperable \rightarrow <i>Referenzsysteme</i>
Einseitig interoperable Referenzsysteme	Syn.von \rightarrow <i>einseitig äquivalente Referenzsysteme</i>
Einseitig umkehrbare Abbildung	\rightarrow <i>Abbildung</i> f von A nach Z , zu der eine \rightarrow <i>Abbildung</i> g von Z nach A existiert mit $g(f(x)) = x$ für alle x aus A und es gibt y in Z , für welche $f(g(y)) \neq y$ ist. Bemerkung 1: Es gibt e.u. \rightarrow <i>Referenzwert-Transformationen</i> , z.B. ist TMC-Location-Code \leftrightarrow CH1903 e.u. beim Start mit TMC-Location-Code (siehe 4.5.5 und 4.5.6). Bemerkung 2: Siehe Spezialisierung \rightarrow <i>umkehrbar eindeutige Abbildung</i> .
Element	Grundbegriff der Mengenlehre. Eine Menge besteht aus E. Syn. Instanz
Elementarabschnitt	\rightarrow <i>Abschnitt</i> , dessen \rightarrow <i>Weg</i> aus einer einzigen \rightarrow <i>Kante</i> besteht. Bemerkung: Siehe SN 640914, [38] 6.3
Ellipsoidisches Koordinatensystem	\rightarrow <i>Koordinatensystem</i> auf der 2-dimensionalen Randfläche eines 3-dimensionalen (Rotations-) Ellipsoids
Ereignis	Punktförmiges (bzw. linienartiges) \rightarrow <i>Realweltobjekt</i> , dessen \rightarrow <i>Punkt</i> (bzw. \rightarrow <i>Polylinie</i>) im \rightarrow <i>Raum</i> \rightarrow <i>kurvilineare Koordinaten</i> hat und das zu einem bestimmten Zeitpunkt oder während einer bestimmten Zeitdauer stattfindet. Bemerkung: Eingeführt in ISO 19148 Linear Referencing [13].
Fachobjekt	Teilmenge des \rightarrow <i>Raumes</i> , welche einem \rightarrow <i>Realweltobjekt</i> entspricht. Bemerkung 1: Ein F. ist die Abstraktion eines \rightarrow <i>Realweltobjektes</i> , die nötig ist, um seine Lage im \rightarrow <i>Raum</i> , der Abstraktion der realen Welt, beschreiben zu können. Bemerkung 2: Vergleiche auch \rightarrow <i>Objekt</i> . Bemerkung 3: Vergleiche auch VSS 671941 [39] Def. 19 S.5: F. ist ein Objekt des Strassenraumes, das durch eine Menge von Eigenschaften beschrieben werden kann.
Fachprozess	Folge von Arbeiten zum Strassenunterhalt Bemerkung: Zur Bedeutung von F. für \rightarrow <i>Bezugssysteme</i> siehe Forschungsbericht AGRAM [24], hier besprochen im Anhang VIII.5.
Flächiges Bezugssystem	Syn von \rightarrow <i>Planares Bezugssystem</i> Bemerkung: Vergleiche dazu AGRAM Forschungsbericht [24] S. 8
Format	Syn. für \rightarrow <i>Transferformat</i>
Funktion	Syn. für \rightarrow <i>Abbildung</i>
Geodätisches Koordinatensystem	\rightarrow <i>Kartesisches</i> oder \rightarrow <i>ellipsoidisches</i> oder \rightarrow <i>sphärisches Koordinatensystem</i> Syn. (mehrdeutig) \rightarrow <i>planares Koordinatensystem</i> Bemerkung: Vergleiche dazu die Definition des planaren Raumbezugssystems in SN 640911 [34] 7.2
Geographic Data Files	\rightarrow <i>Transferformat</i> für Strassen-Navigationsdaten und \rightarrow <i>topologisches Bezugssystem</i> Abk.: GDF Bemerkung: Siehe Abschnitte 4.4.3.1, 4.5.3 und 4.5.4 sowie die Norm ISO 14825 [10]
Geometrieelement	Eine der folgenden zusammenhängenden und abgeschlossenen Teilmengen einer \rightarrow <i>Ebene</i> oder des \rightarrow <i>Raumes</i> : \rightarrow <i>Punkt</i> , \rightarrow <i>Gerade</i> , Kreis, Klothoide, Spline, Linienzug Bemerkung: Eingeführt in SN 640913 Achsgeometrie, [37] 5.8)
Gerade	1-dimensionaler Unterraum des \rightarrow <i>Raumes</i> oder einer \rightarrow <i>Ebene</i> Bemerkung: Details siehe lineare Algebra
Graph	Besteht aus Knoten und (nicht orientierten) Kanten, wobei zu jeder Kante ein (ungeordnetes) Paar von Knoten gehört, nämlich ihre beiden Endknoten

Begriff	Bedeutung
Horizontale Basisgeometrie	Projektion der → <i>Achslinie</i> auf die → <i>Ebene</i> , welche durch die ersten beiden → <i>Koordinatenachsen</i> des → <i>Raumbezugssystems</i> aufgespannt werden. Bemerkung: Siehe SN 640913 Achsgeometrie [37] 5.4
Information	Mitteilung an Verkehrsteilnehmer über → <i>Daten</i> , welche Verkehrssituationen beschreiben
Instanz	Syn. für → <i>Element</i> (konkretes Exemplar) einer Menge (Abstraktion). Syn. instance (en). Bemerkung: Beispiele für I.: Ein → <i>Wert</i> ist eine I. eines → <i>Datentyps</i> . Ein → <i>Objekt</i> ist eine I. einer → <i>Klasse</i> . Ein → <i>Behälter</i> ist eine I. eines → <i>Themas</i> . Ein Objektpaar ist eine I. einer → <i>Assoziation(sklasse)</i> .
INTERLIS.	→ <i>Datentransfer-Mechanismus</i> für Geodaten bestehend aus der → <i>INTERLIS-Datenbeschreibungssprache</i> (IDDL) und dem INTERLIS-XML-Transferformat (IXML) sowie Regeln für die Herleitung des IXML für eine mit IDDL beschriebene Datenstruktur. IDDL, IXML und Umsetzungsregeln sind definiert in der Schweizer → <i>Norm</i> SN 612031 [18].
INTERLIS-Datenbeschreibungssprache	(Konzeptionelle) → <i>Datenbeschreibungssprache</i> des → <i>Datentransfer-Mechanismus</i> → <i>INTERLIS</i> .
INTERLIS Transformation Language	Erweiterung der → <i>INTERLIS Datenbeschreibungssprache</i> für die konzeptionell präzise Beschreibung der → <i>semantischen Transformation</i> . Abk.: ILIT
Interoperable Referenzsysteme	Syn. Für → <i>aequivalente Referenzsysteme</i>
Kalibrierungspunkt	→ <i>Punkt</i> einer → <i>Achslinie</i> , von dem seine → <i>kurvilinearen Koordinaten</i> und seine → <i>Landeskoordinaten</i> bekannt sind. Syn: Point de calage (fr_CH) Bemerkung: Definiert in SN 640913 Achsgeometrie, [37] 6.2)
Kante	Def siehe → <i>Graph</i> . Syn.: arête (fr), edge (en)
Kartesisches Koordinatensystem	→ <i>Koordinatensystem</i> des Euklidischen → <i>Raumes</i> , dessen Achsen Geraden sind, die paarweise senkrecht stehen. Syn.: Planares Koordinatensystem
Klasse	Menge von → <i>Objekten</i> mit gleichen Eigenschaften und → <i>Operationen</i> . Jede Eigenschaft wird durch ein → <i>Attribut</i> beschrieben, jede → <i>Operation</i> durch ihre → <i>Schnittstellen-signatur</i> . Syn. Objektklasse, Entitätsmenge, Objekttyp (de); feature type, feature, class (en).
Knoten	Def siehe → <i>Graph</i> . Syn.: Netzknoten (de CH), noeud (fr), node (en)
Knotenort	→ <i>Realweltobjekt</i> , das einem → <i>Knoten</i> im → <i>Strassennetz</i> entspricht. Bemerkung: Dieser Begriff wird in den VSS-Normen verwendet als Synonym für → <i>kurvilineare Koordinaten</i> eines → <i>Knotens</i> . Wir finden diese Verwendung des Begriffs verwirrend, denn unter einem Ort versteht man normalerweise (auch in der Umgangssprache!) ein einzelnes punktförmiges Realweltobjekt, während einem solchen Ort durchaus mehrere gleichberechtigte kurvilineare Messungen entsprechen können, je nach Wahl der Strassenachse. Zugunsten der Klarheit der Begriffe behalten wir unsere Definition bei und werden an den (wenigen) Konfliktstellen darauf aufmerksam machen.
Konversion	→ <i>Abbildung</i> von einem → <i>geodätischen Koordinatensystem</i> (bzw. von seinem → <i>Referenzbereich</i>) auf ein anderes → <i>geodätisches Koordinatensystem</i> (bzw. auf dessen → <i>Referenzbereich</i>), die durch Formeln und deren → <i>Parameter</i> fest definiert ist. Syn.: Koordinatenkonversion (de), coordinate conversion (en). Bemerkung 1: Siehe → <i>Koordinatenreferenzsystem</i> . Bemerkung 2: ISO 19111 [12] bezeichnet mit K. eine → <i>Referenzwert-Transformation</i> zwischen → <i>Koordinatenreferenzsystemen</i> , die sich auf dasselbe → <i>terrestrische Koordinatenreferenzsystem</i> beziehen (siehe → <i>Koordinatentransformation</i>).
Konzeptionelles Schema	Syn. für konzeptionelles → <i>Datenschema</i> . Def. siehe bei → <i>Datenschema</i> Bemerkung 1. Syn. conceptual schema (en), schéma conceptionelle (fr).
Koordinate	→ <i>Referenzwert</i> durch ein → <i>Koordinatensystem</i> definiert. Syn.: Direct position (en, ISO 19148 [13] .)
Koordinatenkonversion	Syn. für → <i>Konversion</i>

Begriff	Bedeutung
Koordinatenreferenzsystem	<p>→ (<i>Geodätisches</i>) <i>Koordinatensystem</i>, das am Schluss einer Folge von → (<i>geodätischen</i>) <i>Koordinatensystemen</i> und → <i>Konversionen</i> steht, deren Anfang genau ein → <i>terrestrisches Koordinatenreferenzsystem</i> bildet.</p> <p>Syn.: (mehrdeutig) → <i>Referenzsystem</i>, → <i>Bezugssystem</i> (de, VSS Normen, siehe Bemerkung), système de référence (fr, VSS Normen).</p> <p>Bemerkung: In VSS 640911-1 Bezugskonzepte [35] wird für K. der Begriff → <i>Bezugssystem</i> verwendet bzw. der Begriff → <i>Referenzsystem</i>. Letzteren verwenden wir hier als (noch nicht vorhandenen) Oberbegriff für → <i>Koordinatensystem</i> und → <i>toplogisches Referenzsystem</i>.</p>
Koordinatensystem	<p>→ <i>Referenzsystem</i>, das Basis ist des → <i>Raumes</i> (falls der ganze → <i>Raum</i> → <i>Referenzbereich</i> ist), bzw Basis im Euklidischen Vektorraum einer Karte einer → <i>Mannigfaltigkeit</i> (falls eine → <i>Strassenfläche</i> der → <i>Referenzbereich</i> ist).</p> <p>Syn. coordinate reference system (en), système de coordonnées (fr).</p> <p>Bemerkung 1: Aus Sicht der → <i>Daten</i> ist ein K. definiert durch seine Achsen, die entweder Geraden sind (in → <i>INTERLIS</i> so genannte LengthAXIS) oder Kreis- bzw. Ellipsen-Bogen (so genannte AngleAXIS) oder einfache Linienzüge (so genannte PathAXIS) entsprechend der Art des → <i>Referenzbereiches</i> den sie auszumessen erlauben.</p> <p>Bemerkung 2: Es gibt → <i>kartesische</i>, → <i>sphärische</i>, → <i>ellipsoidische</i> (diese drei fasst man auch zusammen als → <i>geodätische</i> K.) und → <i>kurvilineare</i> K. Ferner → <i>Koordinatenreferenzsysteme</i>.</p> <p>Bemerkung 3: In SN 640911 [34] Ziffer 6.1 wird als K. die Basis eines euklidischen Vektorraums bezeichnet „der zur Beschreibung eines → <i>Orts</i> im → <i>Realitätsausschnitt</i> dient“. Die Definition hier versucht, zu präzisieren, dass es sich dabei je nach → <i>Referenzbereich</i> um verschiedene Basen verschiedener euklidische Vektorräume handelt.</p> <p>Bemerkung 4: ISO 19111 [12] hat eine sehr allgemeine Definition von K., nämlich: Sammlung mathematischer Regeln, welche festlegen, wie → <i>Koordinaten</i> zu → <i>Punkten</i> zuzuordnen sind (vermutlich im Sinne von → <i>Orten</i>). Das entspricht eher unserem allgemeineren Begriff → <i>Referenzsystem</i>.</p>
Koordinatentransformation	<p>→ <i>Referenzwert-Transformation</i> zwischen → <i>Koordinatensystemen</i>. D.h.: → <i>Abbildung</i> von einem → <i>Koordinatensystem</i> (bzw. von seinem → <i>Referenzbereich</i>) auf ein anderes → <i>Koordinatensystem</i> (bzw. auf dessen → <i>Referenzbereich</i>), wenn die Abbildungsvorschrift (Formel) auf Grund von Annahmen (Hypothesen) festgelegt wird und die → <i>Parameter</i> durch meist statistische Analyse von Messungen in beiden → <i>Koordinatensystemen</i> ermittelt werden.</p> <p>Syn.: Transformation de coordonnées (fr).</p> <p>Bemerkung: ISO 19111 [12] bezeichnet mit K. eine → <i>Referenzwert-Transformation</i> zwischen zwei → <i>Koordinatenreferenzsystemen</i>, die sich auf verschiedene → <i>terrestrische Koordinatenreferenzsysteme</i> beziehen.</p>
Kurvilineares Koordinatensystem	<p>→ <i>Koordinatensystem</i>, dessen erste Achse (<i>u</i>) ein einfacher Linienzug ist und dessen zweite (<i>v</i>) und dritte Achse (<i>w</i>) Geraden sind und in jedem Punkt der ersten Achse auf dem Mittelwert von deren beidseitigen Tangentialvektor-Grenzwerten und aufeinander senkrecht stehen.</p> <p>Syn.: → <i>Lineares Koordinatensystem</i> (de CH, mehrdeutig, im Sinne von k.K. verwendet in SN 640911 Linearer Bezug Grundnorm, [34] 6.3.), lineare Referenzierung (de), linear referencing (en, ISO 19148 [13])</p> <p>Bemerkung 1: Musterbeispiel: → <i>RBBS</i> mit → <i>Referenzbereich</i>, der durch eine → <i>Strassenfläche</i> definiert ist, die erste Koordinatenachse (<i>u</i>) durch den Verlauf der → <i>Achslinie</i> (im → <i>Raum</i> als Abstraktion der → <i>Strassenachse</i> im → <i>Realitätsausschnitt</i>), die zweite senkrecht dazu in der → <i>Strassenfläche</i> (<i>v</i>) und die dritte (<i>w</i>) senkrecht auf den ersten beiden.</p> <p>Bemerkung 2: Der zu einem k.K. gehörende → <i>Referenzbereich</i> eines → <i>Bezugssystems</i> enthält im allgemeinen eine 2-dimensionale Untermannigfaltigkeit des → <i>Raums</i>. Die erste Achse und für jeden ihrer Punkte die dortige zweite Achse sind Teilmengen derselben.</p>
Kurvilineares Referenzsystem	Syn. von → <i>kurvilineares Koordinatensystem</i>
Landeskoordinatensystem	3-dimensionales → <i>kartesisches Koordinatensystem</i> mit der Schweizer Projektion als <i>X-Y</i> -Ebene und mit der Schweizer Normalhöhe als <i>Z</i> -Koordinate.
Linear referenzierter Ort	→ <i>Ort</i> dessen → <i>Punkt</i> → <i>kurvilineare Koordinaten</i> hat. Syn.: Linearly referenced location (en, ISO 19148) [13]
Lineare Referenzierung	Syn. (en ISO 19148) [xx] von → <i>kurvilineares Koordinatensystem</i> .
Linearer Raum	Syn. von → <i>Strassenfläche</i> Bemerkung: Der I.R. ist in den VSS Normen nicht explizit definiert. Er kommt vor in den Definitionen von → <i>Strassenachse</i> in den Normen SN 640912 RBBS [36] Ziffer 5.4 bzw. SN 640911-1 Bezugskonzepte [35] Ziffer 37.

Begriff	Bedeutung
Linearer Raumbezug	Syn. von \rightarrow <i>Referenzwert</i> in einem \rightarrow <i>kurvilinearen Referenzsystem</i>
Lineares Bezugssystem	\rightarrow <i>Bezugssystem</i> mit 1-dimensionalem \rightarrow <i>Referenzbereich</i> Syn.: Système de repérage linéaire Bemerkung 1: Vergleiche dazu AGRAM Bericht [24] S. 8 Bemerkung 2: Vorsicht: Unterscheiden von linearem \rightarrow <i>Raumbezugssystem</i> .
Lineares Element	Syn. von \rightarrow <i>Achslinie</i> (ISO 19148 [13])
Lineares Koordinatensystem	Syn. (mehrdeutig) für 1-dimensionales \rightarrow <i>kartesisches Koordinatensystem</i> bzw. für \rightarrow <i>kurvilineares Koordinatensystem</i> , letzteres vorallem im Strassenbereich. Syn.: système de coordonnées linéaire Bemerkung: Die Definition in SN 640911 Grundnorm [34] Ziffer 6.3 bzw in SN 640911-1 Bezugskonzepte [35] Ziffer 17 lautet: „Koordinatensystem des euklidischen Raums, dessen Achsen linienförmige Elemente sind. Die Messung der Koordinaten eines Punkts erfolgt entlang dieser Linien.“ Das sog. linienförmige Element ist nicht definiert, Punkt auch nicht.
Lineares Raumbezugssystem	\rightarrow <i>Bezugssystem</i> mit einer \rightarrow <i>Strassenfläche</i> als \rightarrow <i>Referenzbereich</i> , mit einem \rightarrow <i>kurvilinearen Koordinatensystem</i> und mit dem dazugehörigen \rightarrow <i>Referenzrahmen</i> . Bemerkung: Gemäss SN 640911 Linearer Bezug Grundnorm [34], Ziffer 7.3 & SN 640911-1 Bezugskonzepte [35], Ziffer 29.
Linienzug	Teilmenge des \rightarrow <i>Raumes</i> , die Bildmenge einer stetigen und stückweise glatten (aber nicht notwendigerweise injektiven) \rightarrow <i>Abbildung</i> eines Intervalls ist (der so genannten zugeordneten \rightarrow <i>Abbildung</i>) und nur endlich viele nicht glatte Stellen (so genannte Ecken) aufweist. Bemerkung: Begriffe siehe Mathematik (allgemeine Topologie)
Location	Syn. von \rightarrow <i>Ort</i> (en, ISO 19148 [13])
Lokalisieren	Messen des \rightarrow <i>Referenzwerts</i> eines \rightarrow <i>Orts</i> des \rightarrow <i>Realitätsausschnitts</i> im \rightarrow <i>Referenzrahmen</i> eines \rightarrow <i>Referenzsystems</i> . Bemerkung 1: In der Strassenthematik geht es beim L. meist um die Messung der \rightarrow <i>RBBS</i> \rightarrow <i>Koordinaten</i> im \rightarrow <i>Referenzrahmen</i> des \rightarrow <i>RBBS</i> . Bemerkung 2: Vorsicht: \rightarrow <i>Lokalisierung</i> ist nicht dasselbe wie \rightarrow <i>Lokalisieren</i> .
Lokalisierung	Syn. von \rightarrow <i>Referenzwert</i>
Markierung	Gelbes Quadrat, für die genaue Lage eines \rightarrow <i>Bezugsortes</i> auf der \rightarrow <i>Strassenachse</i>
Mannigfaltigkeit	Eine n-dim. (topologische) Mannigfaltigkeit M^n ist ein topologischer Hausdorff-Raum mit abzählbarer Basis der Topologie, der lokal homöomorph ist zum \mathbb{R}^n . Bemerkung1: Details zu den Begriffen Hausdorff-Raum, Basis, homöomorph siehe Jänich „Topologie“ [15], zu M. siehe Jänich „Vektoranalysis“ [16]. Bemerkung 2: Eine 1-dim. M. ist ein glatter und injektiver \rightarrow <i>Linienzug</i> im \rightarrow <i>Raum</i> . Beispiel: \rightarrow <i>Achse</i> ohne Ecken. Bemerkung 3: Eine 2-dim. M. ist eine zusammenhängende und glatte Fläche im \rightarrow <i>Raum</i> , die Kurven und Wellen haben kann. Beispiel: \rightarrow <i>Strassenfläche</i> ohne Bruchkanten.
Metaobjekt	\rightarrow <i>Objekt</i> , das in einem \rightarrow <i>Datenmodell</i> gebraucht wird
Modell	Syn. für \rightarrow <i>Datenmodell</i> . Bemerkung: Die objektorientierte Modellierung unterscheidet Objekt-M. (als Syn. für den Teil eines \rightarrow <i>Datenschemas</i> , der Inhalt und Gliederung der \rightarrow <i>Daten</i> beschreibt) und Verhaltens-M. (als Syn. für den Teil eines \rightarrow <i>Datenschemas</i> , der die \rightarrow <i>Operationen</i> beschreibt, die mit den \rightarrow <i>Daten</i> ausgeführt werden können).
Modellbasiertes Vorgehen	Vorgehensweise, um von einem \rightarrow <i>Realitätsausschnitt</i> über ein \rightarrow <i>konzeptionelles Schema</i> zu Daten und Programmen für deren Bearbeitung zu gelangen. Syn. model driven approach, model driven architecture (en). Abk. MBV (de); MDA (en).
Modellierungselement	Beschreibungsmöglichkeit einer \rightarrow <i>Datenbeschreibungssprache</i> , die als Schlüsselwort zur Verfügung steht.
Netz	Syn von \rightarrow <i>zusammenhängender Graph</i>
Netzabschnitt	Syn. von \rightarrow <i>Abschnitt</i>
Netzknoten	Syn von \rightarrow <i>Knoten</i>
Netztyp	Gesamtheit der Selektionskriterien, die ein \rightarrow <i>Abschnittsnetz</i> definieren oder auch einen \rightarrow <i>Sektionsgraph</i> . Bemerkung: Siehe dazu SN 640914, [38] 5.5.
Objekt	Daten eines \rightarrow <i>Realweltobjektes</i> (bzw. eines entsprechenden \rightarrow <i>Fachobjektes</i>) mit den \rightarrow <i>Operationen</i> , die mit diesen Daten ausgeführt werden können, und mit einer Objektidentifikation. Syn. Datenobjekt Bemerkung: Siehe VSS 671941 [39] S.5, Definition 19 des Begriffs \rightarrow <i>Fachobjekt</i> .

Begriff	Bedeutung
Objekt des Strassenraums	Syn. von → <i>Realweltobjekt</i> Bemerkung: Bei der Bearbeitung von Strassenthemen werden Realweltobjekte auch „Objekte des Strassenraums“ genannt (siehe VSS 671941 [39] S.5, Definition 4.16 des Begriffs → <i>Fachobjekt</i>)
Operation	→ <i>Abbildung</i> aus den Attributwertebereichen einer → <i>Klasse</i> und/oder aus → <i>Wertebereichen</i> von Eingabe → <i>Parametern</i> in den → <i>Wertebereich</i> eines Ausgabe → <i>Parameters</i> .
Ort	Punktförmiges → <i>Realweltobjekt</i> Syn.: location (en, ISO19148) Bemerkung 1: Einem Ort im → <i>Realitätsausschnitt</i> entspricht ein → <i>Punkt</i> im → <i>Raum</i> . Bemerkung 2: In den Normen SN64091x (z.B. [35], [36], [37], [38], [38]) wird Ort auch verwendet als Syn. für → <i>Punkt</i> einer → <i>Strassenfläche</i> .
Parameter	Daten(elemente), deren → <i>Wert</i> einer → <i>Funktion</i> , einer → <i>Operation</i> oder einem → <i>Metaobjekt</i> übergeben und/oder von → <i>Funktionen</i> oder → <i>Operationen</i> zurückgegeben werden. Zu jedem P. gehört ein Name, ein → <i>Wertebereich</i> und - bei → <i>Funktionen</i> oder → <i>Operationen</i> - eine Übergaberichtung (in, out, inout). Der konkrete → <i>Wert</i> eines P. heisst → <i>Argument</i>
Physischer Bezugsort	Rekonstruierbares, festes und dauerhaftes Element in der Nähe eines → <i>Bezugsortes</i> auf oder neben einer → <i>Strasse</i> . Bemerkung: Dabei handelt es sich um die Materialisierung des logischen Grundelements „Bezugspunkt“ des räumlichen Basis-Bezugssystems für Strassendaten
Planarer Graph	→ <i>Graph</i> , dessen → <i>Knoten</i> sich als Punkte und dessen → <i>Kanten</i> sich als Verbindungskurven in der Ebene darstellen lassen, wobei je zwei verschiedene solche Kantenkurven höchstens Endpunkte gemeinsam haben. Syn: planar graph (en)
Planarer Raum	→ <i>Referenzbereich</i> eines → <i>Planaren Bezugssystems</i> . Bemerkung: Ein planarer Raum ist eine Ebene oder eine zusammenhängende und kompakte Teilmenge davon.
Planares Bezugssystem	→ <i>Bezugssystem</i> mit 2-dimensionalem → <i>Referenzbereich</i> . Syn.: Système de repérage planaire (fr CH), → <i>Flächiges Bezugssystem</i> (de CH)
Planares Koordinatensystem	Syn. (mehrdeutig) für → <i>kartesisches Koordinatensystem</i> (ohne Dimensionsangabe) bzw. für → <i>geodätisches Koordinatensystem</i> (ohne Dimensionsangabe) bzw. für 2-dimensionales → <i>kartesisches Koordinatensystem</i> (d.h. in der Ebene). Syn.: Système de coordonnées planaire
Position	Syn. (en) für → <i>Referenzwert</i> .
Punkt	(Mengen-)Element des → <i>Raumes</i> (als Menge betrachtet)
Raum	3-dimensionaler Euklidischer Raum. Bemerkung 1: Def. siehe Mathematik. Bemerkung 2: „Raum“ wird im Strassenbereich oft als Synonym für „Realwelt“ verwendet (siehe SN 640911 Linearer Bezug Grundnorm [34] S.5, Definition 5.1: „Raum ist die Gesamtheit der Orte im Feld, die von Bauwerken, deren Nutzungen und Auswirkungen eingenommen werden“).
Raumbezug	→ <i>Referenzwert</i> bezüglich eines → <i>Koordinatensystems</i> .
Raumbezugssystem	→ <i>Bezugssystem</i> mit 3-dimensionalem → <i>Referenzbereich</i> Syn. (mehrdeutig): → <i>Bezugssystem</i> . Bemerkung: Siehe auch → <i>lineares Raumbezugssystem</i>
Räumliches Basisbezugssystem	Syn. von → <i>Basisbezugssystem</i> . Abk.: RBBS
RBBS-Ort	→ <i>Referenzwert</i> eines → <i>Punktes</i> bezüglich des → <i>Basisbezugssystems</i> → <i>RBBS</i> . Bemerkung: D,h, Koordinaten (u,v,w)
Realitätsausschnitt	Teil der Realwelt, für die Bearbeitung eines Themas oder Themenbereiches wesentlich. Syn.: (mehrdeutig) → <i>Raum</i> Bemerkung 1: Ein Gegenstand der Realwelt kann zu verschiedenen Realitätsausschnitten gehören und entsprechend können sehr verschiedene Eigenschaften wesentlich sein. Beispiel: Strasse für Strassenbau und für Adressenverwaltung. Bemerkung 2: Für die Beschreibung des R. in Umgangssprache wird oft auch der Begriff → <i>semantisches Modell</i> gebraucht.
Realweltobjekt	Gegenstand der realen Welt Syn. (im Strassenbereich): Objekt des Strassenraums Bemerkung: Ein R. kann digital beschrieben werden durch ein → <i>(Daten)Objekt</i>

Begriff	Bedeutung
Referenzbereich	Teilmenge des \rightarrow <i>Raumes</i> , die eine Mannigfaltigkeit der Dimension 1, 2 oder 3 ist oder ein \rightarrow <i>Graph</i> , dessen \rightarrow <i>Knoten</i> und \rightarrow <i>Kanten</i> Teilmengen des \rightarrow <i>Raumes</i> sein können, aber nicht müssen. Syn.: Systèmes de référence (fr CH), Referenzfläche (de CH). Bemerkung 1: Details zu Mannigfaltigkeiten siehe Vektoranalysis [16]. Bemerkung 2: Zum système de référence vergleiche AGRAM Bericht [24].
Referenzfläche	Syn. für \rightarrow <i>Referenzbereich</i> . Bemerkung: Nur in AGRAM [24] S.8 erscheint der Begriff R., (bzw. système de référence) mit folgender Definition: „Un espace, dans lequel on souhaite décrire des positions.“
Referenzgeometrie	Eindeutig festgelegte \rightarrow <i>Achsgeometrie</i> im \rightarrow <i>Landeskoordinatensystem CH</i> für die erste Achse eines \rightarrow <i>kurvilinearen Koordinatensystems</i> . Bemerkung: Definition demäss SN 640912 RBBS, [36] 5.11 bzw. SN 640 913 Achsgeometrie, [37] 5.3
Referenzkoordinaten	\rightarrow <i>Landeskoordinaten CH</i> eines \rightarrow <i>Bezugspunktes</i> .
Referenzrahmen	Materialisierung eines \rightarrow <i>Referenzsystems</i> in der Realwelt Beispiel: Die Materialisierung erfolgt durch Auswahl und besondere Kennzeichnung von punktförmigen \rightarrow <i>Realweltobjekten</i> (z.B. von Steinen, Bolzen etc.) deren \rightarrow <i>Referenzwerte</i> im \rightarrow <i>Referenzsystem</i> bekannt sind. Syn.: Bezugsrahmen (de CH L+T swisstopo)
Referenzsystem	Werkzeug, um die Lage von \rightarrow <i>Objekten</i> eindeutig zu beschreiben (durch \rightarrow <i>Referenzwerte</i>) Syn. (mehrdeutig) \rightarrow <i>Koordinatensystem</i> , \rightarrow <i>Koordinatenreferenzsystem</i> . Bemerkung: Ein besonderes R. ist das \rightarrow <i>Koordinatensystem</i> , das \rightarrow <i>Koordinatenreferenzsystem</i> und das \rightarrow <i>topologische Referenzsystem</i> .
Referenzwert	\rightarrow <i>Wert</i> , welcher der Lage eines \rightarrow <i>Objekts</i> eindeutig zugeordnet ist, aus einem \rightarrow <i>Wertebereich</i> , der für ein \rightarrow <i>Referenzsystem</i> definiert ist. Syn: Bezug (de CH, vorallem VSS Normen), Lokalisation (de), localisation (en), position (en), repérage (fr CH) Bemerkung: Der R. bezüglich des RBBS heisst auch \rightarrow <i>(RBBS)-Ort</i> (Vgl SN 640912 RBBS [36] 5.12).
Referenzwert-Transformation	\rightarrow <i>Abbildung</i> von einem \rightarrow <i>Referenzsystem</i> (bzw. von seinem \rightarrow <i>Referenzbereich</i>) auf ein anderes \rightarrow <i>Referenzsystem</i> (bzw. auf dessen \rightarrow <i>Referenzbereich</i>). Syn.: \rightarrow <i>Transformation</i> (mehrdeutig) Bemerkung 1: Spezielle R. sind die \rightarrow <i>Koordinatentransformationen</i> und die \rightarrow <i>Konversionen</i> . Bemerkung 2: Eine wichtige Rolle spielen die umkehrbar eindeutigen R. (spezielle \rightarrow <i>umkehrbar eindeutige Abbildungen</i>) sowie die einseitig eindeutigen R. (spezielle \rightarrow <i>einseitig eindeutige Abbildungen</i>), siehe Kapitel 2.6.
Repérage	Syn. (fr CH) für \rightarrow <i>Referenzwert</i>
Schild	Kleinformatiger, steifer oder flexibler Träger, der die zur Identifikation eines \rightarrow <i>Bezugsortes</i> notwendigen sowie ergänzenden Beschriftungen enthält
Schleife	\rightarrow <i>Zyklus</i> mit einer \rightarrow <i>Kante</i> . Syn: boucle (fr), loop (en)
Schnittstellen-signatur	Beschreibung des Aufrufs einer \rightarrow <i>Operation</i> , setzt sich zusammen aus dem Namen der \rightarrow <i>Operation</i> , den \rightarrow <i>Datentypen</i> und allenfalls Namen ihrer \rightarrow <i>Parameter</i> und evtl. der Angabe eines Rückgabe-Datentyps. Syn. Signatur.
Segmentierung	\rightarrow <i>Realweltobjekt</i> , dessen Eigenschaften sich entlang der \rightarrow <i>Strassenachse</i> ändern. Bemerkung: Eingeführt in ISO 19148 Linear referencing [13].
Seitlicher Abstand	Zweite \rightarrow <i>Koordinate</i> v eines \rightarrow <i>Punktes</i> in einem \rightarrow <i>kurvilinearen Koordinatensystem</i> . Bemerkung: Messvorschrift: Länge (in der Realwelt) der Verbindungsstrecke zwischen der Projektion des \rightarrow <i>Ortes</i> auf die \rightarrow <i>Strasse</i> und seiner Projektion auf die \rightarrow <i>Strassenachse</i> .
Sektion	Zusammenhängende und abgeschlossene Teilmenge eines \rightarrow <i>Achssegments</i> . Syn. section (fr CH), \rightarrow <i>Strecke</i> (de CH, fraglich, siehe dort) Bemerkung 1: Eingeführt in SN 640914 Netze, [38] 7.2. Bemerkung 2: Wir verwenden in diesem Forschungsbericht bewusst den Begriff „Sektion“. Er entspricht dem auf Französisch verwendeten Term „section“. Der in den VSS-Normen dafür übliche deutsche Begriff ist „Strecke“. Wir verwenden „Strecke“ aber ausschliesslich als Bezeichnung für eine abgeschlossene und zusammenhängende Teilmenge einer Geraden. Auch bei diesem Begriff werden wir an kritischen Stellen eine entsprechende Bemerkung notieren.

Begriff	Bedeutung
Sektionsgraph	→ <i>Graph</i> mit → <i>Sektionen</i> , die höchstens Endpunkte gemeinsam haben. als → <i>Kanten</i> und mit den Endpunkten der → <i>Sektionen</i> als → <i>Knoten</i> . Syn.: Streckennetz. Beispiel: SN 640911-1, [35] 48, Abb. 19 zeigt einen nicht zusammenhängenden Sektionsgraph. Bemerkung: Das Synonym „Streckennetz“ (gemäss SN 640914, [38] 5.3) ist irreführend, da ein Sektionsgraph normalerweise nicht zusammenhängend ist, also kein → <i>Netz</i> , wie das Beispiel zeigt. Vergleiche dazu auch Bemerkung 1 von → <i>Sektion</i> und die Bemerkung zum → <i>Basisnetz</i> .
Sektionsnetz	Zusammenhängender → <i>Sektionsgraph</i> .
Sektor	→ <i>Sektion</i> , deren Länge (in der Realwelt) bekannt ist. Bemerkung: Eingeführt in SN 640912 RBBS [36]5.8)
Semantik	Syn. für Bedeutung.
Semantik erhaltende Transformation	Syn. für → <i>semantische Transformation</i>
Semantisches Modell	Beschreibung des → <i>Realitätsausschnitts</i> in Umgangssprache. Bemerkung: Der Term ist verwirrend, da er suggeriert, dass Semantik nur in Umgangssprache beschrieben werden kann, entgegen unserer Erfahrung, wonach durch präzises → <i>konzeptionelle Schema</i> mindestens 95% der Semantik erfasst werden kann.
Semantische Transformation	Umbau eines → <i>Datenmodells</i> in ein inhaltlich (semantisch) äquivalentes → <i>Datenmodell</i> . Syn. Semantik erhaltende Transformation
Sphärisches Koordinatensystem.	→ <i>Koordinatensystem</i> auf der 2-dimensionalen Randfläche einer 3-dimensionalen Kugel.
Strasse	Befestigtes flächenartiges → <i>Realweltobjekt</i> mit Erschliessungsfunktionen für den Fussgänger- und/oder den Fahrzeugverkehr, wie Autostrasse (eingeschlossen Parkstreifen), Flurweg, Waldweg, Radverkehrsanlage Bemerkung: Für das Realweltobjekt Strasse gibt es in der Norm SN 640912 [36] eine Definition (5.2), die aber bereits die Abstraktion der Strassenachse beschreibt (Verkehrsweg, der an einem definierten Punkt beginnt und an einem definierten Punkt endet). Wir verwenden deshalb die Beschreibung des Realitätsausschnitts aus der technischen Verordnung der amtlichen Vermessung (TVAV [33]).
Strassenabschnitt	Linienförmiges → <i>Realweltobjekt</i> entsprechend einem Abschnitt des → <i>Strassennetzes</i> . Synonym: (mehrdeutig!) → <i>Strecke</i> . Bemerkung: Ein → <i>Strassenabschnitt</i> wird durch 2 → <i>Knotenorte</i> begrenzt
Strassenachse	Linienartiges → <i>Realweltobjekt</i> entsprechend der Mittellinie von → <i>Strassen</i> ohne Richtungstrennung bzw. entsprechend dem linken Rand jeder Fahrbahn von richtungsgetretenen → <i>Strassen</i> Syn: Unterhaltsachse MSE Bemerkung: Der S. in der Realwelt entspricht in der für eine digitale Bearbeitung wesentlichen Abstraktion der Realwelt die → <i>Achslinie</i> im → <i>Raum</i> .
Strassenfläche	2-dimensionale → <i>Mannigfaltigkeit</i> im → <i>Raum</i> . Syn.: → <i>linearer Raum</i> (CH de), → <i>Strassenraum</i> (CH de), espace routier (CH fr) Bemerkung 1: Die S. ist als Abstraktion der → <i>Strasse</i> im → <i>Realitätsausschnitt</i> eine im → <i>Raum</i> verlaufende Fläche, die zusammenhängend und glatt ist. Bemerkung 2: Die S. ist zweckmässiger → <i>Referenzbereich</i> für → <i>Bezugssysteme</i> mit → <i>kurvilinearen Referenzsystemen</i> .
Strassennetz	Beschreibung der Gesamtheit aller → <i>Strassen</i> als → <i>Netz</i> . Bemerkung: Siehe SN 640912, [36] 5.1.
Strassenraum	Syn. für → <i>Strassenfläche</i> Bemerkung: In den VSS-Normen gibt es keine Definition für S. Der S. (espace routier) entspricht (vermutlich) der → <i>Strassenfläche</i> gemäss der Verwendung von S. in SN 671941 Referenzierung [39] und SN 640912 RBBS [36].
Strassensegment	Zusammenhängende Teilmenge einer → <i>Strassenachse</i> im → <i>Realitätsausschnitt</i>
Strassensektion	Teil eines → <i>Strassensegments</i> , der durch zwei → <i>Orte</i> begrenzt ist, dessen Länge aber nicht bekannt sein muss. Syn. section (fr CH), → <i>Strecke</i> (de CH, mehrdeutig) Bemerkung: In den VSS-Normen wird für Strassensektion auf Deutsch (ungeschickterweise!) der Begriff → <i>Strecke</i> verwendet, der nur für das entsprechende Geometrieelement verwendet werden sollte

Begriff	Bedeutung
Strassensektor	Teil einer → <i>Strassenachse</i> , dessen Länge (in der Realwelt) bekannt ist
Strecke	Abgeschlossene und zusammenhängende Teilmenge einer → <i>Geraden</i> Bemerkung: In der Norm SN 640914 [38] wird Strecke als Syn. für → <i>Strassensektion</i> bzw. → <i>Sektion</i> oder auch etwa für → <i>Strassenabschnitt</i> bzw. → <i>Abschnitt</i> . Verwendet.
Streckennetz	Syn. von → <i>Sektionsgraph</i>
System	Gesamtheit aller zu einer EDV-Anlage gehörenden Komponenten (Hardware und Software), die für einen bestimmten Zweck genutzt werden.
Terrestrisches Koordinatenreferenzsystem	3-dimensionales → <i>kartesisches Koordinatensystem</i> , dessen Achsen eine feste Position und Orientierung bezüglich Massenmittelpunkt und Rotationsachse der Erde haben. Syn.: Datum, geodätisches Datum, geodätisches Referenzsystem
Topologie	Im Bereich der → <i>Strassen</i> braucht man die sogenannte kombinatorische T, um → <i>Strassennetze</i> und topologische → <i>Referenzsysteme</i> zu bearbeiten. Die verwendeten Grundbegriffe sind → <i>Graph</i> und → <i>Netz</i> .
Topologiebezug	→ <i>Referenzwert</i> bezüglich eines → <i>topologischen Referenzsystems</i>
Topologisches Referenzsystem	→ <i>Knoten</i> und/oder → <i>Kanten</i> eines → <i>Graphs</i> und eine → <i>Objektidentifikation</i> für die Knoten und/oder für die Kanten, die ermöglicht, für ein → <i>Fachobjekt</i> anzugeben, bei welchem Knoten und/oder auf welcher Kante des Graphs es sich befindet Bemerkung: Vergleiche dazu die Def. des Topologiebezugssystems, système de repérage topologique in SN 640911 [34] 7.5)
Transfer	Syn. für → <i>Datentransfer</i> .
Transferdatei	Zum → <i>Datentransfer</i> vorbereitete → <i>Datei</i> in geeignetem → <i>Transferformat</i> .
Transferformat	Gliederung einer → <i>Transferdatei</i> in Datenfelder. Syn. Format.
Transformation	Mehrdeutiges Syn. für → <i>Referenzwert-Transformation</i> , → <i>Koordinaten-Transformation</i> und → <i>semantische Transformation</i> . Bemerkung: In diesem Bericht meist als Abkürzung verwendet für → <i>Referenzwert-Transformation</i>
Umkehrbar eindeutige Abbildung	→ <i>Abbildung</i> f von A nach Z , zu der es eine → <i>Abbildung</i> f^{-1} von Z nach A gibt, die jedem Element von $f(A) \subset Z$ genau ein Element von A zuordnet. Bemerkung 1: Siehe → <i>äquivalente Referenzsysteme</i> . Bemerkung 2: Siehe Verallgemeinerung → <i>einseitig umkehrbare Abbildung</i> .
Untergraph (eines Graphs)	Teilmenge der → <i>Kanten</i> dieses → <i>Graphs</i> und alle durch diese → <i>Kanten</i> verbundenen → <i>Knoten</i> des → <i>Graphs</i> .
Unterhaltsachse MSE	Syn von → <i>Strassenachse</i>
Unternetz (eines Netzes)	→ <i>Zusammenhängender</i> → <i>Untergraph</i> eines → <i>Netzes</i> .
Unternetzknoten	→ <i>Knoten</i> eines → <i>Abschnittsnetzes</i> , der einem → <i>Unternetz</i> entspricht
Verkehrsnetz	Beschreibung der Gesamtheit aller → <i>Verkehrswege</i> als → <i>Netz</i>
Verkehrsweg	→ <i>Strasse</i> oder Eisenbahnlinie oder schiffbarer Fluss bzw. See oder Flugroute
Versicherung	Gesamtheit der Massnahmen, um einen → <i>Bezugsort</i> im Falle von Verlust oder Zerstörung auf einfachste Weise wiederherstellen zu können. Bemerkung: Dies kann anhand von Distanzmessungen zu benachbarten → <i>Orten</i> oder mit → <i>Referenzkoordinaten</i> erfolgen
Vertikale Basisgeometrie	Projektion der → <i>Achslinie</i> auf die dritte → <i>Koordinatenachse</i> des → <i>Raumbezugssystems</i> abhängig vom Verlauf der → <i>horizontalen Basisgeometrie</i> . Bemerkung: Siehe SN 640913 Achsgeometrie [37] 5.5
Vertikaler Abstand	Dritte → <i>Koordinate</i> z eines → <i>Punktes</i> in einem → <i>kurvilinearen Koordinatensystem</i> . Bemerkung: Messvorschrift: Länge (in der Realwelt) der Verbindungsstrecke zwischen dem → <i>Ort</i> , der dem → <i>Punkt</i> entspricht, und der Projektion dieses → <i>Ortes</i> auf die → <i>Strasse</i> .
Weg	Endliche Folge von paarweise verschiedenen → <i>Knoten</i> v_i und (daher auch paarweise verschiedenen) → <i>Kanten</i> k_i der Art $(v_1, k_1, v_2, k_2, \dots, v_{n-1}, k_{n-1}, v_n)$, wobei (v_i, v_{i+1}) das zur → <i>Kante</i> k_i gehörige Paar von → <i>Knoten</i> ist. Syn: path (en).
Wert	→ <i>Datenelement</i> eines → <i>Wertebereichs</i> .
Wertebereich	Menge gleichartiger → <i>Datenelemente</i> . Ein → <i>Datenelement</i> eines W. heisst → <i>Wert</i> . Syn. Datentyp.

Begriff	Bedeutung
Zeitbezug	→ <i>Referenzwert</i> bezüglich eines zeitlichen → <i>Referenzsystems</i> .
Zusammenhängender Graph	Zu je zwei verschiedenen → <i>Knoten</i> des → <i>Graphs</i> gibt es einen → <i>Weg</i> , dessen Endknoten sie sind, d.h. je zwei verschiedene → <i>Knoten</i> des → <i>Graphs</i> sind verbunden durch einen → <i>Weg</i> . Syn: Netz (de), réseau (fr), connected graph, net (en)
Zyklus	Geschlossener → <i>Weg</i> , d.h. → <i>Weg</i> mit $v_1 = v_n$ Syn cycle (en)

Literaturverzeichnis

Nr	Autor	Titel / Herausgeber / Ort	Datum	Version
[1]	ASTRA	MISTRA Datenkatalog, www.mistra.ch / ASTRA / Ittigen CH	Div.	Div.
[2]	ASTRA / AWK Group AG	SA-CH und FA-VM, verschiedene Dokumente / ASTRA / Ittigen CH	Div.	Div.
[3]	Bolliger, J.	Die Projektionen der schweizerischen Plan- und Kartenwerke / Druckerei Winterthur AG/Winterthur	1967	
[4]	Dupraz, Hubert	Transformation approchée de coordonnées WGS84 en coordonnées nationales suisses / EPFL IGEO-TOPO / Lausanne	1992	
[5]	Flament, Maxime, Lars Wikström et al.	ROSATTE – Specification od Data Exchange Methods/ERTICO – IST Europe/www.ertico.com	2009-09-03.	RST-D31-V16.
[6]	Gilliéron, Pierre-Yves et al.	NAVAROU Forschungsbericht / VSS Bericht 1213 / Zürich	2008 Februar	
[7]	Gnägi, H. R. und S. Henrich, M. Münster, R. Rüegg, C. Eisenhut	MDAinSVT: Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der SVT, Forschungsbericht VSS 2007/902 / VSS Bericht 1267 / Zürich	2009 April	
[8]	Golay, François et al.	SYRROU Forschungsbericht / VSS Bericht 452 / Zürich	2000 Mai	
[9]	ISO	ISO 13249-3: IT-DBL-SQL-MM and Application Packages, Part 3: Spatial / ISO / Genf	2009-01-16	Norm V482
[10]	ISO	ISO 14825 – Intelligent transport systems - Geographic data files (GDF) – Overall data specification / ISO / Genf	2004	Norm
[11]	ISO	ISO 17572 1. 2. 3 – Intelligent transport systems – Local referencing for geographic data bases / ISO / Genf	2006	Norm
[12]	ISO	ISO 19111 – Geographic Information – Spatial Referencing by Coordinates / ISO / Genf CH	2007	Norm
[13]	ISO	ISO 19148 – Geographic Information – Location Based Services – Linear Reference Systems / ISO / Genf CH	2011	Norm
[14]	Jänich, Klaus	Lineare Algebra, ISBN 3-540-09458-X / Springer Verlag / Berlin etc.	1979	1.Aufl.
[15]	Jänich, Klaus	Topologie, ISBN 3-540-61175-4 / Springer Verlag / Berlin etc.	1996	4.Aufl.
[16]	Jänich, Klaus	Vektoranalysis, ISBN 3-540-55530-7 / Springer Verlag / Berlin etc.	1993	2.Aufl.
[17]	Koch, Rainer et al.	Architektur und Zeitaspekte von SVT Daten / VSS Bericht 1149 / Zürich	2005 Dez.	
[18]	KOGIS	INTERLIS 2 Referenzhandbuch / KOGIS / Wabern, www.interlis.ch	2006-04-13	2.3
[19]	KOGIS	INTERLIS Compiler (freeware und opensource) / KOGIS, www.interlis.ch / Wabern CH	2012-08-31	4.4.8
[20]	KOGIS	INTERLIS 2 Checker (freeware in CH und Liechtenstein) / KOGIS, www.interlis.ch / Wabern CH	2012-03-21	2012.0
[21]	KOGIS	UML-INTERLIS Editor (freeware und open source) / KOGIS, www.interlis.ch / Wabern CH	2008-12-22	3.1.3
[22]	Lingwood, S. und W. Schaufelberger, D. Rüthemann, J. Boysen	Datenverarbeitung für eine Verkehrsträger übergreifende Mobilitätssteuerung, Forschungsbericht VSS 2003/901 / VSS Bericht 1192 / Zürich	2008	
[23]	Marschal, Claude et al.	Konzept für die Übernahme von Navigationsdaten in MISTRA / ASTRA / Ittigen CH	2007	
[24]	Merminod, Bertrand et al.	AGRAM Forschungsbericht / VSS Bericht 1047 / Zürich	2003 April	
[25]	Oggier, Rainer und Chrisoph Rosenthaler,	Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und GIS, Forschungsbericht Projekt 19/94 / VSS Bericht 1042 / Zürich	2002 Mai	
[26]	OMG	Unified Modelling Language (UML) / OMG /www.omg.org	2011-08-05	V 2.4.1
[27]	Ress, Christian et al.	ADASIS Protocol for Advanced Vehicle Applications / ITS World Congress, New York / www.ertico.com (→ documents)	2008-11-20	
[28]	Ress Christian und J. Requejo	Vorausschauende Fahrempfehlungspläne auf Basis digitaler Kartendaten / Referat 6. dSPACE Anwenderkonferenz / Paderborn	2010-11-09..11	
[29]	Safe Software	FME (Feature Manipulation Engine) / Safe Software, www.safe.com / Victoria, Kanada,	2012-09-01	V 7.2
[30]	Schäuble, M. und B. Gfeller, N. Stahel	MISTRA – Systemdesign Web-Services [BS SD WS] R2.0.0.x / EBP Ernst Basler & Partner, Doku Code BS RE 2 / Zürich	2010-07-02	V 1.4

Nr	Autor	Titel / Herausgeber / Ort	Datum	Version
[31]	Schildknecht, L. und J.-L. Misérez, R. Hajdin	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen, Forschungsbericht VSS 2001/701 / VSS Bericht 1316 / Zürich	2010 Oktober	
[32]	SNV	SN 612031 INTERLIS 2 Modellierung und Datentransfer- methode / SNV, www.snv.ch / Zürich	2006	2.3
[33]	VBS	Technische Verordnung der amtlichen Vermessung TVAV / VBS Verordnung / Bern	2001	Verordn ung
[34]	VSS	SN 640911 Strasseninformationssystem (SIS) – Linearer Bezug – Grundnorm / VSS / Zürich	2006	Norm
[35]	VSS	SN 640911-1 Strasseninformationssystem –Bezugskonzepte, Übersicht / VSS / Zürich	2012	V 2013- 04-26
[36]	VSS	SN 640912 SIS – Linearer Bezug – Räumliches Basisbezugssystem RBBS / VSS / Zürich	2005	Norm
[37]	VSS	SN 640913 Strasseninformationssystem – Linearer Bezug – Achsgometrie / VSS / Zürich	2006	Norm
[38]	VSS	SN 640914 Strasseninformationssystem – Linearer Bezug – Netze und ihre Topologie / VSS / Zürich	2006	Norm
[39]	VSS	SN 671941 Strassenverkehrstelematik – Referenzierung für Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen / VSS / Zürich	2010	Norm
[40]	VSS	SN 671951 – Funktionale Systemarchitektur / VSS / Zürich	2011	Entwurf V20

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

erstellt / geändert am: 2012-11-12

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2009/901
Projekttitel: Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz
Enddatum: 2012-11-22

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Das „Gesamtmodell“ von SN 671941 gibt eine Übersicht von Referenzsystem- und Transformations-Typen gemäss theoretischen Überlegungen. Das Projekt hat nun deren praktischen Einsatz systematisch analysiert und beschrieben nach dem modellbasierten Vorgehen. Im Folgenden sind in () die Nummern der entsprechenden Berichtsabschnitte angegeben.

Zunächst wurde die Bedeutung der Grundlagentexte erarbeitet (2.8, A.8) und dann wurden die benötigten mathematischen Elemente zusammengestellt (3): Euklidischer Raum für ausgedehnte Realität und Graph für netzartige Strukturen. Transformationen können umkehrbar eindeutig sein, dann werden die beteiligten Referenzsysteme äquivalent oder interoperabel genannt. Es gibt auch nur einseitig umkehrbare Transformationen, d.h. die Rückrechnung ergibt den Ausgangswert nur beim Start mit einem der beiden Referenzsysteme. Gemäss der Übersicht über die 5 Elemente A bis E des modellbasierten Vorgehens (Model Driven Approach, MDA) für Referenzsysteme und Transformationen kamen diese Elemente zum Einsatz.

Bei der Beschreibung des Realitätsausschnitts (Element A des MDA) zeigte sich die Notwendigkeit, die Realwelt der Strasse einerseits (5.1) und die Abstraktion der Strasse andererseits (5.2) klar auseinander zu halten. Unterschiede sind augenfällig bei der Strassenachse, die in der Realität z.B. als Mittellinie ohne Ecken dem Strassenverlauf folgt. Hingegen braucht man für Berechnungen dafür einen Linienzug im Raum, der ausschliesslich aus Geradenstücken besteht. Entsprechend der Übersicht (5.3) folgt die Detailbeschreibung der Bezugssysteme (5.4). Ein Hauptergebnis ist die Beschreibung der Algorithmen für alle Transformationen, und, ob es sich dabei um umkehrbare Eindeutigkeit handelt oder wenigstens um einseitige Umkehrbarkeit (5.5). Für die Transformationen RBBS ↔ LV03 wurde ein umkehrbar eindeutiges Algorithmen-Paar entwickelt.

Zur konzeptionellen Modellierung (Element B des MDA) wurden die existierenden UML/INTERLIS Sprachelemente für geodätische Referenzsysteme ergänzt um neue für kurvilineare und topologische Referenzsysteme (6.5) sowie für deren Verwendung in Anwendungsmodellen (6.6). Die Referenzsysteme RBBS und LV03 und ihr Einsatz in der Anwendung Verkehrsunfälle wurden im Detail konzeptionell modelliert und ebenso die Transformation RBBS ↔ LV03 (6.8).

Die (automatische) Herleitung des Transferformats aus dem Datenmodell (MDA Element C) brauchte zusätzliche Codierungsregeln für den neuen Datentyp GRAPH und für kurvilineare und topologische Referenzwerte (7).

Mangels Daten wurden in diesem Projekt von den MDA-Elementen D (1:1 Prozessor) und E (semantische Transformation) nur die Funktionen der Referenzwert-Transformationen als Bestandteil der semantischen Transformation genau bearbeitet. Diese sind als Demonstrator-Programm implementiert, d.h. die Algorithmen der Methoden newAxis, transform und inverseTrafo für die umkehrbar eindeutigen Transformationen RBBS ↔ LV03 (10, A.9). Die Testresultate zeigen, dass die Rücktransformationen auch in kritischen Bereichen bei Ecken der Achslinie erst in der 10. Nachkommastelle verschieden sind von den Originalwerten (10.3).

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Arbeit bildet die alphabetisch sortierte Liste aller verwendeten Begriffe mit konsistent verknüpften Definitionen. Die wenigen Unterschiede zu Termen und/oder Definitionen im VSS-Umfeld sind im Detail dokumentiert (12).

Der Bericht schliesst mit dem Erreichen der Zielsetzungen (11) und mit Details zu einzelnen Berichts-punkten (Anhänge A1 bis A9).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Gesamtziel: Aufzeigen, dass und wie das Gesamtmodell für Referenzsysteme und Transformationen (aus SN 671'941) in der Praxis eingesetzt ist.

- Z1 Referenzsysteme und Transformationen analysieren und präzise beschreiben
 - + ein vielseitiges Testgebiet wurde evaluiert
 - wir haben die Daten nicht in erwartetem Umfang bekommen
 - + 5.4 mit präziser Beschreibung der interessierenden Bezugssysteme geodätisch, kurvilinear, topologisch
 - + 5.5 mit Detailbeschreibung von Realisierungen aller Transformationstypen
 - + Theoretische Bestimmung des Umkehrbarkeitstyps für alle Transformationen
 - + praktischer Nachweis der umkehrbar eindeutigen Transformation RBBS ↔ LV03 durch Programm
 - Programmierung der übrigen Trafos fehlt
- Z2 Möglichkeiten und Grenzen des modellbasierten Vorgehens
 - + CSL UML/INTERLIS erweiterbar für kurvilineare und topologische Referenzsysteme und Codierungsregeln anpassbar
 - + konzeptionelle Beschreibung der Algorithmen mit UML Ablaufdiagramm bewährt sich
 - Nur die Refsysteme RBBS und LV03 sowie die Trafos RBBS ↔ LV03 konnten im Detail konzeptionell beschrieben werden
- Z3 Bezug zu internationalen Normen herstellen
 - + Normen analysiert: Es gibt Unterschiede, aber keine Widersprüche
 - + CH Modelle für alle Typen Refsysteme und Trafos einfacher, konkreter und praxisorientierter
- Z4 Grundlage für Normen SN 671941-1,2: Siehe die letzten zwei Folgerungen und Empfehlungen

Folgerungen und Empfehlungen:

- Das Gesamtmodell aus SN 671941 sollte präzisiert werden durch die Angabe konkreter Algorithmen für die verschiedenen Transformationen.
- Hingegen sollte diese Präzisierung erst erfolgen, wenn ausser RBBS ↔ LV03 auch die übrigen erwähnten Transformationskonzepte erfolgreich programmiert sind.
- Für ein Folgeprojekt zur Programmierung (z.B. VSS 2011/713) muss unbedingt sichergestellt sein, dass die theoretisch vorhandenen Daten tatsächlich zur Verfügung stehen.
- Es ist abzuklären, ob die umkehrbar eindeutige Transformation zwischen RBBS und LV03 (oder LV95) Vereinfachungen in der Organisation und Sicherung von Strassendaten ermöglicht.
- SN 671941-1: Konzeptionelles Datenmodell für Transformationen ► Alle Trafos aus 5.5 programmieren und mit UML-Ablaufdiagramm darstellen
- SN 671941-2: Einsatz des Gesamtmodells für Refsysteme und Trafos in der Praxis der SVT ► Gesamtmodell bereinigen gemäss Z1 und Z2

Publikationen:

- VSS Forschungsbericht

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Gnägi

Vorname: Hans Rudolf

Amt, Firma, Institut: ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Im Projekt wurden die meisten der in Strasseninformationssystemen und der Verkehrstelematik verwendeten Bezugssysteme der Grundtypen linear, planar und Topologie inventarisiert. Der Bericht liefert als wichtigstes Ergebnis ein vollständige semantische Beschreibung für die Transformationen zwischen den drei im Bereich Strassen verwendeten Grundtypen von Bezugssystemen LINEAR (km, RBBS), PLANAR (Landeskoordinaten) und TOPOLOGIE (TMC, GDF). Dabei zeigt sich, dass die Transformationen immer möglich, jedoch nicht alle "umkehrbar eindeutig" sind. Ein Ziel, den Nachweis auf der Grundlage eines modellbasierten Vorgehens gemäss den Ergebnissen des Projekts VSS 2009/902 zu erbringen, wurde erreicht. Die konzeptionelle Modellierungssprache INTERLIS wurde aufgrund dieses Forschungsprojekts um Sprachelemente zur Beschreibung von linearen und topologischen Bezügen erweitert. Die BK erachtet dies als wichtige Errungenschaft im Hinblick auf die Interoperabilität verschiedener System und die Austauschbarkeit von Strassendaten. Der praktische Teil des Projekts war zu sehr auf die Transformation linear (RBBS) zu planar (Landeskoordinaten) fokussiert. Andere, vor allem in der Verkehrstelematik anzuwendende Transformationen (TMC, GDF), wurden mangels Daten leider nicht mit praktischen Beispielen durchgeführt. Dementsprechend konnten die praktischen Ziele des Projekts nur teilweise erreicht werden. Der Bericht setzt sich ausführlich mit bestehenden nationalen und internationalen Normen, Forschungsprojekten und Strasseninformationssystemen auseinander und baut auf den darin erreichten Erkenntnissen auf. Der Bericht deckt einzelne Ungereimtheiten in Begrifflichkeiten fest (z. B. die Verwendung des Begriffs Strecke), welche in der VSS-Norm SN 640914 eine Wegstrecke, mathematisch-logisch jedoch eine geradlinige Verbindung zwischen 2 Punkten beinhaltet.

Umsetzung:

Der Bericht hat einen etwas lehrbuchartigen Charakter. Ein Grund dafür ist, dass alle verwendeten und konsistent definierten Begriffe sorgfältig und mit praktischen Beispielen eingeführt werden, damit auch die wenigen Begriffe und/oder Definitionen verschieden von VSS Normen verständlich sind. Ferner war zunächst nicht immer leicht feststellbar, welche Textteile Grundwissen beschreiben und welche konkret projektbezogene Inhalte. Das wurde wesentlich geklärt durch kurze Schwerpunkt-Abschnitte zu Beginn jedes Kapitels. Der Bericht ist mit 200 Seiten sehr umfangreich. Dadurch, dass umfangreiche Detailtexte in Anhänge verschoben wurden, bleibt er aber gut lesbar. Die Umsetzung der Forschungsarbeit hat mit knapp 3 Jahren deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen als ursprünglich veranschlagt. Dies vor allem aufgrund der hohen zeitlichen Beanspruchung der Mitarbeitenden mit anderen Aufgaben. Ferner ist es nicht gelungen zu allen Transformationen Datenbeispiele zu beschaffen, wodurch der Nachweis der Transformierbarkeit nur teilweise (linear <-> planar) experimentell möglich war. Dies unterstreicht die Wichtigkeit Datenlieferanten (ASTRA, Kantone, Viasuisse) von Anfang an konsequent einzubinden und zur Datenherausgabe zu verpflichten.

weitergehender Forschungsbedarf:

Ende 2012 wird das Forschungsprojekt VSS 2011/713 "Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen gemäss SN 640911" gestartet. Dieses Projekt wird weiteren Input in die Problematik von Transformationen liefern. Zu prüfen ist in welcher Form die Beschreibung von Transformationen in den VSS-Normen erfolgen soll. Die Verwendung der Beschreibungssprache INTERLIS ist für den Bereich Strassen und Verkehrstelematik neu und es muss geprüft werden inwiefern sich dieses Hilfsmittel wirklich eignet.

Einfluss auf Normenwerk:

Das Forschungsprojekt bildet eine Grundlage für die geplanten Normen SN 640941-1 und 640941-2.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Gilliéron

Vorname: Pierre-Yves

Amt, Firma, Institut: EPFL - ENAC - Laboratoire de Topométrie

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen <i>Coopération dans les gares et arrêts</i> <i>Coopération at railway stations and stops</i>	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs Activity oriented analysis of induced travel demand Analyse orientée aux activités du trafic induit	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung Approches innovantes de la gestion du stationnement Innovative approaches to parking management	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer? Driver Inattention and Distraction as Cause of Accident: How do Drivers Behave in Cars? L'inattention et la distraction: comment se comportent les gens au volant?	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel Acoustical guidance in road tunnels Guidage acoustique dans les tunnels routiers	2012
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining? De nouvelles découvertes sur le comportement de mobilité par Data Mining? New findings on the mobility behavior through Data Mining?	2011
1359	SVI 2004/003	Wissens- und technologientransfer im Verkehrsbereich Know-how and technology transfer in the transport sector Transfert de savoir et de technologies dans le domaine des transports	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten Pronostics de trafic avec des données en temps réel Traffic forecast with real-time data	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen Principes de bases concernant la conception, la construction et la durabilité de voies de raccordement Basic Principles on the Design, Construction and Sustainability of Sidings	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betongranulat aus Betongranulat	2011
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften <i>Potential du covoiturage</i> <i>Potential of Car Pooling</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schwiessnähte von KDB <i>Développement d'une méthode d'essais non-déstructif pour des soudures de membranes polymères d'étanchéité</i> <i>Development of a nondestructive test method for welded seams of polymeric sealing membranes</i>	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen <i>Signalisations dynamiques sur des routes principales</i> <i>Dynamic signalling at primary distributors</i>	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau <i>Expériences dans la construction de ponts en Suisse</i> <i>Experiences in Swiss Bridge Construction</i>	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen <i>Harmonisation of procedures and user interface in Tunnel-Process Control Systems</i> <i>Harmonisation des processus et des interfaces utilisateurs dans les systèmes de supervision de tunnels</i>	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität <i>Mode of action and potential of combined mobility</i> <i>Mode d'action et le potentiel de la mobilité combinée</i>	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr <i>Bénéfices liés à une réduction des temps de parcours du trafic voyageur</i> <i>Benefits of travel time savings in passenger traffic</i>	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel <i>Influence de l'écoulement souterrain sur le gonflement du Keuper gypseux dans le Tunnel du Chienberg</i> <i>Influence of groundwater flow on the swelling of the Gipskeuper formation in the Chienberg tunnel</i>	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich <i>Réflexions du trafic routier aux ouvrages d'art</i> <i>Noise reflections on structures in the street</i>	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen <i>Data storage in tunnel process control systems</i> <i>Enregistrement ds données de systèmes de supervision de tunnels</i>	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen <i>Exigences par rapport à la résistance à la carbonatation des bétons</i> <i>Requirements for the carbonation resistance of concrete</i>	2012
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen <i>Résistance à la corrosion des aciers d'armature inoxydables</i> <i>Use of stainless steels in concrete structures</i>	2012