VSS
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Zürich

Forschungsbericht 19/94

Informationssystem für das Management der Strassenerhaltung (MSE)

Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und Geo-Informationssystemen

Rosenthaler + Partner AG
Informatik und Management
Feldrebenweg 16
CH-4132 Muttenz 2

Autoren:
Oggier Rainer
Rosenthaler Christoph

Version 1.00
15.05.2002

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG IV

RESUME VI

1 EINLEITUNG 1

1.1 Gegenstand des Berichts 1
1.2 Umfeld 1
1.3 Ziel des Berichts 1
1.4 Begriffe 2
1.4.1 Strassendatenbank (SDB): 2
1.4.2 Geographisches Informationssystem (GIS): 2

2 SITUATIONSANALYSE 4

2.1 Ausgangszustand 4
2.2 Fragestellung 5
2.3 Überlappung der Organisationen, Funktionen und Daten von Strassendatenbanken und GIS 5
2.3.1 Benutzer/Organisation 6
2.3.2 Themen/Daten 6
2.3.3 Funktionen 6
2.4 Erfahrungen der Strassenverwaltungen 8

3 GRUNDKONZEPTE UND ANGEWENDETE TECHNOLOGIEN 9

3.1 GIS-Technologien 9
3.1.1 Einleitung 9
3.1.2 GIS-Software 9
3.1.3 Geo-Datenserver 15
3.1.4 Technische Systemarchitektur 16
3.1.5 Dynamische Segmentierung 20
3.1.6 Festlegung des räumlichen Bezugssystems der GIS 21
3.2 Konzepte für Strassendatenbanken am Beispiel von STRADA-DB 23
3.2.1 Allgemeine Bemerkungen zu STRADA-DB 23
3.2.2 STRADA-DB/ RE-A Version 3.0 23
3.2.3 STRADA-INFO 23
3.2.4 STRADA-View/Axband und STRADA-View/Carto 24
3.2.5 STRADA-Interface/ASCII 24
3.2.6 Pilotapplikationen 24
3.2.7 Festlegung der räumlichen Bezugssysteme in den Strassendatenbanken gemäss VSS-Normen 25
3.3 Interoperabilität 30
3.3.1 Definition von Interoperabilität 30
3.3.2 OpenGIS 30
3.3.3 INTERLIS 31
3.3.4 Konvertierungs-Werkzeuge 32

4 ÜBERSICHT ÜBER MÖGLICHE LÖSUNGEN 33

4.1 Datenfluss 33
4.2 Datenaustausch von SDB nach GIS – Mögliche Architekturen 35
4.3 Datenimport von GIS-Systemen in Strassendatenbanken 38

4.4 Konzeptionelle Einheiten einer SDB-GIS-Kopplung ... 41
4.5 Begriffe ... 43
4.6 Übersicht ... 44

5 BESCHREIBUNG DER MÖGLICHEN LÖSUNGEN ... 47

5.1 Proprietäre, zentralisierte Architektur ... 47
5.1.1 Architektur Out1 ... 47
5.1.2 Architektur In1 ... 50
5.2 Proprietäre, dezentrale Architektur ... 52
5.2.1 Architektur Out2 ... 52
5.2.2 Architektur In2 ... 54
5.3 Proprietäre Architektur mit Transformationsmodul ... 56
5.3.1 Architektur Out3 ... 56
5.3.2 Architektur In3 ... 58
5.4 Architektur mit Übersetzer ... 60
5.4.1 Architektur Out4 ... 60
5.4.2 Architektur In4 ... 62
5.5 Architektur mit OpenGIS-Schnittstelle ... 64
5.5.1 Architektur Out5 ... 64
5.5.2 Architektur In5 ... 67
5.6 Architektur mit Geodatenserver ... 69
5.6.1 Architektur Out6 ... 69
5.6.2 Architektur In6 ... 71
5.7 Architektur mit Geodatenserver und Übersetzer ... 73
5.7.1 Architektur Out7 ... 73
5.7.2 Architektur In7 ... 75
5.8 Architektur mit Geodatenserver, OpenGIS-Schnittstellen und Übersetzer ... 78
5.8.1 Architektur Out8 ... 78
5.8.2 Architektur In8 ... 80

6 KOORDINATENTRANSFORMATIONEN ... 82

6.1 Allgemeines ... 82

7 LÖSUNGSVORSCHLAG ... 83

8 SCHLUSSBEMERKUNGEN UND AUSBLICK ... 86

ANHANG A ABBILDUNGSVERZEICHNIS ... A-1

ANHANG B BIBLIOGRAPHIE ... B-2

ANHANG C KOORDINATENTRANSFORMATIONEN ... C-1

ANHANG D STRADA-VIEW/CARTO ... D-1

ANHANG E INTEROPÉRABILITÉ DANS LE DOMAINE DES SIG ... E-1

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ziele dieses Projekts "Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und Geo-Informationssystemen" können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Bestimmung der Überlappungen in der Organisation, den Funktionen und den Daten in Strassendatenbanken (SDB) und geographischen Informationssystemen (GIS)
- Identifikation der Hindernisse für die Realisierung des Datenaustauschs zwischen SDB und GIS
- Bestimmung von Datentransformationsprozessen zwischen SDB und GIS
- Identifikation der Datenzugriffs- und Nachführungsarten
- Beschreibung von möglichen Architekturen und deren Vor- und Nachteile
- Bestimmung der optimalen Architektur

Der Bericht zeigt, dass alle Organisationen, die sich mit dem Strassenraum befassen (z.B. Polizei, Raumplanung), an einer Kopplung von SDB und GIS interessiert sind. GIS-Software wird vor allem dafür eingesetzt, um die Strassendaten im geographischen Kontext zu nutzen. Das Management für die Strassenerhaltung (MSE) im Speziellen ist auf die Auswertungsmöglichkeiten von GIS-Software angewiesen.

Folgende GIS-Funktionen müssen von den im Unterhaltsmanagement tätigen Strassenfachleuten genutzt werden können:

- ***Daten im geographischen Kontext erfassen***: Die Datenerfassung über die Tastatur mit Hilfe von Wertelisten ist oft schwerfällig und nicht sehr effizient. Routen, geometrische Profile oder Grünflächen können bespielsweise in einer sehr wirkungsvollen und bequemen Art mit Hilfe von GIS-Funktionen erfasst werden.
- ***Qualität der Daten kontrollieren***: Durch die Visualisierung der Strassenobjekte auf einer kartographischen Grundlage, können Erfassungsfehler leicht gefunden und korrigiert werden.
- ***Auf Karten- oder Plangrundlage darstellen***: Die Darstellung von Strassenobjekten auf einer Karten- oder Plangrundlage erleichtert die Kommunikation zwischen Fachspezialisten und Aussenstehenden, beispielsweise in der Budgetplanung.
- ***Analysen durchführen***: GIS-Produkte bieten geographische und topologische Funktionen an, die Geodaten und Strassendaten kombiniert auswerten können. Beispielsweise für Strassentrasse-Analysen können Längenprofile erstellt werden, indem die Strassendaten und die Höhenkurven der 1:25'000-Karte kombiniert werden.

Auf dem Gebiet der GIS sind verschiedene Komponenten entwickelt worden, die zum Ziel haben, einen gewissen Grad an Interoperabilität zwischen verschiedenen GIS-Anwendungen zu erreichen. Diese Technologien können ebenfalls für die SDB-GIS-Kopplung genutzt werden. Folgende Komponenten wurden identifiziert:

- ***Proprietäre Konvertierwerkzeuge*** konvertieren Daten von einem bestimmten Format in ein anderes.
- ***Übersetzer*** konvertieren Daten in praktisch alle im GIS-Bereich genutzten Formate. Sie können ebenfalls Koordinatentransformationen durchführen.
- ***Standardisierte, offene Schnittstellen z. B. OpenGIS,*** die die Interoperabilität zwischen GIS-Software und Geodatenserver als oberstes Ziel haben. Sie beschreiben GIS-Funktionen und Geo-Objekte (Linie, Punkt, Fläche, Polygon, usw.), geben aber keine Empfehlungen für die Datenmodelle in den unterschiedlichen Fachgebieten ab.

Die Anforderungen an den Datenexport, d.h. an den Datenaustausch von der SDB zu den GIS-Anwendungen, und an den Datenimport, d.h. von den GIS-Anwendungen zu den SDB, sind sehr unterschiedlich. Beim Datenexport soll die Architektur möglichst vielen GIS-Nutzern Strassendaten anbieten können. Beim Datenimport hingegen sollen ausgewählte GIS-Nutzer Daten in die SDB importieren können. Beim Datenimport ist ebenfalls wünschenswert, dass interaktiv im geographischen Kontext, Strassendaten der SDB geändert werden können. Das Bedürfnis nach Interoperabilität (Daten und Funktionen) ist beim Datenimport somit weit höher.

Eine richtungsweisende Lösung besteht darin, einen Geodatenserver und OpenGIS-Schnittstellen in die Architektur einzubinden. Dadurch kann ermöglicht werden, dass auch Systeme mit geringen GIS-Funktionalitäten (Web-Browser) Strassendaten kartographisch darstellen können. Der Geodatenserver liefert die für die Erhaltung der Integrität der geographischen Daten notwendigen Verwaltungsprozesse und ermöglicht den Zugriff auf die Daten für eine grosse Anzahl von Benutzern im Sinne einer verteilten Datenbank. Die Übersetzer könnten zusätzlich genutzt werden, um Daten an GIS-Software zu liefern, die über keine OpenGIS-Schnittstellen verfügen.

Eine Schlüsselrolle in der Kopplung SDB-GIS ist die Transformation der Koordinaten zwischen dem linearen Bezugssystem, gemäss den VSS-Normen (u,v), und dem kartesischen Koordinatensystem (X, Y). Dieser Bericht zeigt auch, wie diese Frage gelöst werden kann.

Für die Normalisierung der VSS im Bereich des Strasseninformationssystems schlägt der Bericht vor, die Koordinatentransformation in einer Norm festzuhalten.

RESUME

Les objectifs de l'étude peuvent être résumés par ces quelques points:

- Déterminer les redondances de l'organisation, des fonctions et des données entre la base de données routières (BDR) et les systèmes d'information géographique (SIG)
- Identifier les obstacles à la réalisation des transferts bilatéraux de données entre la BDR et le SIG
- Déterminer le processus de manipulation des données entre BDR et SIG
- Définir les modes de consultation et de mise à jour
- Proposer différentes architectures et en montrer les avantages et les inconvénients
- Déterminer les architectures optimales en fonction de critères prédéfinis

Le rapport montre que toutes les organisations s'occupant de l'espace routier, par exemple la police, l'aménagement du territoire, s'intéressent au couplage des informations de la BDR et des données des SIG afin de représenter les données routières dans leur contexte géographique. Le SGE en particulier peut profiter du potentiel de traitement des logiciels SIG.

Les fonctions suivantes peuvent aider les professionnels de la route dans les activités de gestion de l'entretien:

- ***Saisir des données dans le géo-contexte***: La saisie des données par clavier à l'aide de listes de valeurs s'avère parfois lourde et peu performante. La définition des itinéraires, la saisie des profils géométriques et des surfaces vertes par exemple peuvent être réalisées de manière efficace et confortable à l'aide des fonctionnalités des logiciels SIG.
- ***Contrôler la qualité des données***: En affichant les objets routiers directement sur une représentation cartographique, les fautes de saisie peuvent être facilement détectées et corrigées.
- ***Représenter sur un fond de plan***: la projection des objets routiers sur un plan cartographique facilite la communication entre les spécialistes de l'entretien routier et les édiles afin d'optimiser les investissements.
- ***Elaborer des analyses***: les logiciels SIG offrent des fonctions topologiques qui peuvent être exploitées en combinant les données routières avec des données du géo-contexte: par exemple analyser le tracé de la route et établir les profils en long en combinant les courbes de niveaux de la carte au 1:25'000 avec les données routières.

Dans le domaine des SIG, plusieurs types de composants ont été mis à disposition afin de garantir l'interopérabilité entre différentes applications SIG. Les mêmes technologies peuvent être utilisées pour le couplage SIG-BDR. Les types de composants suivants ont été identifiés:

- ***Outils de conversion propriétaires***: ces outils permettent de convertir des données d'un format X en un format Y.
- ***Traducteurs***: ils permettent de convertir des données dans tous formats utilisés par le monde SIG et de transformer les données géographiques d'un système de projection à un autre.
- ***Interfaces OpenGIS*** : elles sont des interfaces ouvertes standardisées ayant comme objectifs d'assurer l'interopérabilité entre les logiciels SIG et les serveurs spatiaux autant pour les fonctions que les objets géométriques de base (ligne, point, surface, etc.). Les interfaces ouvertes, offertes par les fournisseurs, ne peuvent pas garantir cette interopérabilité parce que leur seul but est d'intégrer des données d'un système externe dans le leur.

Pour l'exportation de données, c.-à-d. le transfert des données de la BDR aux applications SIG, les exigences peuvent être différentes de celles définies pour l'importation des données. Pour l'exportation à partir de la BDR, l'architecture doit offrir des données routières au plus grand nombre d'utilisateurs SIG possible alors que le nombre d'utilisateurs SIG pouvant fournir des données routières utilisables par la BDR est relativement restreint. Pour l'importation des données, le gestionnaire de la BDR souhaite modifier des données de la BDR

de manière interactive dans un contexte géographique (fonction offerte par les SIG). Par conséquent, les exigences d'intéropérabilité, exprimées pour l'importation des données sont beaucoup plus élevées.

La solution la plus prospective consiste à intégrer un serveur spatial de données et des interfaces OpenGIS dans l'architecture. Ainsi, des systèmes offrant peu de fonctionnalités SIG (par exemple un navigateur Internet) peuvent également représenter des données routières sur une carte ou sur un plan. Les traducteurs peuvent être utilisés pour fournir des données aux applications SIG ne disposant pas d'interfaces OpenGIS et pour restructurer les données. En outre, le serveur spatial de données fournit des processus de gestion permettant de conserver l'intégrité des données géographiques et permet l'accès aux données par un grand nombre d'utilisateurs au sens d'une base de données distribuées.

Une question clé pour le couplage BDR-SIG est la transformation bilatérale des coordonnées linéaires selon les normes VSS (u,v) et les coordonnées relatives à un système cartésien (X,Y). Ce rapport montre les solutions possibles pour résoudre cette question.

Pour la normalisation de la VSS dans le domaine du système d'information des routes, ce rapport propose à définir la transformation de coordonnées u,v en X,Y dans une norme.

1 EINLEITUNG

1.1 Gegenstand des Berichts

Die Kopplung der Strassendatenbanken (SDB) mit geographischen Informationssystemen (GIS) ist eine zwingende Aufgabe für die Strassenverwaltungen, in denen SDB und GIS parallel geplant oder schon eingesetzt werden. Der Bericht enthält die Grundsätze, wie bestimmte Informationen verteilt verwaltet werden können, und welche Auswertungen von welchem System für das MSE, oder allgemeiner für das umfassende Strassenmanagement, genutzt werden können.

1.2 Umfeld

Die Strassendatenbank STRADA-DB des ASTRA wird in vielen Kantonen eingesetzt. STRADA soll die gemeinsame konzeptuelle Grundlage für alle Bereiche des MSE und des Strassenmanagements bilden. Zur Zeit sollen möglichst viele Pilotmodule der RE-B (Verkehr, Unfälle, Baustellen usw.) in die RE-A von STRADA-DB (Release 3.0) integriert und in möglichst vielen Kantonen genutzt werden. Insbesondere sollen dadurch die Informationsbedürfnisse im Bereich des "Pavement Management System PMS » (UplaNS) abgedeckt werden können.

Der Einsatz von Geo-Informationssystemen in den Kantonen nimmt ebenfalls rasch zu. Dabei werden oft unterschiedliche Systeme für die Bereiche der amtlichen Vermessung, resp. das Grundbuch und für die Bereiche der Verkehrs-, Raum- und Umweltplanung eingesetzt. Diese Systeme stehen in der Regel vielen Ämtern in einem Kanton zur Verfügung. Sie werden laufend mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Diese Informationen stehen auch den Verantwortlichen der Strassenverkehrsanlage zur Verfügung. Diese sind auf GIS angewiesen, um ihre MSE-Aufgaben, insbesondere PMS, zu lösen.

Informationen für das MSE, und insbesondere auch für das PMS, werden sowohl in der Strassendatenbank als auch in den GIS vorgehalten. Erst die gemeinsame Nutzung der Informationen beider Systemtypen bringt den Verantwortlichen für die Strassenverkehrsanlage den vollen Nutzen.

Beiden Systemtypen sind klar definierte Anwendungsgebiete zuzuordnen. Die Nutzung nur eines der beiden Systemtypen zur Abdeckung der gesamten Bedürfnisse des MSE ist nicht denkbar. Erst eine gekoppelte Lösung aus SDB und GIS kann die Anforderungen an die Datenhaltung gemäss den MSE-typischen Bedürfnissen erfüllen.

Die SDB ermöglicht eine dezentrale Verwaltung von Fachdaten mit Berücksichtigung der Zeit-Aspekte in einem den Fachbedürfnissen angepassten Datenmodell. Die räumlich definierten Objekte werden im linearen Raumbezug "Strasse" verwaltet, mit Unterstützung der logischen Topologie, und mit alphanumerischen, linearen (graphischen) wie auch geographischen Auswertungsmöglichkeiten.

Das GIS ermöglicht die geographische Abfrage und Auswertung der raumbezogenen Fachobjekte in Kombination mit Daten aus anderen Fachgebieten.

1.3 Ziel des Berichts

Ziel dieser Studie ist es, das Potenzial einer SDB-GIS-Kopplung zu erkennen und zu bestimmen. Dazu ist die konzeptionelle Architektur zu entwerfen.

Um dies zu erreichen, werden folgende Punkte aufgezeigt:

- Überlappungen zwischen GIS und SDB bezüglich Funktionen, Organisationen und Daten zu identifizieren
- Aktuelle Hindernisse für den Datenaustausch zwischen SDB und GIS (Bezugssystem, Format, usw.) identifizieren
- Datenfluss zwischen SDB und GIS bestimmen
- Unterschiedliche Abfrage- und Nachführungsmodi festlegen
- Mögliche Architekturoptionen vorzuschlagen und die beste Architektur aufzeigen

Sollen zukünftig die verschiedenen Geo-Informationssysteme der Kantone mit den Strassendatenbanken sind die dazu erforderlichen Kopplungsaktivitäten durchzuführen. Unter anderem muss dDie eigentliche Modellierung des gemeinsamen Datenschemas erarbeitet und die daraus abgeleiteten Applikationen festgelegt werden. Das vorliegende Forschungsprojekt liefert die dafür notwendigen Grundlagen.

In diesem Forschungsbericht wird das Gebiet der Kopplung von SDB mit GIS aus unterschiedlichen Sichten diskutiert. Fachpersonen des MSE sowie interessierte Fachanwender werden in den Kapiteln 1-4, 7, 8 und den Anhängen A, B, E als wichtigstes Zielpublikum angesprochen. Die Kapitel 5, 6 und die Anhänge C, D und F behandeln die Strategieplanung für zukünftige Systeme und wenden sich in erster Linie an Verantwortliche für Informatik-Konzepte innerhalb einer Organisation.

1.4 Begriffe

1.4.1 Strassendatenbank (SDB):

Eine Datenbank kann ganz allgemein als eine "Datensammlung" beschrieben werden, versehen mit Beziehungen zwischen diesen Daten, modelliert mit gezielten Redundanzen, um den Bedürfnissen einer oder mehrerer Applikationen zu genügen. Die Daten werden unabhängig von den Applikationen abgelegt. Zusätzlich zur Datenbank verfügt man über Sprache (z.B. SQL), mit der man Daten einfügen, modifizieren und abfragen kann [Date C. J. , 1986]. Der Begriff der Datenbank im Strassenunterhalt entspricht dieser Definition.

Die **Strassendatenbank, (SDB)** ist ein Instrument zur langfristigen Verwaltung von Daten, die für das Strassenmanagement und insbesondere für das MSE (Management der Strassenerhaltung) benötigt werden. Eine SDB soll in der Lage sein, Abfragen über die in ihr gespeicherten Daten direkt zu beantworten (alphanumerisch, graphisch oder geographisch) [SN 640 909].

Im vorliegenden Bericht wird allgemein von SDB gesprochen. In gewissen Fällen werden die Erfahrungen und technischen Charakteristiken der STRADA-DB erwähnt, da diese Strassendatenbank der Forschungsstelle vertraut ist.

1.4.2 Geographisches Informationssystem (GIS):

Geographisches Informationssystem oder kurz GIS ist ein generischer Begriff, der die IT-Nutzung zur Herstellung von digitalen Darstellungen der Erdoberfläche bezeichnet [Longley, Goodchild, Maguire, Rhind (1999): Introduction. In Longley, Goodchild, Maguire, Rhind: Geographical Information Systems. Principles and Technical Issues.Volume 1, Second Edition.]

Unter dem Begriff GIS werden folgende Aufgaben zusammengefasst :

1. Datenerfassung
2. Datenmanagement, Datenablage,
3. Datentransformation und -auswertungen
4. Kartographische Darstellung.

Ein GIS ist folglich eher als Prozess zu betrachten und ist weit mehr als ein Software- oder Hardwareprodukt. Die heutige Unklarheit über den Begriff GIS ist einerseits damit zu erklären, dass die Entstehung der GIS anfangs der sechziger Jahre verschiedenen Ursprungs war. GIS-ähnliche Systeme wurden unter anderem in der Meteorologie, in Transport- und Umweltmanagement eingeführt. Es gab Systeme, die zum Ziel hatten, Simulationen und Modellierungen natürlicher Phänomene darzustellen. In anderen Bereichen wurden solche Systeme zur EDV-unterstützten Plan- oder Kartengenerierung genutzt. Trotz unterschiedlicher Ziele dieser Systeme hatten sie drei Grundkonzepte gemeinsam. Sie verarbeiteten geographische Daten, sie stellten sie kartographisch dar und sie nutzten die bestehende Informatik. Andererseits muss in diesem Bericht in Betracht gezogen werden, dass die kontinuierliche Entwicklung der im GIS-Bereich genutzten Technologie in den letzten Jahren auch die Definition des GIS beeinflusste.

Der GIS-Begriff kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet werden. Wird GIS als eine Wissenschaft betrachtet, wird häufig der Begriff Geomatik benutzt. Werden die Hardware- und Softwarekomponenten angesprochen, so spricht man von GIS-Technologie. Die Nutzung der GIS-Technologie für Fachbereiche wird GIS-Anwendung oder –Applikation genannt.

Die Unterscheidung der von vielen Autoren eingeführten Begriffe wie Land-Informationssystem LIS (flächendeckende, überlappungsfreie, einmassstäbliche Modellierungen geographischer Objekte), Geographisches Informationssystem GIS (Modellierung der geographischen Objekte für mehrere Massstäbe) und Raum-Informationssystem (LIS und RIS) ist heute nicht mehr relevant.

Früher glaubte man, dass die eingesetzten Technologien und deren spezifische Funktionen Anlass sind, die GIS von anderen Informationssystemen unterscheiden zu müssen. Da künftig auch relationale Datenbanksysteme geographische Daten verwalten und topologisch bearbeiten können, sind die Grenzen zwischen der GIS-Technologie und allgemeiner IT-Technologie nicht mehr klar definierbar. Was aber den Begriff GIS rechtfertigt, ist die spezifische Natur geographischer Daten. Alphanumerische Daten eines Informations-Objekts sind oft unabhängig von anderen Objekten. Die geographischen Daten hingegen sind immer abhängig, meist sogar stark korrelliert. Zwei geographische Objekte können sich beispielsweise nicht am selben geographischen Ort befinden. Dies ist zudem auch der Grund, wieso die Geostatistik von der klassischen Statistik abzugrenzen ist, weil sie die Bedingung der Unabhängigkeit nicht erfüllt.

Abbildung 1-1, Die Einheiten eines GIS gemäss ESRI.

Ein GIS besteht aus folgenden Einheiten:

- aus **Partnern**, die geographische Daten verarbeiten,
- aus **strukturierten, geographischen Daten**, die zwischen den Partnern verteilt sind,
- aus **organisatorischen Abläufen**, die die Datenerhebung, Nachführung und Verteilung regeln,
- aus **Auswertungsprozessen, und**
- aus einer oder mehreren **Verwaltungssoftware**, vielfach GIS-Software genannt

In diesem Forschungsprojekt wird die Kopplung der Strassendatenbanken mit den heute verfügbaren generellen GIS-Technologien einerseits, und den heutigen GIS-Anwendungen andererseits (amtliche Vermessung, Hydrologie usw.) untersucht.

Eine GIS-Anwendung enthält sowohl die **GIS-Software** als auch das **Informationssystem**.

Ein **Informationssystem** unterstützt im allgemeinen Managementtätigkeiten durch seine Fähigkeit, EDV-unterstützt auch komplexe Fragestellungen zu beantworten. Zusätzlich zur (Strassen-) Datenbank verwendet es gespeicherte Methoden und Regeln zur intelligenten Kombination von Daten. Heute werden die Informationssysteme, die für einen bestimmten Aufgabenbereich eingesetzt werden, von denjenigen unterschieden, die für alle Aufgabenbereiche des Unternehmens eingesetzt werden (enterprise wide information system). Die letzteren IS integrieren unter anderem Objekte und Abläufe für die Unternehmensverwaltung (z.B. SAP).

Eine **GIS-Software** tut dies mit einem besonderen Schwerpunkt bei den Funktionen, die den kartographischen Raumbezug (Geographie und Geometrie) verwenden. Dies gilt für die betrachteten Objekte sowohl bei der Bearbeitung (Erfassen, Validieren, Ändern und Löschen) als auch bei der Auswertung (Darstellen, Raumanalysen, Netzanalysen usw.).

2 SITUATIONSANALYSE

2.1 Ausgangszustand

In den öffentlichen Verwaltungen werden in naher Zukunft vermehrt sowohl **Strassendatenbanken**, z.B. die STRADA-DB des ASTRA, als **auch Geo-Informationssysteme,** z.B. für die amtliche Vermessung oder für die Raum- und Verkehrsplanung, eingesetzt.

Beide Systemtypen können einerseits als reine Abfrage-Systeme genutzt werden, z.B. für Katasterfunktion im Bereich der Strassenverkehrsanlage. Andererseits können beide insbesondere zur Unterstützung der Entscheidungsfindung auf strategischer, taktischer und operationeller Stufe dienen, z.B. ein optimales Management der Strassenverkehrsanlage auf strategischer Stufe oder Planung der täglichen Unterhaltsarbeiten auf operationeller Stufe.

Für die Strassenverwaltungen kann festgestellt werden, dass es aus der Sicht der Benutzerorganisationen, der Themen (Daten) und der Funktionen (Aufgaben) jeweils Bereiche gibt, die (1) von der Strassendatenbank allein, (2) sowohl von der Strassendatenbank als auch vom GIS oder (3) vom GIS alleine abgedeckt werden. Diese Tatsache wird durch die Abbildung 2-1 illustriert und mit Beispielen im Kapitel 2.3.2 belegt.

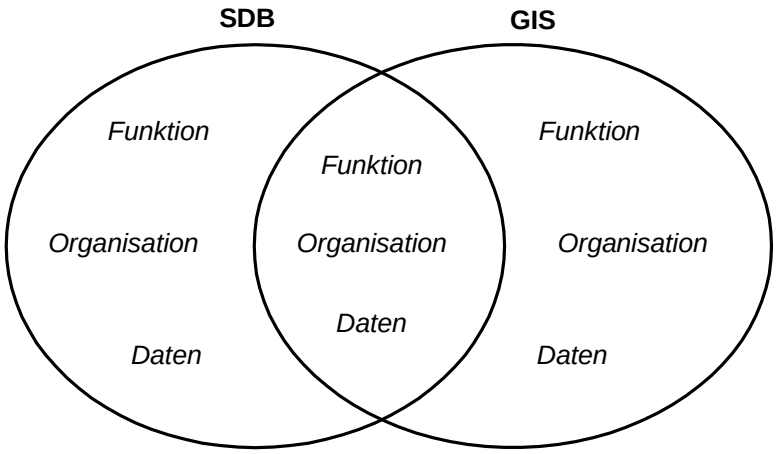


Abbildung 2-1: Überlappung von Funktion, Organisation und Daten in Strassendatenbank und GIS

Insbesondere ist es für die Entscheidungsträger im Strassenmanagement von Interesse, welche Benutzer welche Themen mit welchen Funktionen bearbeiten, wenn sowohl die Strassendatenbank als auch GIS verwendet werden müssen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Der für das MSE Verantwortliche verwendet beispielsweise für eine Fragestellung im PMS-Bereich :

- Strassendaten (SDB) sowie Daten der amtlichen Vermessung/Grundbuch und der Werkleitungen (GIS) …
- für eine Darstellung im geographischen Kontext (GIS) …
- und eine Raumanalyse über Beläge, Baustellen und Grundeigentümer (GIS).

Im Zusammenhang mit der Strassendatenbank muss zudem festgestellt werden, dass aus Benutzersicht viele Aufgaben mit der Strassendatenbank alleine nicht effizient oder überhaupt nicht bearbeitet werden können. Dies betrifft insbesondere zu für:

- das Bearbeiten von Strassendaten im Geo-Kontext,
- das Überprüfen der Datenqualität im Geo-Kontext (Validierungen),
- kartographische Darstellungen,
- das Erstellen von räumliche Analysen (Verschneiden), wie beispielsweise Netzwerkanalysen, 3D-Analysen usw.

Im Kap. 2.3 werden solche Aufgaben strukturiert und mit Beispielen versehen und im Anhang B wird am Beispiel des PMS die kombinierte Nutzung von GIS und SDB illustriert.

Dabei ist zu beachten, dass auch STRADA-View/Carto, das kartographische Darstellungswerkzeug für STRADA-DB, ein sehr einfaches Geo-Informationssystem darstellt. Seine Stärken liegen allerdings schwergewichtig im Darstellungsbereich. Weder das Bearbeiten von Daten noch anspruchsvolle räumliche Analysen können heute mit STRADA-View/Carto durchgeführt werden.

Konzeptionell gehört also STRADA-View/Carto auch in das Umfeld der vorliegenden Fragestellung und muss wie ein anderes GIS mit der Strassendatenbank gekoppelt werden.

2.2 Fragestellung

Die Untersuchungen der Art der Kopplung im Hinblick auf die gemeinsame Nutzung von STRADA-Modulen und GIS und die Definition und Umsetzung der entsprechenden Regeln sind unabdingbare Voraussetzungen, um sicherstellen zu können, dass

- die für die Verantwortlichen der Strassenverkehrsanlage relevanten Strassendaten in der Verantwortung der Strassendatenbank und damit der Strassenbehörden bleiben,
- diese Informationen im Kontext des Strassenraumes verwaltet und ausgewertet werden können,
- und der Informationsaustausch zwischen der Strassendatenbank und anderen Systemen, insbesondere GIS, die erforderlichen Integritätsregeln beachtet, um sowohl die inhaltliche als auch die räumliche und zeitliche Konsistenz der Strassendatenbank zu gewährleisten.

Der Nutzen einer solchen Kopplung ist sowohl für das MSE als auch für viele andere Tätigkeiten im Bereich der Strassenverkehrsanlage von Bedeutung.

Aus **technischer Sicht** konzentriert sich die Fragestellung auf:

- die Beziehungen zwischen den Raum- und Zeitbezügen im GIS und in der SDB, insbesondere auf die Transformation zwischen dem linearen Raumbezugssystem für Strassendaten gemäss den SN 640 910/920 und dem kartesischen Raumbezug der Landeskoordinaten der amtlichen Vermessung und der schweizerischen Kartographie,
- die Kompatibilität der Beschreibungen der für GIS und SDB interessanten Objekte.

2.3 Überlappung der Organisationen, Funktionen und Daten von Strassendatenbanken und GIS

Die nachstehenden Beispiele zeigen die Benutzersicht, die Datensicht und die funktionale Sicht auf die Unterstützung der Aktivitäten einer öffentlichen Verwaltung

- mit einer Strassendatenbank alleine,
- mit der gemeinsamen Nutzung der Strassendatenbank und eines Geo-IS sowie
- mit einer Nutzung eines Geo-IS alleine.

Diese Darstellung soll zeigen, dass erst die Kombination beider Systemtypen für die Grosszahl der Benutzer und ihrer Aktivitäten einen beträchtlichen wirtschaftlichen und qualitativen Nutzen bietet.

2.3.1 Benutzer/Organisation

SDB alleine	SDB und GIS	GIS alleine
Keine	MSE, Verkehr, Umwelt, Raumplanung, Richter (Unfälle), Polizei, Militär..	Hydrologe, Chemiker, Geometer (AV), Steuerbehörden, Luftfahrt ...

Die Tabelle zeigt das Interesse für eine Kombination von SDB und GIS derjenigen Benutzerorganisationen, die den Strassenraum nicht nur als Bodenbedeckung sehen, sondern sich für seine Funktion innerhalb der menschlichen Aktivitäten interessieren.

Folgende Aspekte des Strassenraums sind beispielsweise für die Benutzerorganisationen von Belang:

- Management für Strassenerhaltung (MSE): Es interessieren die Substanz des Strassenraums und die zeitliche Entwicklung seiner Qualität. Um dies zu beurteilen oder abschätzen zu können, muss das MSE sich auch mit der Belastung durch den Verkehr auseinandersetzen.
- Verkehr: Es interessieren die menschlichen Aktivitäten auf der Strasse und die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit des Strassennetzes bezüglich Mobilität.
- Umwelt: Der Strassenraum wird als Quelle von Beeinträchtigungen für die Umwelt angesehen: Lärm, Schadstoffemissionen, visueller Eingriff in die Natur, Hindernis für die Wanderung der Faune und Flora.
- Raumplanung: Sie will durch gezielte Massnahmen Einfluss auf die Mobilität der Strassenverkehrsteilnehmer nehmen.
- Richter (Unfälle) und Polizei: Sie beurteilen Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern.
- Militär: Es nutzt das Strassennetz zur Verschiebung von Menschen und Material.

2.3.2 Themen/Daten

SDB alleine	SDB und GIS	GIS alleine
Dokumente, Beteiligte, Rollen, Textkataloge, Projektmanagement ...	RBBS und Netze, Belag, Zustand, Nutzung, Geometrie, Verkehr, Kunstbauten, Emissionen, Baustellen, Unfälle, Signalisation ... Geographie, Zonen, Teile PAW, Leitungen, Wasserläufe, OeV-Linien, AV, Grundbuch, Sozio-Oekonomische Daten ...	Biologie, Hydrologie, Geodäsie ...

Die Kombination von SDB-Daten und GIS-Daten ist dann interessant, wenn raumbezogene SDB-Daten im Geo-Kontext intergriert werden sollen. Dieser Geo-Kontext kann beispielsweise aus Geographie-Themen, Raumplanungszonen oder Themen der amtlichen Vermessung bestehen.

2.3.3 Funktionen

SDB alleine	SDB und GIS	GIS alleine
reine alphanumerische Verwaltung, alphanumerische Applikationen ...	• Bearbeiten im Geo-Kontext, • Prüfen der Datenqualität (Validieren) im Geo-Kontext, • Darstellen kartographisch • Erstellen von Analysen	wahrscheinlich keine

Es können die folgenden Funktionen (mit Beispielen) betrachtet werden:

Bearbeiten im Geo-Kontext

Lage, Form: Erfassen eines geometrischen Profils in einem Strassenquerschnitt, Erfassen einer Belagsschicht in Bezug auf andere Objekte im Strassenraum, Erfassen eines Unfalls in einem Knotenbereich einer Strasse

Inhalt: Erfassen von Nutzungsinformationen (Fahrstreifen) in einem Strassenquerschnitt, Erfassen eines Betriebsnetzes (z.B. einer Route) in Bezug auf das ganze Strassennetz, Erfassen von Verkehrsdaten auf einem bestimmten Abschnitt eines Betriebsnetzes

Prüfen der Datenqualität (Validieren) im Geo-Kontext

Lage, Form: Kontrollieren der Profile und Belagsschichten auf einem Strassenstück, Überprüfen der Unfallorte in einem Knotenbereich

Inhalt: Kontrollieren der Nutzungsinformationen in einem Knotenbereich, Validieren von Betriebsnetzen (z.B. Routen) innerhalb eines Strassennetzes, Kontrollieren ob eine bestimmte Route nur auf bestimmten Strassenklassen definiert worden ist, Kontrolle von Verkehrsgrössen in einem bestimmten Strassennetz

Darstellen kartographisch

Strassendaten: Darstellen des visuell erfassten Fahrbahnzustandes in einem Strassennetz, graphisches Darstellen von Verkehrsgrössen entlang eines bestimmten Betriebsnetzes

Strassendaten mit Geo-Kontext: Aufzeichnen der Unfallschwerpunkte in einem Knotenbereich, Darstellen der Baustellen mit ihrem Bezug zu Nutzungen (Fahrstreifen), Darstellen der Belagseinbauten mit ihrem Bezug zu bestimmten Zonen

Strassendaten mathematisch bearbeitet, inklusive Charts (Business-Grafik): "Kuchendiagramm" vom Anteil der Sorten von Deckbelägen in einem Strassennetz, Balkendiagramm von Belagstypen von dringend sanierungsbedürftigen Fahrbahnen auf einem Strassenstück

Erstellen von Analysen

Verschneiden (Boolsche Operationen mit Punkten, Linien und Flächen): Bestimmen der Orte in einem Strassennetz mit schlechtem Fahrbahnzustand einer bestimmten Deckschichtsorte und beschränkter Fahrbahnbreite, Auswerten der Reparaturen in bestimmten Deckschichtsorten, Bestimmen von Sondertransportrouten auf einer bestimmten Strassenklasse oder in einem bestimmten Unterhaltsabschnitt

Berücksichtigen STRADA-fremder Daten (Geo-Daten): Bestimmen der Liegenschaften und der Eigentümer die durch eine bestimmte Baustelle betroffen werden, Bestimmen der hochbelasteten Strassen in bestimmten Zonen, Bestimmen der durch eine Baustelle tangierten Werkleitungen, Bestimmen der Kunstbauten an bestimmten Wasserläufen, Bestimmen der OeV-Linien (z.B. SBB) im Bereich eines bestimmten Verkehrsnetzes

Netzwerk-Funktionen, z.B. "kürzester Weg": Bestimmen des kürzesten Weges mit vorgegebenen Randbedingungen

3D-Analysen: Überlagerung eines bestimmten Strassennetzes mit einem digitalen Terrainmodell zur Kontrolle der Trassierung (z.B. Sichtweiten)

2.4 Erfahrungen der Strassenverwaltungen

Eine der Hauptaktivitäten für den Entwurf der kantonalen GIS ist die konsistente Modellierung der zu verwaltenden Objekte (Kataster, Zonenplan, Gebäude, usw.).Auch Strassenobjekte müssen modelliert werden.

Im Projekt STRADA-DB liegt das Hauptgewicht in der sauberen Modellierung der für den Strassenunterhalt sachdienlichen Strassenobjekte.

Folglich handelt es sich um zwei Informationssysteme, in denen Teile der Erdoberfläche verwaltet werden. Diese Systeme wurden so aufgebaut, um den unterschiedlichen Bedürfnissen unterschiedlicher Organisationen zu genügen.

Die Datenmodellierung in den kantonalen GIS und der im Rahmen von STRADA durchgeführten Modellierung sind weder identisch noch kompatibel. Unter anderem stellt man einen unterschiedlichen Raumbezug der beiden Systeme fest: linear für STRADA-DB und flächig für GIS.

In den Kantonen besteht die Tendenz, alle geographischen Daten in einer Datenbank bei einer für die Verwaltung dieser Datenbank verantwortlichen Dienststelle zu zentralisieren. Diese Dienststelle wird oft Geomatik-Zentrum genannt und z.B. im Amt für Informatik oder Vermessungsamt integriert. Ziel ist es, die geographischen Daten verschiedenen Ämter der Kantonsverwaltung und externen Planungs- bzw. Ingenieurbüros zur Verfügung zu stellen. Um die richtige Nutzung dieser Daten sicherzustellen, muss die Struktur und die Definition der geographischen Objekte harmonisiert werden. Damit wird auch versucht, die relativ teure Datenerhebung der kantonalen Amtsstellen zu koordinieren. Um dieses Ziel zu erreichen, werden neuste Technologien eingesetzt: Geodatenserver und Internet.

Die Möglichkeiten dieser Geomatik-Zentren werden durch die kantonalen Datenschutzbehörden beeinflusst. Das Bundesgesetz über den Datenschutz wird von den Kantonen recht unterschiedlich interpretiert und umgesetzt (Kanton Zürich: restriktive Interpretation, Kanton Genf: weite Interpretation). Das Problem besteht darin, dass die geographischen Daten "zweckentfremdet" werden, d.h. sie werden nicht mehr für die Zwecke ihrer Erfassung genutzt. Dies ist gemäss Datenschutz nicht zulässig. Zudem ist die Verbreitung von Personendaten, bzw. die Verbreitung von geographischen Daten, die verhältnismassig leicht auf persönliche Daten schliessen lässt, gesetzlich untersagt. Im Kanton Luzern wird sogar eine gesetzliche Grundlage zum Datenschutz und die Diffusion von geographischen Daten erarbeitet.

3 GRUNDKONZEPTE UND ANGEWENDETE TECHNOLOGIEN

3.1 GIS-Technologien

3.1.1 Einleitung

Die GIS-Technologien erstrecken sich von der Datenerfassung (z.B. GPS), über die Datenablage (z.B. Geodatenserver), Darstellung und Analyse (z.B. Desktop GIS Software, Workstations) bis hin zum Datenaustausch (z.B. MapServer). Im GIS-Bereich werden auch allgemeine IT-Technologien genutzt (z.B. relationale Datenbanken), die nicht zu den eigentlichen GIS-Technologien zählen.

In diesem Kapitel werden nur diejenigen Technologien besprochen, die für die Kopplung von GIS und den Strassendatenbanken relevant sind, d.h. Technologien zur Datenerfassung werden beispielsweise nicht berücksichtigt.

Die heutigen GIS-Technologien zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus (zusätzliche zu den oben aufgeführten allgemeinen Eigenschaften):

- Kartesische Koordinatensysteme (X,Y) oder geographische Koordinatensysteme werden benutzt, um geographische Objekte eindeutig auf der Erdoberfläche zu lokalisieren.
- Topologische Auswertungen können ausgeführt werden, z.B. alle Gebäude die sich näher als 2 Kilometer an der Autobahn A1 befinden.

Eine GIS-Architektur besteht aus folgenden Komponenten:

- Eine Datenbank: Den Kern der Datenbank bildet in den meisten Fällen ein DBMS (Datenbank-Management-System), das primär alphanumerische Daten verwaltet. Die geographischen Daten werden entweder in Dateien gehalten oder sie werden mit Hilfe von Geodaten-Server in derselben Datenbank abgelegt, die das DBMS verwaltet.
- Eine GIS-Software, die die Daten abfragen, auswerten, und kartographisch darstellen kann.

3.1.2 GIS-Software

Eine **GIS-Software** besteht in der Regel aus folgenden Komponenten:

- Ein Ablagesystem (Dateien oder DBMS, Data Base Management System), das die nicht geographischen Werte der Informationsobjekte enthält
- Ein Ablagesystem für geographische Informationen
- Räumliche und attributive Verarbeitungsfunktionen (Erfassung, Analyse, Darstellung)
  - Erfassung: Digitalisieren, Kontrolle
  - Datenverarbeitung
  - Datenverwaltung
  - Abfragen und räumliche Analysen
  - Pläne ausdrucken

Die GIS-Software speichert im allgemeinen Geo-Daten in Form von thematischen, übereinander gelegten Schichten, die das Raumbezugssystem gemeinsam haben.

Eine GIS-Software kann folgendermassen klassiert werden:

a) Klassierung bezüglich verwalteten Daten (Vektor, Raster, TIN)
b) Klassierung bezüglich physischer Datenablage
c) Klassierung bezüglich Benutzer (und der Funktionen)

a) Klassierung bezüglich verwalteten Daten

Geographische Daten können wie folgt typisiert werden:

- Die **Vektordaten** beschreiben geographische Objekte mit Hilfe der räumlichen Elementarobjekte wie Linie, Punkt und Polygon (Fläche). Dieser Modus wird benutzt, um diskrete Elemente zu beschreiben, wie beispielsweise Strassen, Gebäude, Kanalisation oder Parzellen. Der Vektormodus wird beispielsweise für die Verwaltung von Katasterdaten gewählt. Speziell zu erwähnen sind **TIN-Daten** (Triangular Irregular Network), die die dreidimensionale Topographie der Erdoberfläche mit Hilfe von Dreiecken beschreibt.
- Die **Rasterdaten** beschreiben geographische Objekte in Form von regelmässigen Gittern. Die Auflösung des Diskretisierungsverfahrens (Verfahren zur Abbildung der realen Welt in Gitterstrukturen) entspricht der Grösse eines Gitterelements (Pixel). Geographische Objekte werden dann durch Rasterdaten beschrieben, um kontinuierliche Phänomene wie beispielsweise die Temparatur oder den Atmosphärendruck abzubilden. Sie werden zudem für die Photographie oder für Satellitenbilder benutzt.

Die Art der geographischen Daten wird ebenfalls für die Klassierung der GIS-Software benutzt.
Vektor-GIS-Software enthält beispielsweise folgende Funktionen:

- Arbeiten mit einem visuell kontinuierlichen Raum, keine Blattschnitte wie bei Karten
- Verwalten und Auswerten von räumlichen und semantischen Daten
- Nutzung mehrerer Raumbezugssysteme (multipler Raumbezug)
- Abfragen über alphanumerische Daten
- Abfragen über räumliche Daten
- Schichten überlagern
- Generieren von Plänen und Karten, thematische Karten
- Digitale Höhenmodelle integrieren

Raster-GIS-Software lässt sich durch folgende Funktionalitäten charakterisieren:

- Filteroperationen und Nachbarschafts-Analysen:
- Sichtfeld-Analyse: Mit Hilfe von der Darstellung der Erdoberfläche kann von einem gegebenen Standpunkt das Sichtfeld generiert werden.
- 3D-Visualisierungen: Darstellung einer 3D-Landschaft bis hin zur Animation (Flug über die 3D-Landschaft)
- Berechnung von Steigung/Neigung (Konkavität usw.)
- Wasserfluss-Analyse: Berechnung von Abflussrichtung, Versickerung, Einzugsgebiet.
- Statistische und geostatistische Operationen: statistische Operationen wie beispielsweise multiple Regression, Autokorrelationsoperationen, Hauptkompontentenanalyse, Variagramme und Durchführung von statistischen Tests und geostatistische Operationen wie Kriging, "variogramm estation", "variogramm fitting" usw.

Die aus praktischen und auch aus ideologischen Gründen unterschiedenen Modi wurden im Verlaufe der Zeit durch die GIS-Software Hersteller zusammengeführt. Viele Produkte können geographische Daten in beiden Modi (Hybridsysteme) verwalten und verarbeiten.

b) Klassierung bezüglich physischer Datenablage

Die Daten können auf verschiedene Weise durch GIS-Software abgelegt werden:

- **Getrennte Ablage**: Die alphanumerischen Daten werden in einem relationalen DBMS wie bespielsweise Oracle abgelegt und die geographischen Daten in unabhängige Dateien. ArcView, oder MapInfo bieten beispielsweise diese Möglichkeit an.
- **Integrierte Ablage in ein relationales DBMS**: Die geographischen und alphanumerischen Daten werden gemeinsam in einem relationalen DBMS abgelegt, wie z.B. Vision und System 9. Heute wird vielfach eine "Middleware"-Softwareschicht eingefügt, welches die geographischen Daten optimal für geographische oder topologische Abfragen in ein relationales DBMS abspeichert. Das DBMS mit dieser Middleware wird dann Geodatenserver genannt.
- **Integrierte "objekt-orientierte" Ablage**: Jedes Objekt kann mit seinen Attributen, seiner Geometrie und seinen internen Methoden abgelegt werden. Es gilt zu erwähnen, dass vielfach das DBMS gleichwohl relational ist und die Methoden in für den Benutzer unsichtbare Dateien abgelegt werden, z.B. Smallworld 3 oder ArcInfo8.

c) Klassierung bezüglich Benutzer (und Funktionen)

GIS-Softwareprodukte werden verschiedenen Kategorien zugeordnet :

- GIS-Software für Spezialisten (Professional GIS)

  Diese GIS-Software bietet ein breites Spektrum an Funktionalitäten. Man kann sie auch als Sammlung von Modulen betrachten, die man in eigene Software einbinden kann. Ein grosser Nachteil war lange die relativ schlechte Benutzerfreundlichkeit der Schnittstellen, die lange Ausbildungsphase der Benutzer, proprietäre Hardwareanforderungen und die Kosten der GIS-Workstation.

  Mit der Einführung von ArcInfo8 wurde ein GIS für Fachleute auf den Markt gebracht, das dem Benutzer zwar graphische Schnittstellen anbietet, aber dennoch etliche GIS-Kenntnisse des Benutzers voraussetzt, um alle Funktionalitäten des Produkts nutzen zu können.

  Typische Funktionen einer GIS-Software für Spezialisten sind:

  - Verwaltung des gleichzeitigen Zugriffs durch mehrere Benutzer
  - Komplexe Analysen
  - Verteilte Datenbanken
  - Grosse Datenmengen
  - Qualitätskontrolle

  -Topologieverwaltung: Topologische Beziehungen: equal, contains, within, crosses, disjoint, overlaps, touches, Topologische Operationen: buffer, clip, convex hull, cut, difference, intersect, symmetric difference, union

  -Erweiterte Funktionen zur Datenerfassung und -verwaltung

- GIS-Software für Benutzer (Desktop GIS)

  Die GIS-Software für Benutzer bieten zwar weniger Möglichkeiten an, sind aber benutzerfreundlicher. Diese Art von Software ist heute sehr verbreitet. Viele Organisationen arbeiten ausschliesslich mit einer solchen GIS-Software (schon aus Kostengründen) und ergänzen sie vielfach mit einer CAD-Applikation.

  Typische Funktionen des Desktop GIS:

  -Generieren von **thematischen Karten**: thematische Karten sind kartographische Darstellungen von darunterliegenden Daten beispielsweise die kartographische Darstellung von Unfällen. Es können diskrete Werte (Zahlen oder Namen) dargestellt werden (für jeden Wert eine Farbe) oder kontinuierliche Werte, die entweder durch eine entsprechende Klassierung diskret dargestellt werden oder indem die Intensivität einer Farbe oder die Grösse eines Symboles oder die Dichte von mehreren Symbolen variert werden.

-**Räumliche Abfragen** durchführen: Zugriff auf alphanumerische Daten mit Hilfe von räumliche Abfragen, wie beispielsweise "innerhalb des Umkreises von 100 Metern von Punkt X".
-**Polygonverschmelzung**: Operationen können durchgeführt werden, um neue geometrische Flächen entstehen zu lassen.
-**Point-in-polygon** Operationen: Diese Operationen sind charakteristisch für diese Produktereihe, da diese Operationen so einfach sie wohl klingen mögen, nicht unbedingt trivial sind.
-**Buffering**: ist die Funktion, die ausgehend von einer geometrischen Form ein Polygon darum herum erstellt.

– Visualisierungssoftware

Eine solche Software ermöglicht das Abfragen von vorhandenen geographischen Daten und eventuell die Ausführung von einigen wenigen, vordefinierten Funktionen. Ein Internet Browser kann durch entsprechende Erweiterungen zu einem GI-Viewer umfunktioniert werden. Darunter werden einige Beispiele von Viewers aufgezählt:

-Digitale Atlanten

-Digitale Strassenanzeige und Routenkalkulationssoftware

-Kartierungssoftware auf dem Web

-Tabellenkalkulation und database mapping

-Clip art und readymade maps

-Thematische Kartierungssoftware

Die Unterscheidung der drei Arten von GIS-Softwareprodukten ist nicht immer klar machbar. Vielfach werden für GIS-Produkte, die für Endbenutzer vorgesehen sind, Erweiterungen angeboten, die zusätzliche Funktionalitäten anbieten, beispielsweise Funktionen zur Bearbeitung von Rasterdaten.

GIS-Hersteller stellen vielfach auch Libraries, d.h Bibliotheken mit Softwarekomponenten, zur Verfügung, um sie in ihre GIS-Produkte zu integrieren.

Es gilt abschliessend zu erwähnen, dass die GIS-Softwarehersteller unter anderem auch Softwarekomponenten verkaufen, die andere Software-Entwickler in ihrer Software integrieren können, z.B MapObjects von ESRI, MapX von MapInfo oder Geomedia von Intergraph.

Die folgende Tabelle zeigt einige GIS-Softwareprodukte und ihre Eigenschaften. Die Tabelle soll Beispiele geben und hat nicht zum Ziel eine vollständige GIS-Produkteliste darzulegen oder eine Bewertung der verschiedenen Produkte abzugeben.

		Daten		Benutzer				Architektur		Ablage		
Hersteller	**Produkte**	**Vektor**	**Raster**	**Spezialisten**	**Anwender**	**Viewer**	**Entwickler**	**Client**	**Server**	**Getrennte**	**Integrierte**	**Integriert OO**
ESRI	ArcInfo	■	■	■			■	■	■	■	■	■
	ArcView	■			■		■	■		■		
	ArcExplorer					■		■		■		
	MapObjects	■					■	■		■		
	ArcView Spatial Analyst	■	■		■			■		■		
	ArcViewIMS[1]	■				■			■	■		
	MapObjectsIMS[1]	■				■	■		■	■		
	ArcIMS[1]	■				■			■	■	■	■
Intergraph	GeoMedia Pro	■	■	■			■	■	■	■		
	GeoMedia	■			■			■		■		
	GeoMediaView					■		■		■		
	GeoMediaWebMap[1]	■				■	■		■	■		
MapInfo	MapInfo	■			■		■	■		■		
	MapXtreme[1]	■				■			■		■	
Autodesk	VISION	■		■			■	■	■		■	
	Autodesk GIS Design Server	■		■			■		■		■	
	AutoCAD Map	■			■		■	■		■		
	Autodesk MapGuide*	■				■	■	■	■	■		
Smallworld	Smallworld 3	■		■			■	■	■			■
PCI Geomatics	SPANS	■	■	■			■	■		■		
	PAMAP	■	■		■			■		■		
	ILWIS		■		■			■		■		
ER-Mapper	ER_Mapper		■	■				■		■		
Clark Labs	Idrisi32		■	■				■		■		
Thinkspace	MFWorks[2]		■	■				■		■		

[1] Internet-Lösungen: beinhalten Funktionaltäten, die es ermöglichen, Karten und Pläne übers Internet zu publizieren.

[2] kann auf GeoMedia aufgesetzt werden. Damit können auch Vektordaten verwaltet und angezeigt werden.

Es gilt zu erwähnen, dass die meisten Vektor-GIS-Software Rasterbilder anzeigen können und. Die Interaktion zwischen beiden Datentypen ist aber meist gering, so dass die Produkte doch schwergewichtig als Vektor- oder Raster-GIS-Software bezeichnet werden können.

Diese Liste ist nicht vollständig. Sie soll nur einige Beispiele darlegen.

In naher Zukunft werden neue GIS-Technologien auftreten wie beispielsweise:

- Handheld GIS (ArcPad von ESRI, OnSite von Autodesk oder MapXtend von MapInfo sind erste Produkte in diesem Bereich)
- Realtime GIS
- Realtime Data from remote sensing

3.1.3 Geo-Datenserver

a) Neuste Entwicklung in der Verwaltung geographischer Daten

Für die Ablage geographischer Daten werden bei den meisten Produkten die alphanumerischen Daten in einer relationalen Datenbank gespeichert (DBMS), die geographischen Daten in Dateien mit proprietärem Format. Diese Architektur ermöglicht eine flexible Nutzung und vereinfacht die Entwicklung zusätzlicher Software.

Sie besitzt aber auch einige Nachteile bezüglich der Verwaltung der Geodaten. Da diese nicht in derselben Datenbank abgelegt werden, können die Verwaltungsfunktion vom DBMS (Datenverteilung, roll-back, backup, Sicherheit usw.) nicht benutzt werden. Zwei Ablagesysteme müssen parallel geführt werden.

Heute wird einerseits auch von den Herstellern der DBMS die Integration von geographischen Daten und der dazugehörenden Verwaltungsfunktionen angestrebt. Andererseits versuchen die GIS- -Hersteller ein gewisses Niveau an Interoperabilität untereinander zu erreichen (OpenGIS), die für eine verbesserte Kommunikation der DBMS und der GIS zwingend nötig ist. Während früher noch proprietäre Lösungen angeboten wurden, werden heute generische Lösungen gesucht, um die auf dem Markt angebotenen Daten nutzen zu können oder um einer möglichst grossen Anzahl von Benutzern Daten oder Funktionen zur Verfügung stellen zu können.

b) Geodatenserver-Applikation

Da die DBMS-Hersteller in der Geodaten-Integration noch nicht sehr weit fortgeschritten sind (auch mangels Standardisierung im GIS-Bereich), erstellen einige GIS- -Hersteller eine Middleware (Applikation zwischen DBMS und GIS), die geographische Daten derart in die relationale Datenbank ablegt, dass sie optimal genutzt werden können. Die Applikationen werden Geodatenserver genannt. Sie sind proprietäre Produkte, die eine bestimmte GIS-Software (oder Softwarepalette) mit einem bestimmten DBMS koppeln.

Geodaten-Server haben unter anderem folgende Vorteile: [Pang et Paschoud, 1998]:

- Zentrale Ablage und Verwaltung alphanumerischer und geographischer Daten in relationalen DBMS
- Analoge Datenverarbeitung der geographischen Daten und der alphanumerischen Daten
- Echtzeitzugriff auf alle Daten
- Eine einzige kohärente Datenstruktur
- DBMS-Funktionalitäten auch für geographische Daten: Sicherheit, Backup, roll-back, etc.
- Globale Lösung, die ein Datasharing für mehrere Benutzer ermöglicht.
- Konsultationsumgebung und gesicherte Nachführung im multi-user-Betrieb.

Im Hinblick auf die Verwaltung von Strassendaten kann ein Geodaten-Server die zentrale Ablage alphanumerischer Daten und geographischer Daten, wie beispielsweise die Axgeometrie, sicherstellen.

Unter den häufigsten Produkten findet man ArcSDE, GeoTask-Server, Spatial Ware, Oracle Spatial oder Autodesk GIS Design Server. Konzepte der Geodatenserver werden im Bericht [Pang et Paschoud, 1998] detailliert dargestellt.

3.1.4 Technische Systemarchitektur

GIS-Architektur

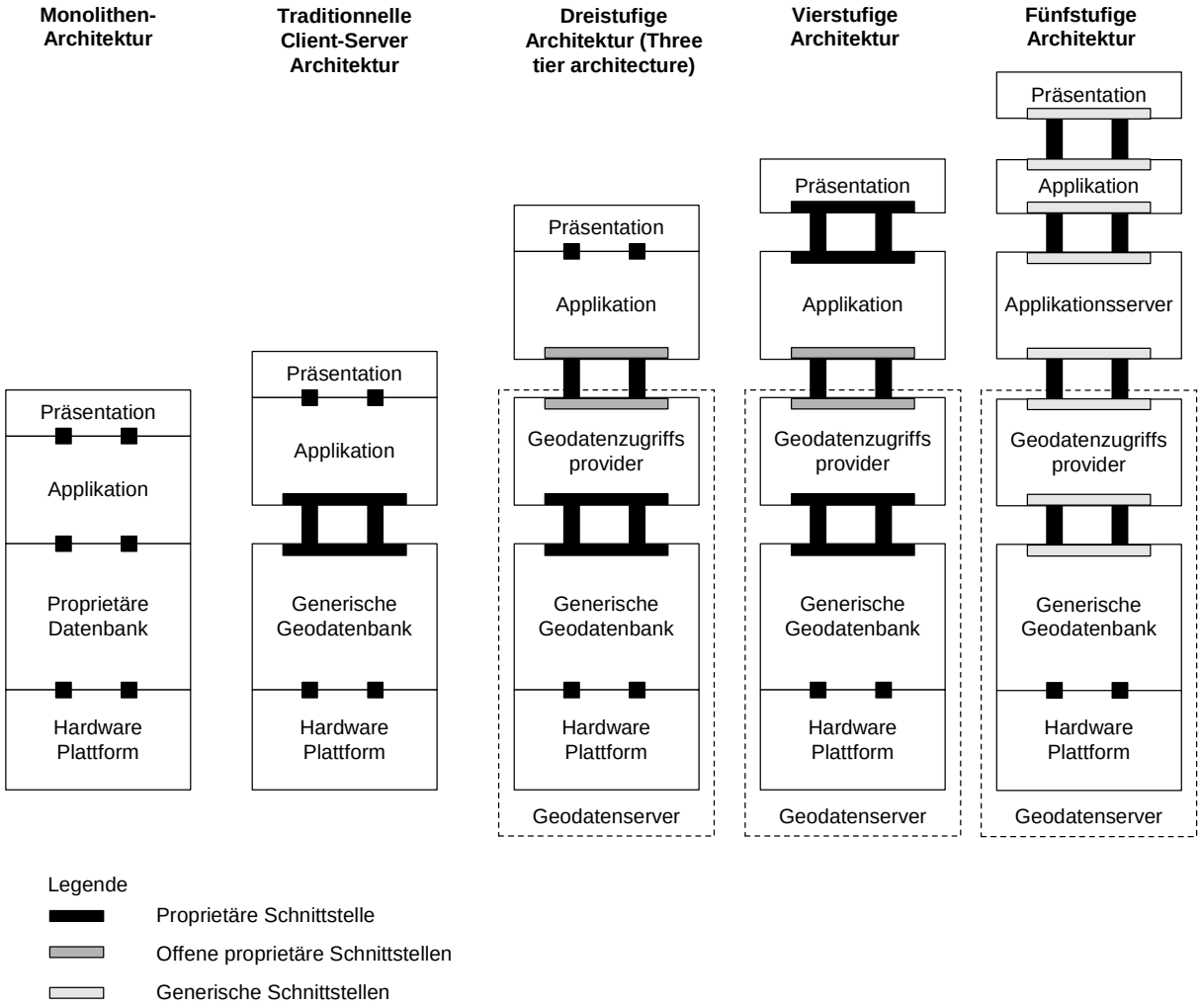


Abbildung 3-1: Aktuelle und zukünftige GIS-Architekturen

a) Monolith

Eine häufige Architektur eines GIS-Systems ist die enge Kopplung der Hardware, der Datenbank, der Applikation und der Präsentation in einem Produkt (Monotlithensystem), wie beispielsweise ARC/INFO7 oder Intergraph MGE. Der Datenaustausch zwischen Monolithen erfolgt über Dateien in proprietären Formaten wie beispielsweise DXF, shapefiles, MDF/MID oder durch standardisierte Formate wie beispielsweise GDF, SAIF oder INTERLIS.

b) Traditionelle Client-Server Architektur

In einer traditionellen Client-Server Architektur werden die Darstellungsfunktionen, – die auf Seite des Benutzers (client) durchgeführt werden, - von den Verwaltungsfunktionen getrennt, – die auf dem Datenserver durchgeführt werden.. Analysefunktionen jedoch können auf dem Client, auf dem Server, oder auf Client und Server durchgeführt werden.

Falls die Daten auf dem Client ausgewertet werden, so spricht man von einem schweren Client. Dazu zählen zum Beispiel GIS-Softwareprodukte (ArcInfo usw.), die mit einem leichten Datenserver mit nur Auswertungsfunktionalitäten gekoppelt werden. Eine solche Architektur beinhaltet den Austausch von grossen Datenmengen, weil die für eine Auswertung benötigten Daten auf dem Client lokal abgespeichert

werden müssen. Hingegen muss die Kommunikation zwischen Client und Server nicht permanent gewährleistet werden ("off-line").

Falls die Daten auf dem Server ausgewertet werden können, braucht es die entsprechenden Auswertefunktionen auf dem Client nicht und man spricht von leichten Clients. Leichte Clients können im Extremfall auch Internetbrowser (Netscape Communicatior, Internet Explorer usw.) sein. Da immer nur das Ergebnis einer Auswertung vom Server zum Client transferiert werden muss, wird die Datenmenge wesentlich eingeschränkt. Die Kommunikation zwischen Client und Server muss hingegen permanent gewährleistet werden. Da der Server nun Daten verwaltet und Auswertungen mehrerer Clients duchführen muss, werden die technischen Anforderungen (Kapazität, Leistungsfähigkeit) stark erhöht.

Als Beispiel einer traditionellen Client-Server-Architektur kann man sich eine Architektur vorstellen, die ARCINFO sowohl als Server wie auch als Clients einsetzt. Diese Architektur ist eher unvorteilhaft, da ARCINFO-Clients doch sehr schwere Clients sind.

c) Die dreistufige Architektur

Die dreistufige Architektur, mit Datenserver, Geodatenzugriffsprovider (Middleware) und Applikation, häufig "three tier architecture" genannt, wird im GIS-Bereich immer häufiger implementiert. Die Middleware stellt die optimale Ablage der geographischen Daten auf der Datenbank sicher, führt geographische und topologische Auswertungen serverseitig aus und stellt durch Bereitstellung von offenen Schnittstellen alphanumerische und geographische Daten einer Vielzahl von Applikationen zur Verfügung (Siehe Geodatenserver). Zudem vermindert diese Architektur den Datenverkehr auf dem Netz ohne dass die Auswertungen beeinträchtigt werden.

Heute werden dreistufige Architekturen entwickelt, in denen die Applikationen nur mit Hilfe von proprietären Schnittstellen auf die Geodatenserver zugreifen können (d.h. es werden zwar offene Schnittstellen zur Verfügung gestellt, diese sind aber nicht standardisiert). Das OpenGIS Konsortium (OGC) ermutigt die Softwareentwickler generische Schnittstellen zu entwickeln, indem es Spezifikationen und Implementationsempfehlungen veröffentlicht.

d) Die vierstufige Architektur

Die vierstufige Architektur trennt die Präsentation und die Applikation in zwei Komponenten auf. Das Internet trägt wesentlich zu dieser Architektur bei. Da der Internetnutzer, also ein leichter Client, nur wenige Funktionalitäten auf seinem Computer besitzt, müssen diese auf einer zentralen Applikation ausgeführt werden. Um den Anforderungen zu genügen, wurden zu diesem Zweck eigens Applikationen wie ArcView Internet Map Server (ESRI) oder GeoMedia Web (Intergraph) eingeführt.

e) Die fünfstufige Architektur

In Zukunft kann auch ein Applikationsserver vorgesehen werden, der Softwarekomponenten den verschiedenen Applikationen anbietet und der Auswertungswünsche des Clienten in standardisierter Form weitergibt.

Datenzugriff

In einer GIS Architektur (server-client) können Daten entweder aus dem Server exportiert und auf dem Client abgefragt werden oder vom Client aus auf dem Server direkt abgefragt werden.

Datenaustausch zum Client : Diese Art der Abfrage ist vor allem vorteilhaft für "schwere" Clients, die auf die erhaltenen Daten eigene Auswertungen ausführen können, die der Server nicht anbietet. Ist der Datenaustausch einmal abgeschlossen, muss die Kommunikation zum Server nicht aufrecht erhalten werden; der Client kann autonom die Daten konsultieren und entlastet somit das Netz.

Falls Daten auf dem Client nachgeführt und auf dem Server integriert werden sollen, muss ein Konzept definiert werden, das verhindert, dass ein anderer Client auf dem Server die gleichen Daten verändert. Die Datennachführung im Server wird somit nicht automatisch ausgeführt. Dies führt dazu, dass während einer Zeitperiode die Daten im Informationssystem (Server mit allen Clients, die Daten nachführen) in einem inkonsistenten Zustand sind.

On-line Zugriff auf den Server : Die Daten werden direkt auf dem Server abgefragt. Nur die Daten, die von Interesse sind, werden temporär im Client zwischengespeichert. Die Verbindung zum Server muss permanent aufrecht erhalten werden. Falls die Verbindung unterbrochen wird, kann der Client auf keine Daten mehr zugreifen und abfragen. Jede Nachführung kann von anderen Clients direkt wahrgenommen werden.

	On-line Zugriff	***Datenexport***
Abzufragende Daten	Server	Client
Ablage während der Nachführung	Client	Harddisk des Clients
Anforderungen an das Netz	Wenig Kapazität	Grosse Kapazität
Permanente Verbindung	Obligatorisch während der Abfrage und Nachführung	Fakultativ
Auswertungen	Server oder Client, eher Server	Client
Nachführung	Automatisch, Potenzielle Konflikte verwalten	Zum Zeitpunkt des Datenimports
Vorteile	Kleine Datenmengen werden über das Netz versandt	Für grosse Transaktionen oder für längere Konsultation vorteilhaft
	Der konsultierte Datensatz ist konsistent.	Benötigt keine permanente Verbindung zum Server
Nachteile	Permanente Verbindung zum Server	Grosse Datenmengen werden über das Netz versandt.
	Für lange Transaktionen unnötig	

Nachführungskonzepte

a) Check-out – Check-in

Das meist genannte Konzept der Nachführung von zentralen Datenbanken ist das Prinzip des "Check-out – Check-in". Die Informationsobjekte, die von einem Benutzer nachgeführt werden sollen, werden blockiert, so dass jeder andere Benutzer diese Objekte zwar konsultieren, aber nicht verändern kann (Check-out). Sobald der Benutzer die Nachführungen durch den Server durchführen lässt, werden die Objekte wieder freigegeben (Check-in).

b) Versionenbildung

Eine optimalere Methodik ist das Versioning. Jeder Benutzer kann die Nachführungen auf seinem Client durchführen und eventuelle Konflikte werden erst bei der Integration dieser Nachführungen auf dem Server gelöst.

c) Lange Transaktionen

Eine Eigenheit der Verwaltung von geographischen Daten ist deren lange dauernde Bearbeitung, d.h. lange Transaktionen. In einem nicht geographischen Informationssystem werden meist nur kurze Transaktionen durchgeführt. In einer check-in/check-out Nachführungstechnik werden die zu verändernden Objekte nur kurzzeitig blockiert. Sobald die neuen Werte dieser Objekte eingegeben und genehmigt werden, werden sie wieder für alle Benutzer für eine erneute Nachführung freigegeben. Für geographische Daten kann eine Nachführung sehr lange dauern, bis zu mehreren Jahren. Beispielsweise für eine Güterzusammenlegung kann die Nachführung der Parzellen in der betroffenen Region mehrere Jahre dauern. In einer check-in/check-out Nachführungstechnik würde dies die Blockierung der Parzellen für mehrere Jahre heissen und in der versioning Technik könnte ein anderer Benutzer monatelang Änderungen an einer Version eines Datensatzes anbringen ohne dass sie in die definitive Datenbank abgelegt werden können.

Die Handhabung der langen Transaktionen muss auf organisatorischer Ebene gelöst werden, und nicht auf technischer. Derjenige Benutzer, der die Güterzusammenlegung plant und durchführt, sollte auf einem lokalen Datensatz arbeiten und in der zentralen Datenbank sollten die Benutzer darauf hingewiesen werden, welche Parzellen von der Güterzusammenlegung betroffen sind.

3.1.5 Dynamische Segmentierung

Einige GIS- -Hersteller, wie beispielsweise ESRI und Intergraph, führten das Konzept der dynamischen Segmentierung ein. Ziel der dynamischen Segmentierung ist es, Attribute einem Teil eines linearen Objektes zusprechen zu können, ohne dass die in XY Koordinaten beschriebene Geometrie des linearen Objektes verändert wird. Um eine dynamische Segmentierung durchführen zu können, muss das betreffende lineare Objekt bemasst sein, d.h. es muss eine Eigenschaft existieren, die proportional entlang des linearen Objektes zunimmt, beispielsweise die Länge. Die Orte, für die gewisse Attribute gelten, werden gemäss der Bemassung auf dem linearen Objekt abgetragen.

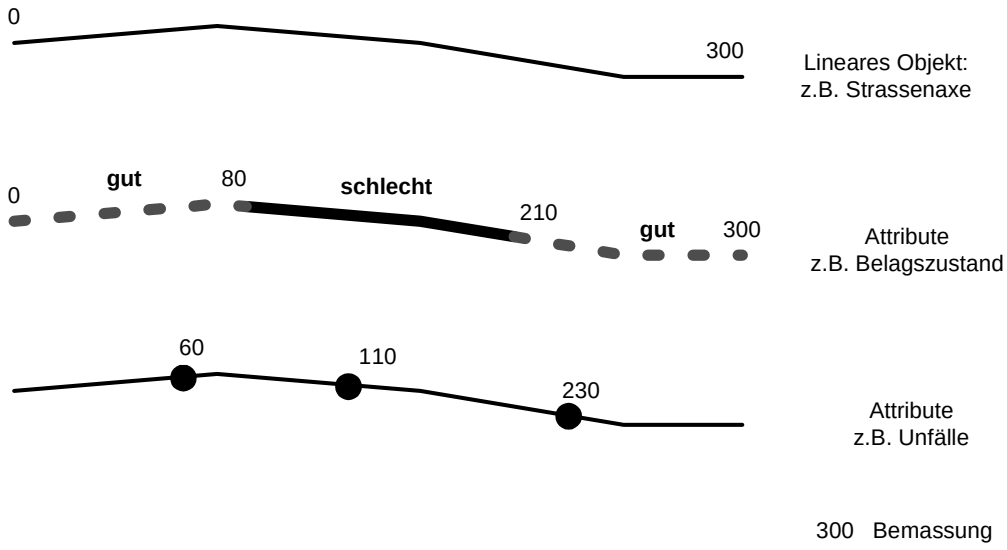


Abbildung 3-2: Beispiel einer dynamischen Segmentierung

Dynamische Segmentierung kann beispielsweise in folgenden Fachbereichen genutzt werden:

- Strassenmanagement
- Eisenbahnmanagement
- Inventar der Gewässer, Entwässerungsplanung
- Pipeline-Management

Die dynamische Segmentierung wird längst nicht von allen GIS-Softwareprodukten unterstützt. Die Darstellung der dynamischen Segmentierung zeigt aber, dass einige der GIS-Hersteller den Nachteil einer fixen Segmentierung (in grösste homogene Abschnitt) bewusst sind (Geometrie wird verändert wenn ein Attribut ändert) und legen Lösungsvorschläge vor.

3.1.6 Festlegung des räumlichen Bezugssystems der GIS

GIS-Systeme beschreiben in der Regel die Erdoberfläche mit Hilfe eines kartesischen Koordinatensystems mit X/Y-Koordinaten. Die Z-Komponente des drei-dimensionalen Koordinatensystems, oder vielfach auch als Höhe H formuliert, wird nur durch spezialisierte GIS-Software (z.B Spatial Analyst von ESRI) graphisch dargestellt und verarbeitet. Es ist auch möglich, dass der Benutzer die geographischen Daten mit Hilfe geodätischer Koordinaten beschreiben kann, d.h. beispielsweise mit Hilfe des Längen- und Breitengrad auf einer Kugel. Die GIS-Produkte stellen diese Daten mit Hilfe einer internen "default"-Projektion dar.

Die meisten heutigen GIS-Systeme ermöglichen die Transformation geographischer Daten von einem Koordinatensystem in das andere. Dazu muss der Benutzer meistens einige Kenntnisse in der Geodäsie besitzen, damit die gewünschten Transformationen korrekt ausgeführt werden. Die Abbildung 3-3 stellt die Grundkonzepte der Geodäsie dar. Das eigentliche Ziel der Geodäsie ist es, den Erdkörper mit einem mathematisch beschreibbaren Volumen darzustellen. Heute wird allgemein anerkannt, dass das Ellipsoid wohl die zufriedenstellendste Abstraktion ist, da seine mathematische Formulierung relativ einfach ist und andererseits die Präzision genügend gut ist. Es gilt zu unterscheiden zwischen globalen Ellipsoiden, die die Erde als ganzes modellieren, und lokalen Ellipsoiden, die einen bestimmten Bereich auf der Erdoberfläche (z.B. ein Land) annäheren. Die globalen Ellipsoide gelangen vor allem durch den Einsatz von GPS (Global Positioning System) zu Bedeutung, während lokale Ellipsoide für die Kartographie genutzt werden. Um geographische Daten, die sich auf diese Ellipsoide beziehen, auf eine Ebene abzubilden, können unterschiedliche Projektionen angewandt werden, wie beispielsweise die Zylinderprojektion, die Kegelprojektion und orthogonale Projektionen. Diese Abbildungen sind nötig, um die geographischen Objekte auf eine Karte eintragen zu können. Einer Karte muss zudem mit einem, in der Regel kartesischen, Koordinatensystem versehen werden, um die geographischen Objekte zu lokalisieren.

Für einen bestimmten Ort auf der Erdoberfläche werden von den nationalen Geodäten ein Ellipsoid, eine Projektion und ein Koordinatensystem festgelegt. In der Schweiz wurde beispielsweise, das Bessel-Ellipsoid, die schiefachsige Mercator Projektion (Zylinderprojektion) und das nationale Koordinatensystem festgelegt. Für die Schweiz reicht eine einzige Projektion. Für Frankreich, zum Beispiel, mussten vier Kegelprojektionen (Lambert I bis IV) eingeführt werden, um das ganze Land abbilden zu können. Dies führte zu Präzisionsproblemen in den Überlappungszonen zwischen den verschiedenen Projektionen.

Im Vergleich zu GIS-Systemen verwalten CAD Systeme nur lokale Koordinatensysteme, die so definiert werden, dass die Konstruktion eines Objektes, beispielsweise eines mechanischen Teils oder eines Gebäudes, mit der Software leicht erstellt werden kann. Diese sind Koordinatensysteme, die daraum lokal sind weil sie nur für die Beschreibung eines bestimmten Objektes gültig sind und keine Gültigkeit ausserhalb seiner Konstruktion haben.

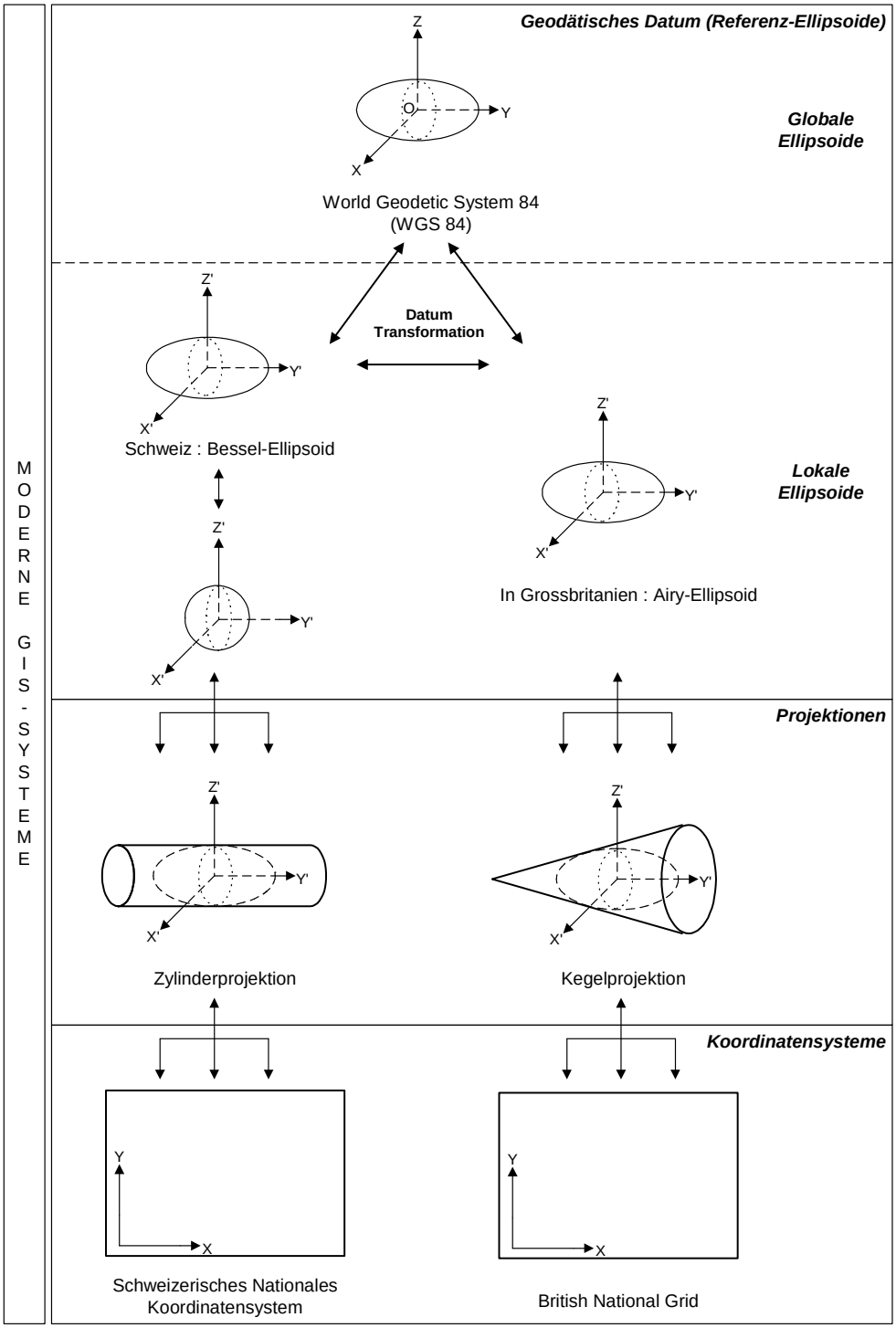


Abbildung 3-3 : Festlegung eines geographischen Koordinatensystems und dessen Nutzung im GIS

3.2 Konzepte für Strassendatenbanken am Beispiel von STRADA-DB

3.2.1 Allgemeine Bemerkungen zu STRADA-DB

STRADA-DB (STRAssenDAten-DB) ist die am häufigsten eingesetzte Datenbank in der Schweiz für das Strassenmanagement. Sie wird unter anderem vom Bundesamt für Strassen und von kantonalen Verwaltungen benutzt. Die Realisierung der STRADA-DB wird in vier sogenannte Realisierungseinheiten unterteilt:

Realisierungs-einheit	Datentypen
RE-A :	- Raum-Basisbezugssystem (RBBS) - Betriebsnetze - Geometrische Profile - Fahrbahnnutzung - Fahrbahnaufbau - Zustandsdaten - Reparaturen - Eigentümer - Beteiligte - Projekte - Wissenskataloge
RE-B :	- Zusätze zum RBBS und Netze - Zustandsbewertungen - Baustellen - Verkehr - Unfälle
RE-C :	- Kunstbauten, inkl. Kontrollen und Entwässerung
RE-D :	- Klima - Emissionen, Immissionen - Zusätze

Um die Benutzer für die Datenerfassung zu unterstützen, sind heute verschiedene Module verfügbar, die im Folgenden vorgestellt werden.

Es existieren zusätzlich diverse Softwareprodukte zur effizienten Datenerhebung, die beispielsweise den Belagszustand automatisch erfassen. Diese Module werden hier nicht weiter betrachtet.

3.2.2 STRADA-DB/ RE-A Version 3.0

Die Strassendatenbank STRADA-DB wurde auf dem DBMS Oracle und mit Hilfe des Entwicklungswerkzeugs Forms der Firma Oracle entwickelt.

3.2.3 STRADA-INFO

STRADA-INFO ist die Auswertungsdatenbank von STRADA-DB. Sie erlaubt die temporäre Abspeicherung der Ergebnisse aus einfachen und kombinierten Auswertungen, um sie in einem späteren Zeitpunkt verfügbar machen zu können.

3.2.4 STRADA-View/Axband und STRADA-View/Carto

Die Darstellungswerkzeuge STRADA-View bestehen insbesondere aus den zwei Applikationen:

- **/Carto**: stellt Strassendaten kartographisch dar. Sie wurde mit Hilfe der proprietären Programmiersprache AVENUE der GIS-Software ArcView von ESRI entwickelt. Diese Applikation enthält auch ein Werkzeug, das lineare Koordinaten in kartesische Koordinaten umrechnet (TransfoXY).
- **/Axband**: eine generische Applikation, die beliebige STRADA-Attribute in Abhängigkeit der "kurvigen" Länge auf der Strassenaxe darstellt. Diese Applikation wurde in JAVA programmiert.

3.2.5 STRADA-Interface/ASCII

Die ASCII-Schnittstelle ermöglicht den Export von STRADA-Daten in ein externes System, wie z.B. eine Tabellenkalkulation, externe Datenbanksysteme oder auch GIS-Systeme. Sie stellt die STRADA-Daten, die exportiert werden sollen, in einem standardisierten Format dar und stellt eine Datenbeschreibung zur Verfügung. Das analoge gilt auch für den Import von Strassendaten. Die ASCII-Schnittstelle lehnt sich stark an den Austauschmechanismus und die Beschreibungssprache von INTERLIS an.

3.2.6 Pilotapplikationen

Bis zu diesem Zeitpunkt sind folgende Pilotapplikationen nutzbar :

- STRADA-DB/JOKER : ermöglicht dem Benutzer, eigene Informationsobjekte in STRADA-DB abzulegen und von den implementierten Verwaltungs- und Auswertungsfunktionen zu profitieren.
- STRADA-DB/Verkehr: stellt eine generische Datenstruktur für die Verwaltung von Verkehrsdaten zur Verfügung.
- STRADA-DB/Baustelle : stellt eine Datenstruktur zur Verfügung, die die detaillierte Planung von Baustellen und deren Verkehrsbeeinflussung beschreiben lässt.
- STRADA-DB/PMS : stellt die Datenstruktur und Funktionen zur Verfügung, die die mehrjährige Baustellenplanung zur Belagserneuerung (PMS: Pavement Management System) erstellen lässt.
- STRADA-DB/Signalisation : stellt eine Datenstruktur zur Verfügung, die die Verwaltung der Signalisation bis hin zu Wechseltextanzeigen ermöglicht.
- STRADA-DB/Unfälle : stellt Datenstrukturen und Auswertewerkzeuge für die Unfalldaten zur Verfügung.

3.2.7 Festlegung der räumlichen Bezugssysteme in den Strassendatenbanken gemäss VSS-Normen

a) Allgemein

Die Strassendatenbank STRADA-DB ist ein Informationssystem mit linearem Raumbezug. Die in diesem System verwalteten Informationen bestehen aus den drei folgenden Aspekten :

- Fachaspekt : Was
- Raumaspekt : Wo
- Zeitaspekt : Wann

Der Raumbezug muss einerseits eine zuverlässige, stabile Raumzuordnung und andererseits eine für das Management für Strassenerhaltung (MSE) adäquate Datennutzung ermöglichen.

In den meisten Fällen wird der Raum bezüglich einem linearen System, dem **räumlichen Basis-Bezugssystems (RBBS)** definiert. Es gibt Regeln, die das RBBS einhalten sollte, wie beispielsweise:

- unabhängiges relatives System (ohne Verknüpfung zwischen den Axen),
- Unabhängigkeit bezüglich der funktionalen Rolle der Strasse,
- Eindeutigkeit der Definition.

Diese Regeln ermöglichen eine eindeutige und stabile Raumzuordnung der Daten. Die Nutzung dieser Daten im Rahmen der Fachprozesse MSE verlangt nach sekundären Bezugssystemen, die an das RBBS angeheftet werden. Sie werden **Betriebsnetze** genannt. In diesen Betriebsnetzen wird unter anderem die Topologie berücksichtigt (Beziehungen zwischen den Strassen als Verkehrsinfrastruktur). Zudem können mit Hilfe dieser Betriebsnetze die Benutzersicht, d.h. die Sicht bezüglich einer Verwaltungsaufgabe auf das Strassennetz, verwaltet werden. Beispiele für Betriebsnetze sind Routenbeschreibungen, Klassierungen bezüglich Reglemente oder Zugehörigkeit an eine administrative Einheit.

Zusätzlich zu diesen zwei Möglichkeiten des Raumbezugs können Geometrien des RBBS in STRADA-DB beschrieben werden, um die Verknüpfung des Strassennetzes mit dem kartesischen System der Landeskoordinaten sicherzustellen: Datenerhebung, Darstellung.

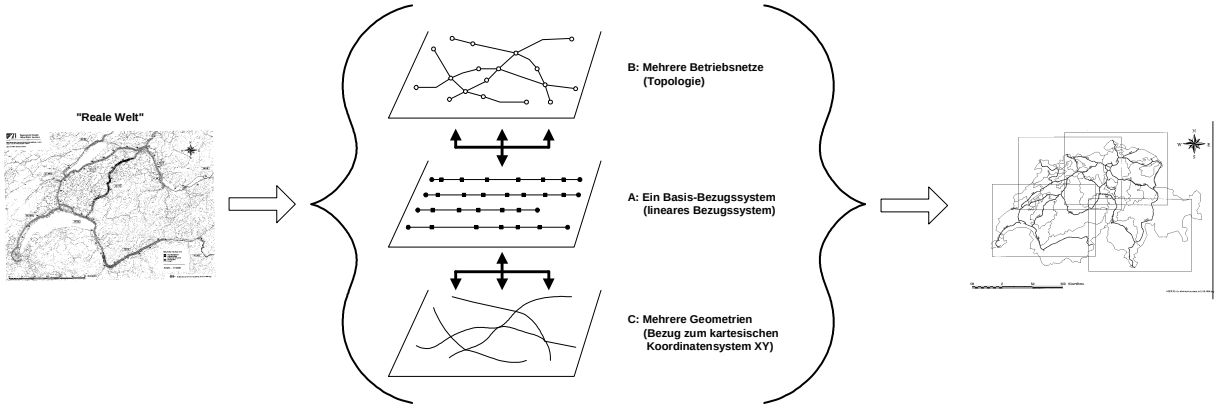


Fig. 3-1 : Ebenen zur Verwaltung des Raums gemäss VSS-Normen

Dank dieser spezifischen Aufteilung des Raumes in drei Teile, können die Daten sehr flexibel verwaltet werden. Die auf das RBBS bezogenen Daten können so auf unendlich vielen geometrischen, in Landeskoordinaten beschriebenen Axgeometrien dargestellt werden (vorausgesetzt, die Abstraktion macht im Rahmen der Strassenverwaltung auf strategischer und operationeller Ebene noch Sinn) und dynamisch auf verschiedene Netze (Benutzersichten) abgebildet werden.

Die Aufgabe dieser drei Ebenen im Strassenunterhalt ist folgende :

A. RBBS: Objekte auf der Strasse lokalisieren und positionieren
B. Betriebsnetze: Topologien definieren, die einer Benutzersicht auf das Strassennetz entsprechen
C. Geometrien: geometrische Elemente liefern, die zur Erstellung von kartographischen Darstellungen in unterschiedlichen Massstäben nötig sind.

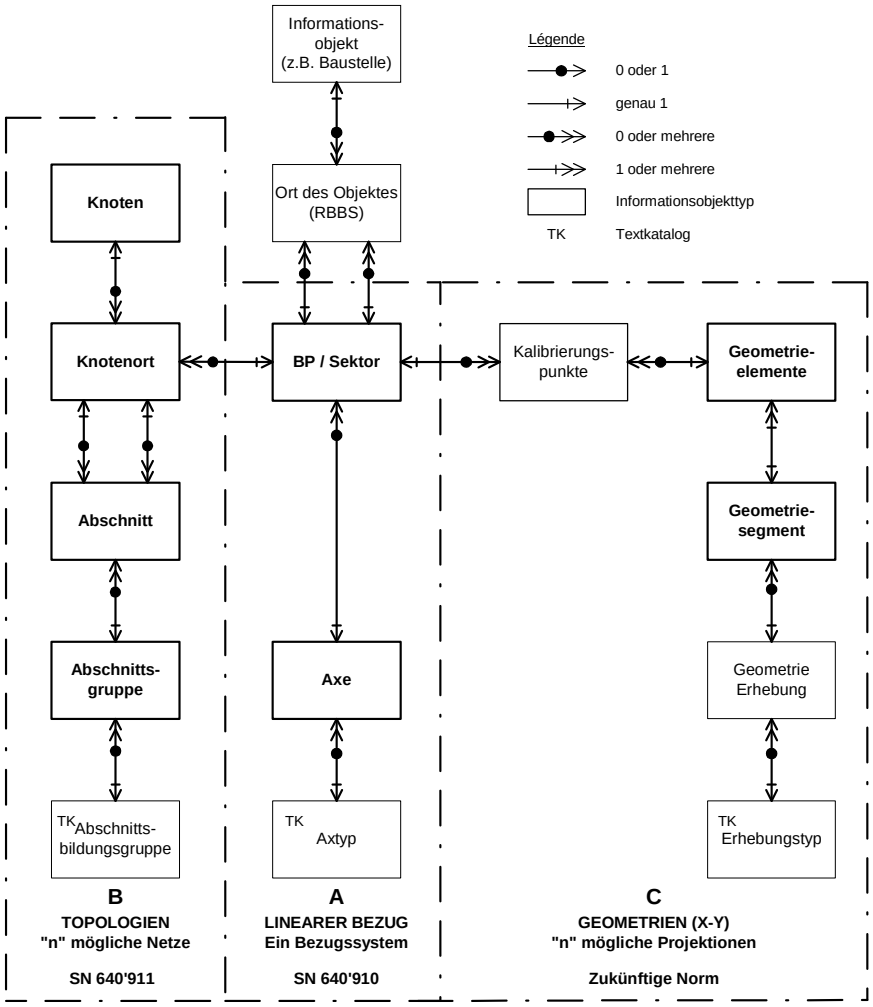


Abbildung 3-4: Konzeptuelles Datenschema des Raumbezugs gemäss den VSS-Normen.

b) Das Basis-Bezugssystem für Strassendaten (gemäss SN 640'910)

Die Eigenheiten der Strasse benötigen die Einführung eines linearen Raumbezugssystems. Die Unterhaltsaxe, als Abszisse des relativen, linearen Koordinatensystems, entspricht den Gewohnheiten und den Arbeitsmethoden der Strassenfachleute. Distanzen auf der Strasse können leicht mit Hilfe einfacher Mittel wie Messband, Messrad, Kilometerzähler eines Fahrzeugs usw. gemessen werden. Die Axe als Informationsobjekt erfüllt dabei eine doppelte Funktion. Einerseits ermöglicht sie die eindeutige Raumzuordung durch eine Bezugsdistanz entlang der Strassenaxe und einem Abstand rechtwinklig zur Axe. Andererseits stellt sie die Beziehung zwischen der Information und der Strasse unwidersprüchlich sicher.

Die Grundelemente des räumlichen Basis-Bezugssystems sind die Strassenaxe und ihre Bezugspunkte. Der Abschnitt zwischen zwei benachbarten Bezugspunkten wird Sektor genannt.

Dieses System:

- ermöglicht den Raumbezug im Strassenbereich. Jeder Ort wird mit einer Distanz von "u" Metern nach dem letzten Bezugspunkt und einem Abstand von "v" Metern zur Strassenaxe beschrieben;
- ist zur elektronischen Datenverarbeitung geeignet;
- minimiert die Änderungen des RBBS, falls die Axgeometrie ändert.

Jeder Bezugspunkt besteht im allgemeinen Fall aus den folgenden drei Elementen:

- **physischer Bezugspunkt:** ein von der Strasse unabhängiges Element (Markstein, Bolzen, usw), welches die Markierung versichert.
- **Markierung:** eine quadratische oder kreisförmige gelbe Markierung auf der Strasse, welche die Projektion der physischen Bezugspunkte auf die Strassenaxe darstellt.
- **Schild:** ein Element am Rande der Strasse, auf dem die wesentlichen Aspekte des Sektors beschrieben sind.

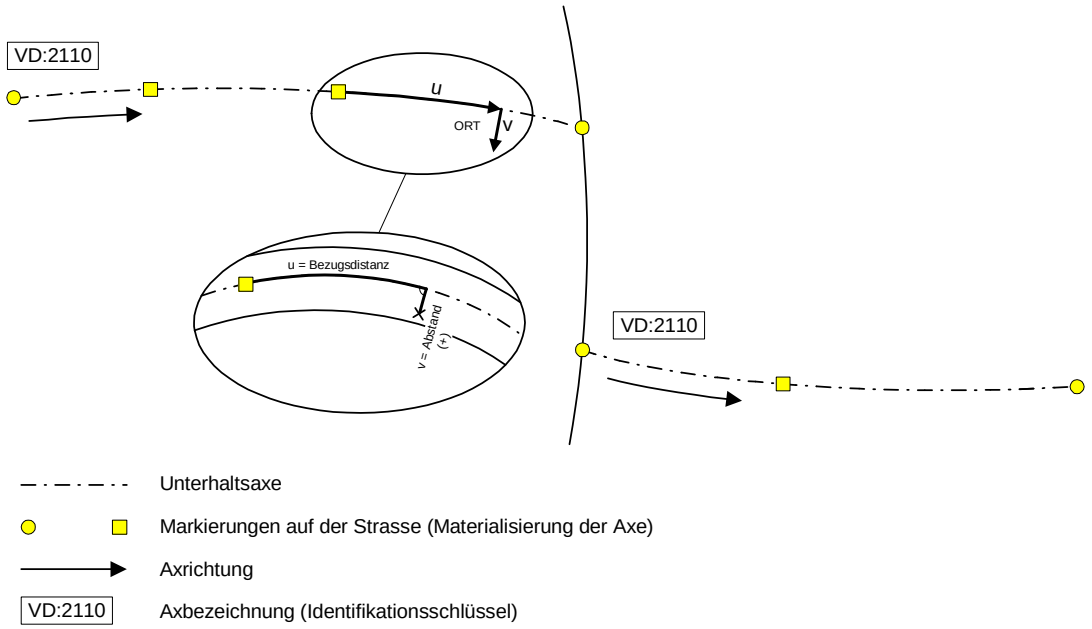


Abbildung 3-5: Die Funktion der Strassenaxe im räumlichen Bezugssystem

Die logische Festlegung und die physische Realisierung des RBBS für Strassendaten muss folgende Bedingungen erfüllen:

- bezüglich dem Informationssystem ...
- eine eindeutige Zuordnung der Informationen zur betroffenen Strasse, und
- eine grosse zeitliche Stabilität aufweisen.

Auf der Strasse erlaubt es jedem Beteiligten:

- den Namen der Axe, auf der er sich befindet, und die positive Richtung zu erkennen,
- den Bezugspunkt zu bestimmen, von dem aus er die Distanz messen soll, um die Information zu lokalisieren,
- den Ort zu kennen, wo er sich befindet (Anfang der Axe, Ende der Axe),
- die Position der Axe in jedem beliebigen Querschnitt zu bestimmen ,
- Teile oder den gesamten Bezugspunkt neu zu erstellen (physischen Bezugspunkt, Markierung, Schild), der beschädigt oder zerstört wurde,
- die Bezugsdistanz und den Abstand leicht messen zu können.

Das RBBS stellt ein unabhängiges, relatives System dar. Jede Axe besitzt ein eigenes System, ohne mit anderen Axen verknüpft zu sein.

c) Betriebsnetze (Topo-Netze)

Betriebsnetze bilden die unterschiedlichen Sichten der Benutzer auf das Strassennetz für ihre Verwaltungsfunktion ab, und sie dienen zur Darstellung von Strassendaten bezüglich dieser Sichten. Sie können unter anderem für die Verkehrssimulation, für MSE-spezifische Bedürfnisse wie etwa der Winterdienst, für Spezialtransportrouten, für das Netz der Kantonsstrassen usw. genutzt werden.

Ein Netz darf nicht als RBBS in STRADA-DB verwendet werden, weil das Netz nur eine Benutzersicht darstellt und nicht ein von fachlichen Zielen unabhängiges Modell darstellt. Es sollte nicht benutzt werden, um Objekte im Raum zu referenzieren. Das RBBS wird durch Strassenaxen und Bezugspunkte gebildet und kann nicht ohne weiteres durch Netze ersetzt werden. Netze können aber dennoch als sekundäres Bezugssystem eintreten, nämlich für diejenigen Informationsobjekte, die vom Netz abhängen (wenn das Netz ändert, ändern sich die Informationsobjekte).

d) Geometrien im kartesischen Koordinatensystem

Die Geometrien haben zum Ziel, die Form und die Position der Strassenaxen in einem kartesischen Koordinatensystem zu beschreiben. Einerseits werden Distanzen und Formparameter definiert, um die räumliche Linienführung der Strasse zu beschreiben. Andererseits wird die Position der Strassenaxe mit Hilfe von Azimuten und Koordinatenpaaren beschrieben.

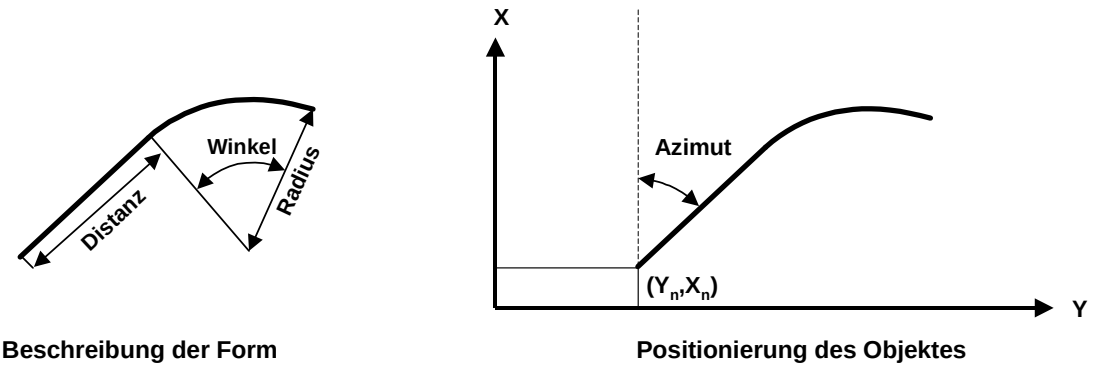


Abbildung 3-6: Die beiden Aspekte der Geometrie-Ebene

Die Geometrien in STRADA-DB werden von den kartographischen Werkzeugen genutzt, um Strasseninformationsobjekte auf kartographischem Hintergrund darzustellen. Daten, die einzig die Darstellung charakterisieren, wie beispielsweise Strichdicke, Strichfarbe werden nicht in STRADA-DB abgelegt. Das kartographische Werkzeug muss diese Daten als Metadaten verwalten können.

3.3 Interoperabilität

3.3.1 Definition von Interoperabilität

Unter Interoperabilität im Bereich der Geomatik versteht man die Eigenschaft digitaler Systeme, alle möglichen räumlichen Daten über die Erde, und über Objekte und Phänomene auf, unter oder oberhalb der Erdoberfläche frei auszutauschen und diese Daten gemeinsam, über Netzwerke, durch kompatible Software bearbeiten zu können [OpenGIS Guide]. Interoperabilität betrifft somit die Daten und deren Verarbeitung. Die im IT-Marketing häufig benutzte Gleichsetzung des Netzwerkes mit einem Computer wird durch die Interoperabilität konkret realisiert.

Während OpenGIS eher die technischen Probleme zur Erreichnung der Interoperabilität zu lösen versucht, gibt es andere Standardisierungskomitees, die eine Kompatibilität bei den Fachdaten und Metadaten suchen.

3.3.2 OpenGIS

Ziel von OpenGIS ist es, einen transparenten Zugriff auf heterogene, georeferenzierte Daten und Verarbeitungsressourcen in einer vernetzten Umgebung zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, spezifiziert OpenGIS offene standardisierte Schnittstellen, so dass Softwareentwickler interoperable Softwarekomponenten entwickeln können. Die vernetzte Umgebung wird von den gängigen verteilten Plattformen bestimmt (DCP: Distributed Computing Plateform).

Das OpenGIS-Konsortium (OGC) stützt sich auf die von den DCP's festgelegten technischen Anforderungen ab, die die netzwerkartige Kommunikation oder Interoperabilität zwischen heterogenen IT-Lösungen und heterogenen Netzwerkkonfigurationen sicherstellt.

Beispiele der gängigen DCP sind CORBA von OMG (Object Management Group), OLE/COM oder DCOM von Microsoft, Distributed Computing Environment (DCE) von Open Software Foundation oder Java von SunSoft.

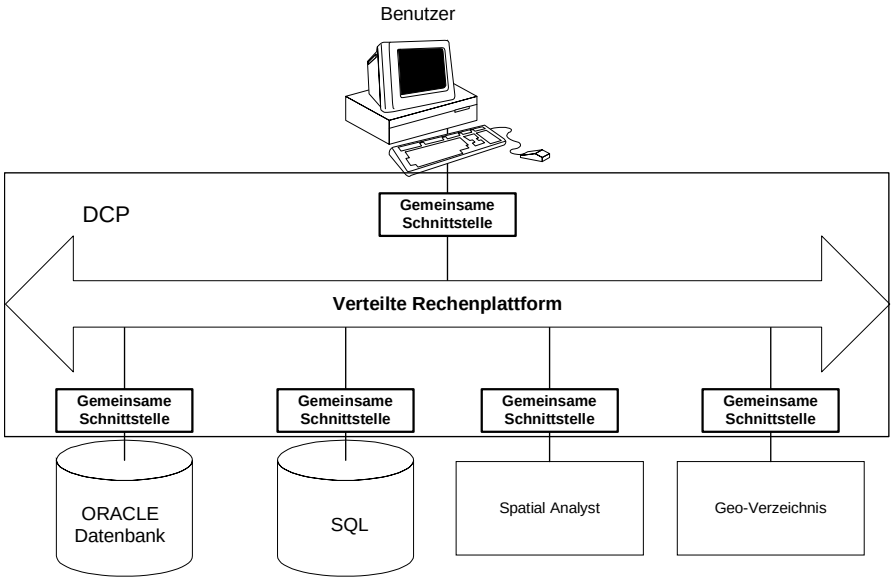


Abbildung 3-7: Die im OpenGIS gesuchte Interoperabilität

OpenGIS umfasst abstrakte Spezifikationen und Implementierungsspezifikationen. Die abstrakten Spezifikationen beschreiben die Anforderungen an Daten- und Funktionsstrukturen, die eine OpenGIS Schnittstelle haben muss. Die Implementierungsspezifikationen stellen konkrete Empfehlungen an Software-Entwickler dar, die eine OpenGIS Schnittstelle in einem gegebenen DCP erstellen wollen.

Die OpenGIS beinhaltet keine:

- Beschreibung eines standardisierten Austauschprotokolls (Format). Dies wird von den DCP's bestimmt.
- Beschreibung einheitlicher semantischer und konzeptionneller Modelle für Fachdaten Beschreibungen) (erfolgt aus Systemebene)
- Standardisierung einzelner Datenstrukturen und Auswertungen innerhalb von Datenbanken und Applikationen.

3.3.3 INTERLIS

INTERLIS ist in erster Linie eine Beschreibungssprache, die seit 1991 (Version 1) entwickelt wird, um in der föderalistischen Schweiz eine standardisierte Schnittstelle in der amtlichen Vermessung einzuführen. Durch die Einführung der Technischen Verordnung der Amtlichen Vermessung TVAV 1994 wurde das erste Datenmodell mit INTERLIS beschrieben und zugleich seine Benutzung innerhalb des Vermessungswesens gewährleistet. INTERLIS ist heute auch ausserhalb der Vermessung ein Standard in der Schweiz geworden, weil es sich als einzige Beschreibungssprache in der Praxis bewährt hat.

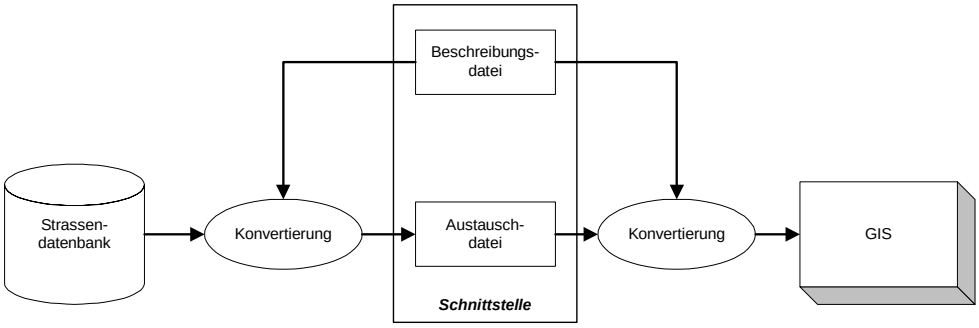


Abbildung 3-8: Der Austauschmechanismus gemäss INTERLIS

Der Austauschmechanismus besteht darin, dass ein Konvertierungsprogramm mit Hilfe einer in der INTERLIS-Sprache erstellten Beschreibungsdatei Daten in der Datenbank findet, und sie in eine Austauschdatei codiert. Empfehlungen zur Einführung eines standardisierten Formats dieser Datei werden ebenfalls von INTERLIS festgelegt. Ein anderes Konvertierungsprogramm erkennt die Daten wiederum mit Hilfe der Beschreibungsdatei und kann sie in ein gegebenes Zielsystem, wie beispielsweise ein GIS, überführen.

INTERLIS stellt ein Mittel zur Verfügung, das die Definition einer normalisierten Schnittstelle für einen Fachbereich erleichtern soll.

3.3.4 Konvertierungs-Werkzeuge

a) FME

Die Software namens "Feature Manipulation Engine FME" wird von der Firma Safe Software hergestellt. Die Desktop-Version unterstützt 25 Formate, die "professionelle" Version sogar deren 43.

Zudem ermöglicht es FME,

- geographische Daten zwischen verschiedenen Koordinatensystemen, Projektionen und Bezugsellipsoiden zu transformieren,
- die Übersetzung (oder Konvertierung) der Daten zu personalisieren , indem sogenannte **Semantic Mapping Files** zur Verfügung gestellt werden, die es dem Benutzer ermöglichen, die Konvertierung zu spezifizieren. Der Benutzer muss sich jedoch vorher die Syntax dieser Dateien aneignen;
- Daten zu verarbeiten, wie beispielsweise zu vergrössern oder zu rotieren, Polygone zu erstellen, Geometrien zu generalisieren, mathematische Transformationen (z.B. Helmert oder affine Abbildung) durchzuführen oder doppelte Linien zu löschen;
- Daten mit Hilfe des semantischen Übersetzers in eine neue Datenstruktur zuführen (Semantic Translator gemäss OpenGIS).

FME ermöglicht leider nicht die kartographische Visualisierung der Daten, so dass eine visuelle Kontrolle der Daten vor und nach der Konvertierung (bzw. Transformation) ausserhalb FME durchgeführt werden muss.

b) Geographic Translator

"Geographic Translator" ist eine Software der Firma Blue Marble Geographics. Sie konvertiert Daten von einem Format ins andere oder führt Koordinatentransformationen durch.

Die Stärke dieses Produktes liegt in der Koordinatentransformation. Es enthält zahlreiche Daten, Projektionen und vordefinierte Koordinatensysteme. "Geographic Translator" bietet auch die Möglichkeit, eigene Daten, Projektionen oder Koordinatensysteme zu definieren.

Zudem ist es das einzige auf dem Markt verfügbare Produkt, das die zu konvertierenden Objekte mit Hilfe einer kartographischen Darstellung selektieren lässt.

"Geographic Translator" bietet jedoch nicht die grosse Menge von Formaten an, die beispielsweise FME anbietet. Die visuelle Kontrolle ist hingegen möglich.

Ein Nachteil von "Geographic Translator" ist es, das es geometrische Formen nicht umwandeln kann. Wenn beispielsweise eine AutoCAD-Datei, die Kreisbögen, Ellipsen und andere Kurven beinhaltet, in eine ArcView-Datei, die nur Geraden versteht, umformatiert werden soll, können Produkte wie FME oder GeoMorph die Kurven durch Geraden annähern. Geographic Translator erlaubt dies nicht und so werden diese geometrischen Formen gar nicht übernommen.

c) GeoMorph

"GeoMorph" ist ein Übersetzer der Firma Application Software Technologies. Im Vergleich mit den anderen Übersetzern, bietet GeoMorph die kartographische Visualisierung auf Bildschirm oder auf Papier und die Batch-Verarbeitung an. Nachteile sind die Koordinatentransformation und die schlechte Performance, die es verunmöglicht, grosse Dateien zu konvertieren.

4 ÜBERSICHT ÜBER MÖGLICHE LÖSUNGEN

In diesem Kapitel wird das Konzept für den Austausch von Strassendaten zwischen GIS und SDB dargelegt und eine Übersicht über die möglichen Architekturen dargestellt. Jede Architektur wird im Kapitel 5 noch detaillierter beschrieben.

Mit Hilfe der Kapitel 4 und 5 sollen der Leser eine Einführung jeder Architektur bekommen, die das Konzept, die erforderlichen Prozesse, das Zusammenspiel der logischen (z.B. X/Y-Datenpool) und physischen Elemente (z.B. SDB) beinhaltet.

4.1 Datenfluss

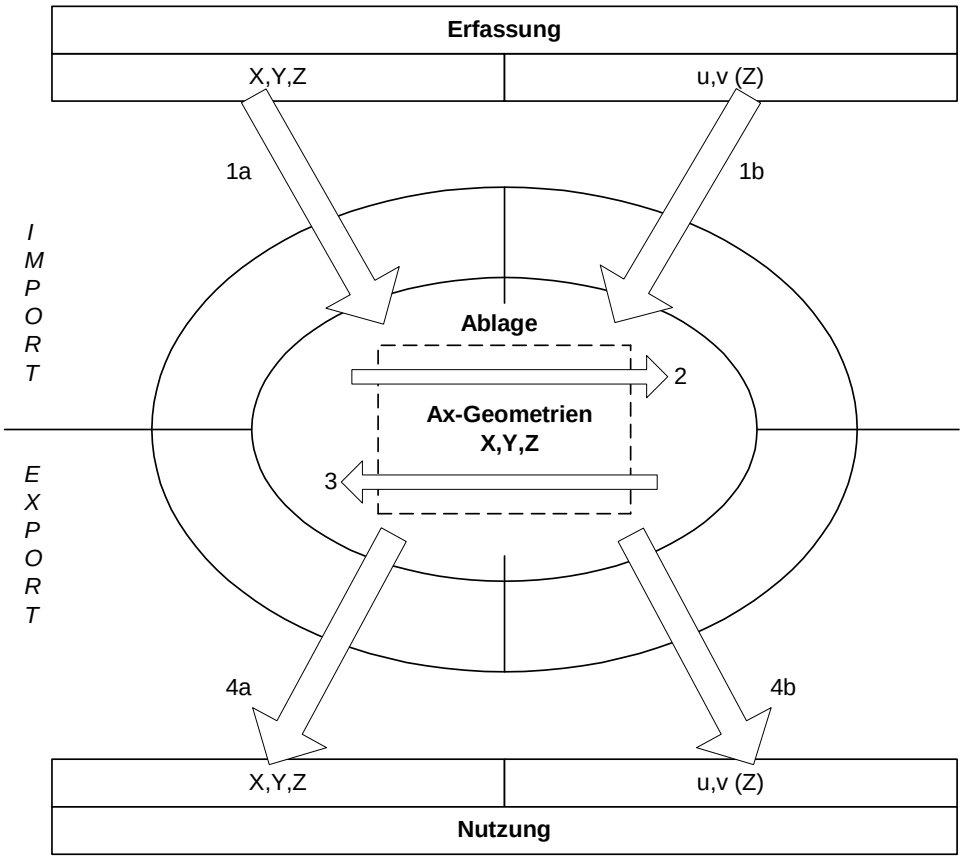


Abbildung 4-1: Der Datenfluss innerhalb des Informationssystems einer Strassenverwaltung und zwischen den räumlichen Bezugssystemen

Die Abbildung 4-1 beschreibt den Datenfluss innerhalb des Informationssystems. Es werden der Fluss von der Informationsbeschaffung (Erfassung) bis zur Nutzung dieser Informationen dargestellt. Ziel dieser Skizze ist die konzeptionelle Analyse der technischen Prozesse und die Interaktion zwischen diesen Prozessen. Die Aufteilung der Prozesse in GIS spezifische Prozesse oder SBD-Prozesse wird nicht dargestellt. Als Kernprozess des Informationssystems kann die Ablage der Daten betrachtet werden. Sie speichert die räumliche Informationen bezüglich dem kartesischen (X,Y) oder bezüglich dem linearen Koordinatensystem (u,v) ab. Die Transformation von einem Bezugssystem ins andere wird mit Hilfe der Axgeometrien sichergestellt. Um diesen Datenpool einerseits mit Daten zu versorgen und andererseits die Daten zu nutzen, müssen Schnittstellen zu externen Systemen geschaffen werden. Diese Schnittstellen ermöglichen den Datenaustausch und erhalten die Integrität des Datenpools.

Die bezeichneten Datenaustauschs sind:

- Prozess Nr. 1a et 1b: Von der Erfassung in den Datenpool

a. Erfassung der X,Y(,Z)-Koordinaten der Informationsobjekte und Integration

b. Erfassung der u,v-Koordinaten der Informationsobjekte und Integration

Die Integration beinhaltet in beiden Fällen die Konsistenzkontrolle der Informationsobjekte bezüglich des gesamten Datenpools.

- Prozess Nr.2: Transformation der X,Y-Koordinaten in u,v-Koordinaten
  Transformation der X,Y-Koordinaten in u,v-Koordinaten mit Hilfe der entsprechenden Axgeometrie. Vor allem die räumlichen Daten der Strassenobjekte müssen als u,v-Koordinaten abgelegt werden.

- Prozess Nr.3: Transformation der u,v-Koordinaten in X,Y-Koordinaten
  Transformation der u,v-Koordinaten in X,Y-Koordinaten mit Hilfe der entsprechenden Axgeometrie. Diese Transformation wird dann notwendig, wenn die geometrische Beschreibung von Strassenobjekten im kartesischen Bezugssystem aus Auswertungs- und Darstellungsgründen an Benutzer abgegeben werden.

- Prozesse Nr.4a et 4b: Vom Datenpool zur Nutzung
  a. Abgabe von Informationsobjekten in X,Y-Koordinaten
  b. Abgabe von Informationsobjekten in u,v-Koordinaten

4.2 Datenaustausch von SDB nach GIS – Mögliche Architekturen

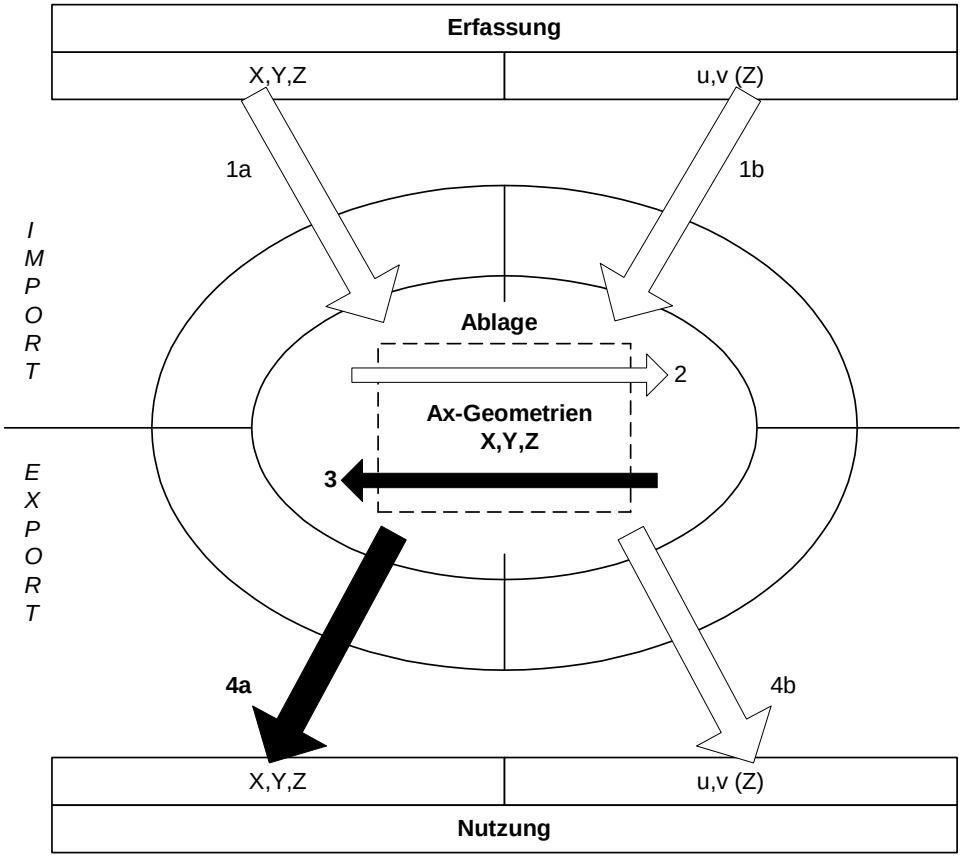


Abbildung 4-2: Der Datenaustausch von der SDB nach GIS-System innerhalb des Informationssystems

Wie im Kapitel 3.1.6 dargelegt, beruhen die üblichen GIS-Produkte auf kartesischen Koordinatensystemen und können entsprechend für die Datenerfassung und die Nutzung eingesetzt werden. Als zentrale Verwaltungswerkzeug für Strassendaten können sie nicht eingesetzt werden, da sie viele grundlegende Verwaltungsfunktionen nicht umsetzen können und der Verwaltung eines linearen Bezugssystems der Strassenverwaltungen nicht mächtig sind. Zudem werden die in den Kantonen genutzten Strassendatenbanken nicht in Frage gestellt, um eine kontinuierliche Entwicklung sicherstellen zu können.

Aus didaktischen Gründen wird zuerst die Architektur des Datenexports, d.h. der Datenaustausch von SDB in ein GIS-Produkt, besprochen. Im konzeptionellen Schema (Siehe Abbildung 4-2) betrifft der Datenexport die Prozesse 3 und 4a: Transformation der u,v-Koordinaten in X,Y-Koordinaten und Abgabe von Informationsobjekten in X,Y-Koordinaten.

Das Vorgehen des Datenexports von der Strassendatenbank an ein GIS-System kann folgendermassen strukturiert werden.

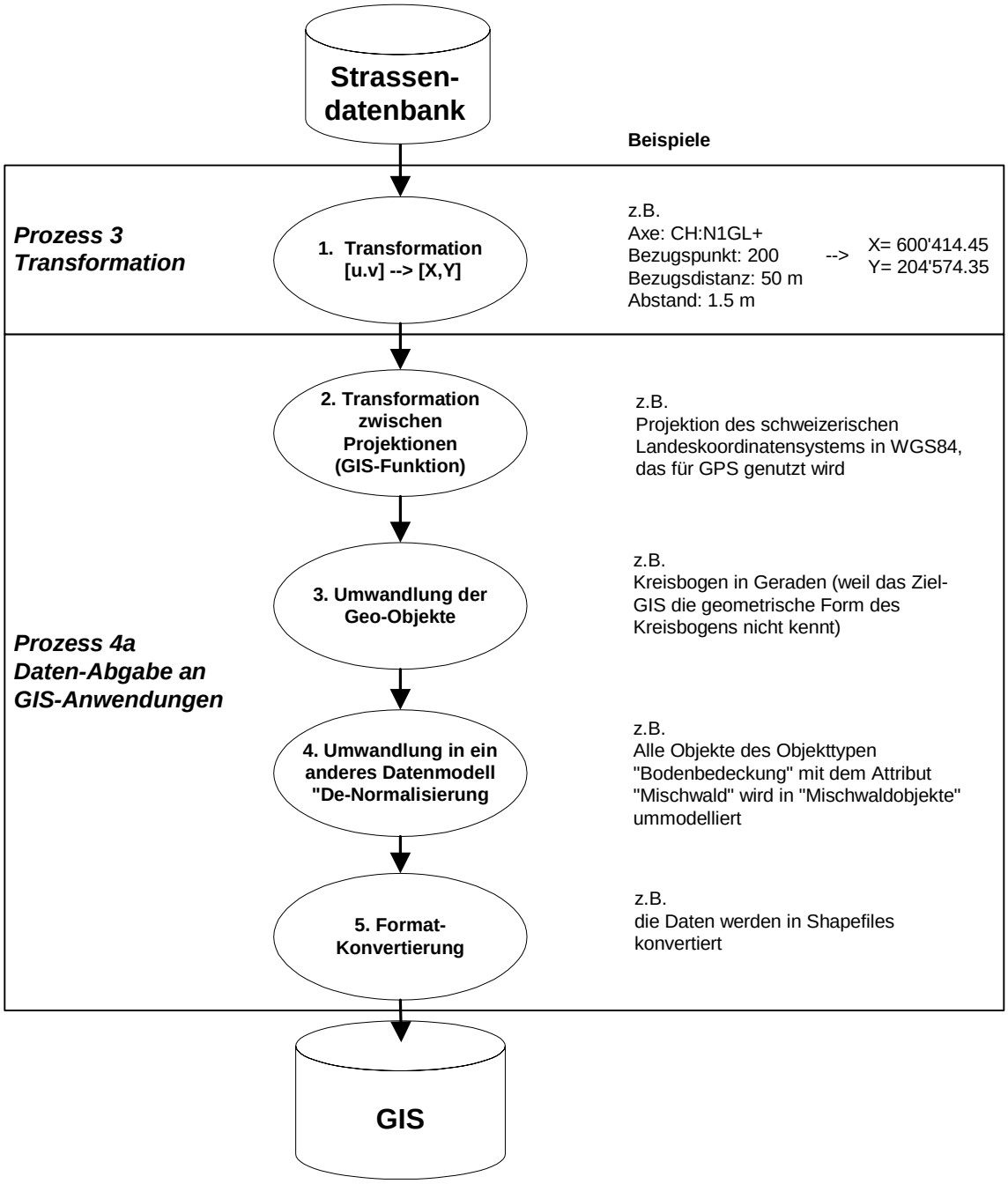


Abbildung 4-3: Verfahren für den Datenaustausch SDB-GIS

Die Strassendaten in den SDB werden im proprietären Format abgelegt und werden mit Hilfe des linearen Bezugssystems (u,v-Koordinaten) im Raum lokalisiert. Um diese Daten für GIS-Systeme nutzbar machen zu können, müssen Sie in eine Form gebracht werden, die die GIS-Systeme verstehen können. Das heisst unter anderem, dass die Daten auf ein kartesisches X,Y-Bezugssystem referenziert werden müssen und dass die geometrische Form (Geo-Objekt) vom GIS-System verwaltet wird.

Der Datenaustausch von SDB nach GIS-Systemen besteht somit aus folgenden Unterprozessen:

1. ***Transformation [u,v] → [X,Y]:*** Die Bezugsdistanzen und Axabstände werden in X,Y(,Z)-Landeskoordinaten transformiert. Die Koordinatentransformation [u,v] nach [X,Y] wird zentral in der Strassendatenbank durchgeführt, weil die dazu nötigen Axgeometrien in den SDB abgespeichert sind und die GIS-Systeme die nötigen Mechanismen kaum besitzen. Es muss abgeschätzt werden, ob die Ergebnisse dieser Transformation (X,Y-Koordinaten) nicht permanent in der SDB abgespeichert werden (des weiteren **X,Y-Projektion** genannt). Dies hängt vor allem von der Häufigkeit des Datenexports nach GIS-Systemen ab.
2. ***Transformationen zwischen Projektionen***: Es ist durchaus möglich, dass das Ziel-GIS auf einem anderen Koordinatensystem arbeitet, beispielsweise WGS84, das unter anderem vom GPS genutzt wird, oder auf einem eigenen lokalen Koordinatensystem. Deshalb muss auf die Landeskoordinaten eine weitere Transformation durchgeführt werden.
3. ***Umwandlung der Geo-Objekte***: GIS-Produkte beruhen auf einer Menge grundlegender Geo-Objekte (oder auch kartographische Primitivobjekte genannt) wie beispielsweise Punkt, Polyline oder Polygon. Mit Hilfe dieser "Geo-Primitive" werden alle lokalisierten Informationsobjekte abgebildet. Jedes GIS-Produkt definiert seine eigenen Geo-Primitive und diese werden selten mit anderen Produktherstellern abgestimmt. So kann es sein, dass beispielsweise ein Kreisbogen in einem Produkt als Geo-Primitiv definiert ist, und ein anderes den Kreisbogen nicht darstellen kann. Die unterschiedliche Festlegung der Geo-Primitive müssen im Strassendatenaustausch berücksichtigt werden.
4. ***Umwandlung in ein anderes Datenmodell***: Das SDB beruht auf einem Datenmodell, das für die Aktivitäten in der Verwaltung des Strassenunterhalts optimiert wurde. GIS-Anwendungen werden primär für andere Ziele eingesetzt und stützen sich somit auf andere Datenmodelle. Die Strassendaten müssen je nach Zielsystem umstrukturiert werden, so dass die Integrität des Zielsystems nicht in Frage gestellt wird.
5. ***Format-Konvertierung***: Damit ein GIS-Produkt Daten einlesen kann, müssen sie in einem bestimmten Format vorliegen. Das heisst, dass in einem letzten Schritt, die Strassendaten in ein vom Zielsystem lesbares Format gebracht werden müssen.

4.3 Datenimport von GIS-Systemen in Strassendatenbanken

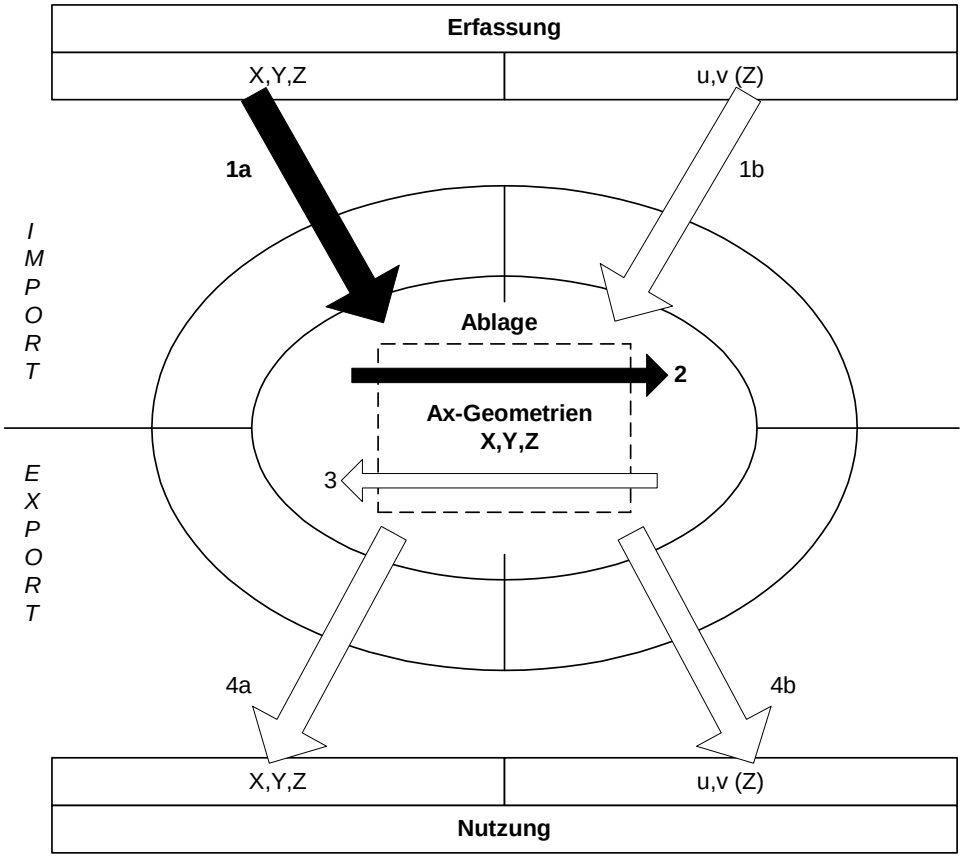


Abbildung 4-4: Der Datenaustausch von den GIS-Anwendungen zur SDB innerhalb des Informationssystems

Ziel des Datenimports ist die Integration der X,Y-Koordinaten, die mit Hilfe von GIS-Anwendungen erhoben worden sind, in den Kern der SDB. Dieser Datenaustausch spielt für die Datenerfassung eine wesentliche Rolle. Eine SDB bietet Masken an, die eine Erfassung mit Hilfe von Codelisten bzw. Textkatalogen und durch einfaches Eintippen ermöglicht. Diese Art der Erfassung – vor allem wenn grosse Datenmengen eingegeben werden müssen – können zu Fehlern führen, da eine visuelle Kontrolle der eingegebenen Daten praktisch unmöglich ist. Daher sollten die Erfassungsmethoden der GIS wie zum Beispiel das Digitalisieren im Geo-Kontext und die Qualitätskontrolle mit Hilfe von kartographischen Darstellungen für die Produktion von SDB-Daten genutzt werden. So können z.B. Daten, die primär in einem GIS verwaltet werden, wie beispielsweise Kanalisations-Informatoinen, in die SDB abgelegt werden, damit sie auch für die Fachleute des Strassenunterhalts zur Verfügung stehen.

Wie in Abbildung 4-4 dargestellt, besteht der Datenimport aus den Prozessen 1a und 2: Integration des GIS-Daten in den SDB-Datenpool [1a] und die Transformation von X,Y in u,v [2].

Grundsätzlich kann der Import von GIS-Daten in die Strassendatenbank folgendermassen untergliedert werden:

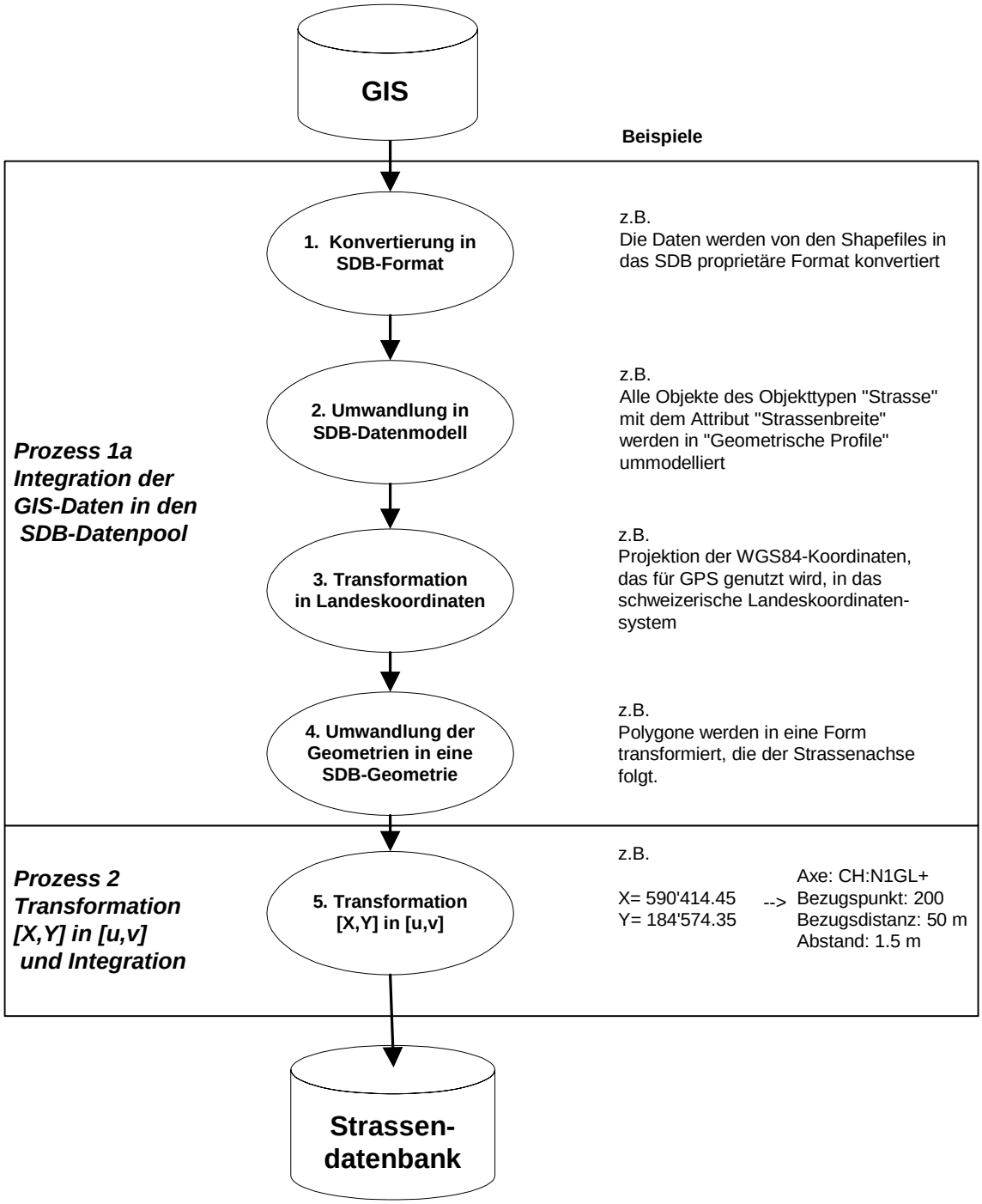


Abbildung 4-5: Verfahren für den Datenaustausch GIS-SDB.

IN einem ersten Schritt müssen die von GIS-Anwendungen gewonnenen Daten in eine einheitliche für die Strassenverwaltung lesbare Form gebracht werden. Diese Formatkonvertierung ist nötig, damit die weiteren Datenmanipulationen unabhängig von den internen Formaten der GIS-Produkte durchgeführt werden können. Anschliessend werden die Daten derart umstrukturiert, dass sie das Datenmodell der SDB respektieren. Die geographischen Daten müssen ebenfalls in Landeskoordinaten umgewandelt werden, damit die Projektion auf das lineare Raumbezugssystem ([u,v]) zentral durchgeführt werden kann.

Somit besteht der Datenimport in SDB aus folgenden Unterprozessen:

1. ***Konvertierung in das SDB-Format***: GIS-Softwareprodukte legen ihre Daten meistens in Dateien ab. Die Daten auf diesen Dateien werden je nach GIS-Software anders angeordnet und codiert. Diese Anordnung wird Format genannt. Will man diese Daten nun in der SDB nutzen können, müssen sie in eine einheitliche lesbare Form oder Format gebracht werden.
2. ***Umwandlung in das SDB-Datenmodell***: Das Datenmodell der SDB wird von der Schweizerischen Vereinigung der Strassen- und Verkehrsfachleute vorgegeben, einer Normierungsorganisation im Strassenwesen,. Um GIS-Daten mit bestehenden SDB-Daten kombinieren zu können, müssen die GIS-Daten dem SDB-Datenmodell angepasst werden
3. ***Transformation in Landeskoordinaten***: Diese Transformation erleichtert die später folgende Projektion auf des lineare Bezugssystem. Durch die Transformation in Landeskoordinaten kann die Vergleichbarkeit geographischer Daten aus den unterschiedlichen GIS-Anwendungen gewährleistet werden.
4. ***Umwandlung der Geometrien in eine SDB-Geometrie:*** Die geometrischen oder kartographischen Grundkonzepte (Geo-Primitive) wie etwa Punkt, Linie oder Fläche sind meist proprietär, d.h. jedes GIS-Softwareprodukt verwaltet seine eigenen geometrischen Grundkonzepte. Eine Umwandlung dieser Grundkonzepte muss daher durchgeführt werden.
5. ***Transformation [X,Y] in [u,v]***: Die X,Y-Koordinaten werden auf das lineare Bezugssystem projiziert und damit werden die u,v-Koordinaten berechnet.

4.4 Konzeptionelle Einheiten einer SDB-GIS-Kopplung

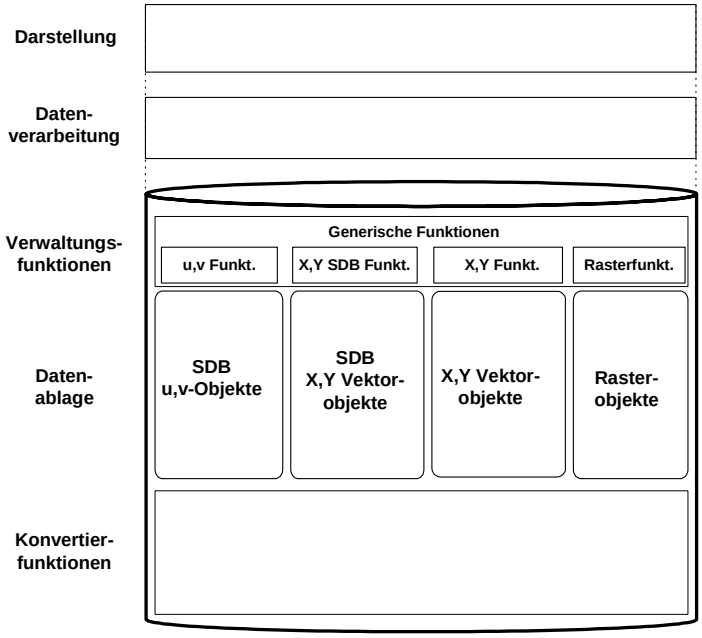


Figure 4-1 : Konzeptionelle Einheiten einer SDB-GIS-Kopplung

Eine SDB-GIS-Kopplung als ganzheitliches Informationssystem kann in folgende funktionale Einheiten unterteilt werden:

Datenablage: langfristige Ablage von allen für das Strassenmanagement nützlichen Daten. Sie beinhaltet nicht nur Fachdaten, sondern auch für Datenverarbeitung oder Darstellung nutzbare Daten. Der abgelegte Datenpool muss nicht unbedingt redundanzfrei sein. Die unterschiedlichen Nutzungsanforderungen bestimmen die Form oder Formen, in der Daten vorliegen müssen. Im Datenpool der SDB-GIS-Kopplung kann unterschieden werden zwischen:

- SDB-u,v-Objekte: die gemäss den VSS-Normen modellierten Informationsobjekte, d.h. unter anderem mit Hilfe des linearen Raum-Bezugssystem beschriebene Objekte. Diese Objekte entsprechen den Anforderungen der SDB. Es handelt sich ausschliesslich um Objekte, die den Strassenraum abbilden.
- SDB-X,Y-Objekte: die im X,Y-Koordinatensystem beschriebene Informationsobjekte, die den Definitionen der VSS-Normen (Semantik) entsprechen. Sie stellen die Geometrie der SDB-u,v-Objekte dar, d.h. mit Hilfe von X,Y Koordinatenpaaren werden die Form und die Position der SDB-u,v-Objekte beschrieben. Da je nach Massstab der gewünschten geographischen Abbildung unterschiedliche Geometriebeschreibungen benötigt werden, können mehrere SDB-X,Y-Objekte einem einzigen SDB-u,v-Objekt entsprechen.
- X,Y-Vektorobjekte: beliebige im X,Y-Koordinatensystem beschriebene Informationsobjekte. Sie beschreiben die Erdoberfläche und müssen keinen Bezug zum Strassenraum haben. Als X,Y-Vektorobjekte werden ebenfalls Strassenobjekte bezeichnet, die den VSS-Definitionen nicht entsprechen. Diese Objekte können unter anderem eine von der Strassenaxe unabhängige Geometrie aufweisen.
- Rasterobjekte: eine Menge von im X,Y-Koordinatensystem positionierten gleich grossen Maschen (Pixel), die die Erdoberfläche abbilden.

Verwaltungsfunktionen: Funktionen, die die Integrität des Datenpools sicherstellen. Es existieren allgemeine Verwaltungsfunktionen, und je nach Objekttyp spezifische Verwaltungsfunktionen.

Datenverarbeitung: Abfrage- und Auswertungsfunktionen von im Datenpool abgelegten Daten.

Darstellung: Funktionen zur Darstellung von Daten aus dem Datenpool oder von Ergebnissen aus Auswertungen, beispielsweise Listen, Berichte, lineare oder geographische, kartographische Darstellungen.

Konvertierungsfunktionen: Funktionen für das Konvertieren und/oder Transformieren von Daten innerhalb des Datenpools, beispielsweise das konvertieren eines SDB-u,v-Objektes in ein SDB-X,Y-Objekt.

Werden GIS und SDB isoliert betrachtet, bestehen die Verwaltungs-, Datenverarbeitungs- und Darstellungsfunktionen für die jeweils verwalteten Daten bereits, d.h. diese Funktionen bestehen in der SDB für SDB-u,v-Objekte und im GIS für X,Y-Vektor- und -Rasterobjekte. Was die SDB-X,Y-Vektorobjekte betrifft, werden in der SDB meistens nur die Geometrie(n) der Strassenaxe verwaltet. Für diese Axgeometrien bestehen die entsprechenden Funktionen in der SDB ebenfalls.

Eine SDB-GIS-Kopplung kann durch folgende Ansätze angesetzt werden:

- Realisierung von **Konvertierfungsunktionen**, die Daten in die Objekte überführt, auf die durch das jeweilige System – SDB oder GIS – zugegriffen werden kann.
- Realisierung von **Schnittstellen** der Systeme zu den Einheiten. Die Schnittstellen-Entwicklung ist vielfach nicht zielführend, da die Funktionen zur Bearbeitung der Daten im Fremdsystem nicht enthalten sind.
- Ziel ist es nicht, die SDB durch ein GIS oder ein GIS durch die SDB zu ersetzten, sondern SDB und GIS so zu koppeln, dass von den Eigenschaften beider Systeme profitiert werden kann.

4.5 Begriffe

Im folgenden Kapitel werden die Architekturen an Hand folgender Schemata dargestellt:

- Aufgabenteilung: Die in Kapitel 4.2 und 4.3 dargestellten Prozesse werden physischen Einheiten wie beispielsweise SDB, GIS, Übersetzer oder Import/Export-Module zugeordnet.
- **Logische Architektur**: Die Konvertierung wird im Zusammenhang mit den konzeptionellen Einheiten dargestellt.
- **Physische Architektur**: Die konzeptuellen Einheiten werden physischen Einheiten zugeordnet.

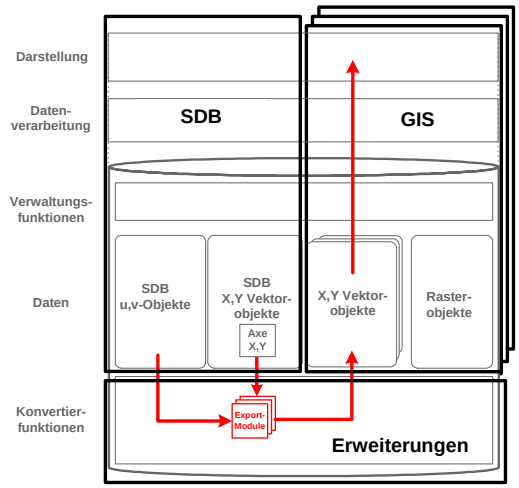
Die Architekturen werden unter anderem durch die Art der Schnittstellen unterschieden, das heisst der Schnittstellen zwischen SDB und GIS:

- **Proprietäre Schnittstellen**: die Schnittstelle kann nur für ein bestimmtes GIS-Produkt eines bestimmten Herstellers genutzt werden. Der Export von Strassendaten in Form von shapefiles kann beispielsweise nur von ArcView, einem Produkt von ESRI, genutzt werden. Solche Schnittstellen sind relativ einfach zu realisieren, aber falls Strassendaten für andere GIS-Software zur Verfügung gestellt werden soll, muss erneut eine Schnittstelle realisiert werden.
- **Standardisierte Schnittstellen**: Schnittstellen, die so konzipiert wurden, damit viele Systeme ohne Informationsverlust miteinander kommunizieren können. Das OpenGIS-Konsortium entwickelt die OpenGIS-Schnittstelle, eine standardisierte Schnittstelle im GIS-Bereich.

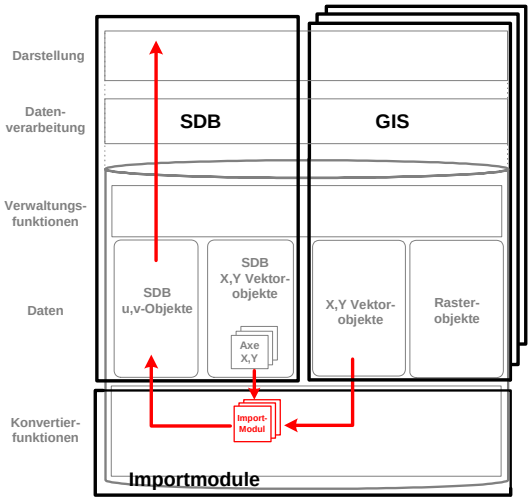
Es wird leider von Herstellerseite vielfach auch der Begriff **"Offene Schnittstellen"** verwendet. Damit meinen die GIS-Hersteller aber in der Regel proprietäre Schnittstellen, die veröffentlicht wurden. Jeder der an die GIS-Software ankoppeln will, kann diese Schnittstelle nutzen.

Übersetzungssoftware, wie etwa FME, ermöglicht Datenkonvertierungen von einem Format in ein anderes. FME als Schnittstelle zwischen GIS und SDB bleibt aber proprietär, denn Annahmen bei der Konvertierung von nicht kompatiblen Formaten wurden vom Hersteller definiert und sind nicht standardisiert.

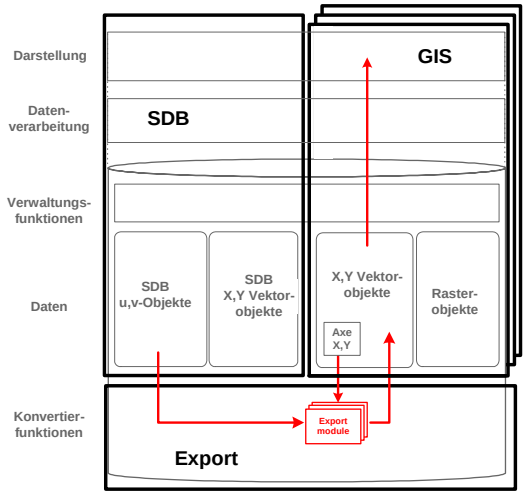
4.6 Übersicht



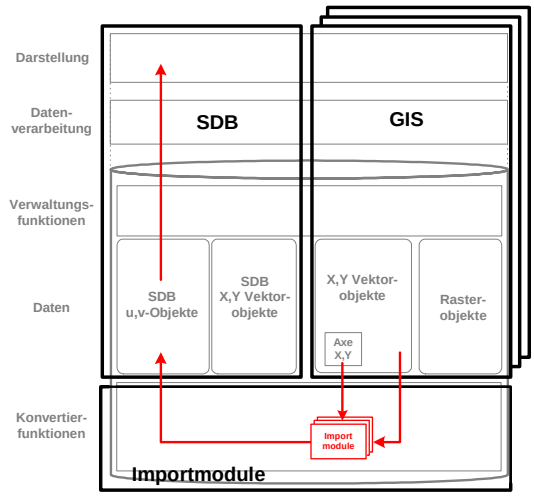
Architektur Out1



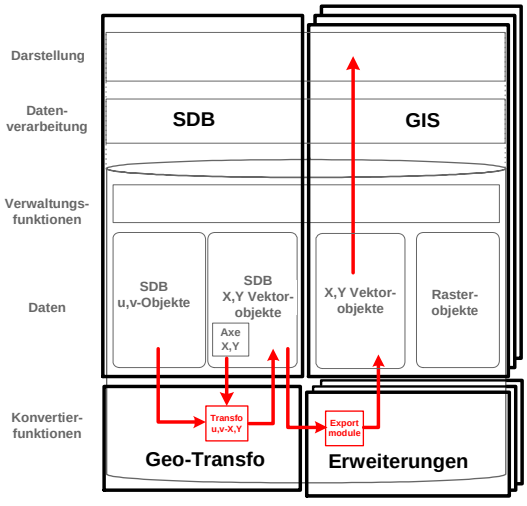
Architektur In1



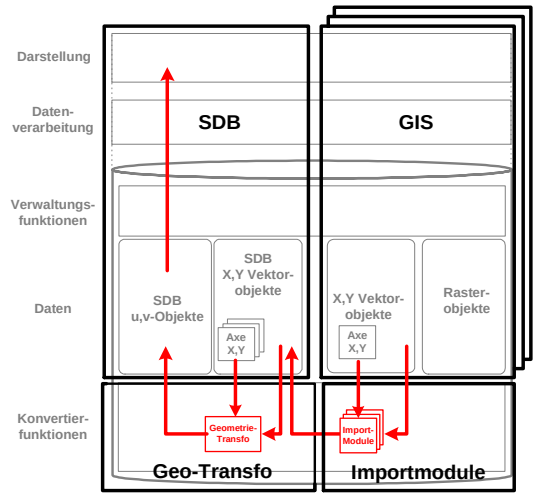
Architektur Out2



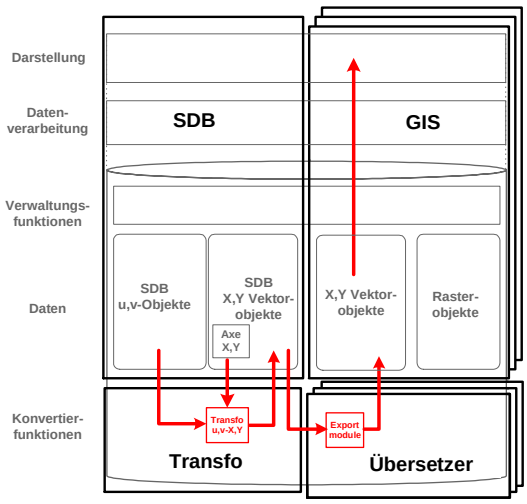
Architektur In2



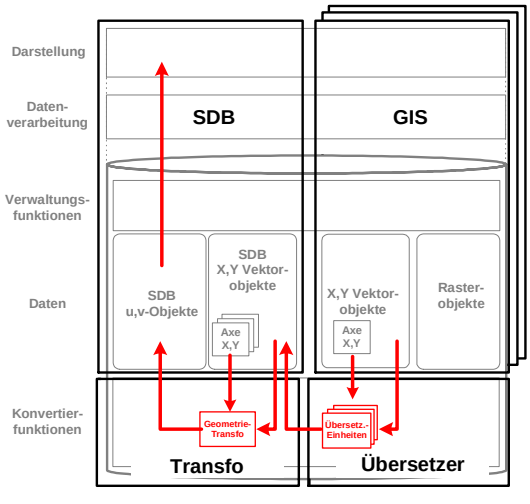
Architektur Out3



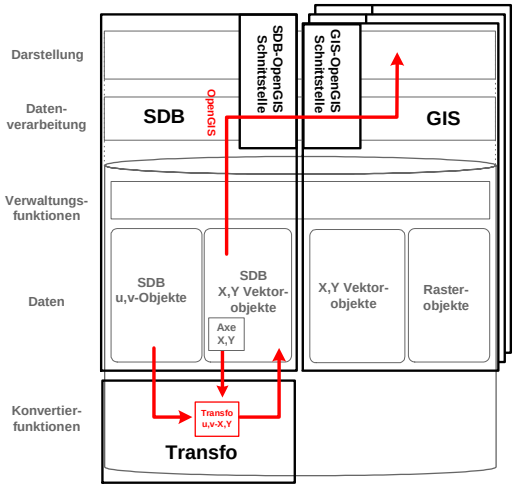
Architektur In3



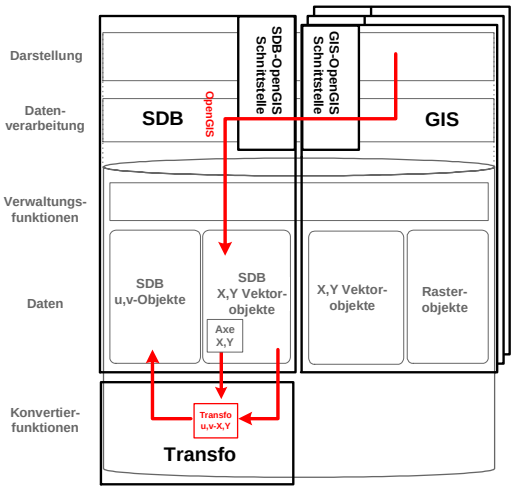
Architektur Out4



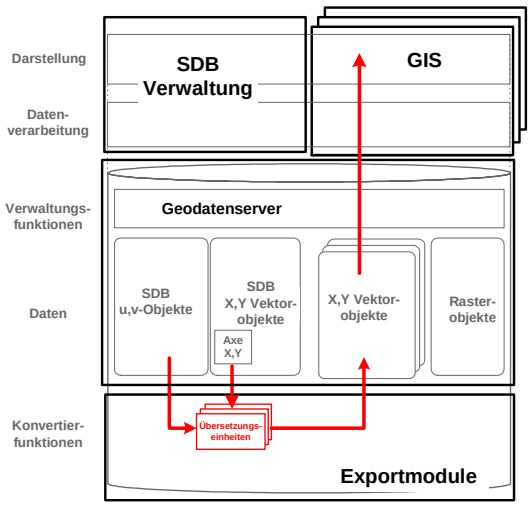
Architektur In4



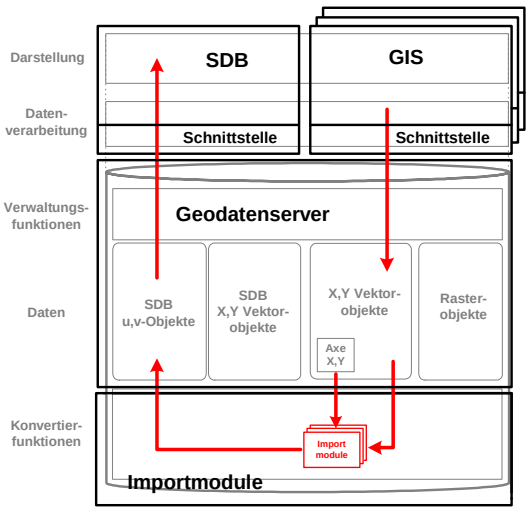
Architektur Out5



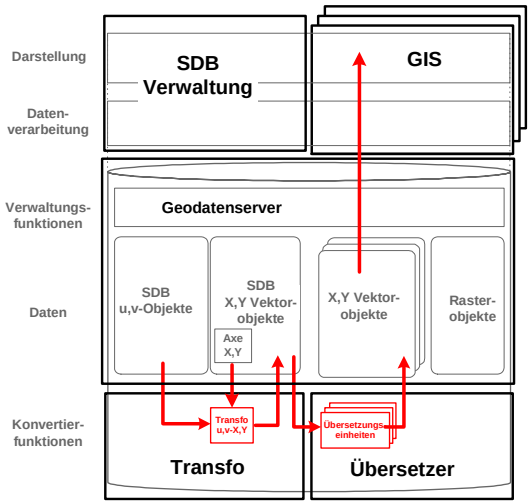
Architektur In5



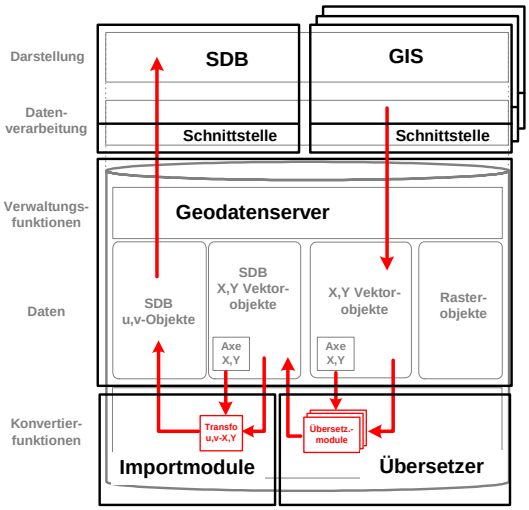
Architektur Out6



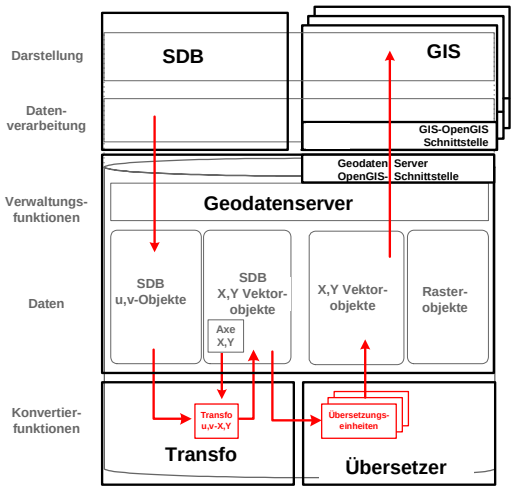
Architektur In6



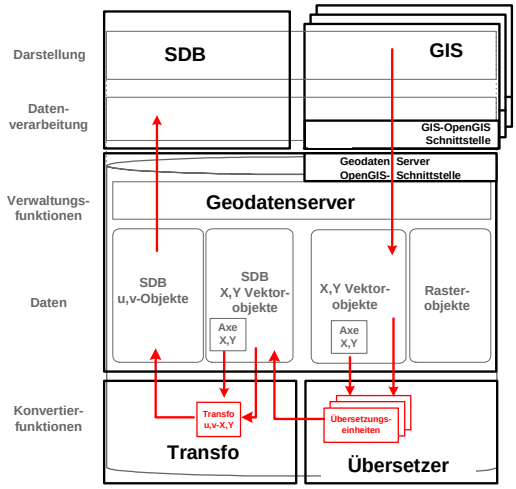
Architektur Out7



Architektur In7



Architektur Out8



Architektur In8

5 BESCHREIBUNG DER MÖGLICHEN LÖSUNGEN

5.1 Proprietäre, zentralisierte Architektur

5.1.1 Architektur Out1

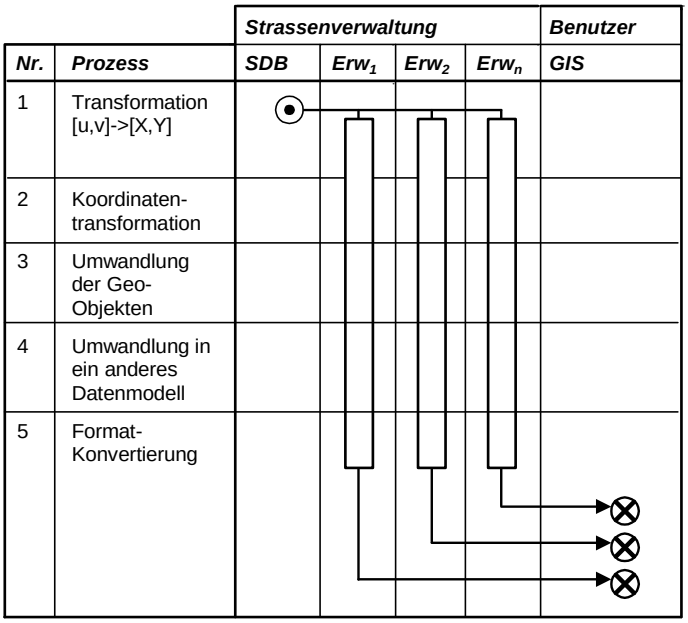


Abbildung 5-1: Aufgabenverteilung in der Architektur Out1

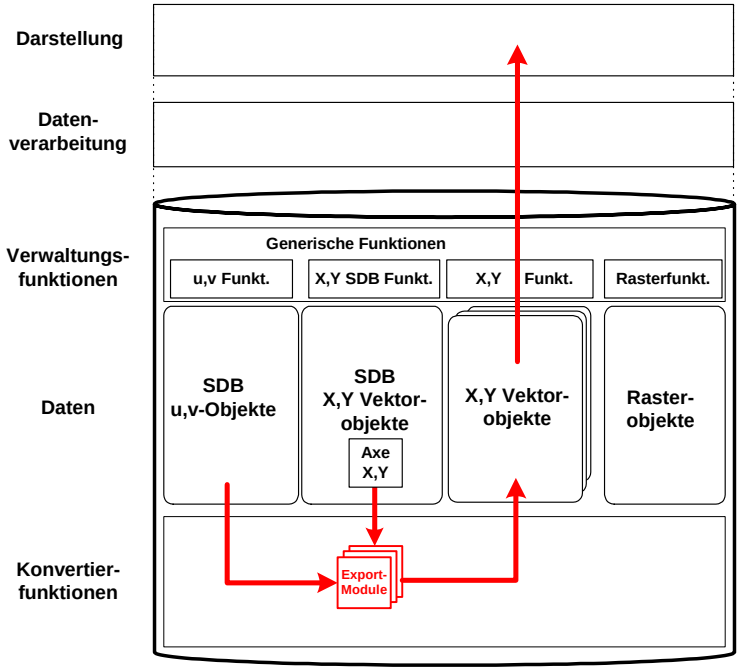


Abbildung 5-2: Logische Architektur Out1

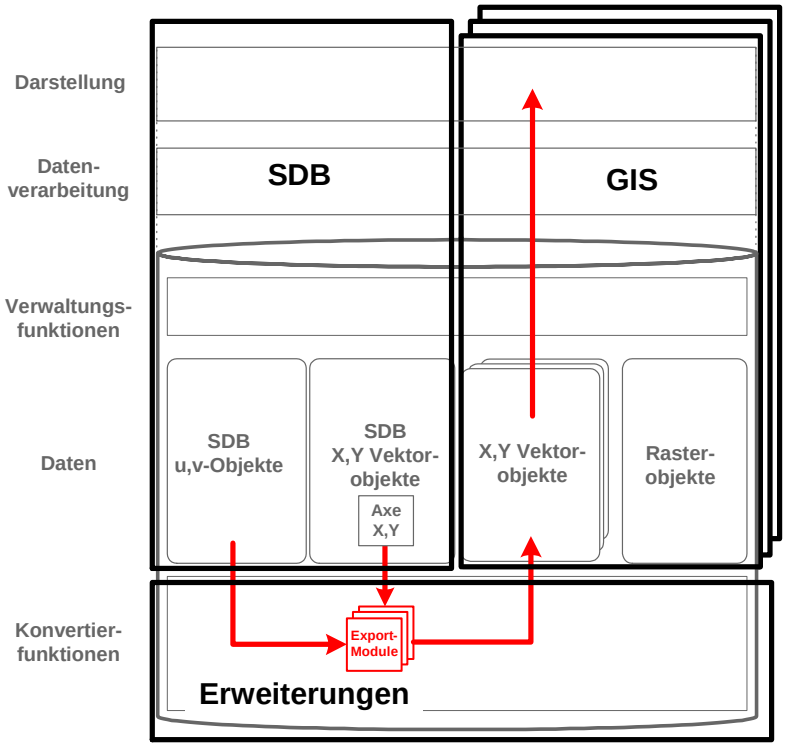


Abbildung 5-3: Physische Architektur Out1

Die Abbildung 5-1 zeigt die für den Datenexport aus der SDB notwendigen Etappen und gliedert sie nach den verantwortlichen Beteiligten und den Entwicklungsmodulen. Bei der Architektur Out1 werden alle Prozesse durch den SDB-Verwalter durchgeführt, d.h. er konvertiert und transformiert die Strassendaten in die vom GIS-Benutzer gewünschte Form. Für jede GIS-Software und für jedes im GIS genutzte Datenmodell wird ein Exportmodul entwickelt. Jedes Exportmodul führt alle notwendigen Etappen durch. Dies führt dazu, dass alle Etappen für jede GIS-Anwendung neu entwickelt werden müssen.

Unter GIS-Anwendung versteht man ein Datenmodell, das mit einer GIS-Software umgesetzt wird. Selbst wenn das Datenmodell identisch ist, aber die eine Anwendung mit MapInfo und die andere mit ArcView umgesetzt ist, müssen zwei komplette Exportmodule erstellt werden.

In der heutigen STRADA-Architekur existiert ein Exportmodul "TransfoXY", welches die Strassendaten für ArcView auf das X,Y-Koordinatensystem transformiert und sie in das entsprechende ArcView-Format (shapefiles) konvertiert. TransfoXY beinhaltet jedoch weder die Umstrukturierung der Strassendaten, noch die Koordinatentransformation auf unterschiedliche Projektionen.

In dieser Architektur greift das Export-Modul auf die Strassenobjekte mit linearem Raumbezug zu, errechnet deren X,Y-Geometrie mit Hilfe der Geometrie der Strassenaxe, konvertiert und transformiert diese Daten und legt sie als Vektorobjekte in gewünschter Form ab (z.B. shapefiles). Die entsprechende GIS-Anwendung kann nun auf die Vektorobjekte zugreifen.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

– Jedes Export-Modul besteht nur aus den nötigen und optimierten Funktionen für eine gegebene GIS-Anwendung, d.h. die Exportmodule werden anwendungsorientiert entwickelt. Man riskiert keine zeit- und kostenintensive Entwicklung von generischen Modulen, deren Nutzung für andere Anwendungen in Zukunft nicht garantiert wird.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Die SDB- und die GIS-Daten kommen aus verschiedenen Quellen und werden an verschiedenen Orten gespeichert. Eine Kontrolle ist daher schwierig.
- Jede neue GIS-Anwendung (GIS-Software und/oder GIS-Datenmodell) benötigt eine neue Software-Entwicklung.
- Eine solche Lösung kann auf lange Sicht nicht wirtschaftlich sein, wenn man schon heute die Vielfalt der GIS-Anwendungen mit einbezieht.
- Dieselben Strassenobjekte müssen auf Grund unterschiedlicher Formate mehrfach bereit gestellt werden. Wenn beispielsweise ein Informationssystem mit einem ihm eigenen Datenmodell vorsieht, dass seine Daten durch Geomedia von Intergraph und ArcInfo von ESRI verwaltet werden sollen, müssen jeweils zwei Vektorobjekte bereitgestellt werden, obwohl sie aus semantischer und konzeptioneller Sicht identisch sind.
- Die neuen Software-Entwicklungsmethoden, u.a. Objekt-orientierte Methoden auch im GIS-Bereich, setzen keine langlebige Datenstruktur mehr als oberstes Ziel voraus. Diese Tatsache schränkt die zeitliche Nutzung eines Export-Moduls noch weiter ein.

Falls eine schnelle Lösung für eine konkrete GIS-Anwendung benötigt wird, kann diese Architektur durchaus vertreten werden. Da aber eine breite Streuung von Strassendaten, und deren Nutzung von möglichst vielen GIS-Anwendungen angestrebt wird, ist diese Architektur mittel- und längerfristig nicht empfehlenswert.

5.1.2 Architektur In1

		Benutzer	Strassenverwaltung			
Nr.	Prozess	GIS	Erw_1	Erw_2	Erw_n	SDB
1	Konvertierung in SDB-Format					
2	Umwandlung in SDB-Datenmodell					
3	Transformation in Landes-koordinaten					
4	Umwandlung in eine SDB-Geometrie					
5	Transformation [X,Y] in [u,v]					

Abbildung 5-4: Aufgabenverteilung der Architektur In1

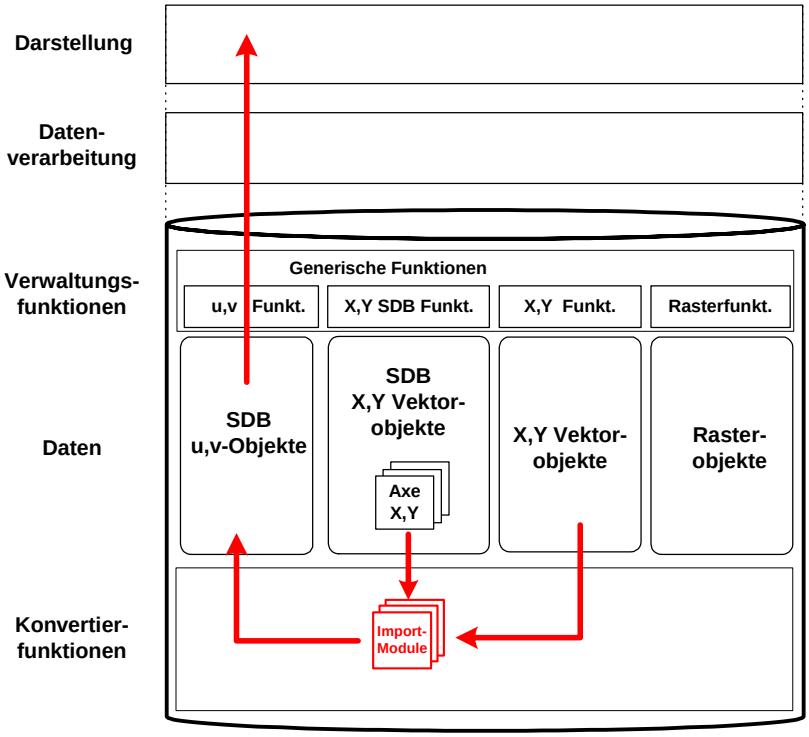


Abbildung 5-5: Logische Architektur In1

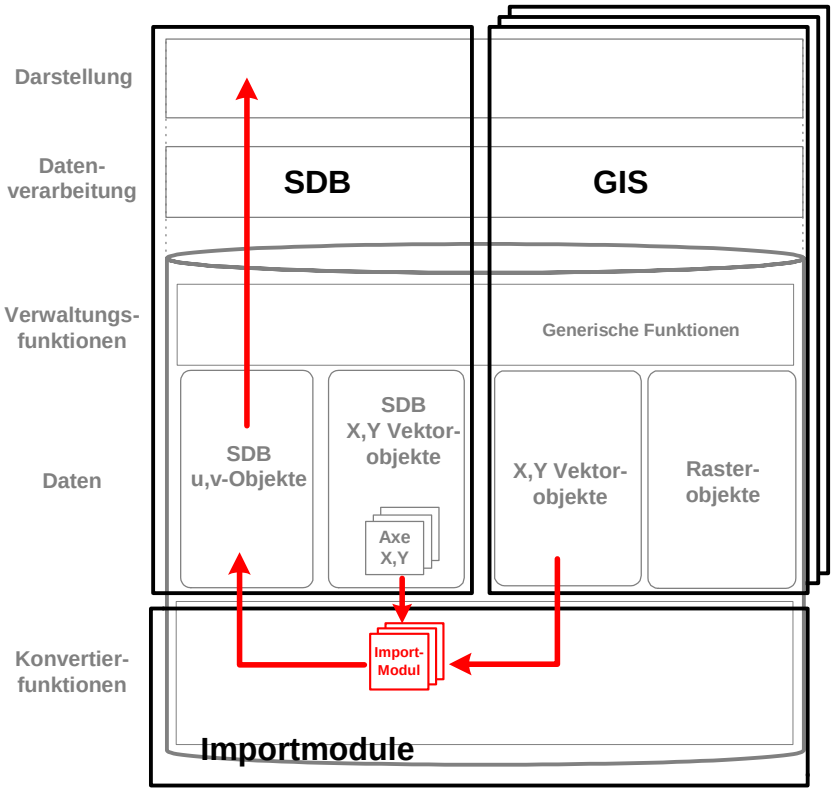


Abbildung 5-6: Physische Architektur In1

In der Architektur In1 werden alle Schritte durch den SDB-Verwalter durchgeführt. Pro GIS-Quellsystem muss ein Importmodul entwickelt werden.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Falls die Daten hauptsächlich aus einer einzigen Quell-GIS-Anwendung stammen, gestaltet sich die Entwicklung des Importmoduls relativ kostengünstig gegenüber der Entwicklung von generischen Modulen.
- Diese Architektur ermöglicht insbesondere das Erstellen eines interaktiven, GIS-basierenden Erfassungstools für SDB-Daten. Über die stetige Kommunikation der SDB-Applikation und des GIS-Produkts kann das GIS-System direkt Verwaltungsfunktionen des SDB übernehmen. Für den Benutzer hat dies den Vorteil, dass er die SDB-Daten auf der SDB-Applikation und auf der GIS-Schnittstelle im geographischen Kontext konsultieren kann. Diese Architektur erlaubt die Ausschöpfung aller Funktionen einer gegebenen GIS-Software.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Für mehrere Quell-GIS-Anwendungen und GIS-Produkt kann eine proprietäre Lösung langfristig sehr teuer werden, da der Import für jedes Quellsystem von Grund auf neu konzipiert und entwickelt werden muss.
- Diese Architektur ist von kurzlebigen Datenmodellen abhängig.

Diese Architektur kann für die Entwicklung eines auf einem GIS-Produkt beruhenden Erfassungssystems für Strassendaten angewandt werden. Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese Architektur proprietär ist und dass die zu entwickelnden Importmodule vom gewählten GIS-Produkt abhängen.

5.2 Proprietäre, dezentrale Architektur

5.2.1 Architektur Out2

		SDB-V	Benutzer			
Nr.	*Prozess*	*SDB*	*Erw$_1$*	*Erw$_2$*	*Erw$_n$*	*GIS*
1	Transformation [u,v]->[X,Y]					
2	Koordinaten-transformation					
3	Umwandlung der Geo-Objekten					
4	Umwandlung in ein anderes Datenmodell					
5	Format-Konvertierung					

Erw: Erweiterung

Abbildung 5-7: Aufgabenverteilung der Architektur Out2

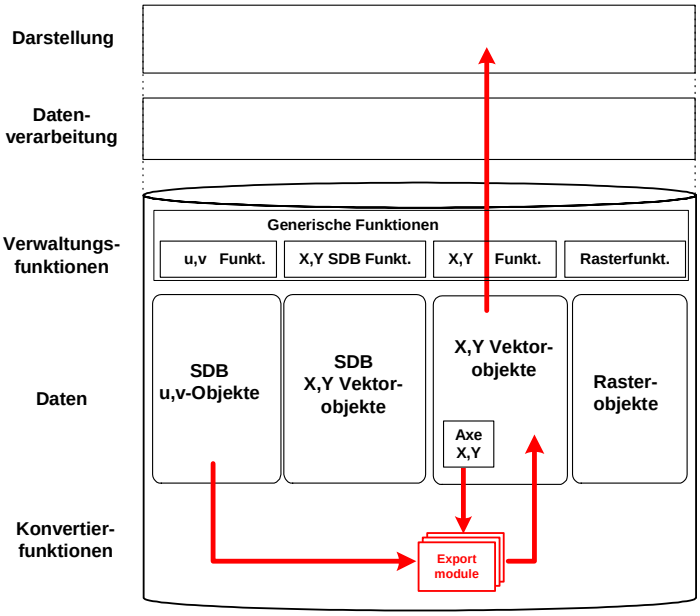


Abbildung 5-8: Logische Architektur Out2

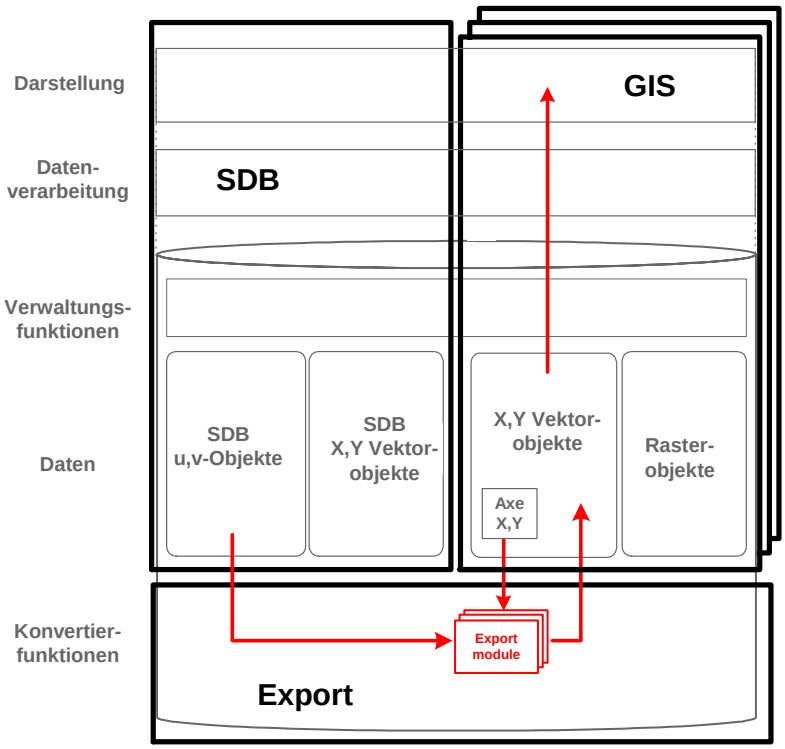


Abbildung 5-9: Physische Architektur Out2

In der Architektur Out 2 erfolgt der Grossteil der Arbeitsschritte durch den GIS-Benutzer. Der Strassenverwalter gibt lediglich die Strassendaten in u,v-Koordinaten ab, während der GIS-Benutzer diese transformiert und in sein GIS einliest. Um die u,v -> X,Y Koordinatentransformation durchführen zu können, benötigt der GIS-Benutzer eine Strassengeometrie, welche den Axdefinitionen in der SDB entspricht. Der GIS-Benutzer kann die Strassendaten nach Belieben konvertieren und verarbeiten. Die Integrität dieser Strassendaten muss er jedoch selbst gewährleisten.

Diese Architektur minimiert den Aufwand für die Strassenverwaltungen, jedoch setzt sie erhebliche Kenntnisse über die Strassendaten, insbesondere über das lineare Basis-Bezugssystem, beim GIS-Benutzer voraus. Zudem ist der Aufwand für den GIS-Benutzer erheblich, so dass die Nutzung der Strassendaten durch diese Architektur beträchtlich eingeschränkt wird.

Vorteile dieser Architektur sind:

- Wenig Aufwand seitens der Strassenverwaltungen

Nachteile dieser Architektur sind:

- Beachtliche Kenntnisse sind beim GIS-Benutzer notwendig
- Grosser Aufwand beim GIS-Benutzer, um die Strassendaten zu integrieren
- Qualität der in GIS-Produkten genutzten Strassendaten kann nicht vom SDB-Verwalter beeinflusst werden.
- Integrität wird extern sichergestellt.

5.2.2 Architektur In2

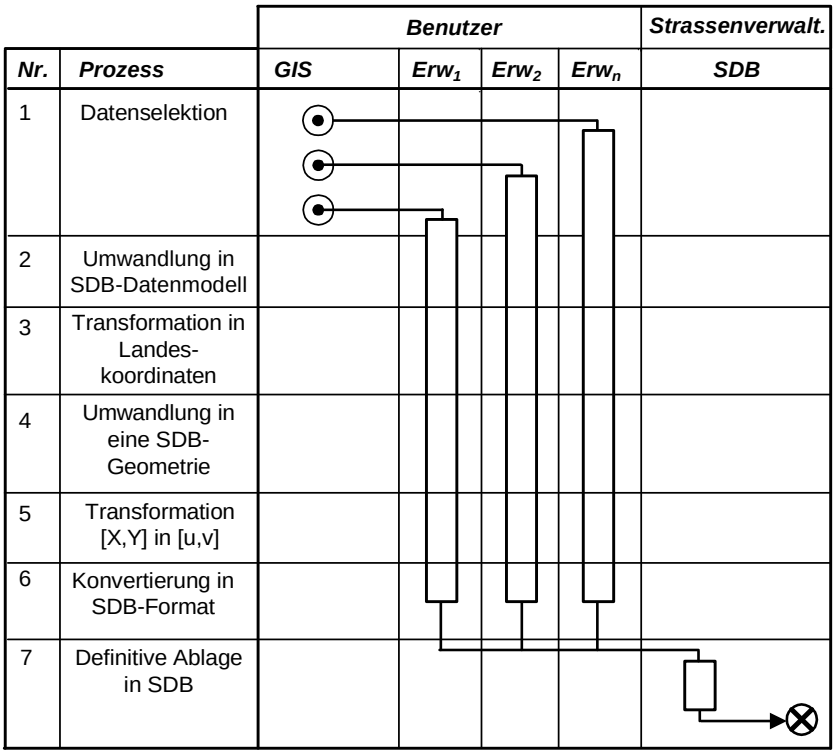


Abbildung 5-10: Aufgabenverteilung der Architektur In2

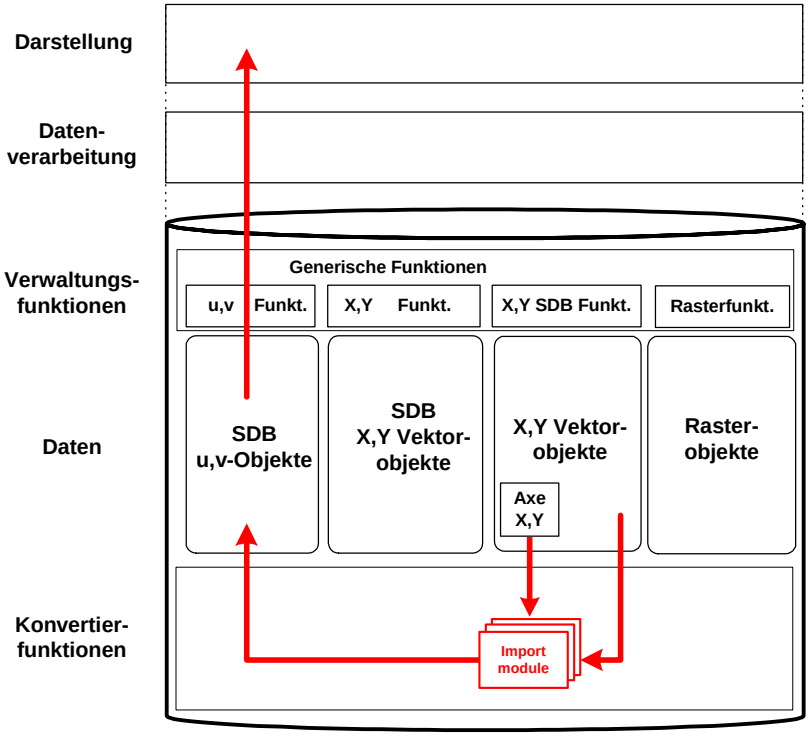


Abbildung 5-11: Logische Architektur In2

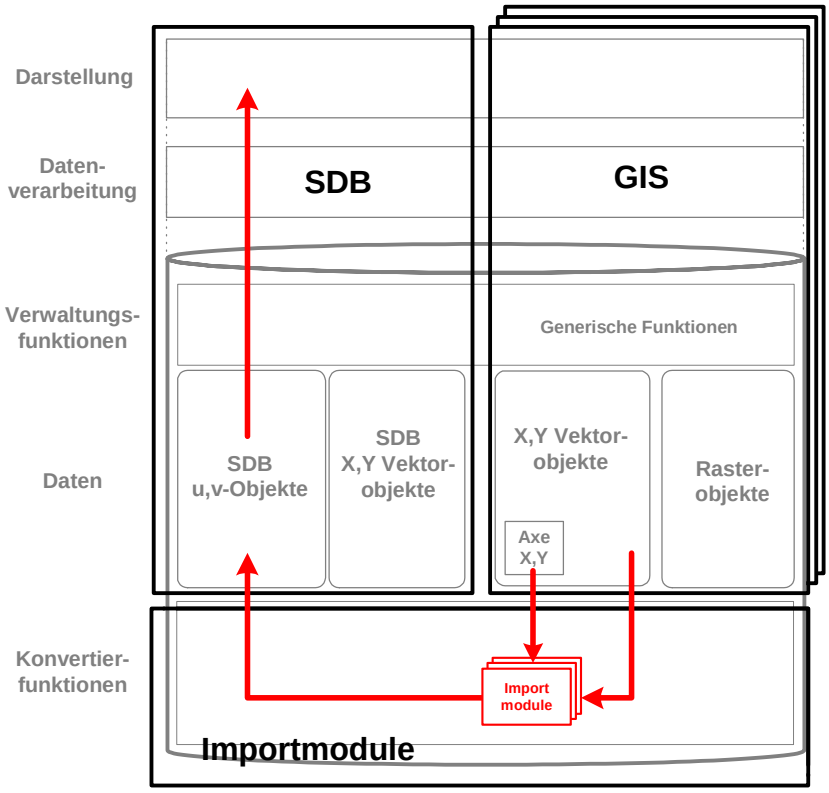


Abbildung 5-12: Physische Architektur In2

In dieser Architektur erwartet die Strassenverwaltung die Datenlieferungen von den GIS-Benutzern im SDB Format. Die nötigen Transformationen werden von den GIS-Benutzern durchgeführt.

Vorteile einer solchen Architektur:

- Wenig Aufwand für die Strassenverwaltung

Nachteile einer solchen Architektur:

- Im allgemeinen können nur strassenspezifische Daten direkt genutzt werden. Daten aus anderen Fachbereichen müssen zuvor mit Hilfe einer Geometrie der Strassenaxen von X,Y -> u,v transformiert werden.
- Die semantische Qualität der Daten ist insbesondere für Daten aus anderen Fachbereichen nicht gewährleistet.
- Eine Koordination zwischen den Datenlieferanten (GIS-Benutzer) ist praktisch unmöglich.

5.3 Proprietäre Architektur mit Transformationsmodul

5.3.1 Architektur Out3

		Strassenverwaltung					*Benutzer*
Nr.	***Prozess***	***SDB***	***Transfo***	***Erw_1***	***Erw_2***	***Erw_n***	***GIS***
1	Transformation [u,v]->[X,Y]						
2	Koordinaten-transformation						
3	Umwandlung der Geo-Objekten						
4	Umwandlung in ein anderes Datenmodell						
5	Format-Konvertierung						

Abbildung 5-13: Aufgabenverteilung der Architektur Out3

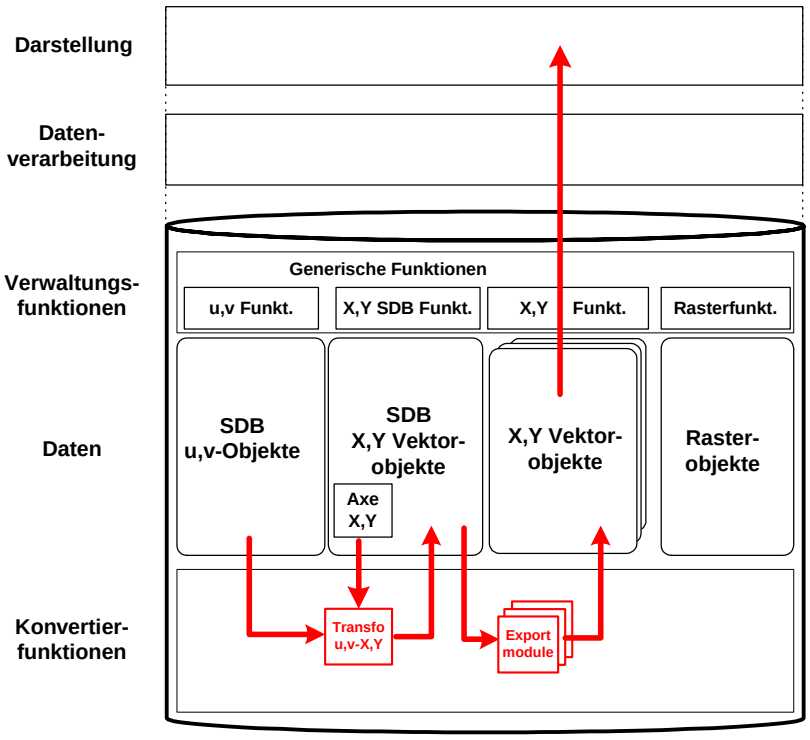


Abbildung 5-14: Logische Architektur Out3 mit einem Transformationsmodul

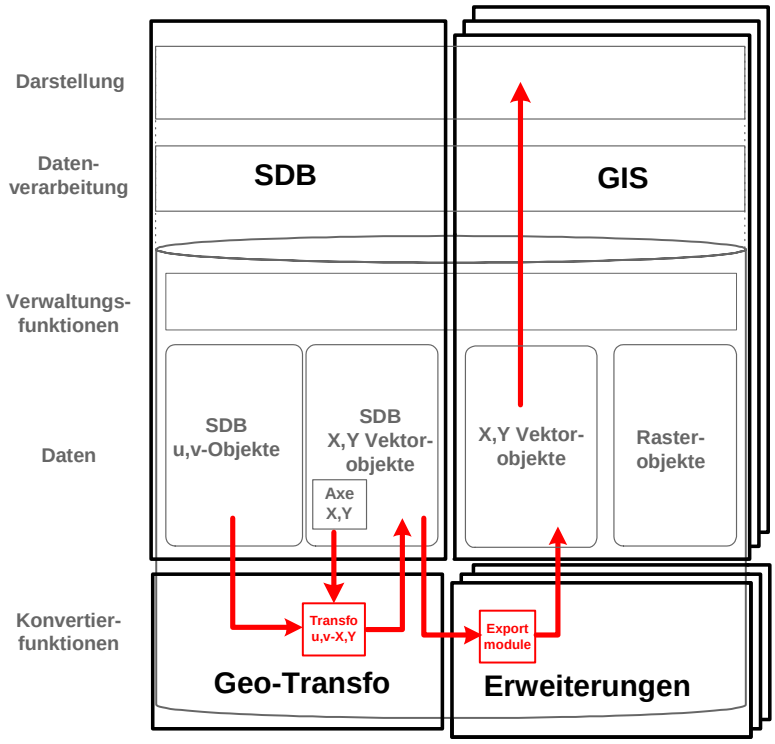


Abbildung 5-15: Physische Architektur Out3

Diese Architektur trennt die u,v -> X,Y Transformation von den anderen Prozessen. Dies wird damit begründet, dass diese Transformation nur einmal pro Axgeometrie durchgeführt werden muss, unabhängig vom Zielsystem. Sie legt die berechneten X,Y Koordinaten der Strassenobjekte in der Datenbank ab. Die Koordinatentransformation, Umwandlung der Geo-Objekte deren Datenstruktur, sowie die Formatkonvertierung werden von spezifischen Exportmodulen durchgeführt.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Zentrale Ausführung der u,v -> X,Y Transformation. Falls die dabei entstandenen SDB X,Y Vektorobjekte permanent abgelegt werden, muss die Transformation nur einmal pro Axgeometrie durchgeführt werden.
- Falls mehrere Schnittstellen zu GIS-Anwendungen genutzt werden, erfolgt der Datenaustausch dank der zentralen Transformationsfunktion immer nach derselben Methodik. X,Y Koordinaten werden somit zuverlässiger.
- Die Erstellung von Schnittstellen zu weiteren GIS-Anwendungen wird durch die Ausgliederung der u,v->X,Y Transformation erleichtert.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Jede neue GIS-Anwendung, die SDB-Daten nutzen will, erfordert dennoch einen grossen Aufwand für die Softwareentwicklung aufgrund der individuellen Exportmodule.

5.3.2 Architektur In3

		Benutzer	Strassenverwaltung				
Nr.	Prozess	GIS	Erw_1	Erw_2	Erw_n	GeoMod.	SDB
1	Konvertierung in SDB-Format						
2	Umwandlung in SDB-Datenmodell						
3	Transformation in Landes-koordinaten						
4	Umwandlung in eine SDB-Geometrie						
5	Transformation [X,Y] in [u,v]						

Abbildung 5-16: Aufgabenverteilung der Architektur In3

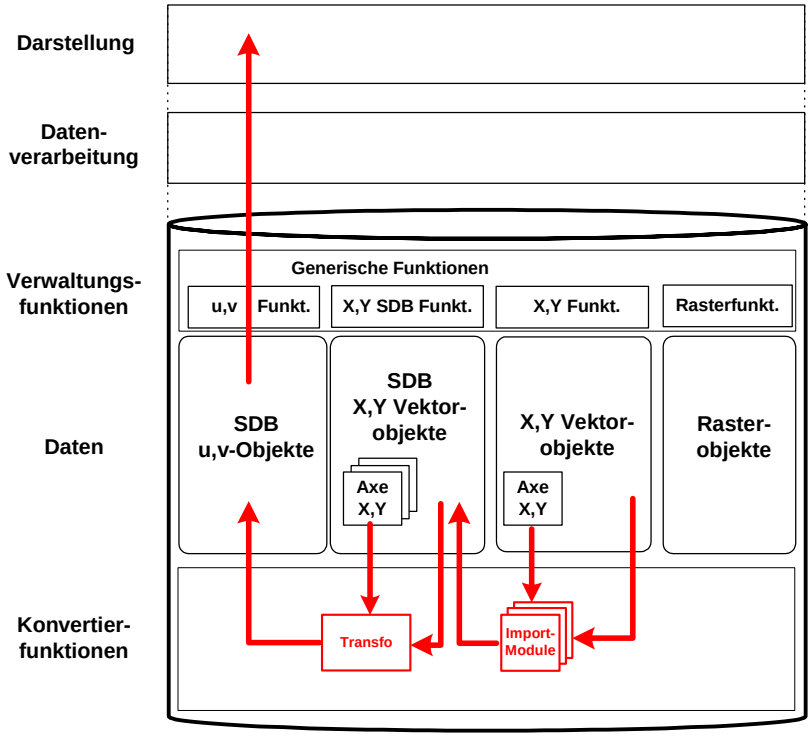


Abbildung 5-17: Logische Architektur In3

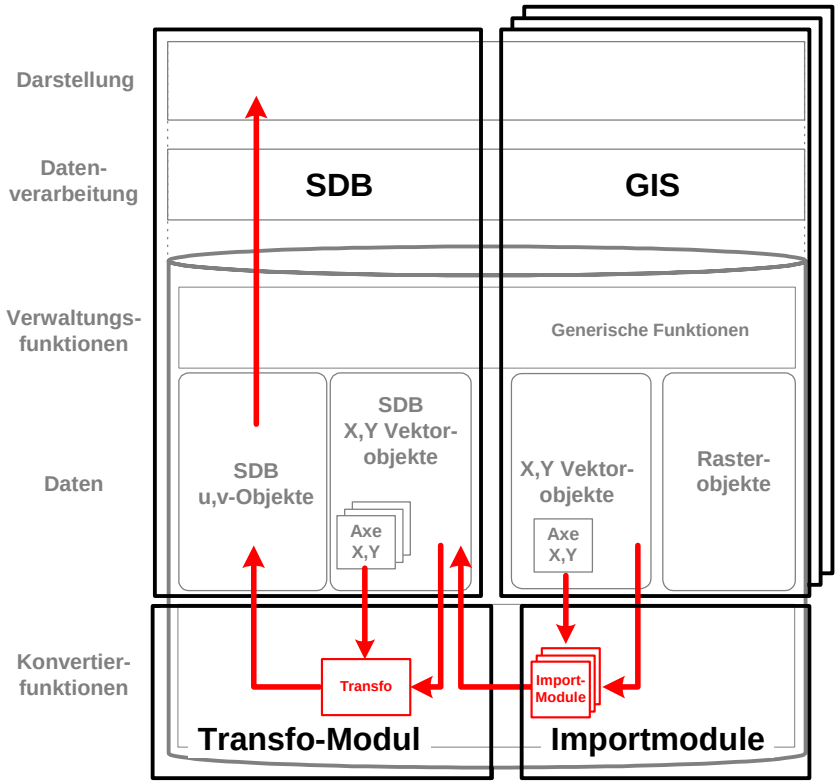


Abbildung 5-18: Physische Architektur In3

Im Vergleich mit der Architektur In1, wird die Transformation X,Y->u,v ausgegliedert und zentral von der Strassenverwaltung durch das Transfo-Modul durchgeführt. Die für die Transformation benötigte Geometrie der Strassenaxe muss im entsprechenden Massstab in der SDB abgelegt sein. Um die Geometrie der Strassenaxe identifizieren zu können, müssen die notwendigen Metadaten (z.B. Massstab, Präzision, Erhebungstechnologie usw.) zu den entsprechenden geographischen Daten der Strassenobjekte mitgeliefert werden.

Der GIS-Benutzer muss ebenfalls eine Axgeometrie zur Verfügung haben. Die X,Y-Vektorobjekte, die im GIS verwaltet werden und in die SDB importiert werden sollen, müssen in SDB-Vektorobjekte umgewandelt werden. Dieser Abstraktionwechsel bedeutet unter anderem, dass die Geometrien der XY-Vektorobjekte in den linearen Raumbezug transformiert werden müssen.

Es ist zu beachten, dass die für die X,Y->u,v Transformation verwendete Axgeometrie der SDB und die für den Abstraktionswechsel benutzte Axgeometrie des GIS identisch sein müssen, damit die in die SDB integrierten Vektorobjekte als SDB-Abstraktion erkannt werden. Ansonsten benötigen die zu importierenden Vektorobjekte die Metadaten zu der für den Abstraktionswechsel verwendeten Axgeometrie.

Vorteile einer solchen Architektur:

- Wiederverwendbarkeit des X,Y->u,v Moduls für Daten von mehreren Quellsystemen
- Dieselben Vorteile wie Architektur In1

Nachteile einer solchen Architektur:

- Dieselben Nachteile wie Architektur In1

5.4 Architektur mit Übersetzer

5.4.1 Architektur Out4

		Strassenverwaltung				*Benutzer*
Nr.	***Prozess***	***SDB***	***Transfo***	***Erw.***	***Übersetzer (z.B. FME)***	***GIS***
1	Transformation [u,v]->[X,Y]					
1b	Formatierung					
2	Koordinaten-transformation				(ev.)	
3	Umwandlung der Geo-Objekten					
4	Umwandlung in ein anderes Datenmodell					
5	Format-Konvertierung					

Abbildung 5-19: Aufgabenverteilung der Datentransformation zwischen den verschiedenen Modulen für die Architektur Out4

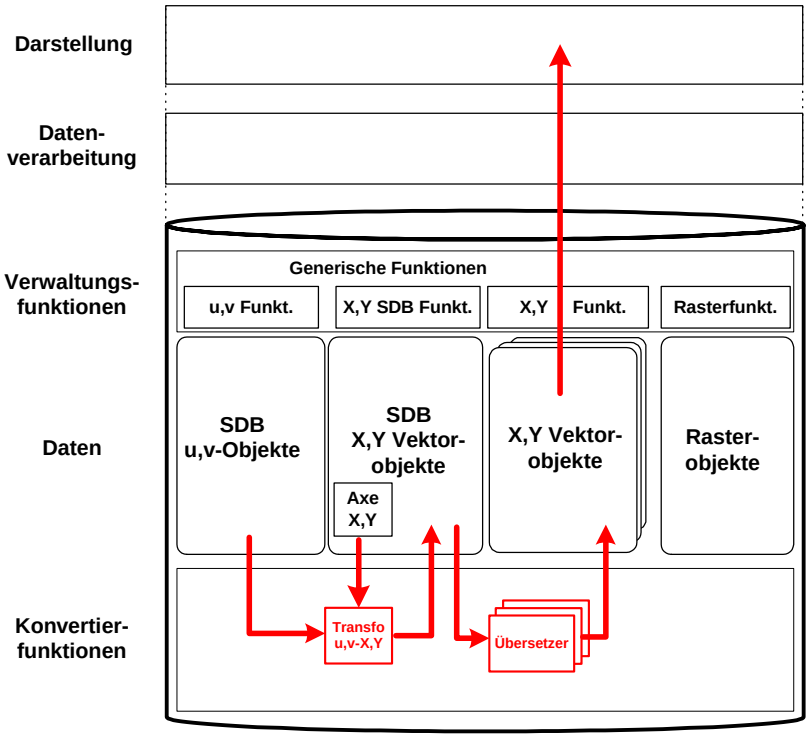


Abbildung 5-20: Logische Architektur Out4

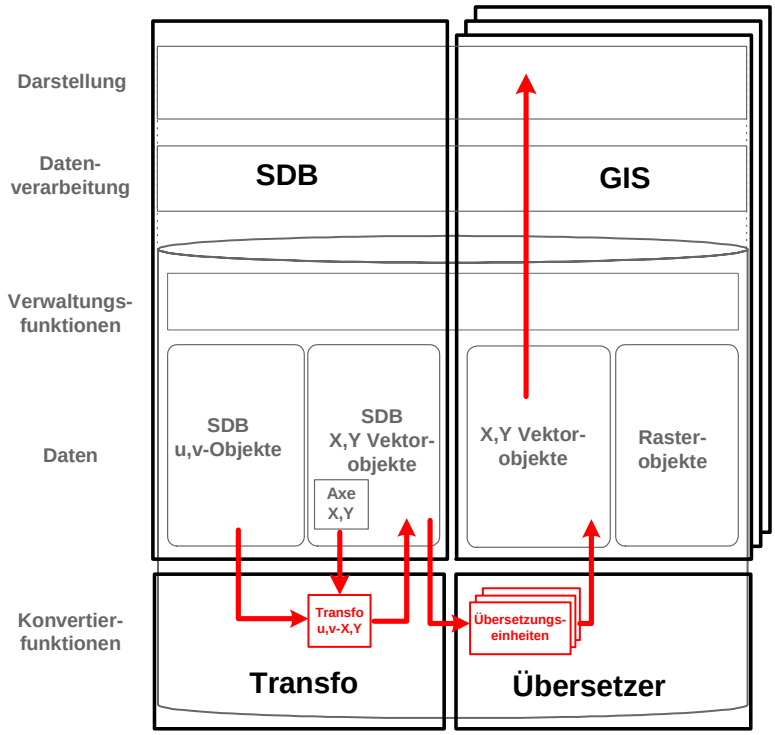


Abbildung 5-21: Physische Architektur Out4

Die Architektur Out4 unterscheidet sich von Out3 durch die aus der SDB ausgegliederten Transformationsprozesse. Koordinatentransformation, Umwandlung der Geo-Objekte, sowie Umstrukturierung der Daten können von einer eigenen Softwareapplikation umgesetzt werden. Die u,v->X,Y Transformation sollte jedoch eine Erweiterung der SDB bleiben, da die Definition des linearen Basis-Bezugssystems mit [u,v] Koordinaten SDB-spezifisch ist und somit nicht in eine generische Softwareanwendung eingebettet werden sollte. Wird diese Softwareanwendung oder Übersetzungssoftware komponentenweise realisiert, so kann jeder Prozess à priori unabhängig von anderen durchgeführt werden. Zur sinnvollen Kombination dieser Prozesse sind jedoch verschiedene Regeln zu beachten. Es ist beispielsweise wenig sinnvoll, der geometrische Anteil der Strassenobjekte in ArcView Geo-Objekte umzuwandeln und dann in ein Intergraph DGN Format zu konvertieren.

Die Ausgliederung dieser Prozesse ermöglicht die Nutzung von bestehender, auf dem Markt zugänglicher Übersetzungssoftware wie beispielsweise FME, GeoMorph oder Geographic Translator.

Die Strassendaten aus der SDB müssen in einem Zwischenschritt (Nr. 1b) in ein für den Übersetzer lesbares Format konvertiert werden.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Nutzung von bestehenden Softwarekomponenten und Produkten. Insbesondere der Bereich der Koordinatentransformation und der Formatkonvertierung in GIS-Systeme muss wenig ergänzt werden.
- Die verschiedenen Prozesse können a priori unabhängig von den anderen durchgeführt werden.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Eine Umformatierung zum Übersetzer muss erstellt werden
- Schlechtere Integration in SDB

5.4.2 Architektur In4

		Benutzer	Strassenverwaltung		
Nr.	Prozess	GIS	Übersetzer	GeoMod.	SDB
1	Konvertierung in SDB-Format				
2	Umwandlung in SDB-Datenmodell				
3	Transformation in Landes-koordinaten				
4	Umwandlung in eine SDB-Geometrie				
5	Transformation [X,Y] in [u,v]				

Abbildung 5-22: Aufgabenverteilung der Architektur In4

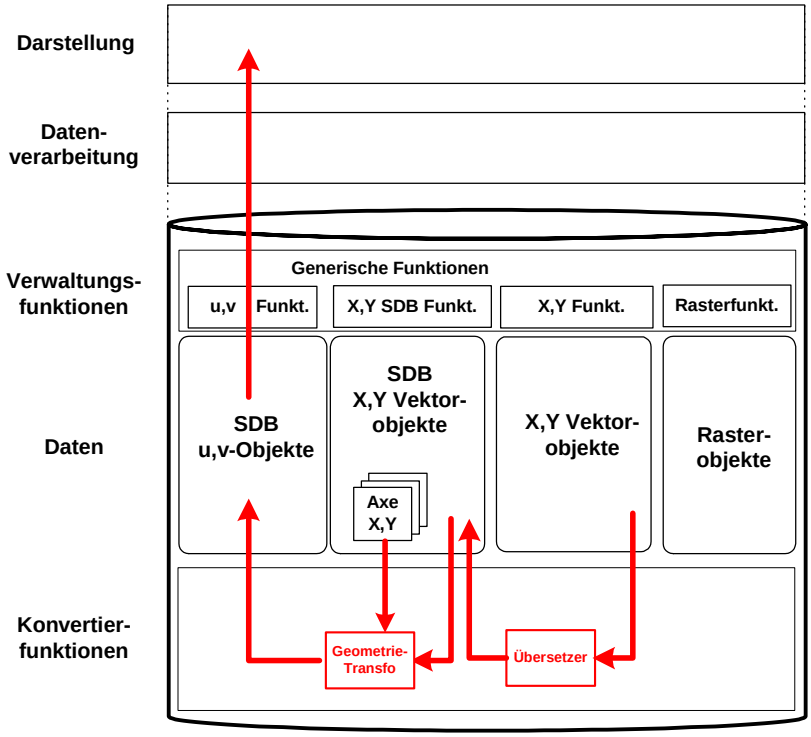


Abbildung 5-23: Logische Architektur In4

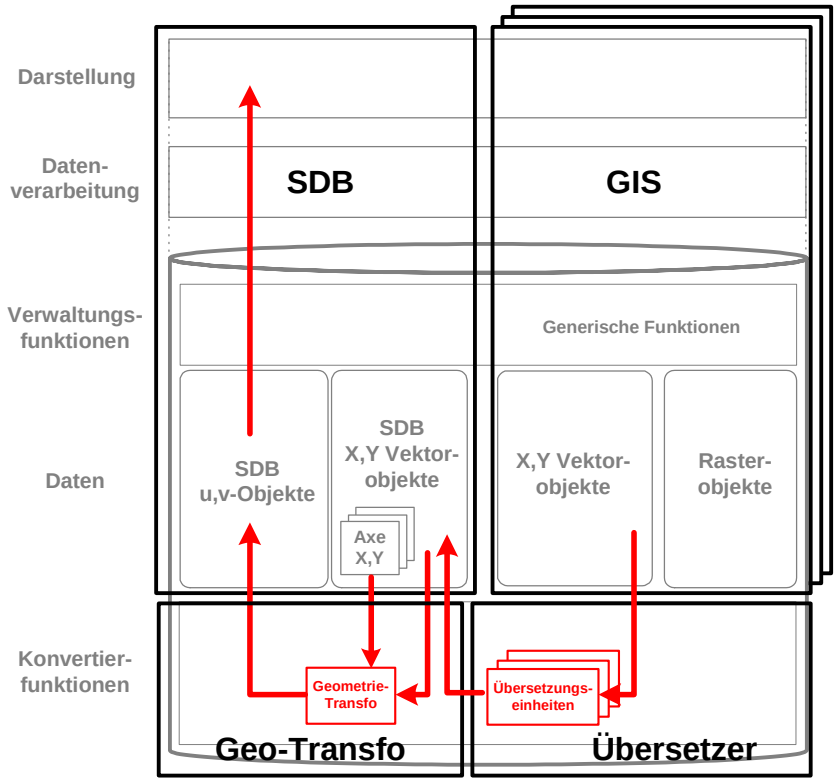


Abbildung 5-24: Physische Architektur In4

Diese Architektur nutzt die Komponenten der bestehenden Übersetzer. Der Prozess 1 "Konvertierung in SDB-Format" und 3 "Transformation in Landeskoordinaten" kann von bestehenden Produkten ausgeführt werden, während für die anderen Prozesse eigene Komponenten entwickelt oder bestehende Komponenten ergänzt werden müssen.

Vorteile einer solchen Architektur:

– Nutzung von bestehenden Komponenten für die Transformation der geographischen Daten in Landeskoordinaten.

Nachteile einer solchen Architektur:

– Für die kleine Zahl der Quellsysteme scheint der Kauf eines Übersetzers, der ausschliesslich für den Datenimport genutzt wird, nicht gerechtfertigt.

5.5 Architektur mit OpenGIS-Schnittstelle

5.5.1 Architektur Out5

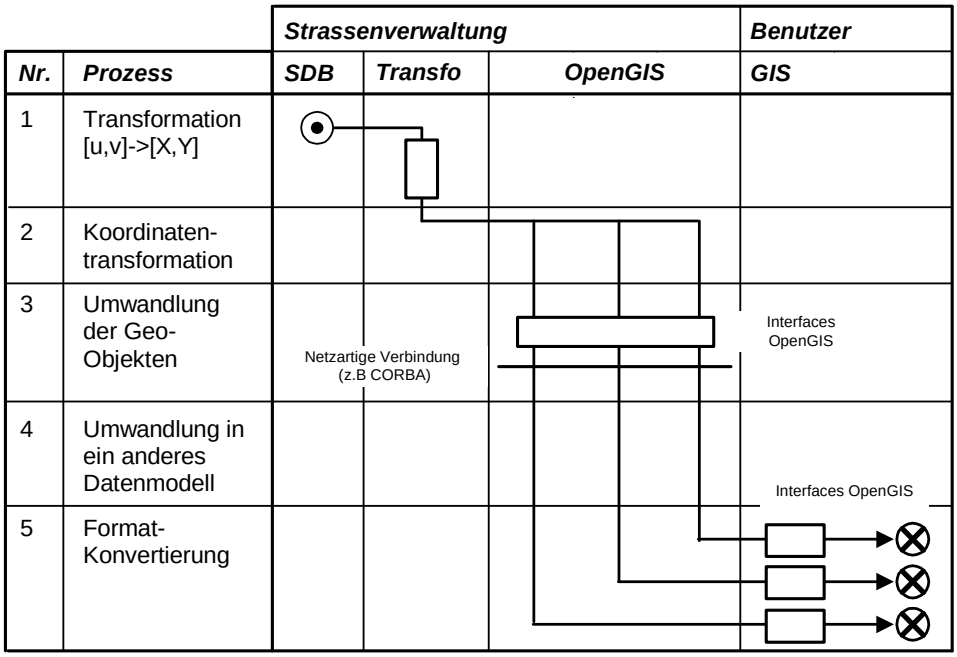


Abbildung 5-25: Aufgabenverteilung der Architektur Out5

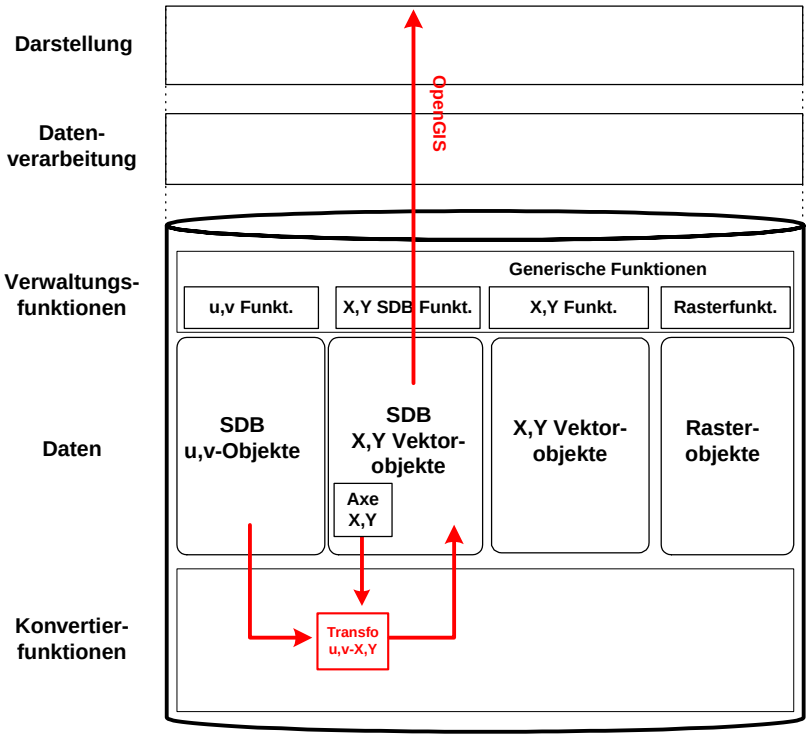


Abbildung 5-26: Logische Architektur Out5

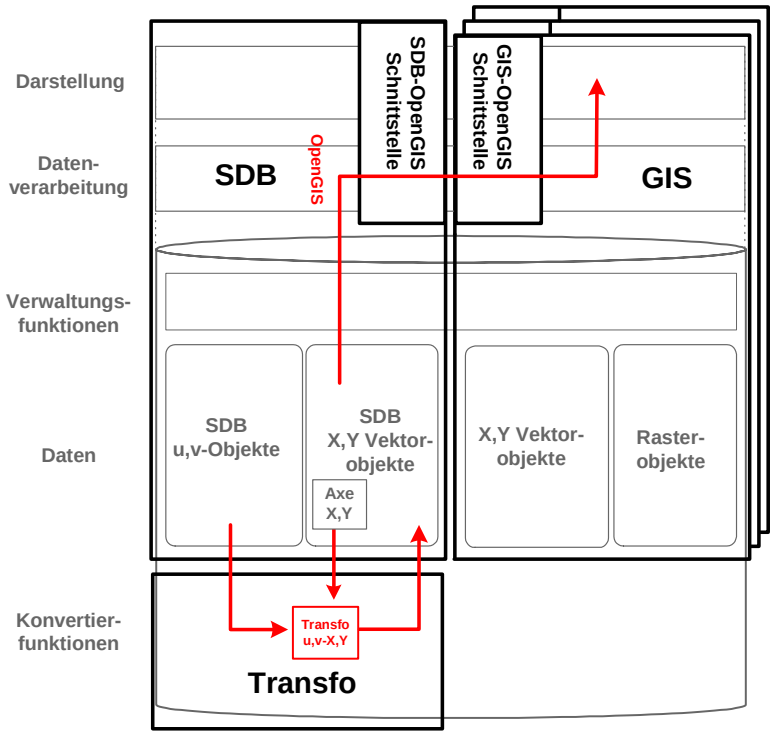


Abbildung 5-27: Physische Architektur Out5

Die aufgrund der OpenGIS Spezifikation erstellte Architektur erfordert eine Vernetzung der SDB und der Zielsysteme (GIS-Anwendungen) im Stile von CORBA oder DCOM. Ziel ist es, die SDB-Daten allen Systemen im Netz zugänglich zu machen, und CORBA kompatible Verwaltungsfunktionen und OpenGIS kompatible GIS-Funktionen dem ganzen Netzwerk zu Verfügung zu stellen. Diese Konfiguration ist nicht eine Einweglösung SDB nach GIS, sondern stellt die Interoperabilität (bilateral bezüglich Funktionen und Daten) auf dem ganzen Netzwerk sicher. Es ist beispielsweise möglich, dass bei der Änderung eines Strassenobjektes in der SDB praktisch in Echtzeit alle abhängigen Objekte auf jedem vernetzten GIS-System nachgeführt werden.

Die Spezifikationen des OpenGIS standardisiert einzelne Metaobjekte, insbesondere die Geo-Objekte und geographische bzw. topologische Verarbeitungs- und Verwaltungsfunktionen (typische GIS-Funktionen). Geo-Objekte und GIS-Funktionen, die nicht diesen Spezifikationen entsprechen, können nicht für ganze Netzwerke zur Verfügung gestellt werden. Zudem wurden einige OpenGIS-Implementationsempfehlungen erstellt, die den Softwareentwickler zur Erstellung der OpenGIS-Schnittstelle unterstützen.

Die Funktionen zur Koordinatentransformation und zur Datenumstrukturierung werden durch die OpenGIS Spezifikationen nicht beschrieben. Koordinatentransformationen können vielfach schon durch GIS-Softwareprodukte durchgeführt werden, so dass das SDB nur auf das Transformations"objekt" (Modul) des entsprechenden GIS-Softwareprodukts zugreifen muss. OpenGIS empfiehlt die Einführung sogenannter Semantic Translators, die Daten von einem Datenmodell in ein anderes führen kann. Wie dieser Translator aussehen soll, wird jedoch nicht beschrieben.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Eine einheitliche Architektur für Import, Export und Update
- Echtzeitnachführung aller vernetzten GIS-Produkte à-priori möglich
- Interoperabilität der vernetzten Systeme im relevanten Bereich (Überlappung der behandelten Fachbereiche der Systeme)
- Standardisierte und offene Schnittstellen
- SDB-Daten können von mehreren GIS-Benutzern gleichzeitig konsultiert werden.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Schnittstellen-Entwickler müssen ein gewisses Knowhow aufweisen, um OpenGIS kompatible "Objekte" zu entwickeln
- Die OpenGIS Spezifikationen werden noch vielen Änderungen unterworfen sein.
- Es gibt zur Zeit praktisch keine GIS-Softwareprodukte, die zu 100% OpenGIS kompatibel sind.
- Die GIS-Systeme und das SDB müssen vernetzt sein.

5.5.2 Architektur In5

		Benutzer	Strassenverwaltung		
Nr.	Prozess	GIS	SDB-OpenGIS Schnittstelle	Transfo	SDB
1	Konvertierung in SDB-Format				
2	Umwandlung in SDB-Datenmodell		(ev.)		
3	Transformation in Landes-koordinaten		(ev.)		
4	Umwandlung in eine SDB-Geometrie				
5	Transformation [X,Y] in [u,v]				

Abbildung 5-28: Aufgabenverteilung der Architektur In5

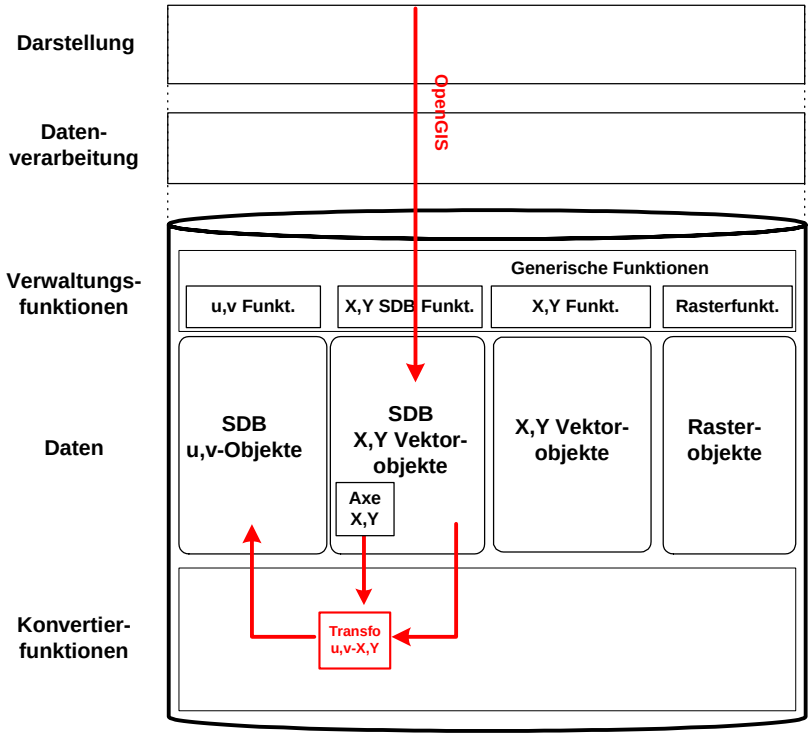


Abbildung 5-29: Logische Architektur In5

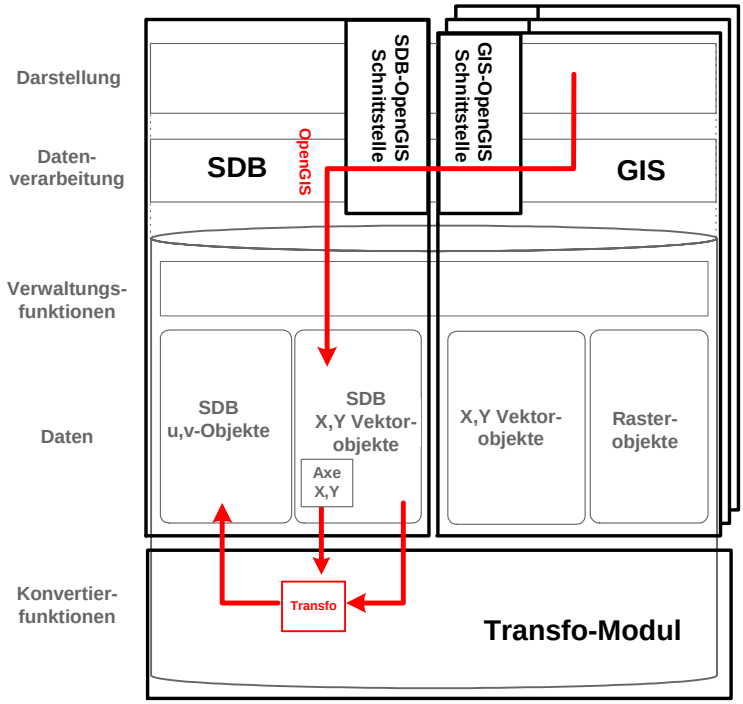


Abbildung 5-30: Physische Architektur In5

Die Architektur In5 sieht die Integration von Strassenobjekten mit Hilfe von OpenGIS-Schnittstellen vor. Vorteil der OpenGIS-Schnittstellen ist die einheitliche Modellierung der Geo-Objekte als Input, unabhängig vom GIS-Quellsystem. Das Datenmodell wird allerdings nicht vom OpenGIS bestimmt. Um eine möglichst generische OpenGIS-Schnittstelle zu haben, ist es nicht wünschenswert, Datenmodelle in dieser Schnittstelle umzustrukturieren.

Da die Anzahl der für den Datenimport zugelassenen GIS-Systeme meist limitiert sind, spielt die standardisierte Schnittstelle eine kleinere Rolle als beim Datenexport.

Vorteile dieser Architektur sind:

- Standardisiert
- Umwandlung von Geo-Objekten ist nicht nötig, da der Datenimport mit Hilfe dieser Architektur unabhängig vom GIS-Produkt erfolgt.

Nachteile dieser Architektur sind:

- Eine OpenGIS-Schnittstelle für die SDB zu realisieren scheint nicht sehr vernünftig zu sein, da diese Schnittstellen in Zukunft auch von GIS-Herstellern erstellt werden.

5.6 Architektur mit Geodatenserver

5.6.1 Architektur Out6

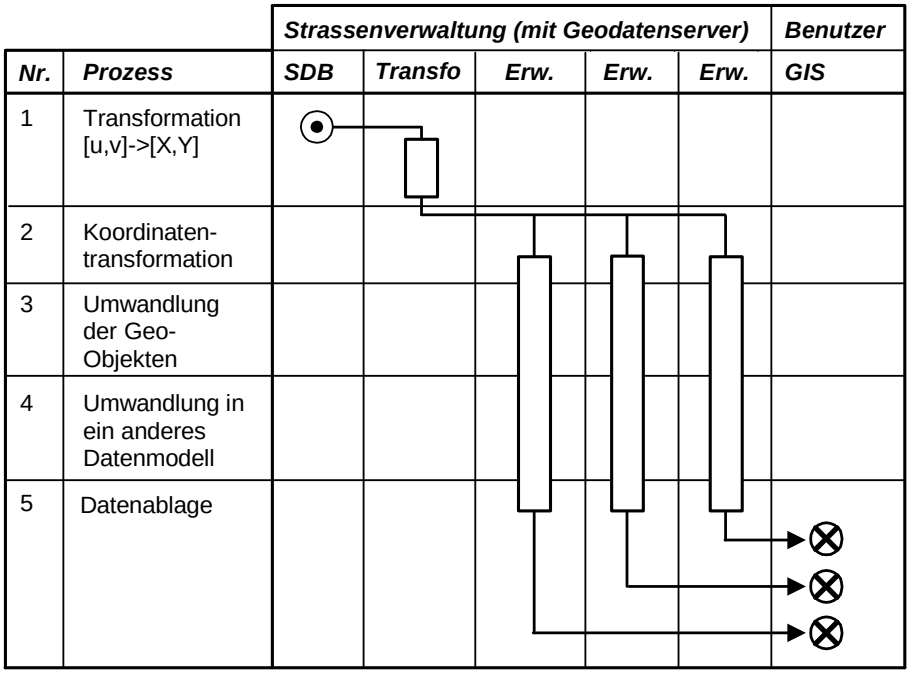


Abbildung 5-31: Aufgabenverteilung der Architektur Out6

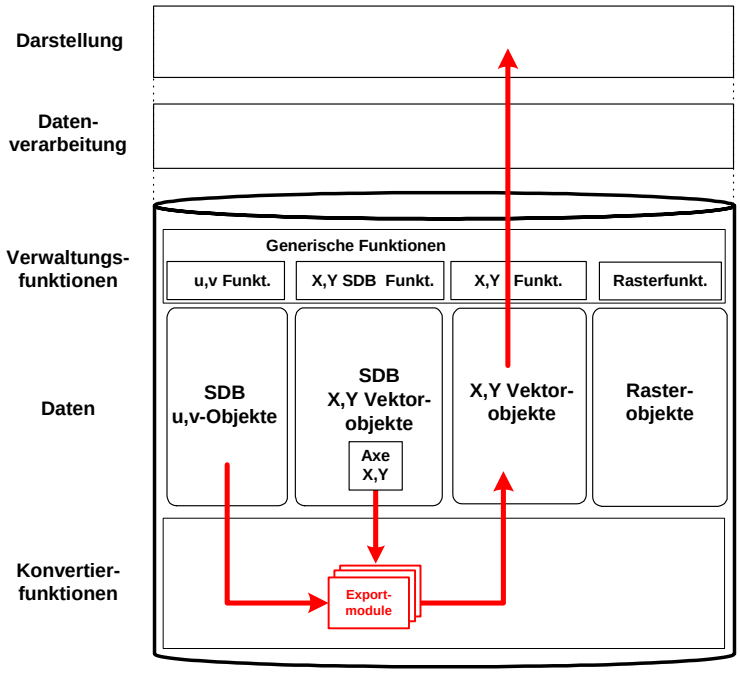


Abbildung 5-32: Logische Architektur Out6

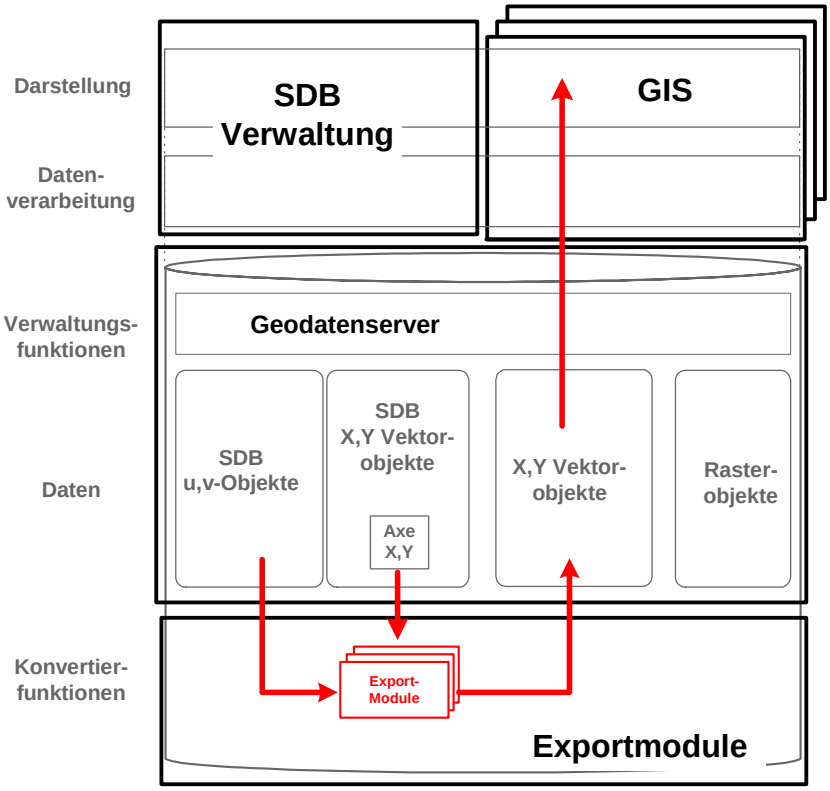


Abbildung 5-33: Physische Architektur Out6

Die Architektur Out6 ist eine proprietäre Architektur mit einem zu Out1 identischen logischen Aufbau . In der physischen Architektur wird ein Geodatenserver genutzt, um die Daten zentral abzulegen. Der Geodatenserver verwaltet nur bestimmte Geo-Objekte, d.h. die Exportmodule müssen die SDB-u,v-Objekte in X,Y-Vektorobjekte transformieren, welche aus diesen Geo-Objekten zusammengesetzt sind. Diese Transformation muss nicht die Geo-Objekte aller möglichen GIS-Software berücksichtigen.

Wie die GIS-Anwendung auf den Geodatenserver zugreift, wird dem GIS-Benutzer überlassen. Viele GIS-Hersteller bieten Schnittstellen an Geodatenserver an. Falls Schnittstellen an fremde Geodatenserver angeboten werden, können Geodaten aus dem Geodatenserver oft nur gelesen, aber nicht geändert werden. Dies hat vor allem für die Architektur In6 Folgen.

Vorteile dieser Architektur sind:

- Integrität der geographischen Daten werden durch den Geodatenserver sichergestellt.
- Standardfunktionen des Geodatenservers wie beispielsweise Transformation zwischen kartesischen und geographischen Koordinatensystemen können in den Exportmodulen genutzt werden.

Nachteile dieser Architektur sind:

- Für jeden GIS-Benutzer mit eigenen Anforderungen müssen individuelle Exportmodule realisiert werden.
- Wiederverwendbarkeit von Exportmodulen ist nicht gewährleistet.

5.6.2 Architektur In6

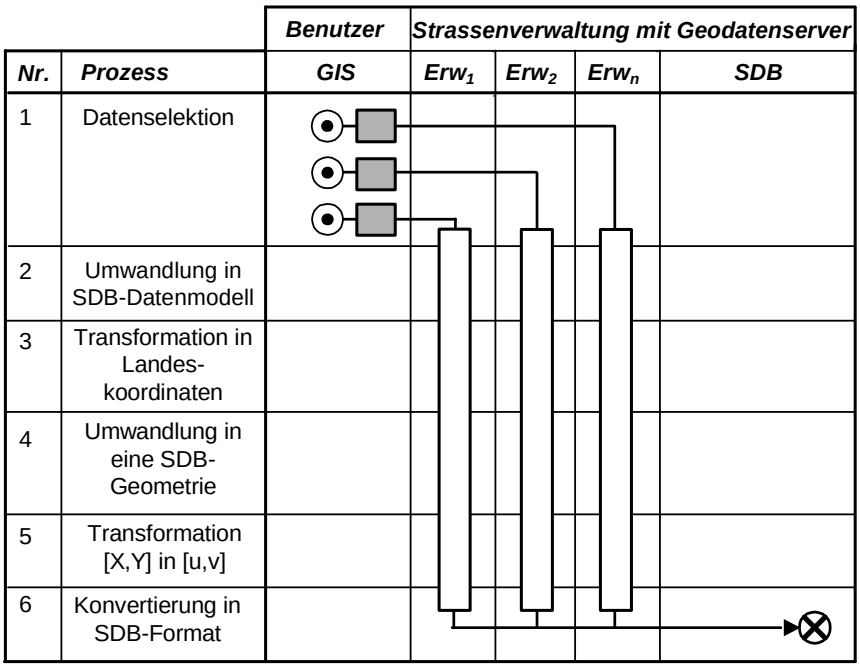


Abbildung 5-34: Aufgabenverteilung der Architektur In6

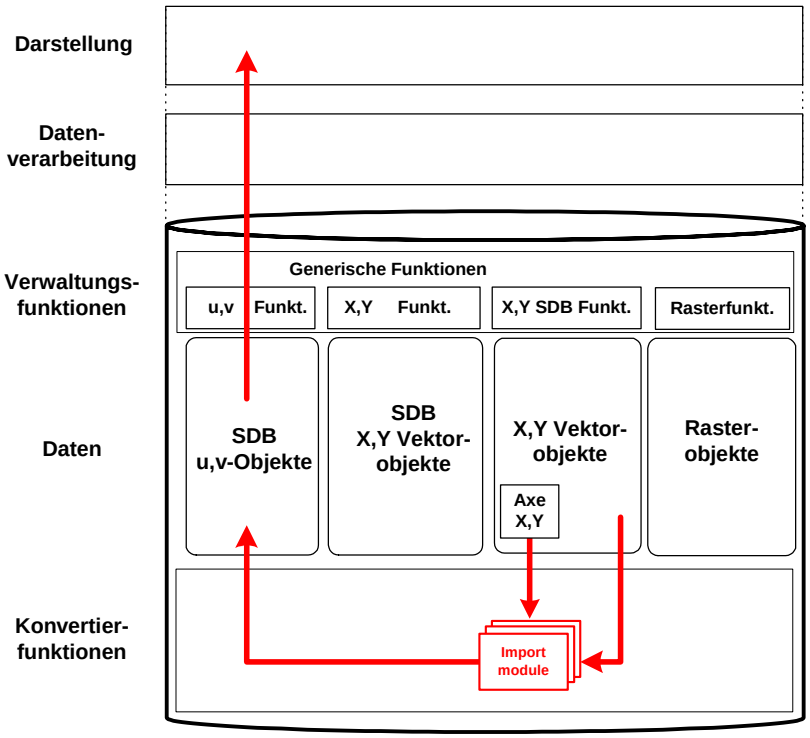


Abbildung 5-35: Logische Architektur In6

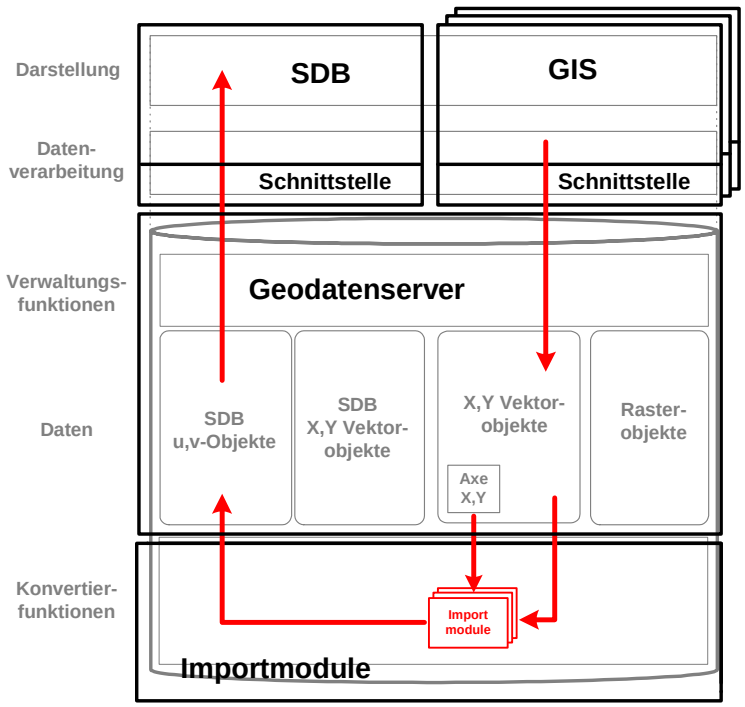


Abbildung 5-36: Physische Architektur In6

Die Architektur In6 beinhaltet den Einsatz eines Geodatenservers. Dieser Geodatenserver enthält alle geographischen Daten einer Verwaltung (nicht nur der Strassenverwaltung), die für eine breitere Interessengemeinschaft zugänglich gemacht werden sollen. Die GIS-Anwendungen werden durch geeignete Schnittstellen an den Geodatenserver gebunden, damit sie die Informationsobjekte ihres Aufgabenbereichs nachführen können. Eine GIS-Anwendung, die beispielsweise von Geometern für die Verwaltung des Grundbuchkatasters eingesetzt wird, liefert die Nachführung der Parzellen im Geodatenserver. Die Schnittstelle zwischen GIS-Anwendung und Geodatenserver wird vielfach vom Hersteller des Geodatenservers angeboten. Seine Konzeption wird in diesem Bericht nicht behandelt.

Da die in den GIS-Anwendungen erfassten geographischen Daten nun zentral im Geodatenserver in einer proprietären Form abgelegt werden, kann die Datentransformation wesentlich vereinfacht werden. In der Annahme, dass alle geographischen Daten im Geodatenserver in einem einzigen Koordinatensystem beschrieben werden und dass die geometrischen Grundkonzepte diejenigen des Geodatenservers sind, können die Prozesse 3 "Transformation in Landeskoordinaten", 4 " Umwandlung der Geometrien in SDB-Geometrie" und 5 "Transformation [X,Y] in [u,v] in jedem Importmodul wieder verwertet werden. Einzig die Umwandlung der Daten in das SDB-(Sach-)Datenmodell ist von der Urspungs-GIS-Anwendung abhängig.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Zentrale Ablage geographischer Daten und Nutzung der Verwaltungsfunktionen
- Sie erfordert nur wenige Softwareentwicklung (falls die Schnittstellen existieren)
- Diese Architektur kann auch für den Export genutzt werden.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Die Verwaltung muss im Besitz eines Geodatenservers sein.
- Die Strassenverwaltung kann andere Daten im Geodatenserver nutzen, um beispielsweise Strassendaten im Geo-Kontext darzustellen.
- Verwaltung mehrerer Datenmodelle im Geodatenserver

5.7 Architektur mit Geodatenserver und Übersetzer

5.7.1 Architektur Out7

		Strassenverwaltung mit Geodatenserver				*Benutzer*
Nr.	***Prozess***	***SDB***	***Transfo***	***Erw.***	***Übersetzer (z.B. FME)***	***GIS***
1	Transformation [u,v]->[X,Y]					
1b	Formatierung					
2	Koordinaten-transformation				(ev.)	
3	Umwandlung der Geo-Objekten					
4	Umwandlung in ein anderes Datenmodell					
5	Format-Konvertierung					
6	Datenzugriff					

Abbildung 5-37: Aufgabenverteilung der Architektur Out7

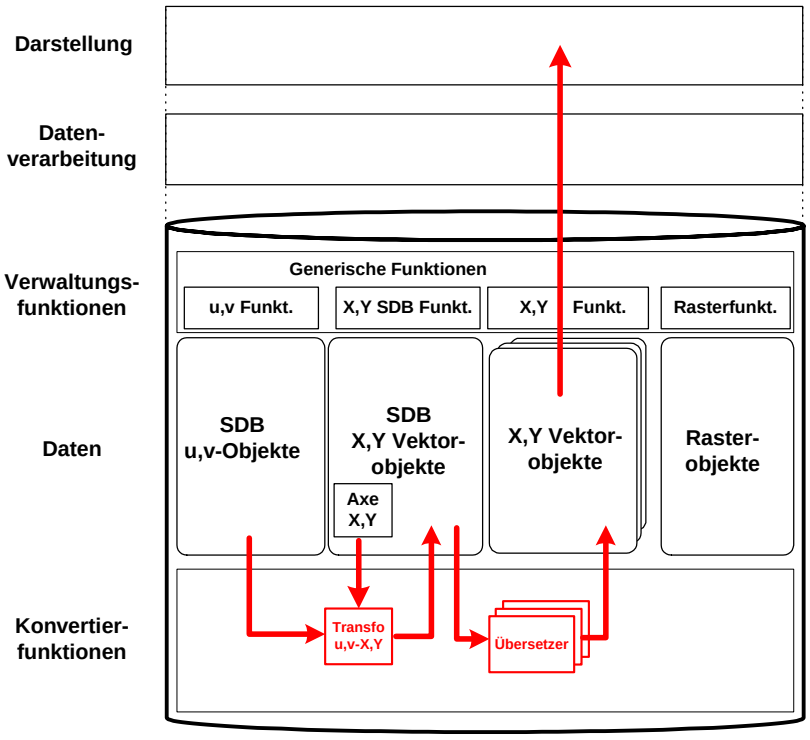


Abbildung 5-38: Logische Architektur Out7

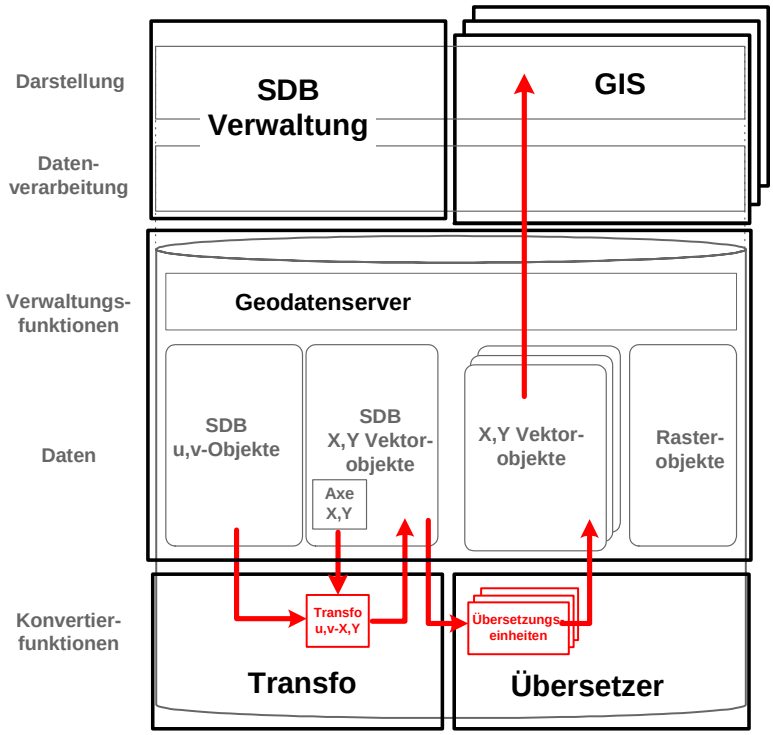


Abbildung 5-39: Physische Architektur Out7

In der Architektur Out7 werden die Geodaten in einem Geodatenserver abgelegt. Der Geodatenserver stellt Geodaten für unterschiedliche GIS-Anwendungen bereit, indem er seine Schnittstellen offen darlegt. Falls ein GIS-Produkt Daten aus einem Geodatenserver lesen will, müssen seine Entwickler die Spezifikationen der offenen Schnittstelle des Geodatenservers in ihre Software einbauen. Die Strassendaten können mit Hilfe eines Übersetzers in den Geodatenserver integriert werden. Vergleicht man die Aktivitäten des Übersetzers dieser Architektur mit derjenigen der Architektur Out4, stellt man fest, dass eigentlich nur die Datenumwandlung in andere Datenmodelle pro Ziel-Anwendung durchgeführt werden muss. Die Koordinaten der Geo-Objekte müssen in die vom Geodatenserver definierten Koordinatensysteme der Geo-Objekte umgewandelt werden.

Es stellt sich die Frage, ob die Umwandlung in andere Datenmodelle von der Strassenverwaltung durchgeführt werden sollte. Falls die zentrale Verwaltung selber die Möglichkeit und die Werkzeuge hat, um diese konzeptuelle Transformation durchzuführen, sollte sie das tun, denn sie allein kennt alle externen Datenbenutzer und deren Datenmodelle. Die Umwandlung würde sich auf das Datenmodell des Geodatenservers beschränken.

Der grosse Vorteil dieser Architektur ist die Nutzung der Verwaltungsfunktionen eines Geodatenservers, die die Integrität der Geodaten schützen. Zudem kann ein Geodatenserver Daten an eine Vielzahl von GIS-Produkten online zur Verfügung stellen. Dieser online-Zugriff könnte mit Übersetzer, die Geodaten als batch verarbeiten, nicht unbedingt gewährleistet werden.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Nutzung eines Geodatenservers zur Verwaltung geographischer Daten
- Online-Diffusion der X,Y Daten aus der SDB werden von Geodatenserver übernommen
- Zugriff der Geodaten durch mehrere GIS-Benutzer möglich

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Geodatenserver bieten zwar offene Schnittstellen zu GIS-Produkten an, aber die Implementierung durch die Hersteller ist proprietär.

- Falls ein GIS-Hersteller die angebotene Schnittstelle zum Geodatenserver nicht realisiert, dann wird dies vom Benutzer zu realisieren sein. Dies könnte ein gewisses Mass an Know-how erfordern.
- Die Geodaten (X,Y-Koordinaten) werden in der proprietären Form des Geodatenservers in der Datenbank abgelegt. Es kann nur durch das entsprechende Zugriffswerkzeug (Middleware) darauf zugegriffen werden.

5.7.2 Architektur In7

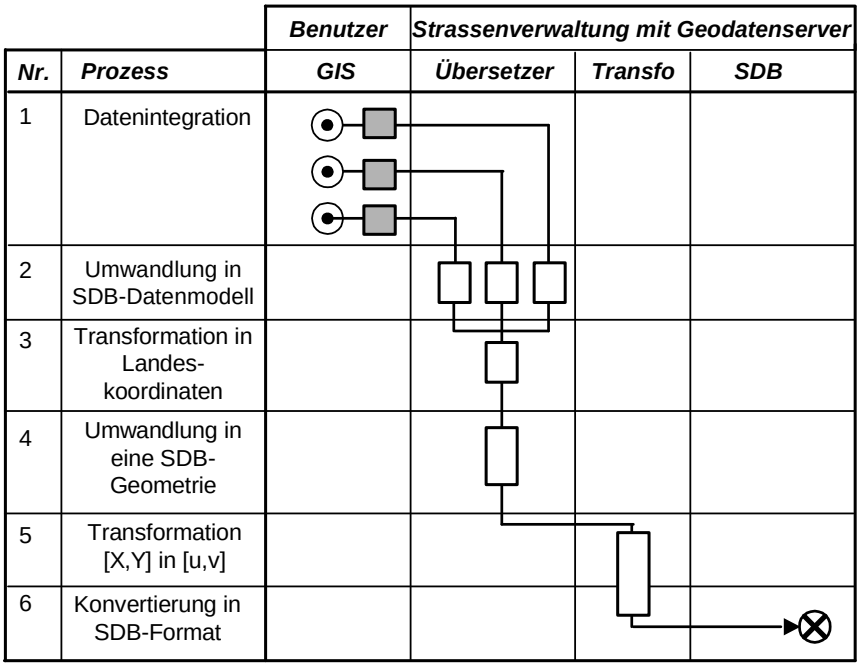


Abbildung 5-40: Aufgabenverteilung der Architektur In7

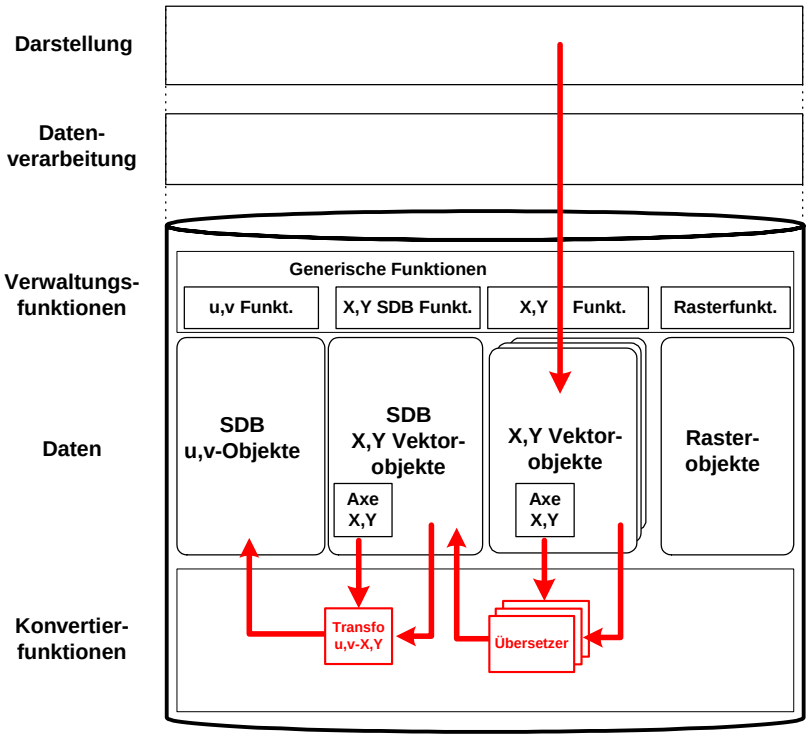


Abbildung 5-41: Logische Architektur In7

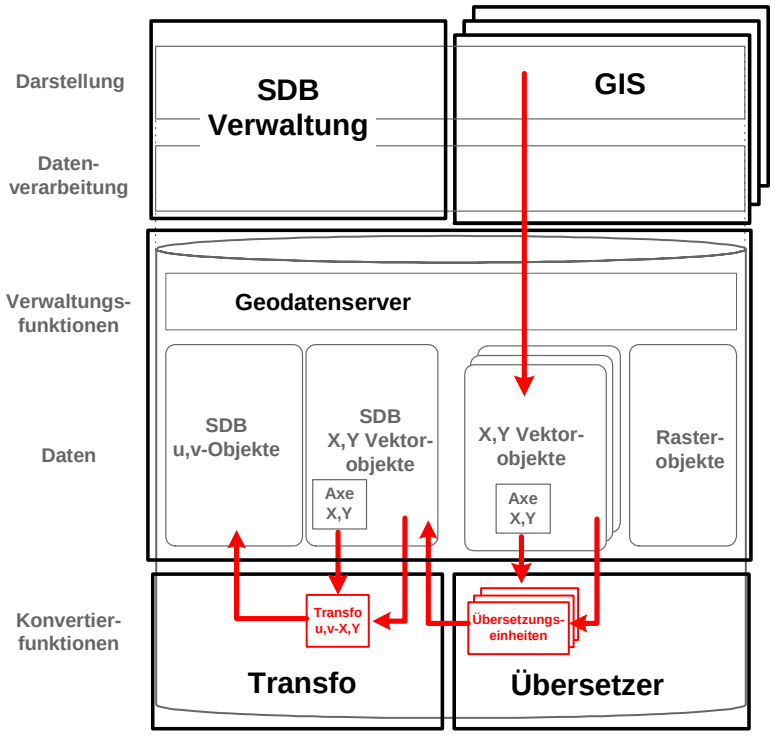


Abbildung 5-42: Physische Architektur In7

Der Einsatz des Geodatenservers für den Datenimport ist sinnvoll, wenn auch X,Y-Vektorobjekte mit einer von der SDB-Abstraktion unabhänigen Geometrie verwaltet werden sollen. Beispielsweise kann ein Import von im Geodatenserver verwalteten Belägen in die SDB für strategische oder taktische Aktivitäten nützlich sein, während eine präzise Volumenberechnung über das X,Y-Vektorobjekt des Belages im Geodatenserver erfolgen muss.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Nutzung von bestehenden Übersetzungseinheiten
- Integrität innerhalb des Datenpools (unter anderem auch zwischen SDB-Daten und Vektordaten) kann durch den Geodatenserver gewährleistet werden.
- Die Transformationen und Konvertierungen innerhalb des Geodatenservers können automatisch durchgeführt werden, d.h. die konzeptuellen Einheiten können synchron nachgeführt werden.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Die Anschaffung eines Geodatenservers ist sehr kostenintensiv. Um eine Anschaffung zu rechtfertigen, müssen zur temporären Ablage von geographischen Daten noch weitere Bedürfnisse vorhanden sein.
- Die Schnittstelle für Datenimport zwischen Geodatenserver und GIS-Software ist proprietär, d.h. für Geodatenserver und GIS-Software von unterschiedlichen Herstellern muss eine Schnittstelle mit grosser Wahrscheinlichkeit selbst entwickelt werden.

5.8 Architektur mit Geodatenserver, OpenGIS-Schnittstellen und Übersetzer

5.8.1 Architektur Out8

		Strassenverwaltung mit Geodatenserver				*Benutzer*
Nr.	***Prozess***	***SDB***	***Transfo***	***Erw.***	***Übersetzer (z.B. FME)***	***GIS***
1	Transformation [u,v]->[X,Y]					
1b	Formatierung					
2	Koordinaten-transformation					
3	Umwandlung der Geo-Objekten					
4	Umwandlung in ein anderes Datenmodell					
5	Format-Konvertierung					
6	Datenablage				OpenGIS	

Abbildung 5-43: Aufgabenverteilung der Architektur Out8

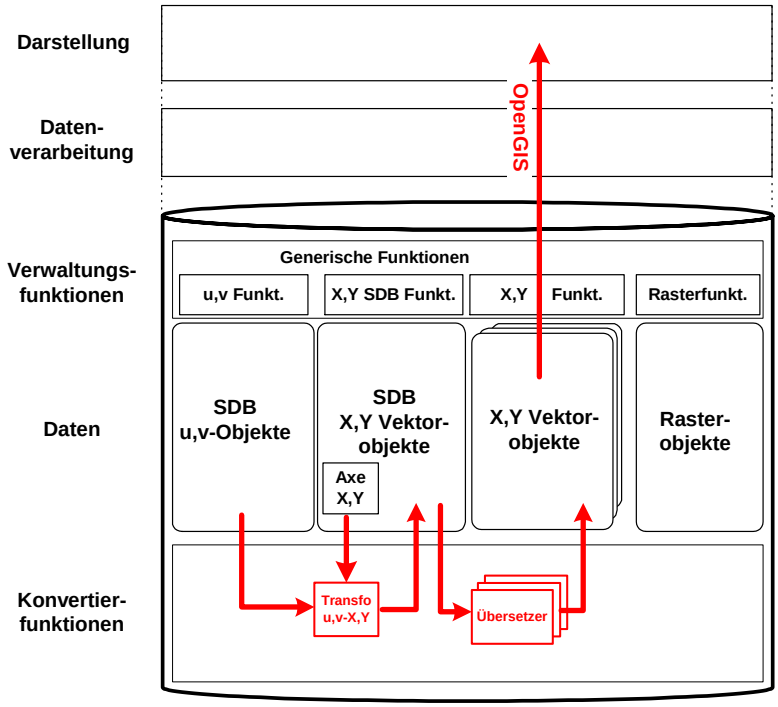


Abbildung 5-44: Die logische Architektur Out8

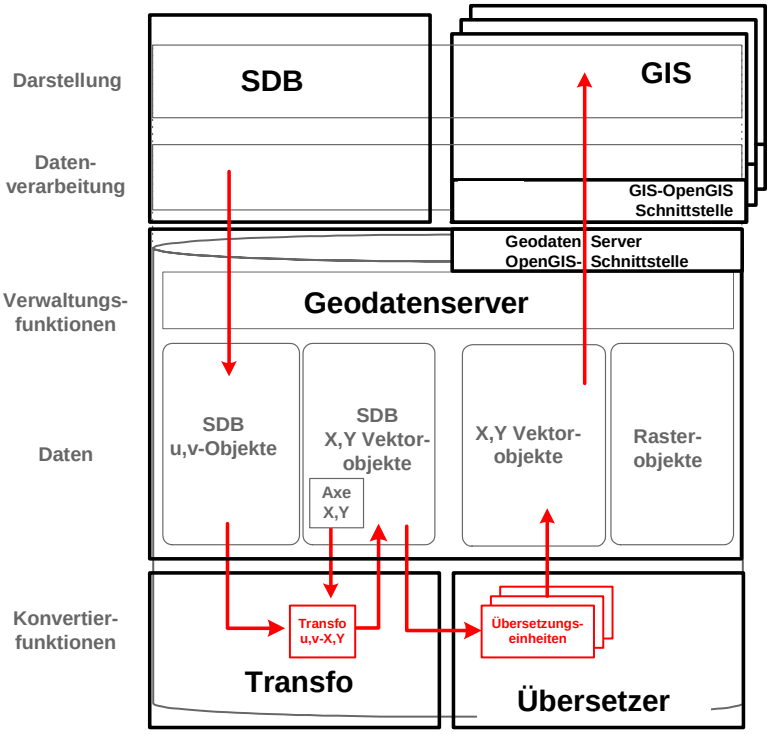


Abbildung 5-45: Die physische Architektur Out8

In Gegensatz zur Architektur Out7, werden die Geodaten über OpenGIS-Schnittstellen an GIS-Anwendungen abgegeben. Damit wird die richtige Interpretation der Geo-Objekte über eine Vielzahl von GIS-Produkten gewährleistet.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Eine einheitliche Architektur für Import, Export und Update
- Echtzeitnachführung aller vernetzten GIS-Anwendungen a priori möglich
- Nutzung eines Geodatenservers zur Verwaltung geographischer Daten
- Interoperabilität der vernetzten Systeme im relevanten Bereich (Überlappung der behandelten Fachbereiche der Systeme)
- Standardisierte und offene Schnittstellen
- SDB-Daten können von mehreren GIS-Benutzern gleichzeitig konsultiert werden.
- SDB-Daten und X,Y Vektordaten können auf dem Geodatenserver räumlich verschnitten werden.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Schnittstellen-Entwickler müssen ein gewisses Knowhow aufweisen, um OpenGIS kompatible "Objekte" zu entwickeln
- Die OpenGIS Spezifikationen werden noch vielen Änderungen unterworfen sein.
- Es gibt zur Zeit praktisch keine GIS-Produkte, die zu 100% OpenGIS kompatibel sind.
- Die GIS-Systeme und das SDB müssen vernetzt sein.

5.8.2 Architektur In8

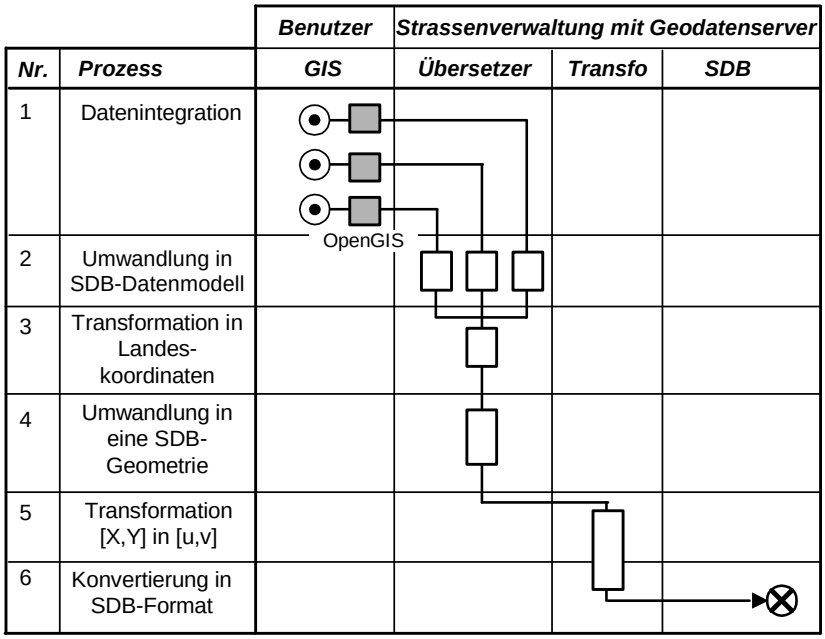


Abbildung 5-46: Aufgabenverteilung der Architektur In8

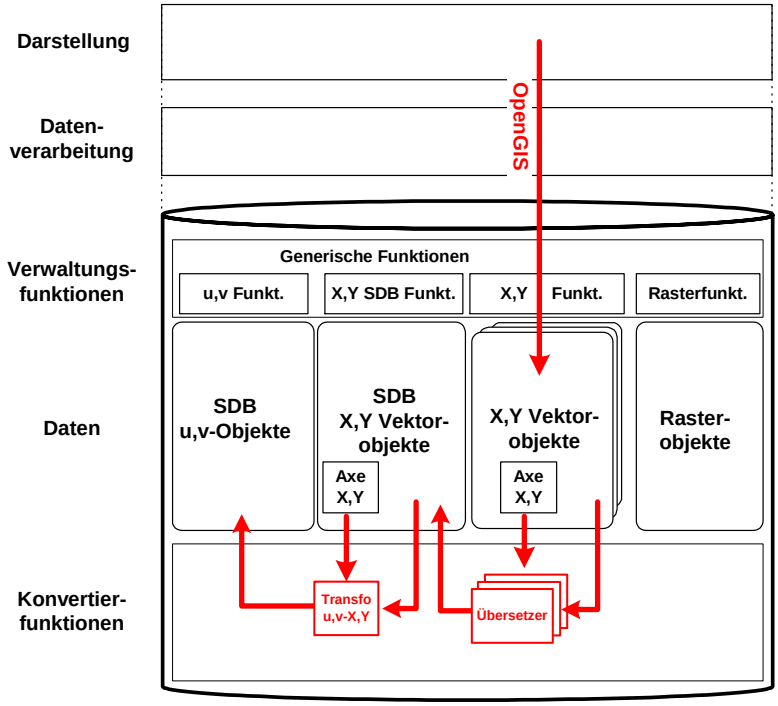


Abbildung 5-47: Die logische Architektur In8

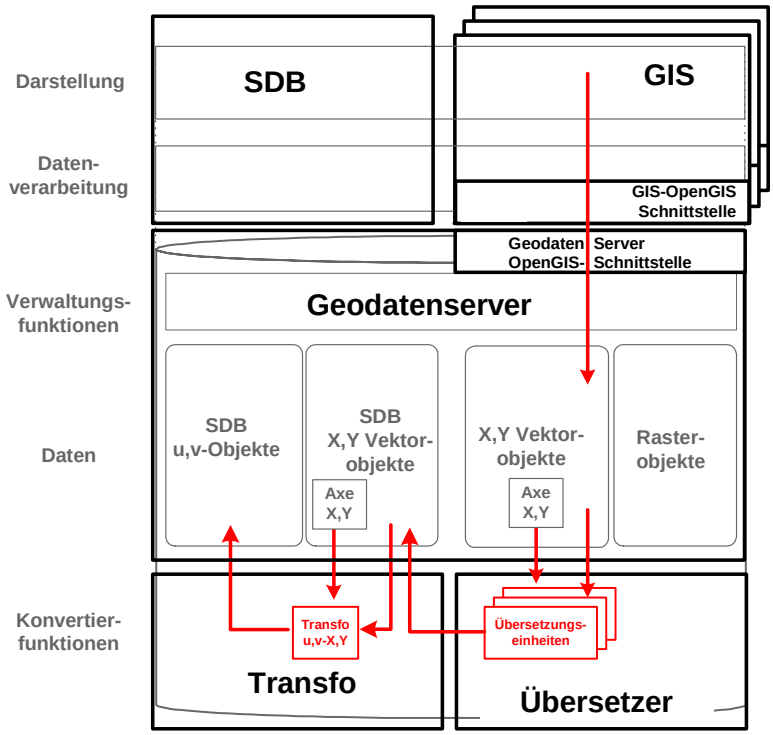


Abbildung 5-48: Die physische Architektur In8

Diese Architektur ist der Architektur In7 bis auf die OpenGIS-Schnittstellen identisch. Die Standardisierung der Schnittstellen zu den GIS-Anwendungen spielt eine weniger grosse Rolle als beim Datenimport, da die Anzahl der für den Datenimport genutzten GIS-Anwendungen üblicherweise eingeschränkt ist.

Vorteile einer solchen Architektur sind:

- Nutzung von bestehenden Übersetzungseinheiten
- Integrität innerhalb des Datenpools (unter anderem auch zwischen SDB-Daten und Vektordaten) kann durch den Geodatenserver gewährleistet werden.
- Die Transformationen und Konvertierungen innerhalb des Geodatenservers können automatisch durchgeführt werden, d.h. die konzeptuellen Einheiten können synchron nachgeführt werden.
- Die standardisierte Schnittstelle ermöglicht auch die Integration von Daten von GIS-Software, die nicht vom Hersteller des genutzten Geodatenservers entwickelt wurde.

Nachteile einer solchen Architektur sind:

- Die Anschaffung eines Geodatenservers ist sehr kostenintensiv. Um eine Anschaffung zu rechtfertigen, müssen zur temporären Ablage von geographischen Daten noch weitere Bedürfnisse vorhanden sein.

6 KOORDINATENTRANSFORMATIONEN

6.1 Allgemeines

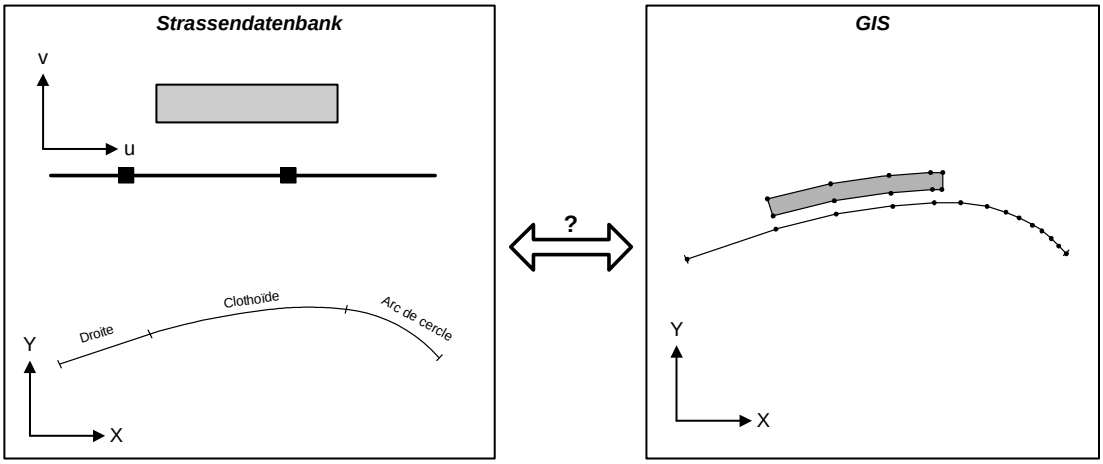


Abbildung 6-1 : Konzeptionelle Unterschiede des Raumbezugssystems

Die Unterschiede zwischen dem Bezugssystem der Strassendatenbanken und dem GIS sind vor allem konzeptioneller Natur :

- Die Beschreibung eines Ortes im GIS ist unabhängig von der Erhebungsmethode, und damit auch von den erhobenen Grössen und Werten. Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Daten geographisch miteinander beliebig kombiniert werden können.
  In den Strassendatenbanken werden die gemessenen Distanzen in die Datenbank erfasst. Das Projekt SYRROU der ETH-L (Forschungsprojekt 10/99) hat gezeigt, dass die Ablage von Distanzen in der SDB aus konzeptionellen Gründen besser geeignet ist als X,Y-Koordinaten.
- Die räumlichen Objekte im GIS sind à-priori voneinander unabhängig. Dies ist jedoch für Strassenobjekte nicht der Fall, die in den Strassendatenbanken verwaltet werden. Belagsschichten, Fahrstreifen, geometrische Profile usw. sind, obwohl sie als eigene Informationsobjekte modelliert werden, Bestandteil eines Strassenobjektes.
- Objekte im GIS sind von der Geometrie abhängig. Ohne Geometrie können diese Objekte nicht definiert werden. In den Strassendatenbanken werden die Objekte jedoch unabhängig von der Geometrie beschrieben, d.h. deren Position auf einem Strassenobjekt kann beschrieben werden, ohne dass die Beschreibung der Axgeometrie der Strasse bekannt ist. Dies hat den Vorteil, dass die Daten auf unterschiedliche Geometrien abgebildet werden können. Es kann gleichzeitig eine Geometrie 1:10'000 und eine Geometrie 1:100'000 genutzt werden, ohne dass die Positionen der Strassenobjekte geändert werden müssen.
- Kartesische Bezugssysteme sind für eine präzise Beschreibung der Geometrie geeignet, während dem das lineare Bezugssystem von bestimmten Hypothesen ausgeht, die eine präzise Geometriebeschreibung erschwert. Beispielsweise folgen alle Objekte der "kurvigen" Geometrie der Strasse.

Die Koordinatentransformationen X,Y<->u,v werden im Anhang C ausführlich beschrieben.

7 LÖSUNGSVORSCHLAG

Im Kapitel 4 wurden alle möglichen Architekturen aufgezählt und deren Vorteile und Nachteile dargelegt. Dieses Kapitel stellt die Kriterien der "idealen" Lösung dar, die Lösung selbst und deren Bewertung.

Zwei Typen von Architekturen können unterschieden werden:

- Architekturen mit Geodatenserver
- Architekturen ohne Geodatenserver

Die Einführung eines Geodatenservers in die kantonale Verwaltung wird meist von der Informatik-, Geomatik- oder Vermessungsabteilung entschieden. Die Strassenverwaltung muss die Architektur seines Informationssystems so konzipieren, dass sie von den zentral gelagerten Daten und Verwaltungsfunktionen der kantonalen Verwaltung profitieren kann, und dass das System den Bedürfnissen der Strassenverwaltung entspricht.

Die Frage, ob ein eigener Geodatenserver in den Strassenverwaltungen eingeführt werden sollte, hängt von der Quantität der zu verwaltenden geographischen Daten ab. Die Installation eines Geodatenservers alleinig zur Verwaltung der Geometrien der Strassenaxen lohnt sich nicht. Die Umwandlung der u,v Koordinaten aller Strassenobjekte in X,Y Koordinaten und deren Verwaltung im System könnte einen Geodatenserver rechtfertigen. Idealerweise sollten die in X,Y Koordinaten umgewandelten Strassenobjekte, die für andere Fachbereiche von Interesse sein könnten, in einem zentralen Geodatenserver abgelegt werden. Die Verwaltung der Strassenobjekte, die nur für den Strassenunterhalt von Belang sind, muss auf der SDB-Ebene erfolgen(mit u,v- sowie X,Y-Koordinaten).

Die Wahl der Architektur muss unter anderem folgende Punkte berücksichtigen:

- Kompatibilität zwischen Architektur für den Datenimport und für den Datenexport: Es ist zu beachten, dass dieselben Softwaremodule für Import und Export genutzt werden.
- Architektur der zentralen kantonalen Verwaltung: Damit die Strassenverwaltung zentral verwaltete Daten aus anderen Fachbereichen nutzen kann, muss sie die Systemarchitektur der zentralen kantonalen Verwaltung berücksichtigen.

In Folge wird eine Architektur ohne Geodatenserver und eine Architektur mit Geodatenserver dargestellt und diskutiert.

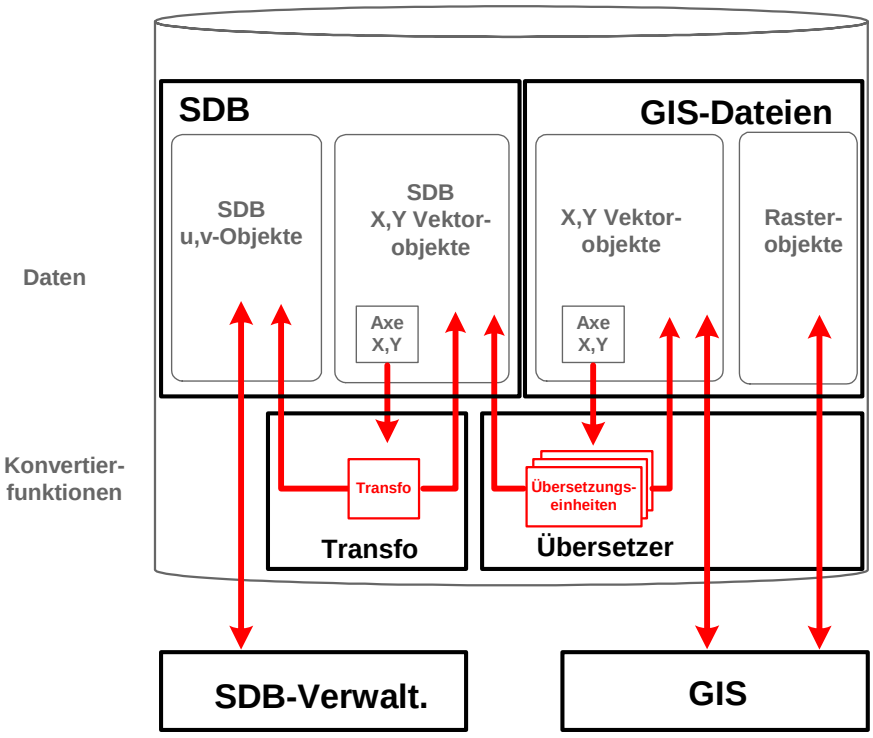


Abbildung 7-1: Physische Architektur ohne Geodatenserver

Die Abbildung 7-1 stellt die Architektur ohne den Einsatz eines Geodatenservers dar. Die Strassendaten werden in der SDB als u,v-Objekte abgelegt, d.h. sie werden in der SDB bezüglich dem linearen Raum-Bezugssystem beschrieben. Beim Datenimport werden aus GIS-Anwendungen gewonnene Daten in u,v-Objekte umgewandelt und in die SDB abgelegt. Beim Datenexport werden die u,v-Objekte so umgewandelt, dass möglichst viele GIS-Anwendungen sie nutzen können.

Die dargestellte Lösung beinhaltet folgende Elemente:

- Transfo: Die X,Y -> u,v Transformation und die u,v -> X,Y Transformation muss vom Strassendatenverwalter mit Hilfe einem hierzu vorgesehenen Modul Transfo durchgeführt werden. Diese Transformationen sind unabhängig von den GIS-Anwendungen.
- Übersetzer: Um die Daten in die geeignete Form zu bringen (Datenmodell, Format, usw.) sollen die bereits entwickelten Übersetzungseinheiten, wie FME, GeoMorph oder Geographic Explorer benutzt werden. Diese müssen durch eigene SDB-Einheiten ergänzt werden. Es ist zudem sinnvoll, die abgegebenen Daten mit Hilfe von der INTERLIS-Beschreibungssprache zu dokumentieren und den Bezug zu den in den VSS-Normen beschriebenen Datenkatalogen (Semantik) darzulegen.

Ziel des Datenexports ist die Bereitstellung von SDB-Daten an möglichst viele GIS-Anwendungen. Ziel des Datenimports ist die Integration von relevanten Daten, die in anderen GIS-Anwendungen erfasst worden sind. Die Anzahl der GIS-Anwendungen, die bei einem Datenimport einbezogen werden könnten, ist viel kleiner als die Anzahl der Anwendungen, die SDB-Daten nutzen könnten. Ein weiteres Ziel ist die Nutzung der Funktionalitäten der GIS-Produkte, um Strassendaten erfassen zu können. Die Effizienz der Datenerfassung mit Hilfe von GIS-Produkten verlangt eine relativ schnelle Umsetzung einer Lösung. Für den Import wird vorerst eine proprietäre, schnell realisierbare Importschnittstelle vorgeschlagen, während beim Export eine generische Lösung anzustreben ist.

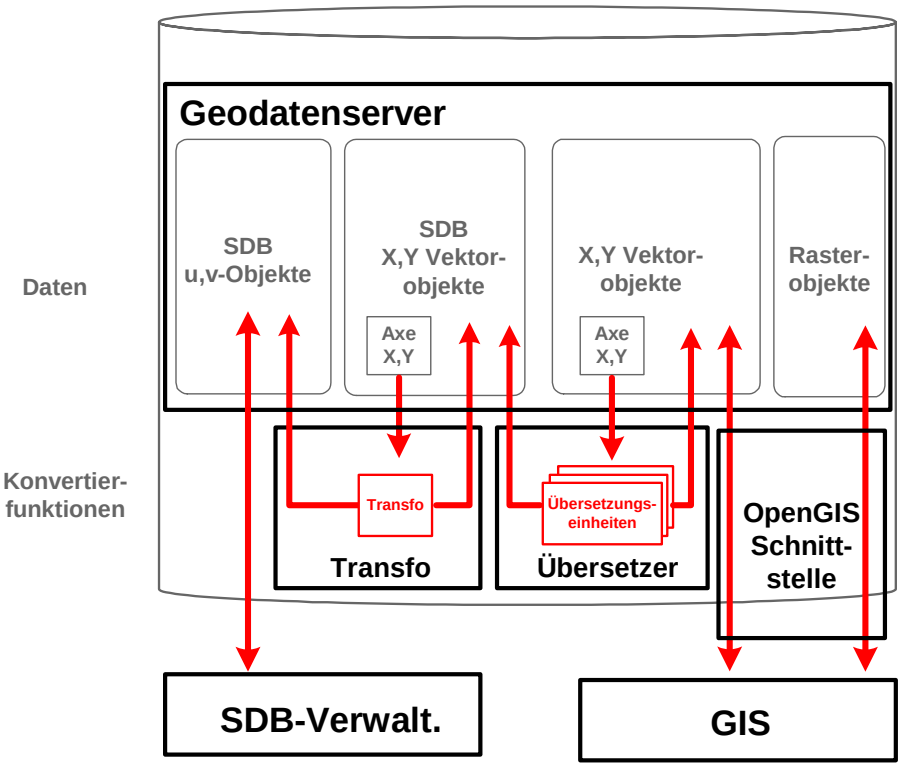


Abbildung 7-2: Physische Architektur mit Geodatenserver

Die Abbildung 7-2 stellt eine Architekur mit einem Geodatenserver dar. Der Geodatenserver verwaltet alle Daten, welche von mehreren Fachbereichen genutzt werden können. Die Spezialistendaten, die nur für einen Fachbereich relevant sind, werden in den spezifischen Datenbanken abgelegt, wie beispielsweise in die SDB. Die Nutzung des Übersetzers und des Transfo-Moduls wird weiterhin nötig sein, obwohl die Prozesse durch den Geodatenserver (einheitliches Format, ein einziges Koordinatensystem usw.) vereinfacht werden.

Die optimale Nutzung der im Geodatenserver enthaltenen Daten durch die verschiedenen Abteilungen einer Verwaltung kann durch die Vernetzung (mit gemeinsamer Berechnungsplattform wie DCOM oder CORBA) der jeweiligen Computersysteme erreicht werden. Die Hersteller der Geodatenserver stellen den GIS-Herstellern offene Schnittstellen zur Einbindung in ihre Produkte zur Verfügung, um den Datenzugriff und –manipulation auf dem Geodatenserver zu ermöglichen. Idealerweise könnte die Implementierung von standardisierten Schnittstellen, wie sie das OpenGIS Konsortium beschreibt, die einheitliche Semantik der auf dem Geodatenserver durchzuführenden Funktionen gewährleisten.

8 SCHLUSSBEMERKUNGEN UND AUSBLICK

Die Kopplung von GIS und SDB ist eine Voraussetzung für die effiziente Nutzung der geographischer Informationen in einer Strassenverwaltung. Der Bericht zeigt die Überlappung der SDB und der GIS auf Organisations-, Daten (Themen)- und Funktionsebene. Zudem legt er mit Hilfe von konkreten Beispielen den Nutzen einer GIS-SDB-Kopplung für die Fachprozesse des Strassenmanagements dar.

Es muss in Zukunft auch die Aufgabe der Verantwortlichen des Strassenmanagements (VSS) sein, die Fachleute aus anderen Bereichen, wie z.B. der Vermessung, der Raumplanung, der Verkehrsplanung oder der Telematik, von der Qualität der verwalteten Strassendaten und dem zu erwartenden Nutzen aus der Integration der Strassendaten in ihre spezifische Fachdatenbanken zu überzeugen. Die Einführung von Begriffen wie Interoperabilität und Data-sharing in der IT-Forschung (GIS-Wissenschaft oder Geomatik als Teil dieser Forschung) zeigt die Bemühung, Doppelspurigkeiten in der Erhebung und Verwaltung von Daten und Informationen zu vermeiden.

GIS oder Geomatik ist eine relativ neue Wissenschaft. In den Achziger- und anfangs der Neunzigerjahre war die hauptsächliche Tätigkeit der Forschung auf die effiziente und wirtschaftliche Datenerhebung (Topometrie, Photogrammetrie, Fehlerrechnung etc.) ausgerichtet. Heute können die ersten Früchte dieser Anstrengungen geerntet werden. Es existieren bereits beträchtliche Datenpools mit entsprechenden Datenstrukturen, die einen enormen ökonomischen Wert darstellen. Die Integration geographischer Daten in Fachprozesse war damals nicht prioritär. Heute muss diese Frage jedoch gestellt werden, da die Datenpools verfügbar sind.

Es kann zudem festgestellt werden, dass gleiche, geographische Objekte für verschiedene Fachbereiche mehrmals erhoben worden sind. Es wurden beispielsweise mehrere photogrammetrische Flüge über derselben Region durch mehrere Abteilungen einer Verwaltung im gleichen Jahr durchgeführt. Eine Studie der Organisationen, die geographische Informationen erstellen und nutzen, zeigt die Koordinationsmöglichkeiten auf.

Für die Strassenverwaltung ist die Realisierung der Kopplung von GIS und SDB notwendig, um einerseits von GIS-Daten und –Funktion profitieren zu können, und andererseits den Strassen-Informationssystemen GIS-Anwendungen bereitstellen zu können.

Die GIS-Funktionen können von den Anwendern der Strassendatenbanken für die Erfassung von Strassenobjekten im Geo-Kontext, für Plausibilitätsprüfungen und für die kartographische Darstellung eingesetzt werden. Vor allem die effiziente Erfassung mit Hilfe von GIS-Software soll Grund genug sein, eine Importarchitektur so rasch wie möglich zu realisieren. Die rascheste Lösung ist die Realisierung einer Schnittstelle zwischen der SDB und einer gegebenen GIS-Software, die mit zusätzlichen Funktionalitäten für die SDB konforme Erfassung der Strassenobjekte ausgestattet wird. Beispielsweise könnte die Applikation STRADA-View/Carto derart erweitert werden, dass damit Daten erfasst werden können. In einer zweiten Priorität können später generische Schnittstellen für den Datenimport erstellt werden, die unter anderem den Import von schon existierenden Strassendaten (nicht unbedingt SDB konform) zulässt.

Das Bereitstellen von SDB-Daten an verschiedenste GIS-Anwendungen realisiert einen Mehrwert für diese Daten. Um diese möglichst vielen Anwendern zur Verfügung stellen zu können, muss die Entwicklung einer generischen Schnittstelle angestrebt werden.

Einige kantonale Verwaltungen verwenden heute schon IT-Netzwerke mit einem zentralen Geodatenserver. Die Strassenverwaltungen müssen ihre SDB in dieses Netzwerk einbinden lassen, damit sie einerseits auf die Daten des Geodatenservers zugreifen und andererseits allgemeine Daten, die in mehreren Fachbereichen relevant sind, im Geodatenserver ablegen können. Vom OpenGIS-Konsortium standardisierte, offene Schnittstellen werden in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen, vorausgesetzt dass die Hersteller der Geodatenserver diesen de-facto-Standard auch implementieren.

Anhang A Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1, Die Einheiten eines GIS gemäss ESRI. 3
Abbildung 2-1: Überlappung von Funktion, Organisation und Daten in Strassendatenbank und GIS 4
Abbildung 3-1: Aktuelle und zukünftige GIS-Architekturen 16
Abbildung 3-2: Beispiel einer dynamischen Segmentierung 20
Abbildung 3-3 : Festlegung eines geographischen Koordinatensystems und dessen Nutzung im GIS 22
Abbildung 3-4: Konzeptuelles Datenschema des Raumbezugs gemäss den VSS-Normen. 26
Abbildung 3-5: Die Funktion der Strassenaxe im räumlichen Bezugssystem. 27
Abbildung 3-6: Die beiden Aspekte der Geometrie-Ebene 29
Abbildung 3-7: Die im OpenGIS gesuchte Interoperabilität 30
Abbildung 3-8: Der Austauschmechanismus gemäss INTERLIS 31
Abbildung 4-1: Der Datenfluss innerhalb des Informationssystems einer Strassenverwaltung und zwischen den räumlichen Bezugssystemen 33
Abbildung 4-2: Der Datenaustausch von der SDB nach GIS-System innerhalb des Informationssystems 35
Abbildung 4-3: Verfahren für den Datenaustausch SDB-GIS 36
Abbildung 4-4: Der Datenaustausch von den GIS-Anwendungen zur SDB innerhalb des Informationssystems 38
Abbildung 4-5: Verfahren für den Datenaustausch GIS-SDB. 39
Abbildung 5-1: Aufgabenverteilung in der Architektur Out1 47
Abbildung 5-2: Logische Architektur Out1 47
Abbildung 5-3: Physische Architektur Out1 48
Abbildung 5-4: Aufgabenverteilung der Architektur In1 50
Abbildung 5-5: Logische Architektur In1 50
Abbildung 5-6: Physische Architektur In1 51
Abbildung 5-7: Aufgabenverteilung der Architektur Out2 52
Abbildung 5-8: Logische Architektur Out2 52
Abbildung 5-9: Physische Architektur Out2 53
Abbildung 5-10: Aufgabenverteilung der Architektur In2 54
Abbildung 5-11: Logische Architektur In2 54
Abbildung 5-12: Physische Architektur In2 55
Abbildung 5-13: Aufgabenverteilung der Architektur Out3 56
Abbildung 5-14: Logische Architektur Out3 mit einem Transformationsmodul 56
Abbildung 5-15: Physische Architektur Out3 57
Abbildung 5-16: Aufgabenverteilung der Architektur In3 58
Abbildung 5-17: Logische Architektur In3 58
Abbildung 5-18: Physische Architektur In3 59
Abbildung 5-19: Aufgabenverteilung der Datentransformation zwischen den verschiedenen Modulen für die Architektur Out4 60
Abbildung 5-20: Logische Architektur Out4 60
Abbildung 5-21: Physische Architektur Out4 61
Abbildung 5-22: Aufgabenverteilung der Architektur In4 62
Abbildung 5-23: Logische Architektur In4 62
Abbildung 5-24: Physische Architektur In4 63
Abbildung 5-25: Aufgabenverteilung der Architektur Out5 64
Abbildung 5-26: Logische Architektur Out5 64
Abbildung 5-27: Physische Architektur Out5 65
Abbildung 5-28: Aufgabenverteilung der Architektur In5 67
Abbildung 5-29: Logische Architektur In5 67
Abbildung 5-30: Physische Architektur In5 68
Abbildung 5-31: Aufgabenverteilung der Architektur Out6 69
Abbildung 5-32: Logische Architektur Out6 69
Abbildung 5-33: Physische Architektur Out6 70
Abbildung 5-34: Aufgabenverteilung der Architektur In6 71

Abbildung 5-35: Logische Architektur In6 71
Abbildung 5-36: Physische Architektur In6 72
Abbildung 5-37: Aufgabenverteilung der Architektur Out7 73
Abbildung 5-38: Logische Architektur Out7 73
Abbildung 5-39: Physische Architektur Out7 74
Abbildung 5-40: Aufgabenverteilung der Architektur In7 75
Abbildung 5-41: Logische Architektur In7 76
Abbildung 5-42: Physische Architektur In7 76
Abbildung 5-43: Aufgabenverteilung der Architektur Out8 78
Abbildung 5-44: Die logische Architektur Out8 78
Abbildung 5-45: Die physische Architektur Out8 79
Abbildung 5-46: Aufgabenverteilung der Architektur In8 80
Abbildung 5-47: Die logische Architektur In8 80
Abbildung 5-48: Die physische Architektur In8 81
Abbildung 6-1 : Konzeptionelle Unterschiede des Raumbezugssystems 82
Abbildung 7-1: Physische Architektur ohne Geodatenserver 84
Abbildung 7-2: Physische Architektur mit Geodatenserver 85

Anhang B Bibliographie

Rosenthaler und Partner AG, EPFL-DGC, INSER Consultants SA (1994): STRADA-DB : Strassendatenbank für das MSE, Leitfaden für die Einführung und den Betrieb, im Auftrag von: Bundesamt für Strassen.

Golay F, Oggier R, Gilgen M. (2000): SYRROU: Système de repérage des données routières, base pour la révision des normes SN 640'910, 640'911 et 640'920, im Auftrag von: Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS).

Rosenthaler Chr, Oggier R. (2001): Strassendatenbank für das Management der Strassenverkehrsanlagen, Konzeptuelle Daten-Modellierung, Entwurf, Version 0.69, im Auftrag von: Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute.

Longley A Paul, Goodchild F. Michael et al. (1999): Geographic Information Systems, Principals and Technical Issues, volume 1, second edition, John Wiley and Sons, inc.

Longley A Paul, Goodchild F. Michael et al. (1999): Geographic Information Systems, Management Issues and Applications, volume 2, second edition, John Wiley and Sons, inc.

Thériault Marius (1996): Systèmes d'information géographique, concept fondamentaux, notes de cours; Département de géographie, Université de Laval, Québec.

Lang Laura (1999): Transportation GIS, published by: Environmental Systems Research Institue, Inc.

SOGI-Tagung (1998): GIS – Ein Managementinstrument für öffentliche Verwaltungen, Tagungsband.

SOGI-Tagung Zürich, Workshop 2 (1998): WWW + GIS, die Technik, die Praxis, die Vision.

OpenGIS Consortium (1998): The OpenGIS Abstract Specification Model, topic 0-14, version 3.

OpenGIS Consortium (1998): The OpenGIS Guide, version 3.

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (1989): SN 640'910, Räumliches Basis-Bezugssystem für Strassendaten.

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (1991): SN 640'911, Betriebsnetze für Strassendaten.

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (1989): SN 640'920, Beschilderung und Markierung der Bezugspunkte.

Pang Qin, Paschoud Olivier (1998): Prospection technologique d'outils géoinformatiques, serveurs de données spatiales et consultation de données spatiales sur Internet, Département de Génie Rural, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne.

ASIT (1994): Verknüpfung der Raumbezüge zwischen grafischen Kartensystemen (wie ASIT-MAP) und dem Basis-Bezugssystem von STRADA-DB gemäss SN 640'910/920, im Auftrag von: Bundesamt für Strassenbau.

Anhang C Koordinatentransformationen

1 Allgemeines

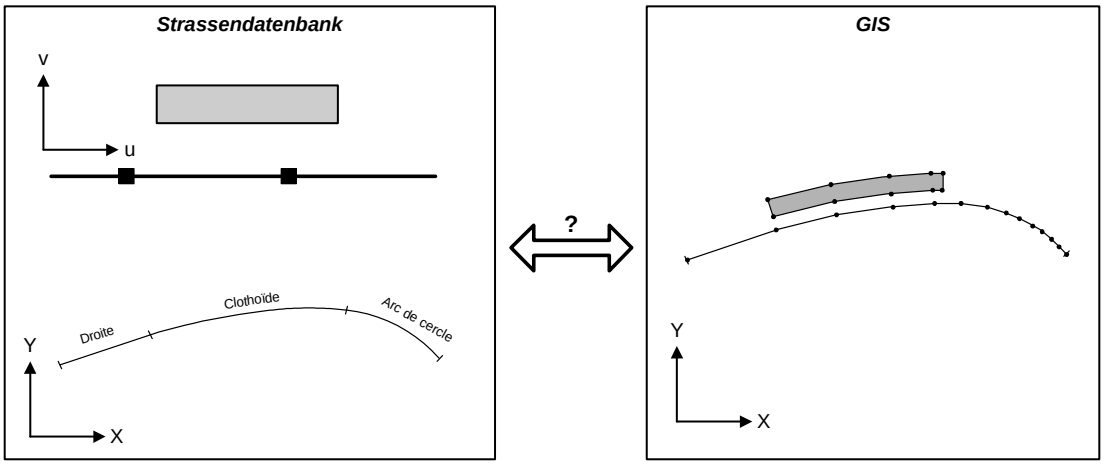


Abbildung C-1 : Konzeptionelle Unterschiede des Raumbezugssystems

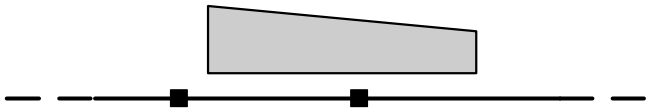
Die Unterschiede zwischen dem Bezugssystem der Strassendatenbanken und dem GIS sind vor allem konzeptioneller Natur :

- Die Beschreibung eines Ortes im GIS ist unabhängig von der Erhebungsmethode, und damit auch von den erhobenen Grössen und Werten. Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Daten geographisch miteinander beliebig kombiniert werden können.
  In den Strassendatenbanken werden die gemessenen Distanzen in die Datenbank erfasst. Das Projekt SYRROU der ETH-L (Forschungsprojekt 10/99) hat gezeigt, dass die Ablage von Distanzen in der SDB aus konzeptionellen Gründen besser geeignet ist als X,Y-Koordinaten.
- Die räumlichen Objekte im GIS sind à-priori voneinander unabhängig. Dies ist jedoch für Strassenobjekte nicht der Fall, die in den Strassendatenbanken verwaltet werden. Belagsschichten, Fahrstreifen, geometrische Profile usw. sind, obwohl sie als eigene Informationsobjekte modelliert werden, Bestandteil eines Strassenobjektes.
- Objekte im GIS sind von der Geometrie abhängig. Ohne Geometrie können diese Objekte nicht definiert werden. In den Strassendatenbanken werden die Objekte jedoch unabhängig von der Geometrie beschrieben, d.h. deren Position auf einem Strassenobjekt kann beschrieben werden, ohne dass die Beschreibung der Axgeometrie der Strasse bekannt ist. Dies hat den Vorteil, dass die Daten auf unterschiedliche Geometrien abgebildet werden können. Es kann gleichzeitig eine Geometrie 1:10'000 und eine Geometrie 1:100'000 genutzt werden, ohne dass die Positionen der Strassenobjekte geändert werden müssen.
- Kartesische Bezugssysteme sind für eine präzise Beschreibung der Geometrie geeignet, während dem das lineare Bezugssystem von bestimmten Hypothesen ausgeht, die eine präzise Geometriebeschreibung erschwert. Beispielsweise folgen alle Objekte der "kurvigen" Geometrie der Strasse.

Die Koordinatentransformationen X,Y<->u,v werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

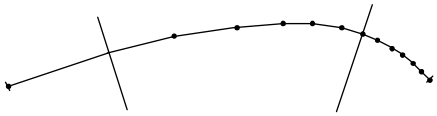
2 Transformation von u,v nach X,Y

2.1 Vorgehen

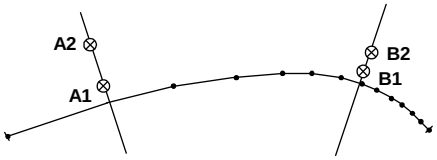


1. Selektion des Objekts

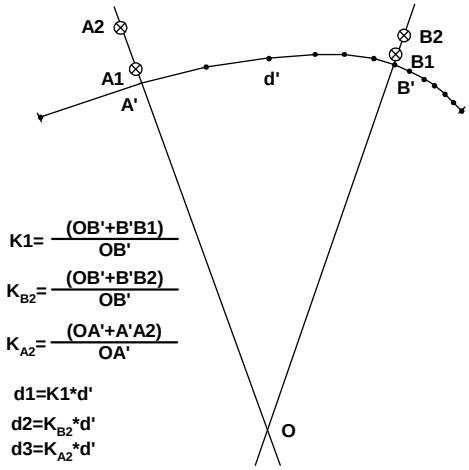
2. Berechnungen der Projektionen



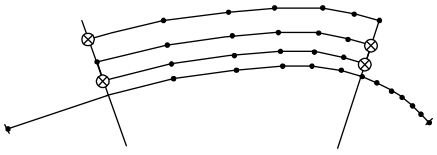
3. Berechnung der Lote



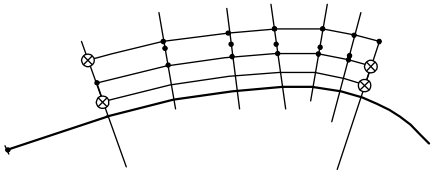
4. Eintragung der charakteristischen Punkte



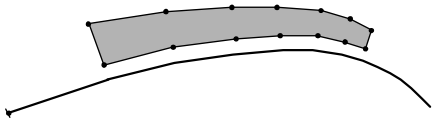
5. Berechnung der Streck/ Stauchfaktoren und Distanzen



6. Berechnung der Vertexpunkte



7. Interpolation falls nötig



8. Ablage der Geometrie des Informationsobjekts

Abbildung C-2: Verfahrensschritte für die Berechnung der Geometrie eines flächigen Objekt im X,Y-Koordinatensystem

Für dieses Kapitel wird angenommen, dass die Axgeometrie in der SDB nur aus geraden Elementen besteht. Sie muss vorher nicht umgewandelt werden.

Die folgenden Etappen sind für die Transformation [X,Y] in [u,v] zu berücksichtigen:

1. Selektion des Objekts und der Geometrie der Achse
2. Berechnung der X,Y-Koordinaten der Projektionen des Anfang- und Endpunktes A' und B' des Objektes auf die Axgeometrie.
3. Berechnung der Lote auf die Axe durch A' und B'
4. Eintragung der seitlichen Abstände (A und B) und Breiten auf die Lote (A1 und A2 bzw. B1 und B2)
5. Berechnung der Streck- bzw. Stauchfaktoren mit Hilfe des berechneten Lotschnittpunktes (Strahlensatz oder ähnliche Dreiecke) pro Eintrag auf die Lote.
6. Berechnung der Vertexpunkte aller Parallelen durch A1, A2, B1, B2 mit Hilfe des Streck/Stauchfaktors, indem man die Winkel konstant lässt.
7. Neuberechnung der Vertexpunkte durch lineare Interpolation zwischen A1 und B1, A2 und B2, falls der seitliche Abstand zwischen A1 und B1 oder A2 und B2 verschieden sind.
8. Ablage der Vertexpunkte und den Bezug zum Informationsobjekt

2.2 Problemfall 1: Zonen mit doppelter Bedeckung oder ohne Bedeckung

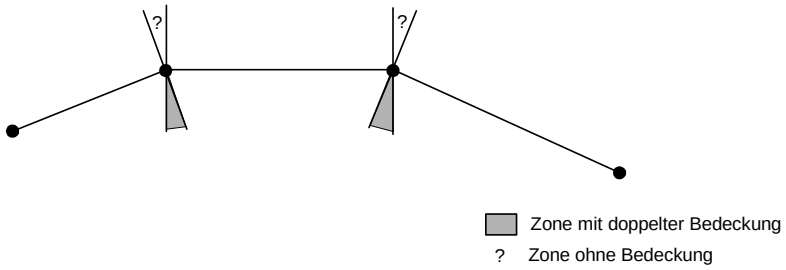


Abbildung C-3 : Keine oder doppelte Bedeckung des linearen Bezugsystems, hervorgerufen durch die GIS-Abstraktion der Strassengeometrie

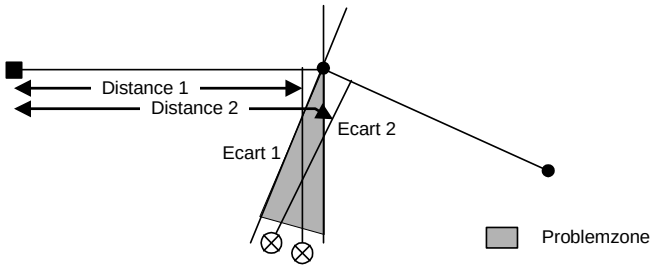


Abbildung C-4 : Konsequenz der doppelten Bedeckung, Sequenz der Strassenobjekte wird nicht beibehalten

In den meisten GIS-Produkten werden Linien mit einer Anzahl Punkten (Koordinatenpaare), sogenannte Vertexpunkte, beschrieben und diese Punkte werden durch Geraden verbunden. Anstatt eine stetige Veränderung der Geometrie (wie es beispielsweise bei Strassen ist) wird sie abrupt bei jedem Vertexpunkt verändert.

Dies führt dazu, dass einzelne Zonen doppelt vom linearen Bezugssystems beschrieben wird und andere Zonen gar nicht (Siehe Abbildung C-3). Zudem kann die Sequenz der sich in der doppelt bedeckten Zone befindenden Objekte verändern (Siehe Abbildung C-4).

Die ideale Lösung erfüllt folgende Bedingungen:

– Die Sequenz der Strassenobjekte soll beibehalten werden, d.h. das ein Objekt X mit einer Bezugsdistanz d vom Bezugspunkt BP1 und ein Objekt Y mit einer Bezugsdistanz D >d zu demselben Bezugspunkt BP1,

so soll auf der kartographischen Darstellung (GIS) das Objekt X näher dem Bezugspunkt BP1 sein als das Objekt Y.

- Die topologischen Bedingungen sollen beibehalten werden, d.h. zwei sich berührende flächige Objektesollen sich auch auf der kartographischen Darstellung berühren.
- Die Form der Strassenobjekte soll beibehalten werden.

Die im weiteren dargestellten Lösungsvorschläge beruhen auf der folgenden Regel:

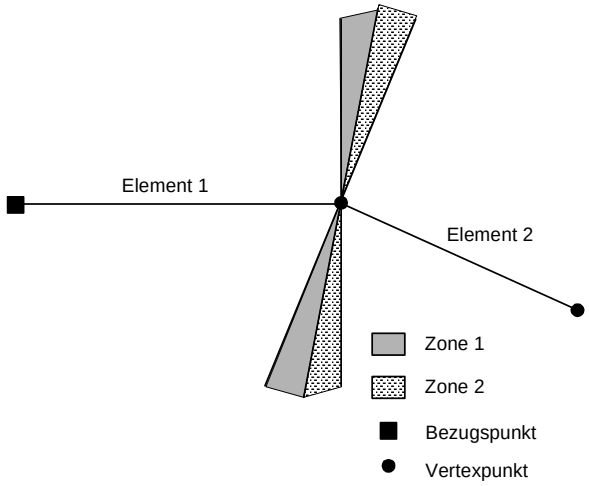


Abbildung C-5: Grundlage der Lösungsvorschläge, Unterteilung der Problemzone durch die Winkelhalbierende

Die Winkelhalbierende unterteilt die Problemzone in Subzonen, um die Orte jeweils einem Segment zuordnen zu können. Die Orte, welche sich in einer der Subzonen befinden, werden somit genau auf einem Segment abgebildet. Wie in Abbildung C-5 dargestellt, werden die Orte der Zone 1 dem Segment 1 und die Orte der Zone 2 dem Segment 2 zugeordnet.

Es seien :

D: Bezugsdistanz der Vertexpunktes zum vorhergehenden Bezugspunkt

u1: Bezugsdistanz eines Ortes in der Zone1

u2: Bezugsdistanz eines Ortes in der Zone2

So folgt: u1<D<u2.

Alle Orte der Zone 1 besitzen somit eine Bezugsdistanz u kleiner als diejenige des Vertexpunktes (Distanz D) und alle Orte der Zone 2 besitzen eine Bezugsdistanz u grösser als diejenige des Vertexpunktes.

Diese Regel ist notwendig, um die richtige Sequenz der Strassenobjekte (Orte) gewährleisten zu können.

a) Lösungsvorschlag 1.1 für die doppelt bedeckte Zone

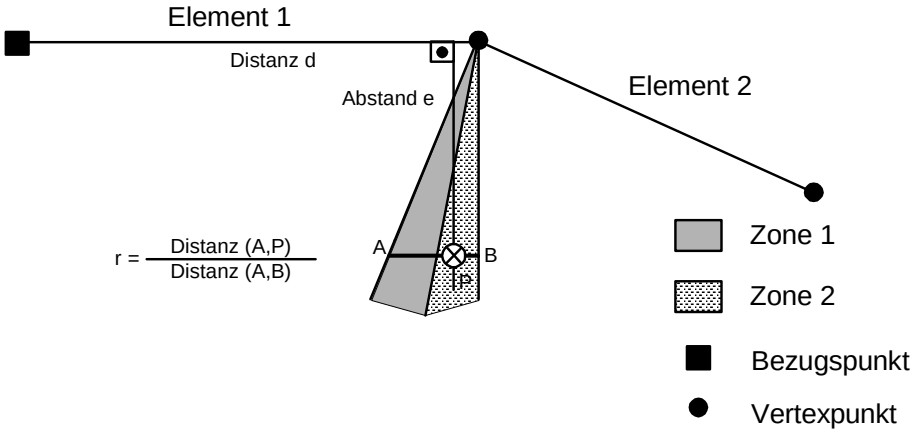


Abbildung C-6: Ein Ort mit u,v Koordinatenpaar in der doppelt bedeckten Zone.

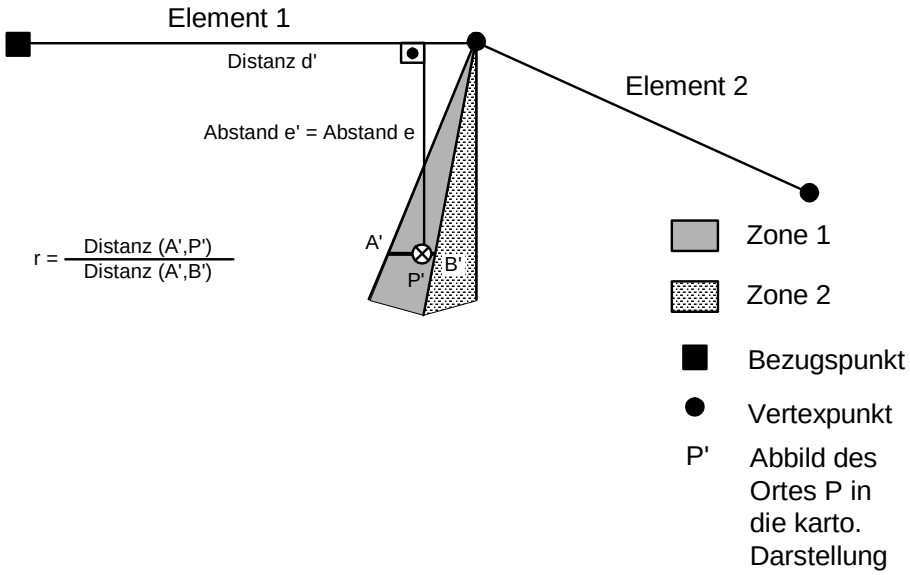


Abbildung C-7: Die Versetzung des Ortes in der kartographischen Darstellung

Die Abbildung C-6 stellt eine Situation dar, in der die Berechnung der X,Y Koordinaten aus den u,v Koordinaten, den Ort inmitten der Zone 2 setzt, obwohl die Bezugsdistanz u kleiner als die des Vertexpunktes ist. Dies widerspricht der oben formulierten Regel. Somit muss der mit Hilfe von X,Y Koordinaten beschriebene Ort in der kartographischen Darstellung verschoben werden (die X,Y Koordinaten werden neu berechnet).

Dazu wurde folgende Transformationsregel festgelegt:

> Man lege eine Parallele zum Segment 1 durch den theoretischen Ort P[X,Y]. Die Schnittpunkte dieser Parallele mit den zwei Loten durch den Vertexpunkt (ein Lot für jedes Segment) werden A respektive B bezeichnet. Der Schnittpunkt der Parallele mit der Winkelhalbierende wird mit B' bezeichnet und der gesuchte Ort mit P'[X',Y']
>
> Das Verhältnis der Distanz AP zur Distanz AB ist gleich dem Verhältnis der Distanz AP' zur Distanz AB'.
>
> P'[X',Y'] befindet sich auf derselben Parallele wie P[X,Y]. Damit wird der Abstand des Ortes zur Geometrie der Strassenaxe während der zusätzlichen Transformation konstant belassen.

Die Ausführung dieser Transformation wird in Abbildung C-7 dargestellt.

Diese Lösung lässt die topologischen Eigenschaften der Strassenobjekte und somit auch die Sequenz bei. Die geometrische Form von flächigen Strassenobjekten wird jedoch verändert, wie es die Abbildung C-8 anhand eines Fahrbahnbelages zeigt.

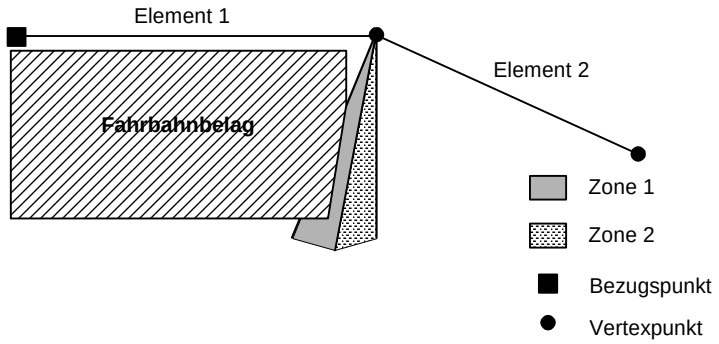


Abbildung C-8: Veränderung der geometrischen Form von flächigen Strassenobjekten durch die zusätzliche Transformation

b) Lösungsvorschlag 1.1 für die nicht bedeckte Zone

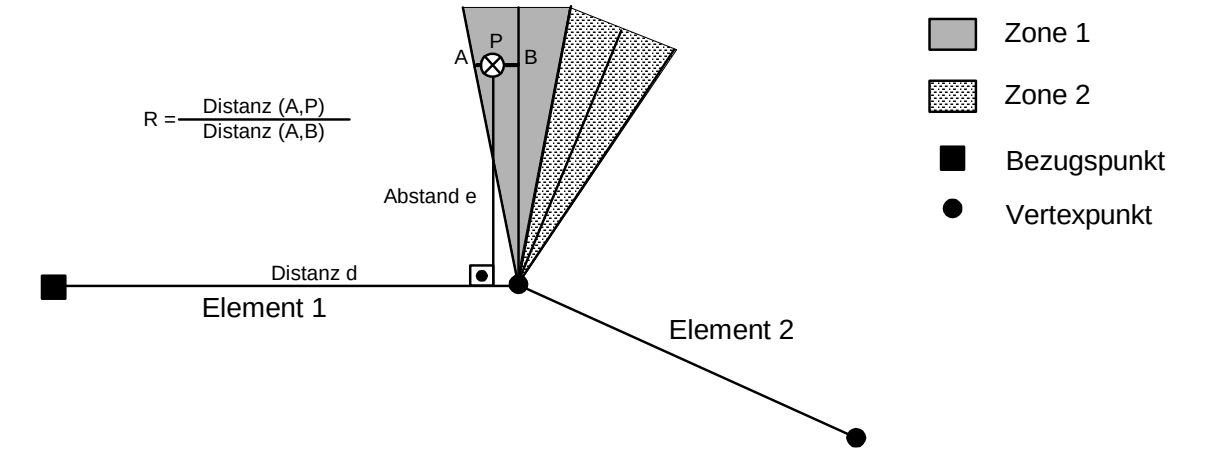


Abbildung C-9: Ein Ort mit u,v Koordinatenpaar in der nicht bedeckten Zone.

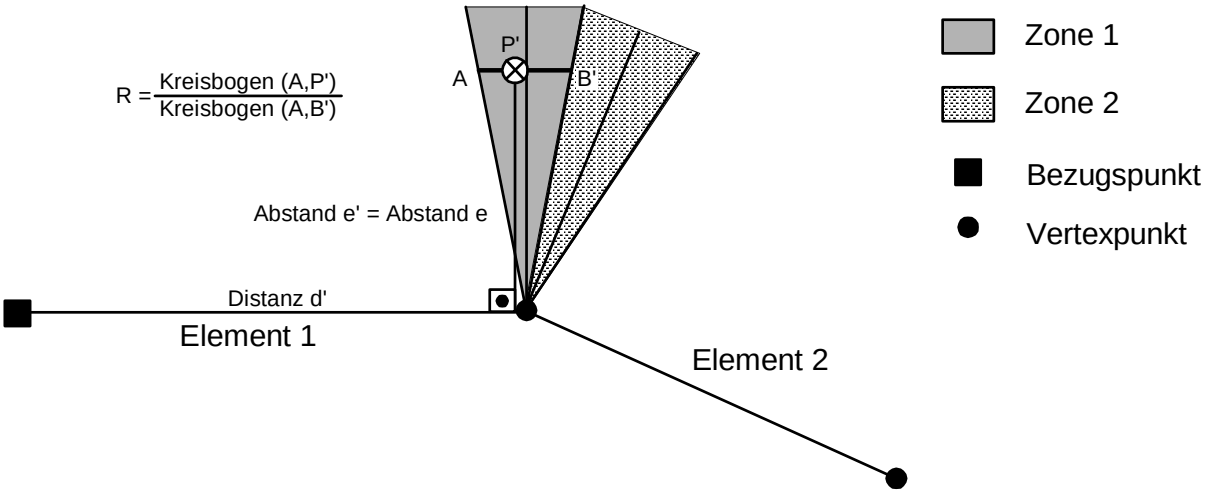


Abbildung C-10: Die Versetzung des Ortes in der kartographischen Darstellung

Die Abbildung C-5 auf Seite C-4 definiert einen Bereich, in der ohne eine spezielle Transformation nie ein Ort zuliegen kommt, weil die Strassenaxe meist als eine Menge zusammenhängender Geraden in einem GIS-Produkt (kartographische Darstellung im X,Y Koordinatensystem) dargestellt wird. Dieser Bereich wird als nicht bedeckte Zone bezeichnet. Um die räumliche Stetigkeit der geographischen Beschreibung durch das lineare Bezugssystem auch in kartographischen Darstellungen gewährleisten zu können, muss eine weitere Transformation eingeführt werden.

Die vorgeschlagene Lösung beruht sich auf folgende Annahme:

Die Fläche der doppelt bedeckten Zone wird der Fläche, in der die Orte aufgrund der nicht bedeckten Zone versetzt werden müssen, gleichgesetzt.

Es seien:

F1: die Fläche der doppelt bedeckten Zone

F2: die Fläche der nicht bedeckten Zone

S: die Fläche, in der die Orte aufgrund der nicht bedeckten Zone verschoben werden müssen. Diese Fläche wird zudem links und rechts der nicht bedeckten Zone in gleichwertige Flächen unterteilt.

So wird festgelegt, dass F1=F2=S

Dadurch wird sichergestellt, dass die Fläche flächiger Strassenobjekte (z.B Belag), deren Axe sich auf der Strassenaxe befinden, in der kartographischen Darstellung beibehalten wird.

Wie in Abbildung C-9 und Abbildung C-10 dargestellt, werden folgende Transformationsregeln formuliert:

Man spiegle die Winkelhalbierende bezüglich dem Lot f auf das Segment 1 durch den Vertexpunkt. Falls der theoretische Ort zwischen dem Abbild der Winkelhalbierende und dem Lot L zuliegen kommt, erfährt er eine Verschiebung.

Man lege eine Parallele zum Segment 1 durch den theoretischen Ort P[X,Y]. Der Schnittpunkte dieser Parallele mit dem Lot f wird mit B bezeichnet und der Schnittpunkt dieser Parallele mit der Winkelhalbierenden resp. mit dem Spiegelbild wird A bzw. B' bezeichnet. Der gesuchte Ort wird mit P'[X',Y'] bezeichnet.

Das Verhältnis der Distanz AP zur Distanz AB ist gleich dem Verhältnis der Distanz AP' zur Distanz AB'.

P'[X',Y'] befindet sich auf derselben Parallele wie P[X,Y]. Damit wird der Abstand des Ortes zur Geometrie der Strassenaxe während der zusätzlichen Transformation konstant belassen.

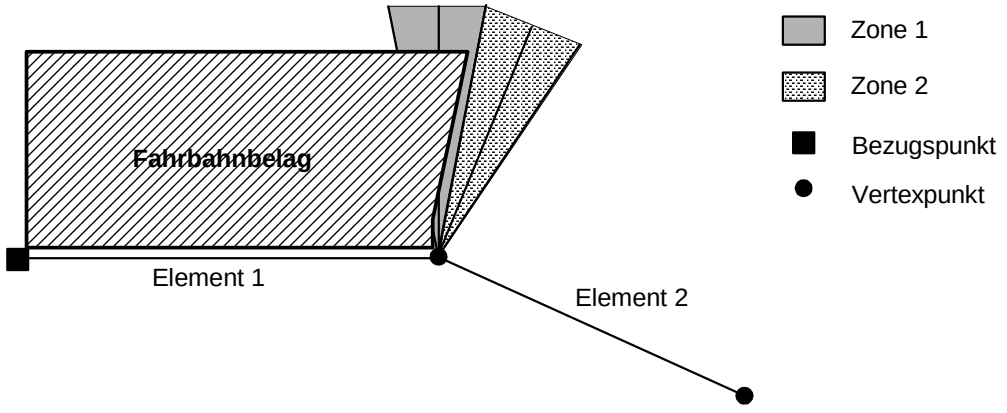


Abbildung C-11: Veränderung der geometrischen Form von flächigen Strassenobjekten durch die zusätzliche Transformation

Diese Lösung lässt die topologischen Eigenschaften der Strassenobjekte und somit auch die Sequenz bei. Die geometrische Form von flächigen Strassenobjekten wird jedoch verändert, wie es die Abbildung C-11 anhand eines Fahrbahnbelages zeigt.

c) Lösungsvorschlag 1.2 mit Hilfe ausschliesslich von Winkelhalbierenden

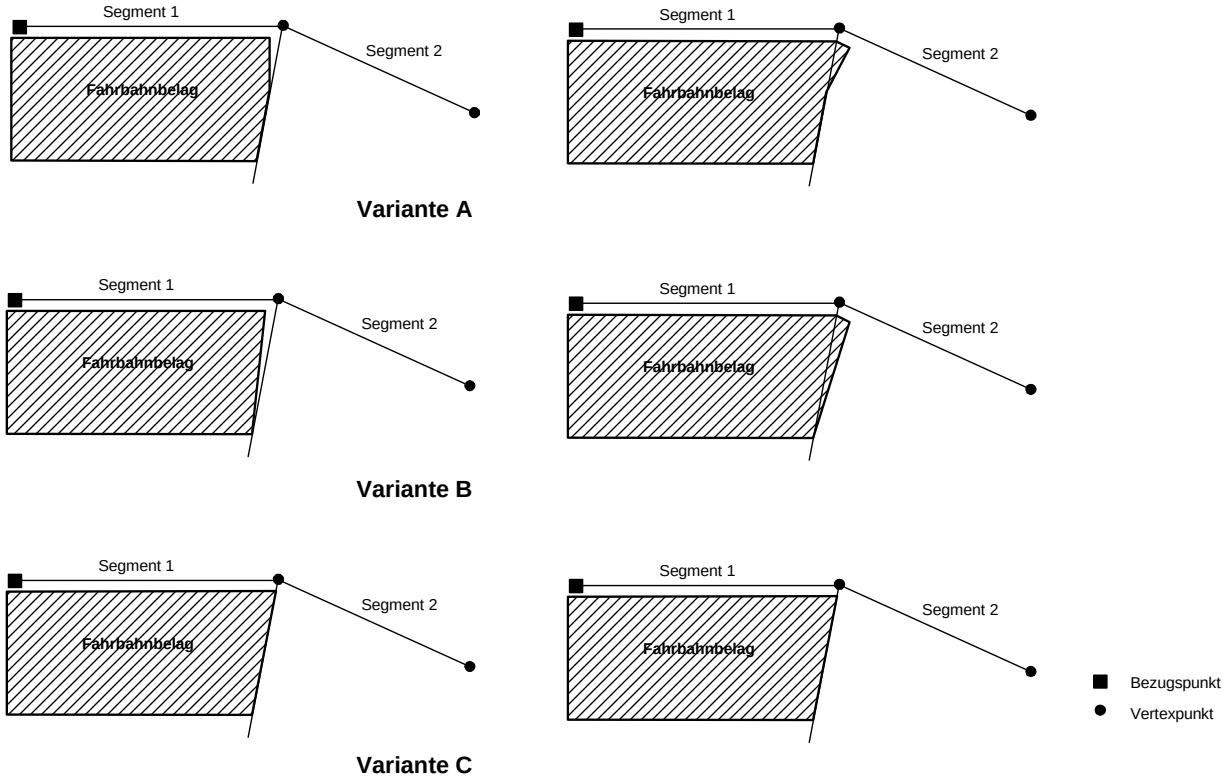


Abbildung C-12: Die zwei Varianten des Lösungvorschlag 1.2 mit Hilfe der Winkelhalbierenden

Der Problemfall der doppelten bzw. nicht bedeckten Zonen wird durch folgende Regeln vermieden:

- Die Winkelhalbierende in einem Vertexpunkt der Ax-Geometrie (die zwei Geometrie-Segmente verbindet), teilt den Bezugsbereich des Strassenraums auf die beiden Geometrie-Segmente auf.
- **Variante A**: Sobald das Lot, das entweder die Anfangs- oder die Endgrenzlinie bildet, die Winkelhalbierende schneidet, folgt die Grenzlinie der Winkelhalbierenden.
- **Variante B**: Stützpunkte, die auf den Bezugsbereich des benachbarten Geometrie-Elements fallen, werden auf die Winkelhalbierende abgebildet und mit dem anderen Stützpunkt der entsprechenden Anfangs- oder Endgrenzlinie durch eine Gerade verbunden.
- **Variante C**: Sobald eine der beiden Stützpunkte in den Bezugsbereich des benachbarten Geometrie-Elements fällt, werden beide Stützpunkte der entsprechenden Anfangs- oder Endgrenzlinie auf die Winkelhalbierende abgebildet.

	Vorteile	***Nachteile***
Variante A	Topologie wird beibehalten	Schwer nachvollziehbar Anfangs- und Endgrenzlinien sind nicht mehr Geraden
Variante B	Nachvollziehbar	Topologie wird nicht beibehalten
Variante C	Visuel saubere Darstellung	Topologie wird nicht beibehalten Mehrere flächige Objekte können identisch sein obwohl sie andere Anfangs- bzw. Endreferenzdistanzen u haben.

d) Lösungsvorschlag 1.3 mit Hilfe linear interpolierten Hilfsgeraden

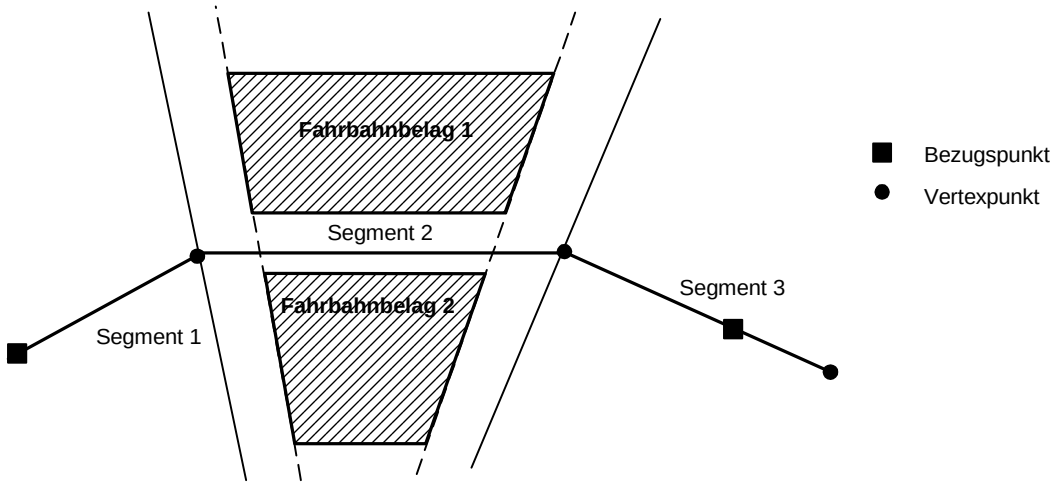


Abbildung C-13: Lösungsvorschlag 1.2 mit Hilfe linear interpolierten Hilfsgeraden

Der Problemfall der doppelten bzw. nicht bedeckten Zonen wird durch folgende Regeln vermieden:

- Die Winkelhalbierende in einem Vertexpunkt der Ax-Geometrie (die zwei Geometrie-Segmente verbindet), teilt den Bezugsbereich des Strassenraums auf die beiden Geometrie-Segmente.
- Die Grenzlinien der Strassenobjekte werden mit Hilfe von Hilfsgeraden berechnet. Ein flächiges Strassenobjekt wird von zwei Hilfsgeraden und zwei Parallelen zu den jeweiligen Geometrie-Segmenten der Axe begrenzt. Die Steigung der Hilfslinien wird linear zwischen den beiden Winkelhalbierenden an den beiden Geometrie-Segment-Enden interpoliert.
- Seitliche Abstände oder Breiten bleiben auf den Loten erhalten. Die entsprechende Projektion auf die Hilfslinien muss berechnet werden.
- Am Anfang und am Ende des Geometrie-Segments der Axe wird das Lot auf das entsprechende Geometrie-Element als Winkelhalbierende angenommen.

Vorteile dieser Lösung sind:

- Topologie wird erhalten
- Nachvollziehbarkeit für Benutzer
- Anfangs- und Endgrenzlinie bleiben Geraden gemäss Definition in der Strassendatenbank.

Nachteile dieser Lösung sind:

- Die Geometrie und die Position jedes Objekts wird von mindestens drei Geometrie-Segmenten beeinflusst. Um ein Objekt beispielsweise auf dem Segment 4 abzutragen, muss das vorhergehende Segment 3 und das nachfolgende Segment 5 bekannt sein.
- Flächen werden stark verändert.
- Falls die aufeinanderfolgenden Winkelhalbierenden sich relativ nahe bei beim dazwischenliegenden Geometrie-Element schneiden, können einzelne Objekte nicht oder nur unvollständig dargestellt werden.

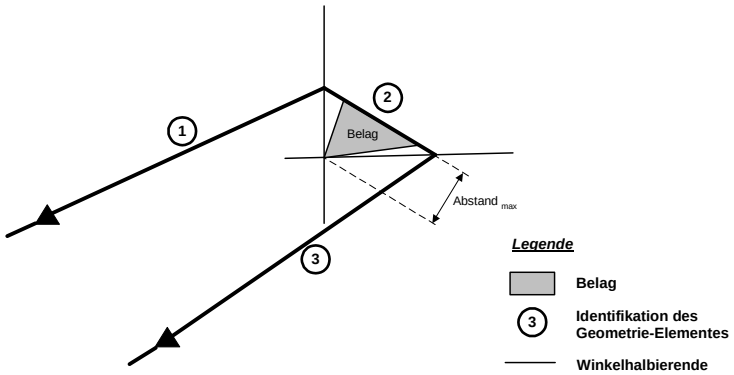


Abbildung C-14: Darstellung eines auf ein kleines Geometrie-Element bezogenes flächiges Objekt auf Grund des Lösungsvorschlags 1.3

Die oben aufgeführte Figur zeigt, dass ein auf ein kleines Geometrie-Element bezogenes Objekt auf der inneren Seite der Krümmung deformiert wird. In diesem Fall wird ein in der Strassendatenbank als Rechteck beschriebenes Objekt in ein Dreieck umgewandelt. Objekte mit grösserem seitlichem Abstand als derjenige des Schnittpunkts der Winkelhalbierenden "Abstand max" können nicht dargestellt werden. Flächen mit Stützpunkten grösseren Abstands als der Schnittpunkt müssen deformiert werden.

Dies ist zwar ein seltener Fall, aber es ist unerlässlich, alle Objekte darstellen zu können. Darum wird Folgendes vorgeschlagen:

Alle Stützpunkte eines Strassenobjekts, deren Abstand in einem solchen Fall grösser ist als der Abstand des Schnittpunkts, wird auf den Schnittpunkt abgebildet. Das entsprechende Objekt wird als "nicht integer" markiert.

2.3 Problemfall 2: Objekte mit unhomogener Kalibrierung

Ein Objekt mit inhomogener Kalibrierung bedeutet, dass zwischen dem Anfangspunkt und dem Endpunkt mindestens ein Kalibrierungspunkt zu liegen kommt und somit mehrere Kalibrationsfaktoren auf diesem Objet angewendet werden müssen. Dies beeinflusst nicht die Position des Anfangs- und des Endpunktes, stellt jedoch Fragen zur Interpolation des seitlichen Abstands zwischen diesen Punkten.

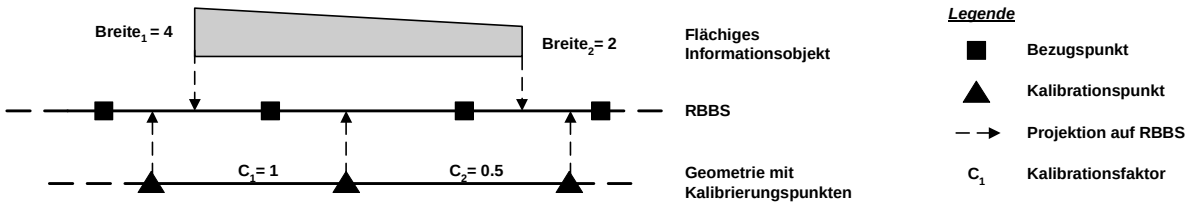


Abbildung C-15: Ausgangslage

Die Abbildung C-15 zeigt die Ausgangslage, so wie sie in STRADA-DB abgelegt wird. Das RBBS gilt als primäres Raumbezugssystem, d.h. alle Informationsobjekte (so auch die Geometrie und deren Kalibrationspunkte) werden mit Hilfe von Distanzen entlang der Strassenaxe und seitlichen Abständen auf dem RBBS referenziert. Aus Übersichtsgründen werden folgende Punkte nicht oder nur vereinfacht dargestellt:

- Die Referenzierung der Kalibrationspunkte auf der Geometrie (d.h. auf den Geometrie-Elementen) mit Hilfe von planimetrischen Distanzen.
- Die Geometrie wird als eine Gerade dargestellt. Die Form der Geometrie ist für diesen untersuchten Aspekt nicht entscheidend.
- Die Kalibrationsfaktoren sind derart definiert worden, damit die Unterschiede bei den Lösungsvarianten auch wirklich sichtbar werden.

Das flächige Informationsobjekt wird aus RBBS-Sicht (d.h. beispielsweise aus der Sicht des Benutzers der Axbanddarstellung) als Trapez erkannt. Anfangs- und Endpunkt werden auf dem RBBS lokalisiert und die geometrische Form wird mit Hilfe von Anfangs- und Endbreite beschrieben. Soll dieses Informationsobjekt nun auf eine Geometrie abgebildet werden, muss der Anfangs-und Endpunkt mit Hilfe der entsprechenden Kalibrationsfaktoren auf die Geometrie abgebildet werden.

Für die Abbildung der seitlichen Ausdehnung (Breite) eines Informationsobjekts in Bezug auf eine Geometrie können folgende Benutzeranforderungen gestellt werden:

- Konstanz der Fläche: Die Fläche des Objekts darf durch die Transformation nicht verändert werden.
- Konstanz der Anfangs- und Endbreite: Die Anfangs- und Endbreite darf durch die Transformation nicht verändert werden.
- Stetigkeit der Grenzlinie: Innerhalb des Objekts (die Grenze am Anfangs- und Endpunkt sind ausgeschlossen), darf die Grenze nie rechtwinklig zur Strassenaxe verlaufen. Der Begriff der Stetigkeit postuliert, dass die Ableitung der Grenzlinie bezüglich Strassenaxe auf jedem Punkt zwischen Anfangs- und Endpunkt definiert sein muss (f'(x) ist definiert, wobei f die Grenzlinie ist, x sich auf die Strassenaxe bezieht und sich zwischen Anfangs- und Endpunkt befindet).
- Konstanz der Topologie: Die topologischen Eigenschaften ("Nachbarschaft") dürfen durch die Transformation nicht verändert werden.
- Nachvollziehbarkeit: Die Transformation muss für den Benutzer nachvollziehbar sein.
- Sem. Konsistenz: Die Transformation mehrerer Objekte und deren Abbildung soll keine Widersprüche hervorrufen.

Für die Abbildung der seitlichen Ausdehnung (Breite) eines Informationsobjekts in Bezug auf eine Geometrie können folgende Varianten berücksichtigt werden:

- ***Variante 1***: Anfangs- und Endbreite bleiben konstant und zwischen Anfangs- und Endpunkt wird ohne Berücksichtigung der Kalibrationsfaktoren linear interpoliert.
- ***Variante 2***: Anfangs- und Endbreite werden derart verändert, dass die Fläche des Objektes erhalten bleibt. Zwischen Anfangs- und Endpunkt wird ohne Berücksichtigung der Kalibrationsfaktoren linear interpoliert.
- ***Variante 3***: Das Objekt wird bei jedem Kalibrationspunkt in Unterobjekte unterteilt ("gesplittet"). Die Parameter der linearen Interpolation bleiben erhalten. Die Breiten werden neu berechnet, damit die Fläche der Unterobjekte erhalten bleiben.
- ***Variante 4***: Variante 3 mit der zusätzlichen Bedingung, dass die Anfangs- und Endbreite des Objekts erhalten bleiben muss. Die Erhaltung der Parameter der linearen Interpolation wird somit nicht berücksichtigt.
- ***Variante 5***: Anwendung eines Kalibrationsfaktors auch auf den seitlichen Abstand und die Breiten. Es musste ein numerische Verfahren entwickelt werden, das den Kalibrationsfaktor des seitlichen Abstands bzw. Breiten beispielsweise in Funktion aller oder benachbarter Kalibationspunkte (Bedingung der Stetigkeit) und der Distanz zu den benachbarten Kalibrierungspunkten. Ein solcher Kalibrationsfaktor entspräche eher einer Funktion als einem konstanten Wert.

Nicht nur das angezeigte Objekt wird gekrümmt, sondern der ganze Strassenraum. Folglich werden die topologischen Beziehungen während der Transformation beibehalten.

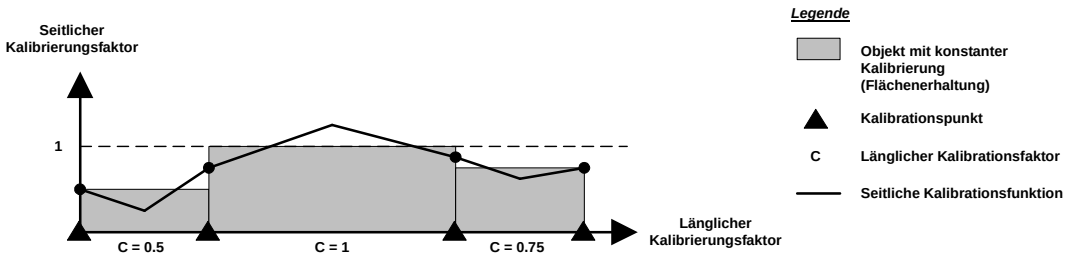


Abbildung C-16: Die seitliche Kalibrierungsfunktion

Die Abbildung C-16 stellt ein Beispiel einer solche seitlichen Kalibrationsfunktion dar: eine lineare Funktion. Die Definition der seitlichen Kalibrationsfunktion sollte berücksichtigen, dass der Kalibrationsfaktor in der Praxis nie den Wert 1 erreicht (d.h. die oben aufgeführte Funktion würde konsequenterweise den Abstand und die Breiten zusammenstauchen ->dies gilt zu verhindern). Der Gewinn oder der Verlust an Breite oder an seitlichem Abstand sollte global (d.h. wahrscheinlich auf Axebene) und zwischen benachbarten Kalibrationspunkten kompensiert werden. Zusätzlich sollte die Funktion, die "trapez"-artige Form der Objekte annähernd beibehalten.

– **Variante 6**: Die Breiten am Anfangsort, Endort und beim Kalibrationspunkt werden beibehalten. Zwischen diesen drei Orten werden die Breiten linear interpoliert.

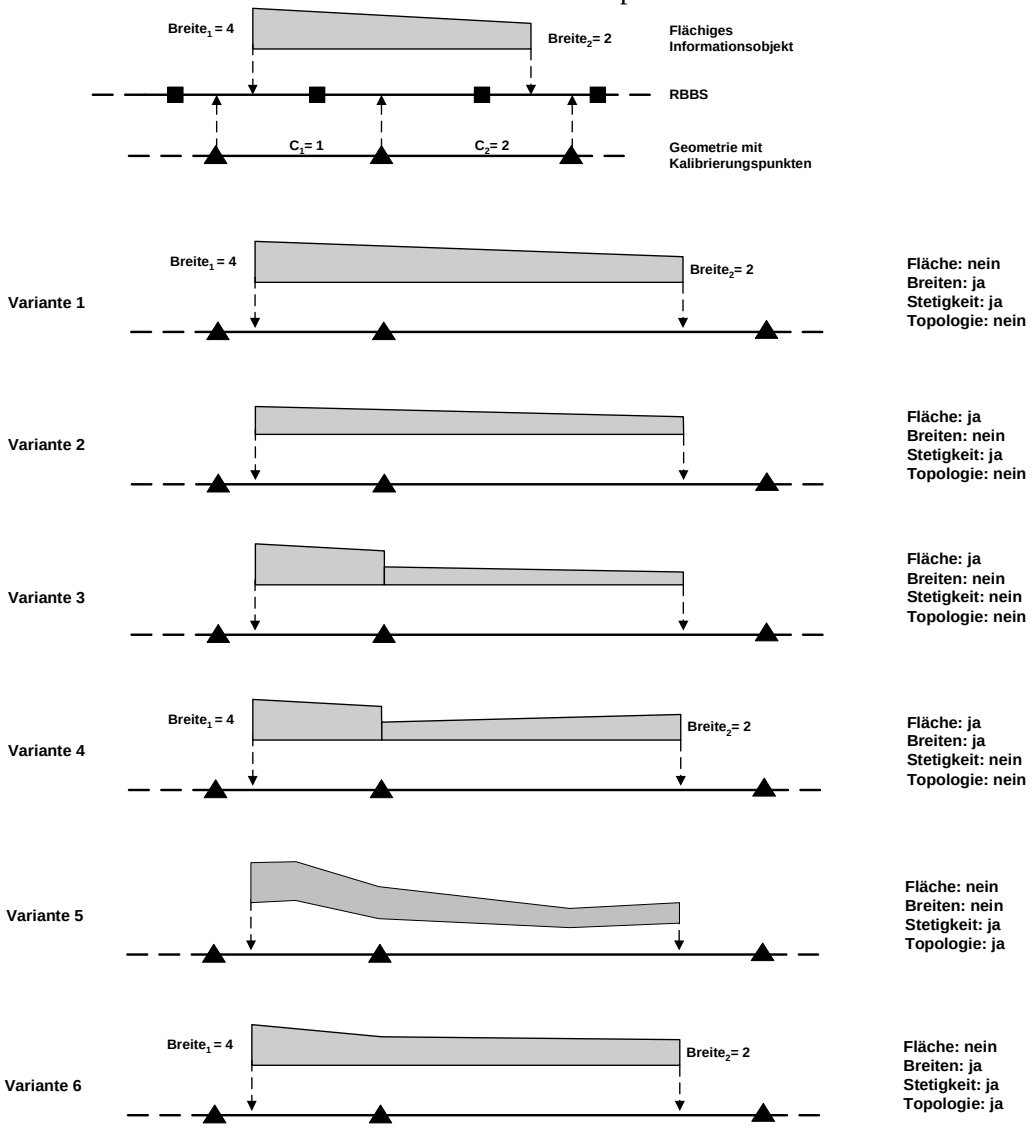


Abbildung C-17: Darstellung eines flächigen Objekts im XY-Koordinatensystem nach den Regeln jeder Variante

Mit Hilfe der in Abbildung C-17 dargestellten flächigen Objekte lassen sich die Varianten folgendermassen beurteilen:

	Fläche	*Breiten*	*Stetigkeit*	*Topologie*	*Nachvollziehbarkeit*	*Sem. Konsistenz*
Variante 1	-	+	+	+/-	+	-
Variante 2	+	-	+	-	+	-
Variante 3	+	-	-	-	-	-
Variante 4	+	+	-	-	-	-
Variante 5	-	-	+	+	-	+
Variante 6	-	+	+	+	+	

Die Varianten 3 und 4 müssen ausgeschlossen werden, da die Unstetigkeit der Grenzlinie eines flächigen Objekts vom Benutzer nicht akzeptiert werden kann. Die geometrische Form entspricht nicht mehr der Realität und der Benutzer wird sein Objekt kaum mehr wiedererkennen können.

Die Variante 5 und 6 behalten Topologie auf der Ganzen Länge und Breite bei. Bei der Variante 1 und 4 wird die Topologie nur beim Anfangs-und Endpunkt beibehalten, was für den Benutzer nicht unwesentlich ist, da er diese Breiten auf dem Feld misst und deren Nachbarschaft, also Topologie, kennt.

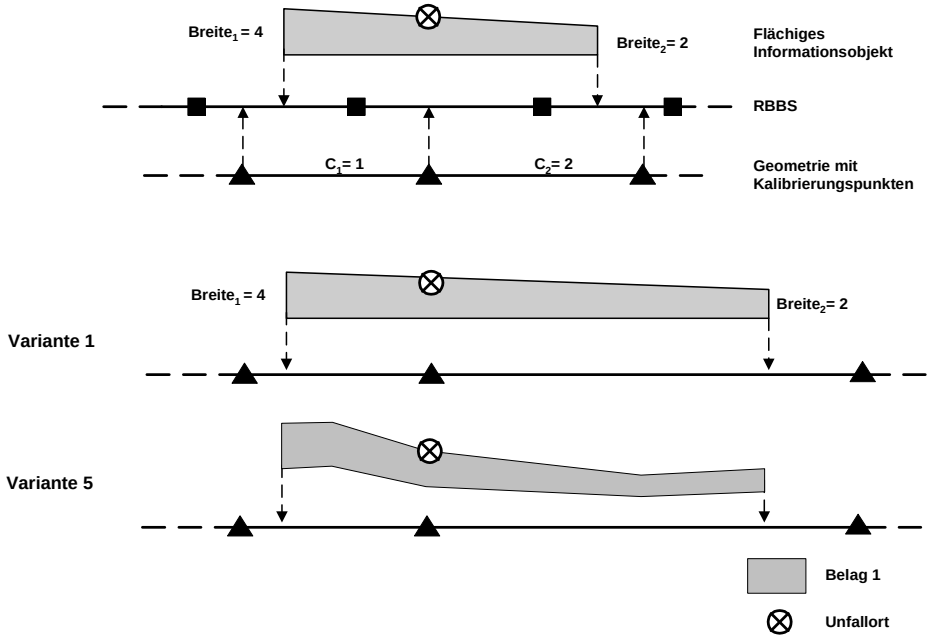


Abbildung C-18: Illustration einer topologischen Beziehung anhand eines punktuellen Objekts und deren Transformation

Die Abbildung C-18 zeigt eine topologische Beziehung anhand eines punktuellen Objektes, bespielsweise ein Unfallort, das sich am Rande eines Belags befindet. Nach der Transformation gemäss Variante 1 geht diese topologische Beziehung verloren (das punktuelle Objekt befindet sich innerhalb des Belags nach der Transformation), während dem die Variante 5 dies beibehält.

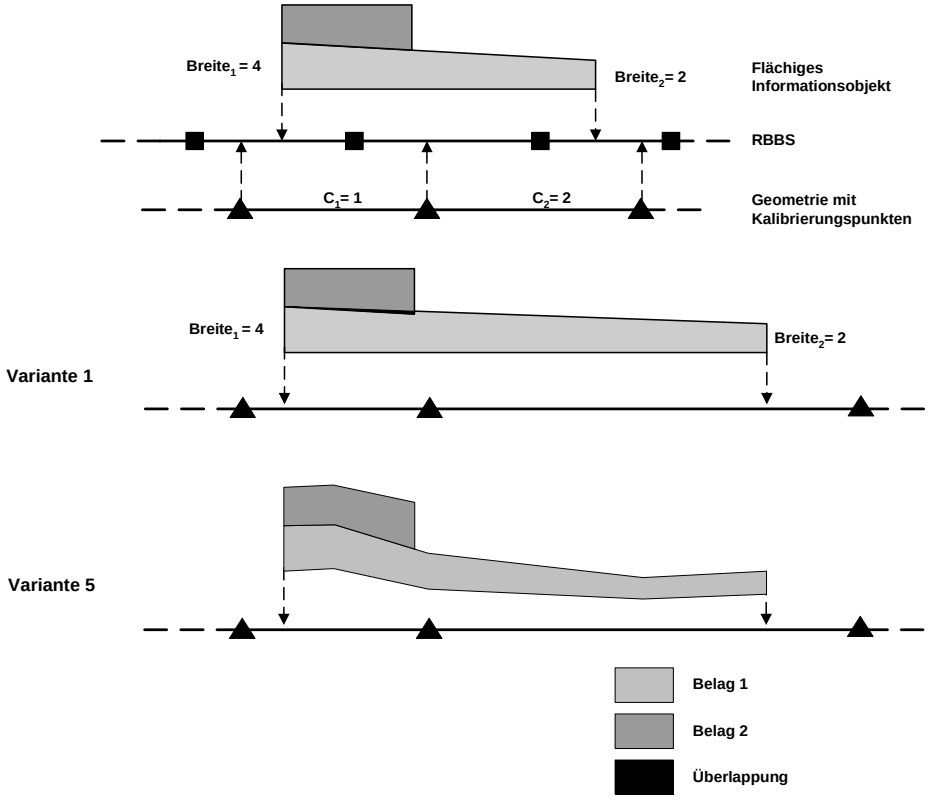


Abbildung C-19: Illustration einer topologischen Beziehung anhand zweier flächigen Objekte und deren Transformation

Die Abbildung C-19 zeigt zwei aneinandergrenzende Beläge (topologische Beziehung). Diese Beziehung geht bei der Variante 1 verloren, denn nach der Transformation überlappen sich die beiden Beläge. Die Variante 5 behält die topologische Beziehung während der Transformation.

Der einzige Unterschied zwischen Variante 1 und 2 ist die Veränderung der Breiten und Nicht-Einhaltung der Topologie am Anfangs- und Endpunkt der Variante 2. Zwei aneinanderliegende Beläge mit identischen Referenzdistanzen beim Anfangs- und Endpunkt, werden nach der Transformation nicht mehr aneinanderliegen. Daher ist die Variante 2 auszuschliessen.

Für die Implementierung ist die Variante 6 vorzuziehen, da sie einerseits die Topologie beibehält und andererseits von Benutzer vollziehbar ist. Variante 5 setzt voraus, dass die Kalibration eigentlich nicht abrupt, d.h an einem Punkt ändert. Bei der Verwendung von Kalibrationspunkten (beispielsweise bei Steigungswechseln) ist dies jedoch der Fall.

Der Knickpunkt, der die Variante 6 bei jedem Kalibrationspunkt generiert, muss in Kauf genommen werden.

2.4 Problemfall 3: Konsequenzen einer unregelmässigen Geometrie

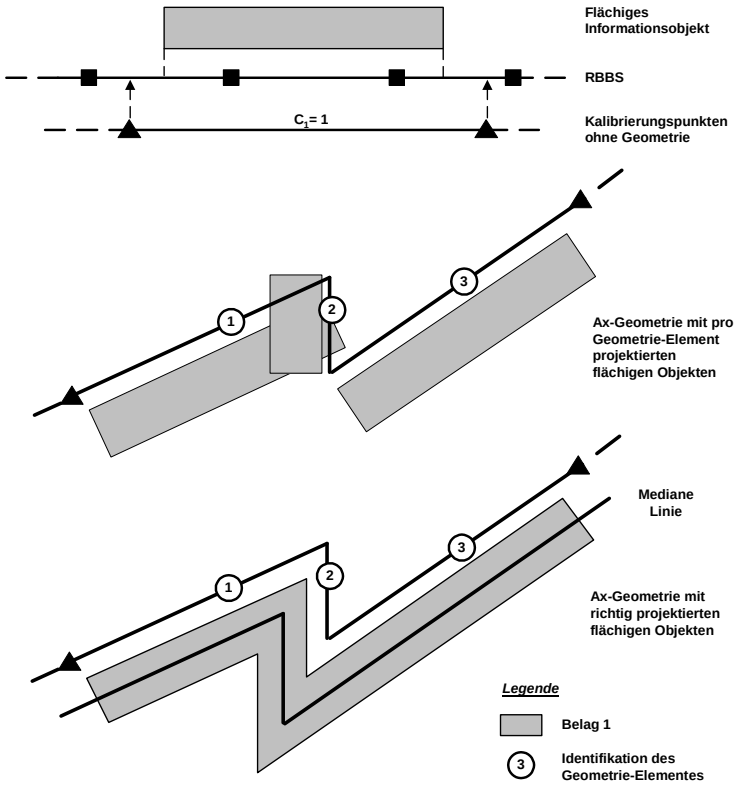


Abbildung C-20: Beispiel einer Zick-zack-Geometrie

Das oben aufgeführte Beispiel zeigt, dass die Berechnung pro Geometrie-Element nicht ausreicht, um die Geometrie eines flächigen Objekts richtig zu berechnen. Der Teil des flächigen Elementes, welcher parallel entlang des Geometrie-Elements 2 verläuft, muss in Längsrichtung verschoben werden, damit eine zur Axe parallele Fläche dargestellt wird.

Folgender Lösungsansatz kann hierzu angewendet werden:

- Die Stützpunkte bei Anfang und Ende des flächigen Objekts befinden sich jeweils auf dem entsprechenden Lot.
- In denjenigen Fällen, wo die erste Methode nicht anwendbar ist, werden die Stützpunkte durch die Winkelhalbierenden der zwei benachbarten zusammenhängenden Geometrie-Elemente definiert.

Bei einer Abfrage der Breite des flächigen Objekts an einem bestimmten Punkt auf der Axe, muss die Anwendung auf die in der Datenbank abgelegten Werte zugreifen, und nicht auf die für die Darstellung berechneten Werte.

Falls der Beginn oder das Ende eines flächiges Objekts auf dem Geometrie-Element 2 zuliegen kommt, wird es mit der Methode der Winkelhalbierenden abgebildet. Die topologischen Beziehungen in Längsrichtung gehen auf dem Geometrie-Element 2 jedoch verloren.

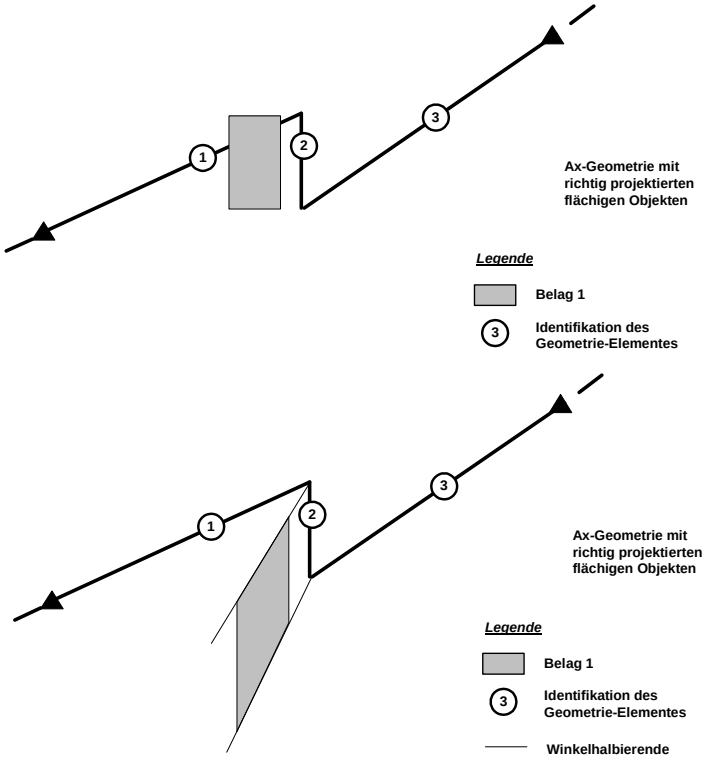


Abbildung C-21: Objekt auf kleinem Geometrie-Element

Als Regel gilt, dass ein Objekt, das auf ein Geometrie-Element projiziert werden muss, die Winkelhalbierenden nicht überschreiten darf. Bei kleinen Geometrie-Elementen heisst dies, dass Objekte auch in Längsrichtung verschoben werden müssen.

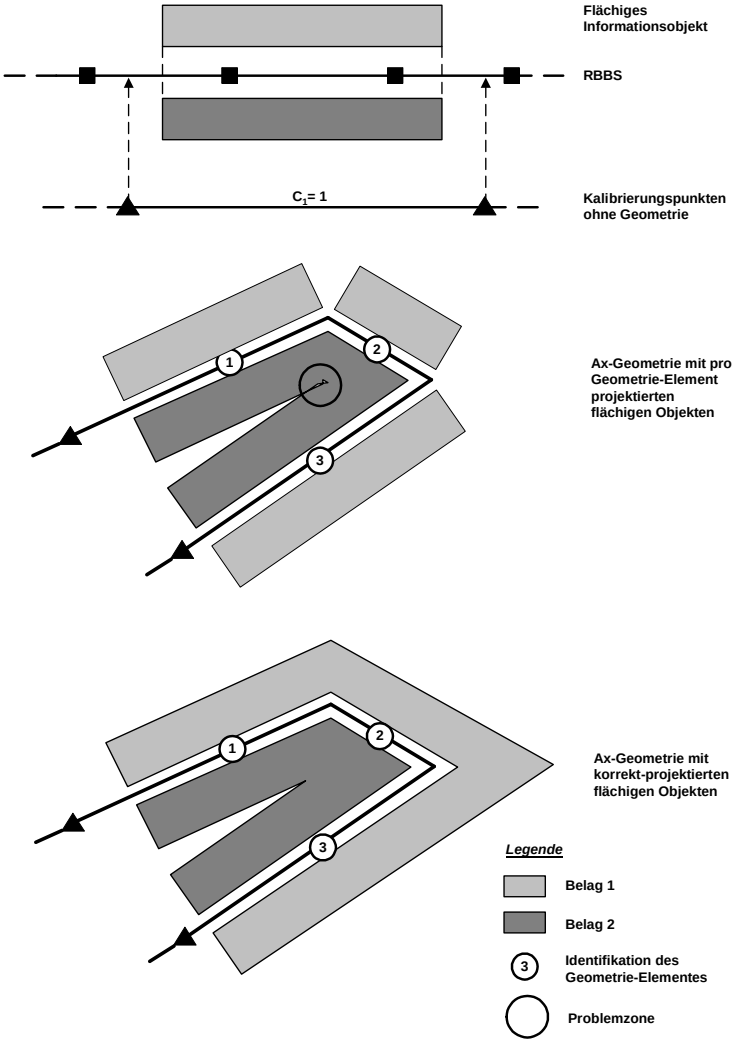


Abbildung C-22: Spezialfall für die Berechnung der Grenzlinie eines Objekts

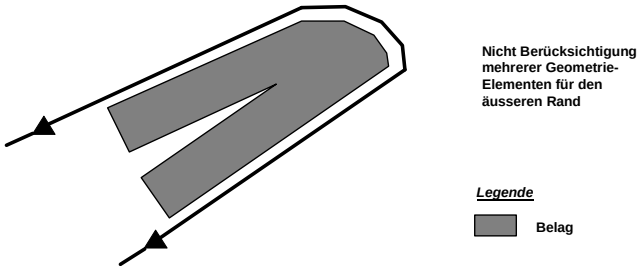


Abbildung C-23: Anderes Beispiel des Spezialfalls für die Berechnung der Grenzlinie eines Objekts

Der dargestellte Spezialfall besteht darin, dass bestimmte Geometrie-Elemente der Axe keine Auswirkungen auf die Grenzlinie beispielsweise eines flächigen Objekts haben dürfen.

Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, dass alle Zyklen der Grenzlinie (Siehe Abbildung C-22, mittlere Skizze) eliminiert werden, vorausgesetzt dass die Axe sich nicht schneidet.

Dieses Problem muss gelöst werden, da die meisten Visualisierungswerkzeuge Flächen mit sich schneidenden Grenzlinien nicht akzeptieren.

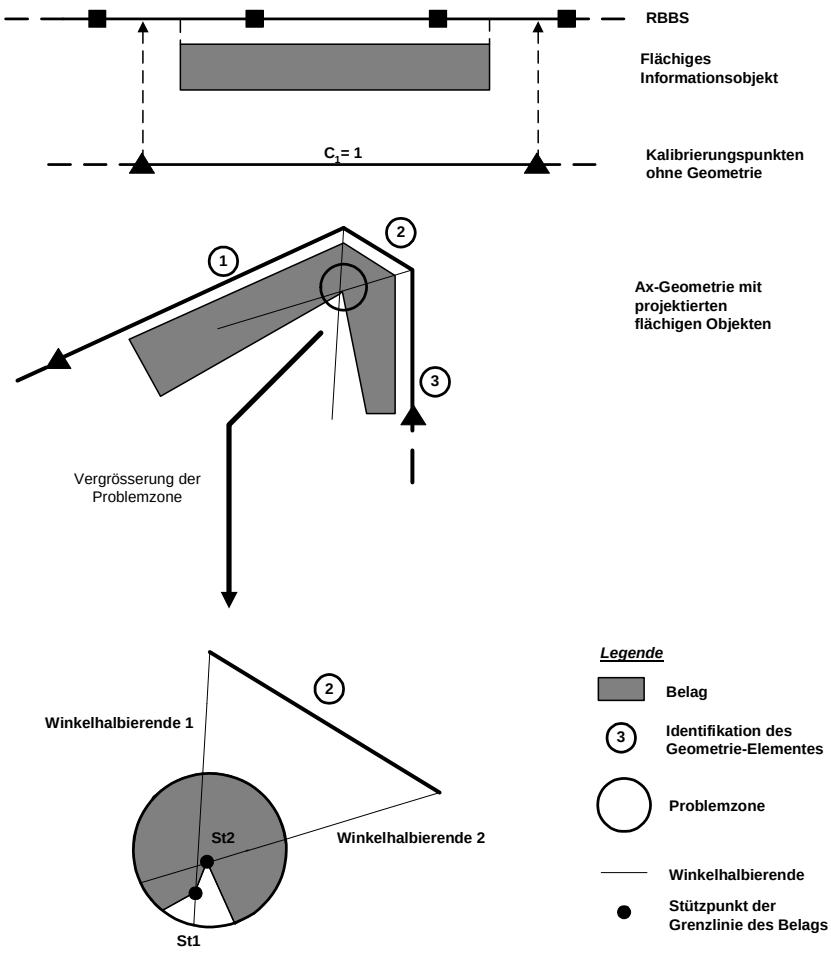


Abbildung C-24: Doppelte Stützpunkte bei kleinen Geometrie-Elementen

Bei flächigen Objekten kann die Grenzlinie linear interpoliert sein. Die Geometrie von kleinen Geometrie-Elementen, die eigentlich keine Auswirkungen auf die Grenzlinie haben dürfte, wird per Definition ebenfalls interpoliert. Die Abbildung C-24 illustriert ein Problemfall, bei welchem die Interpolation der Grenzlinie aufgrund der kurzen Stützpunktdistanz und der unterschiedlich grossen Winkel der Axpunkte schlecht positionierte Stützpunkte entstehen. Bei Geometrien mit so kleinen Geometrie-Elementen dürfen diese keine Auswirkungen auf die Interpolation der Objekte haben.

Die Problemfälle, die von diesen kleinen Geometrie-Elementen hervorgerufen werden, entstehen oftmals aufgrund einer ungenügend generalisierten Geometrie.

2.5 Problemfall 4: Unübersichtliche kartographische Darstellung

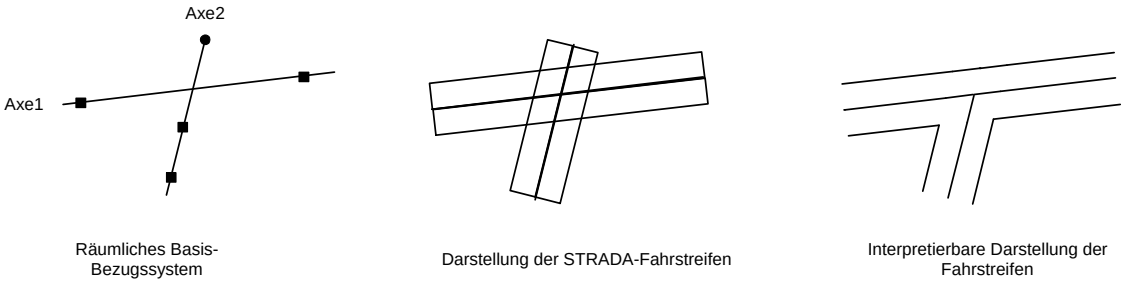


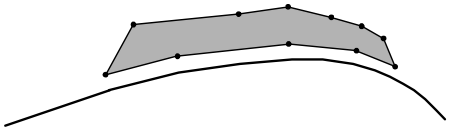
Abbildung C-25: Unübersichtliche kartographische Darstellung der Strassenobjekte in Kreuzungen

Strassenobjekte werden in der SDB bezüglich ihrer Strassenaxe referenziert, unabhängig von den Eigenschaften der Strassenobjekte auf anderen Strassenaxen. Diese einfache und für die Verwaltung der strassenspezifischen Fachdaten notwendige Lösung bringt aber den Nachteil mit sich, dass die kartographische Darstellung der Strassenobjekte bei Strassenaxenüberschneidungen unübersichtlich wird (vor allem für Akteure ausserhalb des Strassenunterhalts).

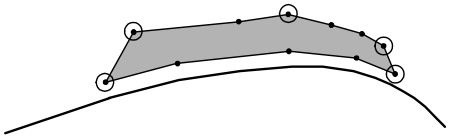
Diese Problem kann durch geeignete geometrische Manipulationen bereinigt werden.

3 Transformation von X,Y nach u,v

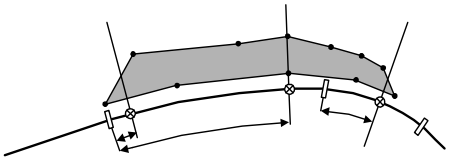
a) Vorgehen



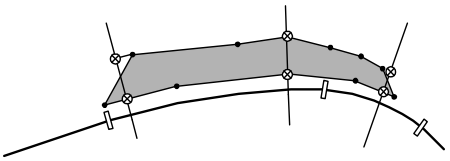
1. Selektion des GIS-Objektes



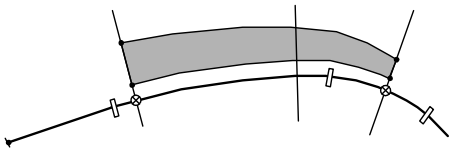
2. Bestimmung der charakteristischen Punkte



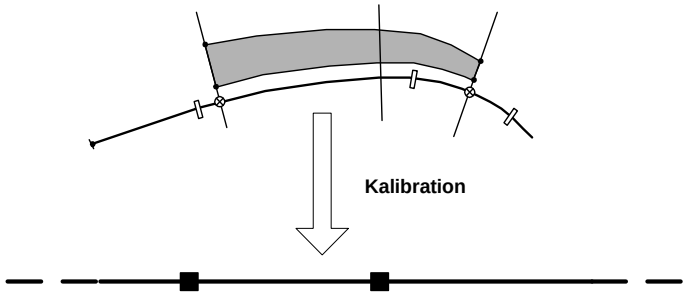
3. Projektion auf Referenz-Axgeometrie



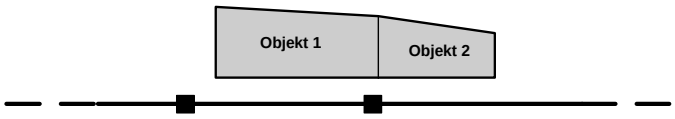
4. Projektion auf Lote der charakteristischen Punkte



4a. Präzisionsverlust durch Abstraktion



5. Kalibration auf RBBS



6. Informationsobjekt STRADA

Abbildung C-26: Die X,Y -> u,v Transformation

Dieses dargestellte Vorgehen behandelt den allgemeinen Fall, wenn geographische Strassenobjekte von einer beliebigen GIS-Anwendung in eine SDB importiert werden. In Zukunft muss aber eine für den Strassenunterhalt spezifische GIS-Anwendung zur Datenerfassung erstellt werden, welche die Abstraktion der SDB respektiert (u.a. die "parallele" Geometrie der Strassenobjekte zur Strassenaxe).

Die X,Y -> u,v Transformation verlangt die Durchführung folgender Etappen:

1. Selektion des GIS-Objektes
2. Bestimmung der charakteristischen Punkte
3. Projektion auf Referenz-Axgeometrie
4. Projektion der charakteristischen Punkte auf die Lote

4a Präzisionsverlust durch Abstraktion

5. Kalibration auf RBBS
6. Informationsobjekt STRADA

a) Problemfälle und Lösungsansätze

– **Nicht eindeutige Zuweisung von [u,v] Koordinatenpaar an einen [X,Y] Ort**

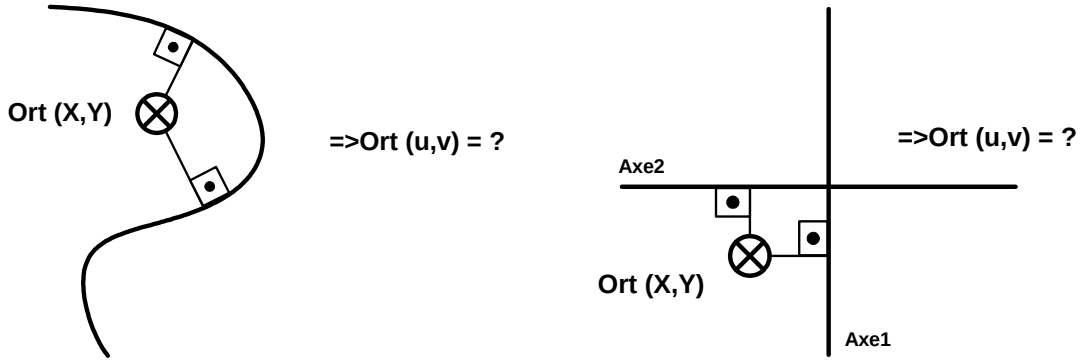


Abbildung C-27: Die Transformation X,Y in u,v ist nicht immer eindeutig.

Die Zuweisung von u,v Koordinaten an einen X,Y Ort ist aus folgenden Gründen nicht eindeutig:

1. Mehrere Lote können auf die Strassenaxe gefällt werden: Für Objekte, die sich im Strassenraum (innerhalb des geometrischen Profils) befinden, kann das Lot auf den nächsten Punkt der Strassenaxe gefällt werden. Befindet sich das Objekt nicht auf dem Strassenraum (ausserhalb des geometrischen Profils) muss erst die Frage gestellt werden, ob das Objekt überhaupt ein Strassenobjekt ist. Falls dies der Fall ist (beispielsweise ein Baum in der Böschung), bestimmen Faktoren wie Sichtbarkeit, Zugang und Topographie usw. das Lot auf die Strassenaxe und somit u, v. Die Lösung der mehrdeutigen Zuweisung der X,Y Koordinaten von Strassenobjekten ausserhalb des Strassenraums kann nicht IT-mässig gelöst werden.
2. Der Ort kann auf mehrere Axen abgebildet werden: Diese Mehrdeutigkeit kann IT-mässig nur gelöst werden, wenn eindeutige Regeln für ein gegebenen Objekttyp bestehen. Signalisationen des Typs "Stoppsignal" beispielsweise befinden sich vor Kreuzungen rechts am Strassenrand.

Dieses Zuweisungsproblem besteht nur bei punktuellen Strassenobjekten. Bei linearen und flächigen Strassenobjekten können die u,v Koordinatenpaare meistens mit Hilfe der geometrischen Form des entsprechenden Strassenobjekts hergeleitet werden (Parallelität zwischen Strassenobjekt und Strassenaxe).

– **Schlechte Digitalisierung**

Eine schlechte Digitalisierung der Strassenobjekte (z.B. viele überflüssige Vertexpunkte, Zickzack-Digitalisierung) kann eine Vielzahl von nicht notwendigen charakteristischen Punkten hervorrufen. Dem kann durch die Festlegung von Toleranzwerten begegnet werden.

B STRADA-ARGIS

1 Introduction

Les quatre cantons romands, Fribourg, Genève, Neuchâtel et Vaud ont porté leur choix sur le même logiciel de SIG nommé ARGIS-4GE. Ce système repose sur le système de gestion de base de données ORACLE. Une préanalyse pour coupler ARGIS avec STRADA-DB a été réalisée en 1992 pour de Direction des Ponts et Chaussées, Département des Travaux Publics du canton de Genève. Cette préanalyse a été suivie d'un projet de réalisation. L'application STRADA-DB/ARGIS a été mise en œuvre fin 1993.

Le logiciel ARGIS ayant été abandonné par son fabricant UNISYS, les développements de STRADA-ARGIS n'ont pas été poursuivis.

STRADA-ARGIS est une architecture propriétaire à deux couches (base de données et application) qui a eu un degré d'interactivité élevé qui n'était jamais atteint par les couplages STRADA et SIG récents.

2 Bibliographie

INSER SA (25.05.1992): Objectifs de l'application pilote "STRADA-DB / ARGIS-4GE". Présentation.

INSER SA (26.06.1992): STRADA-ARGIS. Présentation.

INSER SA (29.09.1992): STRADA-ARGIS. Présentation.

INSER SA (18.12.1992): Pilote STRADA-DB / ARGIS-4GE, Comité de pilotage du 18 décembre 1992. Présentation.

INSER SA (18.09.1992): Transparents relatifs aux comparaisons des coordonnées planimétriques calculées et mesurées.

INSER SA (10.12.1993): STRADA-DB/ARGIS-4GE, Présentation du 10.12.1993.

INSER SA (17.12.1993): STRADA-DB/ARGIS-4GE, Présentation du 17.12.1993.

Canton de Genève, Département des Travaux Publics, Direction des Ponts et Chaussées(1992):: Projet pilote "STRADA-DB / ARGIS-4GE", Etude préliminaire.

Canton de Genève, Département des Travaux Publics, Direction de Génie Civil (1993): Projet STRADA-DB / ARGIS, Synthèse des tests sur le SRB.

Canton de Genève, Département des Travaux Publics, Direction de Génie Civil (1993): Projet STRADA-DB / ARGIS, Rapport sur les tests de SRB.

INSER SA (05.10.1992): Etudes et réalisation. M 1535.10

www.sitg.ch

3 Objectifs de STRADA-ARGIS

Les objectifs au niveau des fonctionnalités sont les suivants:

- Mettre en place des traitements qui combinent des données de STRADA-DB et d'ARGIS tout en assurant leur cohérence réciproque et leur intégrité (validité dans l'espace, dans le temps, au niveau de la précision)
- Utiliser les capacités de représentation cartographique d'ARGIS pour représenter des données de STRADA-DB.
- Mettre à contribution la capacité d'ARGIS pour ajouter un critère géographique à la sélection des données.
- Gérer (insérer, mettre à jour, supprimer) à partir d'ARGIS ou de STRADA-DB des données communes en faisant intervenir les fonctionnalités des deux systèmes et en assurant l'intégrité des données (redondances contrôlées notamment)

Les objectifs au niveau technique sont les suivants:

- Au niveau sémantique: la mise en concordance de la terminologie et des bases professionnelles sous-jacentes
- Au niveau conceptuel: élaboration d'un modèle de données et de concepts de traitements communs
- Au niveau logique: spécification d'une même base de données logique définie pour ORACLE, ARGIS et leurs outils spécifiques
- Au niveau physique: réalisation d'une même base de données

STRADA-ARGIS a pour but de soutenir les activités de planification des reprofilages et de préavis des demandes d'autorisation de fouilles sur le domaine public.

Ces deux activités font appel aux données sur l'état des routes SACR, des cartes de routes neuves, des reprofilages (couches de surface) et les cartes des routes cantonales.

- Fond de plan d'ensemble (à Genève 1:2'500)
- Axes, points de repère
- Réseau des routes cantonales avec nœuds

En plus de la gestion des données routières, l'application doit permettre de:

- Afficher et produire des cartes présentant les axes de maintenance en situation
- Afficher et produire des cartes cantonales avec les réseaux administratifs (=réseau des routes cantonales)
- Afficher et produire des cartes des routes nationales et cantonales ou des axes de maintenance en faisant varier leur représentation en fonction des valeurs d'état (planéité, portance et rugosité)
- Saisir et afficher interactivement à l'écran les reprofilages planifiés
- Afficher la carte des routes neuves et des reprofilages déjà réalisés (couche de surface) en fonction de divers critères.

4 L'architecture de STRADA-ARGIS

4.1 Architecture fonctionnelle

Pour la saisie des objets d'information de STRADA, deux applications doivent être utilisées:

- **STRADA-ARGIS** utilisé pour la saisie des attributs géométriques des objets d'information de STRADA i.e identifier l'axe, les points de repère, déterminer les distances curvilignes et les écart aux axes. En plus, elle permet de définir la géométrie de l'axe et de représenter les objets d'information sur un fond de plan.
- **STRADA-DB/UR-A** utilisé pour la saisie des attributs alphanumériques des objets d'information, par exemple le nom ou le type. Les largeurs et les profondeurs sont également saisie à l'aide de l'UR-A

Les fonctions de l'UR-A ne sont pas présentées dans ce document. Le lecteur est prié de se référer au manuel de l'utilisateur de l'UR-A.

Les fonctions de STRADA-ARGIS se composent de fonctions fournies par l'application ARGIS et des fonctions spécifiques de STRADA-ARGIS. Ces dernières sont ajoutées afin de pouvoir satisfaire les besoins liés aux objets d'information STRADA.

Domaine	**Fonction**	**Objets d'information saisie ou modifiés**	**Description**
F1: Fonctions liées au SRB	F1.1: Création de l'axe	STRADA-ARGIS: Axe, la géométrie des segments d'axe	L'utilisateur saisit au clavier l'identifiant de l'axe (propriétaire nom, direction) et il digitalise la géométrie sur le fond de plan affiché dans la fenêtre de STRADA-ARGIS. L'application ARGIS ne peut pas gérer des objets multi-segment. L'utilisateur doit donc identifier chaque segment d'axe dans STRADA-ARGIS.
	F1.2 Traiter la géométrie de l'axe	STRADA-ARGIS : La géométrie de l'axe	L'utilisateur peut traiter la géométrie de l'axe par des algorithmes de lissage (Cubic Spline, Proportional Spline) ou il peut réduire le nombre de points dans la géométrie.
	F1.3 Lever les points de repère	STRADA-ARGIS : Les points de repère	L'utilisateur peut saisir sur un fond de plan scanné, affiché à l'écran la position des points de repère à condition qu'ils soient représentés sur le plan.
	F1.4 Mettre en relation des tables de l'UR-A et STRADA-ARGIS	UR-A: Axes et points de repère STRADA-ARGIS: Axes et points de repère	Après avoir renseigné les attributs alphanumériques dans l'UR-A, l'utilisateur met en relation les tables STRADA-DB et les tables STRADA-ARGIS. Les propriétés "géométriques" comme la longueur des secteurs ou les coordonnées planimétriques des points de repère sont calculées par STRADA-ARGIS et les attributs correspondants de l'UR-A sont renseignés.
	F1.5 Saisie des points de calage	STRADA-ARGIS : Points de calage dans ARGIS	L'utilisateur doit saisir au moins deux points de calage dans ARGIS pour caler la geométrie de l'axe saisi dans ARGIS avec le SRB dans l'UR-A. Les points de calage permettent de calculer des distances curvilignes SRB à partir de la géométrie de l'axe.

Domaine	Fonction	Objets d'information saisie ou modifiés	Description
F1: Fonctions liées au SRB	F1.6 Modification des points de calage	STRADA-ARGIS : Points de calage	Les points de calage peuvent être modifiés ou effacés par l'utilisateur.
	F1.7 Mise à jour de la base de données après modification des points de calage	UR-A : Objets d'information dans STRADA-DB	L'utilisateur peut avoir saisi les objets ponctuels ou linéaire dans ARGIS avant la modification des points de calage. Il a la possibilité de mettre à jour ces objets saisis, i.e. calculer les distances curvilignes à partir des points de calage corrigés.
F2: Lever des objets	F2.1 Lever les objets ponctuels	UR-A et STRADA-ARGIS: Objets ponctuels	Le positionnement des objets ponctuels et la désignation de la clé conceptuelle peut être fait dans STRADA-ARGIS. Les coordonnées relatives au SRB sont calculées et communiquées à l'UR-A. L'utilisateur complète les attributs alphanumériques dans l'UR-A. Les objets ponctuels sont par exemple les points de repère d'aide, les profils géométriques ou les accidents.
	F2.2 Lever les objets linéaires	UR-A et STRADA-ARGIS: Objets linéaires	Le positionnement des objets linéaires et la désignation de la clé conceptuelle peut être fait dans STRADA-ARGIS. Les coordonnées relatives au SRB sont calculées et communiquées à l'UR-A. L'utilisateur complète les attributs alphanumériques dans l'UR-A. Les objets linéaires sont par exemple l'usage de la chaussée, les parties latérales, la structure de la chaussée, les chantiers, les réparations, les contrôles de la chaussée.
	F2.3 Lever un nœud	UR-A et STRADA-ARGIS: Lieux de nœuds et nœuds	L'objets d'information "nœud" est un objet particulier, parce que il peut avoir plusieurs lieux de nœud (par rapport au SRB) mais sur une représentation cartographique il doit avoir une seule paire de coordonnées planimétriques. L'utilisateur peut saisir le nœud sur la représentation cartographique et il doit sélectionner les axes par rapport auxquels un lieu de nœud doit être calulé.
	F2.4 Lever des tronçons	UR-A et STRADA-ARGIS: Tronçons	L'utilisateur peut créer des tronçons en sélectionnent dans l'environnement carto-graphique les nœuds de début et de fin. En plus, il a la possibilité d'introduire la contrainte de la continuité des tronçons.
	F2.5 Saisir un lieu (des coordonnées planimétriques)	UR-A et STRADA-ARGIS: Objets ponctuels ou linéaires (sauf les tronçons)	Les coordonnées planimétriques peuvent être déterminées à partir de la représentation cartographique ou en les introduisant au clavier.
	F2.6 Modifier un lieu	UR-A et STRADA-ARGIS: Objets ponctuels ou linéaires (sauf les tronçons)	L'utilisateur peut déplacer un lieu sur la représentation cartographique ou il peut saisir une nouvelle distance curviligne à l'aide du clavier.

Domaine	Fonction	Objets d'information saisie ou modifiés	Description
F2: Lever des objets	F2.7 Hiérarchiser les nœuds	STRADA-ARGIS : Nœuds	Les nœuds peuvent être hiérarchisés dans STRADA-ARGIS.
F3: Inter-rogation	F3.1 Interrogation par type d'objet d'information	STRADA-ARGIS : Objets d'un type	Dans STRADA-ARGIS, un certain nombre de requêtes ont été prédéfinies, par exemple afficher les attributs, soit des requêtes spécifiques à STRADA-ARGIS, soit des requêtes générales de ARGIS.
	F3.2 Interrogation spatiale	STRADA-ARGIS : Tous les objets d'information	L'utilisateur a la possibilité de faire des requêtes spatiales (le plus proche, adjacence etc.) à l'aide d'un gazetteer. Il peut formuler sa requête à l'aide du language GQL (Geographic Query Language).
	F3.3 Associer des images à un objet d'information	STRADA-ARGIS : Tous les objets d'information	L'utilisateur peut associer une image à un objet d'information, par exemple un photo à un accident.

L'application ARGIS standard fournit les fonctions spatiales suivantes:

- Requête spatiale: fonction de l'emplacement, de la proximité, de la contiguïté et de la connexité
- Combinaison et division de polygones
- Analyse points dans polygones, lignes dans polygones, polygones dans polygones
- Analyse de couleurs et de zones
- Analyse de réseaux
- Analyse de surfaces et de distances
- Production de cartes thématiques
- Génération de rapports
- Superposition des images et des données vecteur.
- Gestion de la sémiologie (les symboles)

Ces fonctions peuvent être utilisées pour traiter les objets d'information de STRADA.

4.2 Aspects organisationnelles

En 1991, le Conseil d'Etat du canton de Genève formule dans une arrêté la volonté de mettre en place un "Système d'information du Territoire (SITG) offrant à un ensemble large d'informations, d'outils d'analyse, d'instruments de gestion et d'aide à la décision, en vue d'assurer une maîtrise globale du développement du territoire cantonal dans ses multiples dimensions et notamment celle de la mise en valeur de sa qualité environnementale".

En outre, le SITG assure:

- une mémoire du territoire;
- un outil de recherche, de traitement et de diffusion des informations localisées;
- un outil de communication entre les partenaires de la gestion du territoire
- un outil d'aide à la décision.

Les partenaires sont les suivants:

- Etat de Genève
- Ville de Genève
- Association des Communes genevoises
- Services industriels de Genève
- Université de Genève
- Aéroport international de Genève

Les données mises à disposition par le SITG proviennent des départements suivantes:

- Action sociale et santé
- Aménagement, équipement et logement
- Intérieur, agriculture, environnement et énergie
- Instruction publique
- Justice, police et transports
- Services industriels de Genève

L'integration de STRADA-ARGIS a pris en considération le SITG et permet de créer des objets d'information routier sur la base des données provenant du SITG (par exemple cadastre).

L'application de STRADA-ARGIS ne modifie pas le noyau de STRADA-DB afin d'assurer la compatibilité intercantonale et entre les données du canton et celles de l'Office Fédéral des Routes.

L'application STRADA-ARGIS est utilisée au sein de l'office cantonal responsable de l'entretien routier, le Service de la Voirie et du Nettoyage du Canton (SVNC).

5 Architecture physique

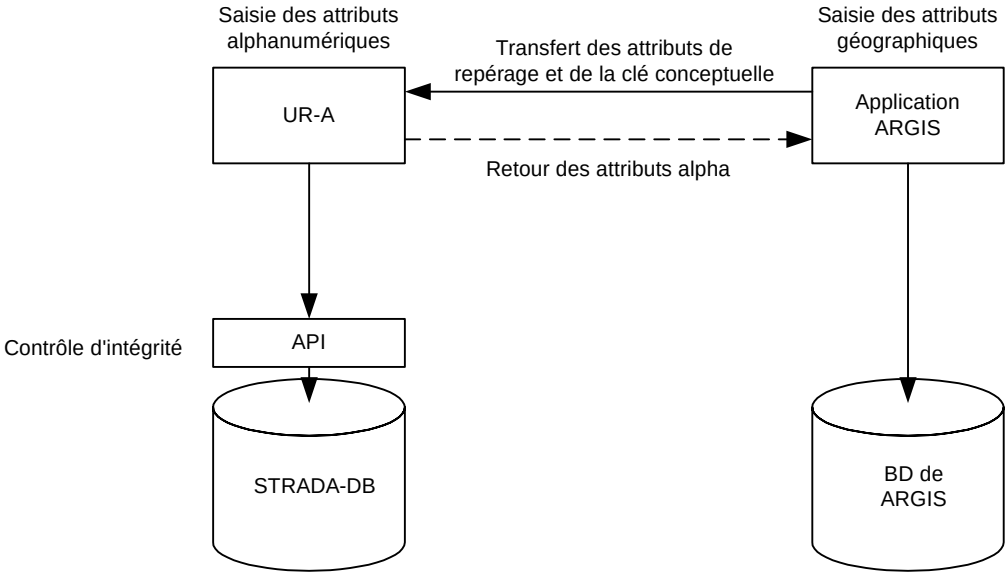


Figure D-1: Architecture physique de STRADA-ARGIS

Pour utiliser l'application STRADA-ARGIS, l'application STRADA-DB/UR-A doit également être démarrée. STRADA-ARGIS permet de saisir des attributs de repérage (identification de l'axe, identification du point de

repère et détermination de la distance curviligne) sur un fond cartographique, tandis que l'UR-A permet de completer les attributs alphanumériques à l'aide de listes de valeurs ou des catalogues de textes.

L'utilisateur effectue d'abord toutes les opérations nécessaires dans STRADA-ARGIS. Il définit la clé conceptuelle de l'objet d'information et le repère sur le plan de fond. Les informations saisies sont ensuite transmises à l'UR-A. L'utilisateur complète les attributs alphanumériques et il enregistre le jeu de données dans STRADA-DB. Les API (Application Programming Interface) testent le jeu de données par rapport aux contraintes définies dans la base de données STRADA-DB. La géométrie de l'objet d'information décrite dans le système de coordonnées nationales suisse est stockée dans la base de données de ARGIS. L'utilisateur a la possibilité de modifier ou effacer tous les objets d'information à partir de l'application STRADA-ARGIS.

ARGIS n'est pas un outil de visualisation des données de STRADA-DB. Il n'est pas possible d'extraire des données de STRADA-DB et générer une géométrie dans ARGIS. Par conséquent, l'utilisateur peut effectuer des traitements spatiaux sur les objets d'information saisis dans STRADA-ARGIS.

6 Communication

STRADA-ARGIS et l'UR-A sont deux applications communiquantes de manière interactive.

7 POints critiques de la modélisation et limites de l'application

Au niveau de la modélisation des objets d'information dans ARGIS, plusieurs points doivent être résolus:

- Dépendance des objets d'information de l'axe routier: STRADA-ARGIS permet de saisir les objets d'information en fonction de la géométrie de l'axe. Par contre, les repercussions d'une modification de la géométrie d'axe sur les objets d'information ne sont pas gérées.
- Ecart latéral: L'écart latéral ne peut pas être saisi dans STRADA-ARGIS. Si l'utilisateur veut saisir des objets d'information sur la base d'un plan à grande échelle, cette contrainte peut être assez importante.
- La représentation des axes multi-segments: L'application ARGIS ne peut pas gérer les objets d'information composés de plusieurs entités géométriques, notamment l'axe composé de plusieurs segments. STRADA-ARGIS gère chaque segment comme objet d'information.
- Gestion de la topologie différente: Dans STRADA-DB, la topologie est gérée de manière explicite, i.e. elle est définie par les nœuds en fonction des besoins de l'utilisateur. ARGIS – comme la plupart des logiciels SIG – déduit automatiquement la topologie de la géométrie. Ainsi, il crée un graphe planaire (nœud et arc) à partir de la géométrie. Chaque intersection de lignes génère un nœud. Les analyses de réseau proposées par ARGIS se basent sur ce graphe planaire. La définition de la topologie de STRADA-DB ne peut pas être utilisée.
- La représentation cartographique d'un nœud: Un nœud est représenté par un objet ponctuel sur une représentation cartographique parce qu'en realité un couple de coordonnées nationales peut être associé au nœud sur le terrain de manière univoque. STRADA-ARGIS permet de déduire les lieux de nœud à partir d'un couple de coordonnées nationales du nœud, i.e. projection du nœud sur les axes concernés.
- Gestion de plusieurs géométries dans STRADA-DB: Dans le concept de STRADA-DB, il est possible de gérer plusieurs géométries par axe, par exemple il peut être envisagé une géométrie par échelle de représentation cartographique utile. STRADA-ARGIS ne tient pas compte de cette possibilité.

Anhang D STRADA-View/Carto

8 Introduction

Les outils STRADA-View sont les outils de représentation de données routières qui sont utilisés par plusieurs cantons aujourd'hui. Cette annexe présente l'utilisation des outils de représentation – notamment STRADA-View/Carto qui est un outil SIG - pour des processus métier de l'entretien routier. L'intégration de ces outils est illustrée par le processus du système de gestion de la chaussée PMS (Pavement Management System).

8.1 Contexte

STRADA-View est un projet financé par le canton de Fribourg pour la visualisation des données de la base de données routières STRADA-DB. Il se compose de deux applications:

- STRADA-View/Carto: permet de visualiser les données routières sur un fond cartographique
- STRADA-View/Axe-Tendu: permet de visualiser les données routières sur une représentation linéaire schématique

STRADA-View/Carto est l'outil de représentation cartographique des données routières modélisées selon les normes de la VSS. Après avoir extrait les données de la base de données, STRADA-View/Carto peut être utilisé de manière indépendante de la base de données. Cette application est construite sur la base du logiciel SIG ArcView. Elle le complète par des fonctionnalités liées aux besoins particuliers des gestionnaires de routes en représentation cartographique. STRADA-View/Carto ne permet pas de mettre à jour la base de données.

8.2 Bibliographie

Canton de Fribourg, Département des Travaux Publics, Bureau des Autoroutes (1995): Projet-pilote IGU-FR CARTO / STRADA-DB, Analyse des besoins des utilisateurs pour un outil de représentation cartographique des données de STRADA-DB.

Canton de Fribourg, Département des Travaux Publics, Bureau des Autoroutes (1996): Architecture fonctionnelle de STRADA-View, version du document : mai 1996

9 Objectifs de STRADA-View/CArto

Les objectifs de STRADA-View/Carto se limitent à la consultation des données routières. Il n'a pas pour but de mettre à jour les données de la base de données.

Les objectifs au niveau des fonctionnalités sont les suivants:

- Représenter les données routières dans le contexte géographique
- Etablir des représentations cartographiques de manière dynamique et imprimer des plans
- Utiliser le potentiel d'ArcView pour interroger les données routières et les données externes en fonction de critères géographiques (geo-processing)
- Interroger la position curviligne des objets routiers sur une représentation cartographique
- Gérer la sémiologie des objets cartographiques ainsi que la légende

La version actuelle de l'application est entièrement déconnectée de STRADA-DB pour prendre en compte les contraintes techniques définies par le client. Vu les progrès technologiques, il est prévu de mieux intégrer l'outil de visualisation cartographique dans l'environnement de STRADA-DB.

10 L'architecture de STRADA-View/CArto

10.1 Architecture logique

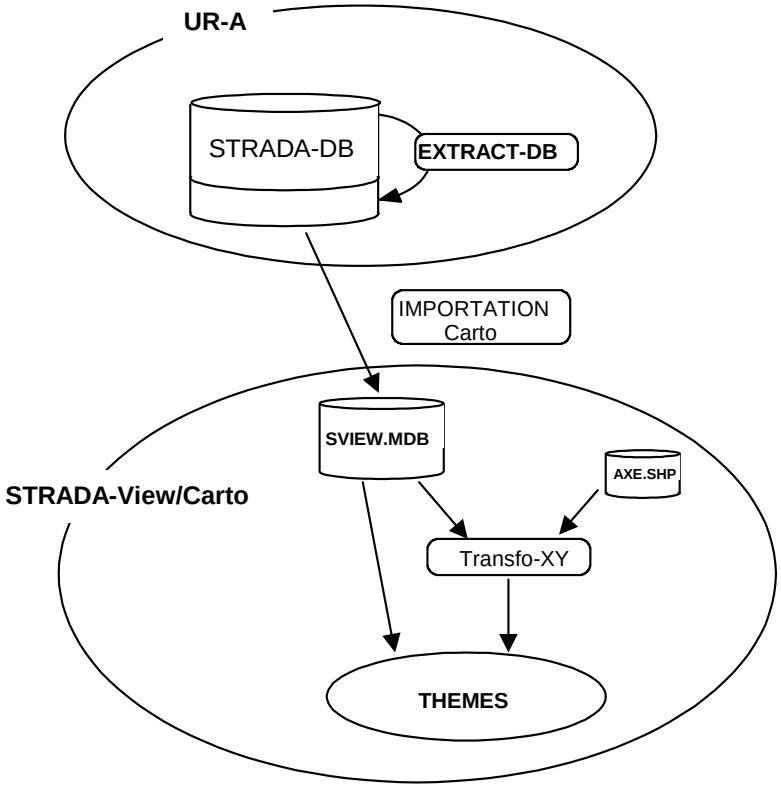


Figure E-1 : Architecture de STRADA-View/Carto

La base de données, à titre d'exemple STRADA-DB, contient toutes les données routières. Elle représente un pool de données consistantes. Les données à importer dans STRADA-View/Carto sont d'abord préparées au sein de STRADA-DB. L'importation de ces données consiste à les convertir en format MDB, fichiers d'ACCESS. Les fichiers MBD contiennent tous les attributs des objets d'informations importés. La géométrie d'axe nécessaire pour pouvoir produire la géométrie des objets d'information doit être à disposition sous forme de shapefile (SHP, DBF, SHX), format propriétaire d'ArcView. Cette géométrie peut être digitalisée à partir d'une table de digitalisation ou à l'écran sur la base des photos aériennes à l'aide des outils DAO ou SIG. Le processus lit les fichiers MBD et le shapefile des axes pour générer la géométrie des objets d'informations enregistrés dans d'autres shapefiles. L'utilisateur peut produire des vues (représentation cartographiques) à l'aide de STRADA-View/Carto en important les différents shapefile appelés thèmes dans l'application.

10.2 TransfoXY

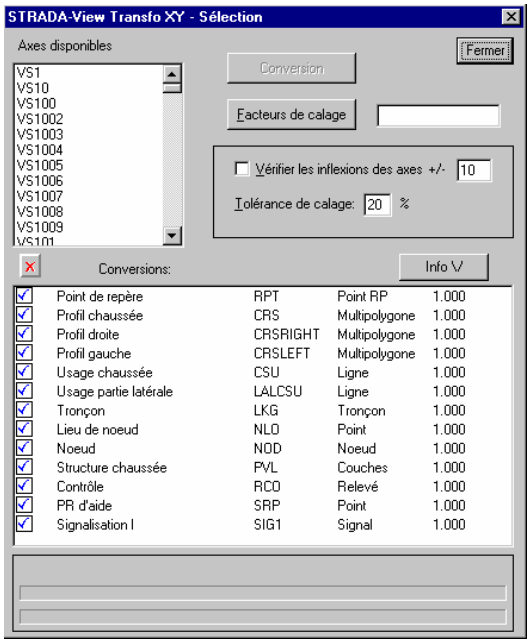


Figure E-2 : Interface utilisateur de TransfoXY

Le but de TransfoXY est la préparation des données de STRADA-DB pour la représentation cartographique par ArcView, resp. STRADA-View.

La tâche principale accomplie par cet outil consiste à transformer les objets STRADA-DB, décrits par rapport au système de repérage de base SRB (selon la norme SN 640'910), en objets référencés par rapport au système de coordonnées nationales suisse.

Le résultat fourni par TransfoXY se compose de plusieurs fichiers de forme lisibles par ArcView resp. STRADA-View/Carto.

11 Les fonctions

Domaine	*Fonction*	*Description*
F1: Fonctions de gestion de la vue	F1.1: Sélectionner les axes de référence pour la vue	L'utilisateur sélectionne les axes qui souhaite afficher dans la vue.
	F1.2: Gérer la liste des thèmes de la vue	L'utilisateur détermine l'ordre des thèmes dans la vue, i.e. les thèmes peuvent être superposés dans cet ordre.
	F1.3: Créer, modifier, supprimer un thème	Les thèmes peuvent être ajoutés ou supprimés de la liste de la vue. La sémiologie (la couleur, l'épaisseur de trait, le symbole) de tous les objets d'un thème peut être modifiée.
	F1.4 Gérer la légende d'un thème de représentation	La gestion de la légende comprend la définition des critères de classification et le type de représentation de la classe. STRADA-View/Carto permet de calculer les valeurs de la légende et générer une légende à partir des données des catalogues de texte de manière automatique. A l'aide de la légende, l'utilisateur peut établir des cartes thématiques, par exemple des choroplèthes (distinction des valeurs définies dans la légende par la couleur ou ton de gris) et des cartes de flux (variation de l'épaisseur de trait). Les cartes de flux sont surtout utilisées pour représenter la charge de trafic.
	F1.5 Gérer les paramètres de la vue	Cette fonction permet de définir les paramètres généraux de la vue, par exemple l'échelle, le titre ou la police de caractère. STRADA-View/Carto permet également de générer des étiquettes pour des objets ponctuels, notamment pour les points de repère. Ces étiquettes sont intégrées dans la représentation cartographique.
	F1.6 Améliorer la performance pour le rafraîchissement de la représentation cartographique	STRADA-View/Carto offre une fonction permettant d'introduire des indices graphiques. La performance de rafraîchissement d'une carte thématique par exemple peut être améliorée par ces indices.
F2: Requête	F2.1 Sélectionner des objets d'un thème répondant à des critères portant sur leurs attributs alphanumériques	L'utilisateur peut mettre en évidence les objets d'un thème répondant à des critères de valeurs de leurs attributs alphanumériques.
	F2.2 Sélectionner des objets avec le curseur graphique	Cette fonction permet de sélectionner des objets à l'aide d'un curseur graphique sur la représentation cartographique. Les objets sélectionnés changent de sémiologie pour les mettre en évidence.

Domaine	***Fonction***	***Description***
	F2.3 Sélectionner des objets d'un thème par recoupement spatial en rapport avec des objets sélectionnés d'un autre thème	L'utilisateur peut faire appel à un ensemble de fonctions permettant d'effectuer une analyse spatiale des objets géographiques (routier ou non), par exemple la fonction de proximité ou connectivité.
F3: Visualiser	F3.1 Visualiser les attributs alphanumériques pour les objets mis en évidence	Cette fonction permet d'afficher les attributs des objets sélectionnés sous forme de liste. L'utilisateur a la possibilité de modifier ces attributs pour des but de représentation tout en sachant que la modification ne sera pas reportée dans la base de données routières.
	F3.2 Définir, modifier graphiquement la localisation curviligne d'un objet	Cette fonction permet d'afficher les coordonnées curvilignes d'un objet localisé sur le réseau routier.
	F3.3 Imprimer	La fonction d'impression des représentations cartographiques doit offrir la possibilité de définir une mise en page adaptée à l'emplacement des objets à représenter.

12 Exemples d'utilisation de STRADA-View dans le processus du PMS

12.1 Rappel du processus PMS

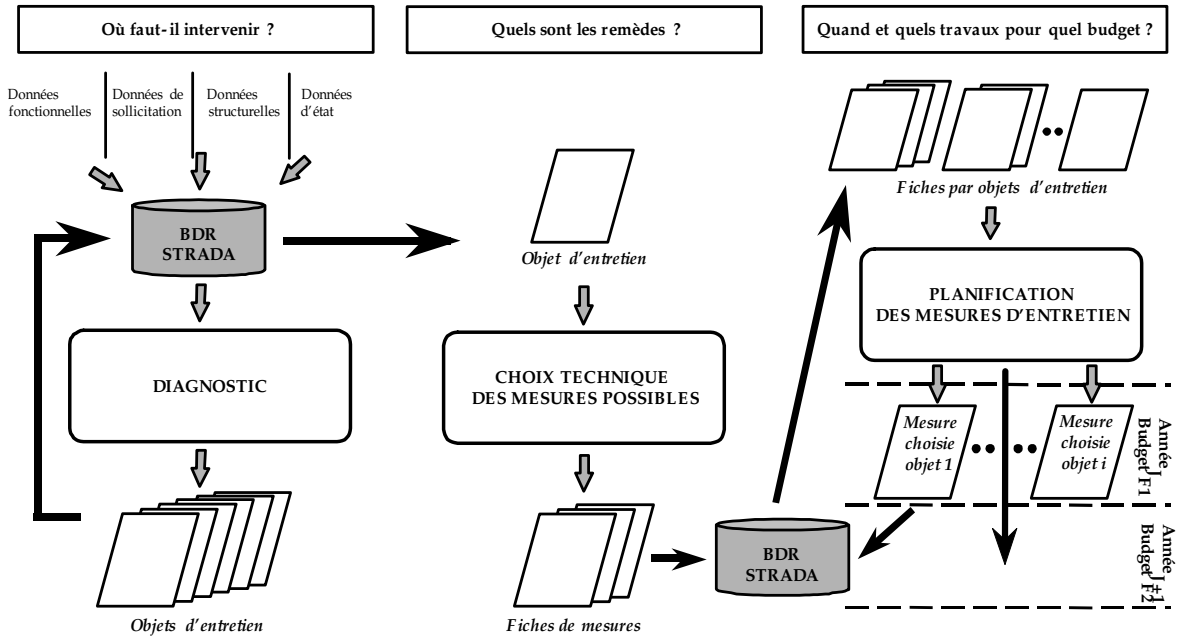


Figure E-3 : Processus PMS

Le processus de Pavement Management System (PMS) comprend trois phases principales:

Phase 1 se préoccupe de la question ***"Où faut-il intervenir?".*** Les données liées à l'aspect fonctionnel de la route (type fonctionnel de la route), à l'aspect de sollicitation (charge de trafic), à l'aspect structurel (revêtements, profil géométrique etc.) et à l'aspect de l'état (relevé brut d'état de la chaussée, indices d'état de la chaussée) sont introduites dans une base de données routières. A l'aide des données fonctionnelles, structurelles et de sollicitation, des segments PMS sont définis. Ils représentent des segments dont l'aspect fonctionnel, structurel et de sollication sont homogènes sur toutes leurs longueurs. Basés sur les données d'état, les objets PMS peuvent être définis. Ils désignent les segments avec un état de la chaussée homogène sur toutes leurs longueurs et largeurs. L'évaluation de l'état du réseau routier est réalisé sur la base des objets PMS. Les données d'état relevées sont en général trop détaillées, car leur levé est souvent réalisé de manière automatique à des distances constantes, par exemple tous les 100 mètres. Afin de préparer les données d'état dans une forme convenable, elles doivent être agrégées sur les objets PMS. Ainsi, chaque objet PMS obtient une valeur "moyenne" d'état. Sur cette base, le réseau routier peut être diagnostiqué.

Phase 2 se préoccupe de la question ***"Quels sont les remèdes?".*** Pour chaque objet PMS, tous les remèdes possibles sont inventoriés. Il peut y avoir des mesures d'entretien lourdes qui sont optimales au niveau d'effet, mais qui sont très coûteuses et il peut y avoir des mesures d'entretien moins lourdes, moins chères, mais avec un effet moins durable. Le résultat de cette phase est constitué de fiches de mesures par objet PMS.

Phase 3 se préoccupe de la question ***"Quand et quels travaux pour quel budget?".*** Sur la base des résultats des phases 1 et 2, le responsable peut établir des planifications d'entretien en fonction du budget annuel, en fonction de l'état de la chaussée minimal, en fonction des ressources en personnes disponibles et/ou en fonction de critères objectifs - comme confort, environnement, viabilité, sécurité - pondérés.

12.2 Suivi des étapes du PMS par STRADA-View

12.2.1 Phase 1

a) Données de base

STRADA-View/Carto sert à la visualisation des données routières. Avant de procéder au Pavement Management System, le responsable doit disposer de nombreuses données routières. La plupart des données routières se réfèrent à un système de repérage linéaire, appelé système de repérage de base (SRB). Le SRB doit être défini pour les axes routiers traités par le PMS, c'est à dire que les axes et les points de repère doivent être définis. Pour pouvoir représenter le SRB sur un fond géographique, il doit disposer d'une géométrie des axes. Cette géométrie doit avoir la même qualité et le même niveau de généralisation que le fond de plan permettant d'introduire les axes dans un contexte géographique.

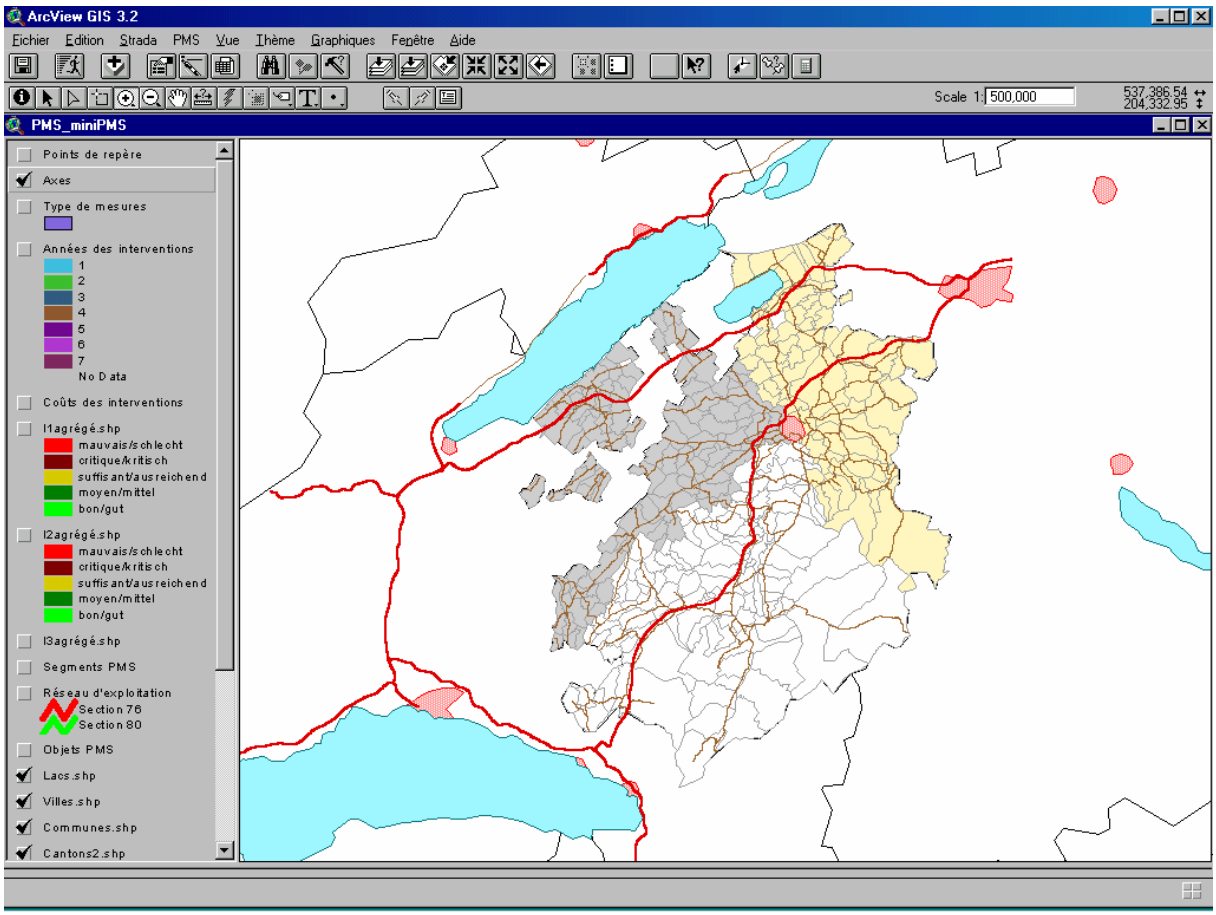


Figure E-4 : Axes routiers intégrés dans un contexte géographique

La figure E-4 montre les axes des routes nationales en rouge et les axes des routes cantonales en gris foncé. Le contexte géographique est composé des communes du canton de Fribourg, des lacs (lac Léman, lac de Neuchâtel et le lac de Morat) et des villes principales (Lausanne, Fribourg, Berne, Thoune, Neuchâtel). A l'aide de ce contexte, les utilisateurs peuvent bien localiser le réseau routier par rapport à la géographie.

b) Découpage de réseau routier

Au début de la première phase de PMS, le réseau routier est découpé en segments PMS. Ce découpage est réalisé à l'aide des données liées aux ouvrages d'art, aux voies de circulation, à la charge de trafic et à la fonction de la route. Par ce découpage, le responsable définit des segments qui ne seront jamais dépassés par un seul chantier. S'il souhaite que les chantiers traitent un pont particulier sur toute sa longeur, il attribue ce pont à un seul segment PMS. Les voies de circulation doivent être prises en considération parce que d'une part, il n'est pas souhaitable de mettre en place un chantier sur toutes les voies d'une chaussée d'une autoroute (le passage des véhicules dans les deux sens doit être assuré en tout le temps) et d'autre part la charge de trafic sur une voie par rapport à une autre peut changer considérablement. La voie normale d'une autoroute est beaucoup plus chargée par des camions que les deux voies de dépassement.

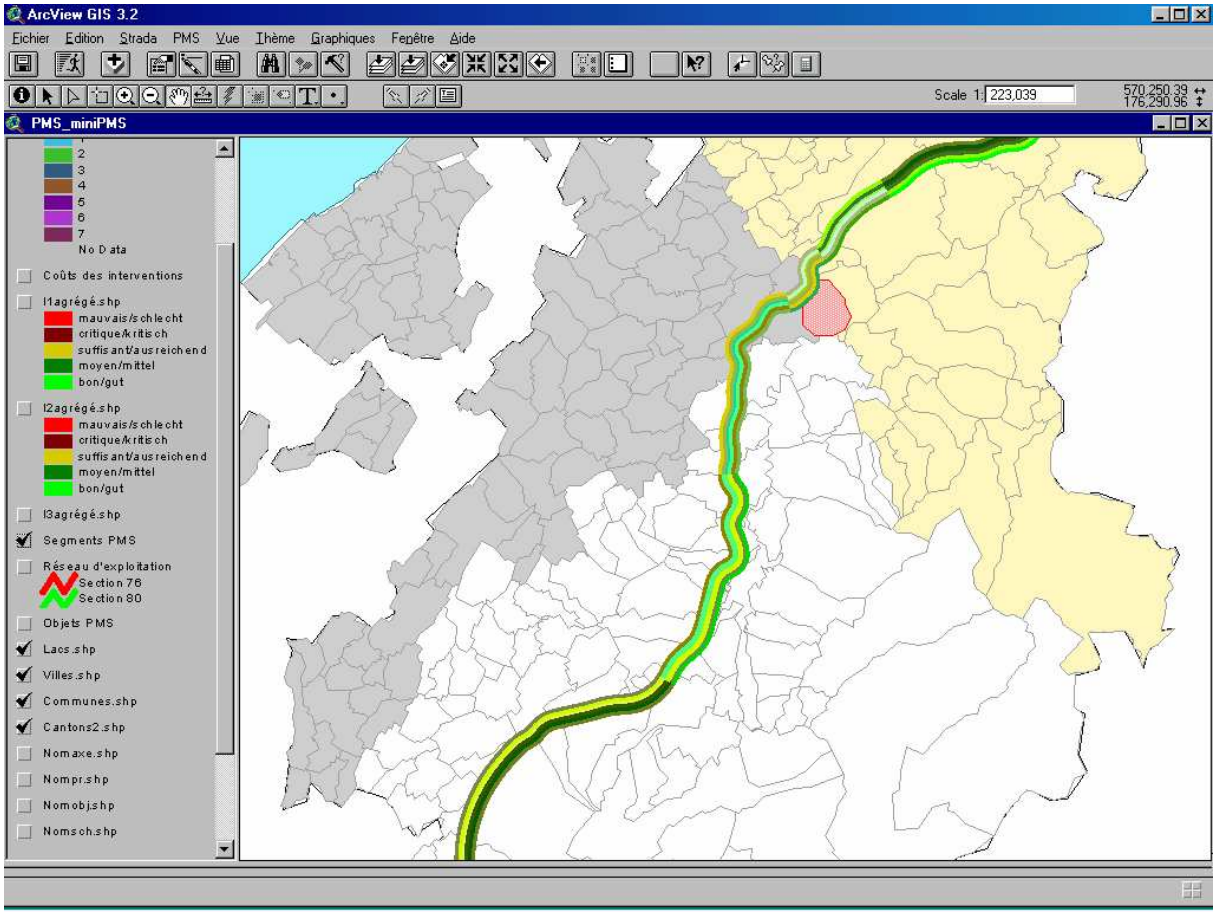


Figure E-5: Découpage en segments PMS

La figure E-5 montre quelques segments PMS sur la route nationale N12 passant par le canton de Fribourg. Les différentes couleurs des segments sont utilisées pour mieux différencier les différents segments. La représentation des voies comme le montre cette figure est une particularité de STRADA-View/Carto. Les segments PMS étant référencés par rapport au SRB ont été transformés et leurs coordonnées nationales ont été calculées.

c) Détermination d'indices d'état de la chaussée

L'évaluation de l'état de la route n'est pas fait sur les données d'état brutes qui ont été levées sur la route. Ces données sont souvent résumées en indices qui sont définies dans les normes VSS. La visualisation des données brutes et leurs effets sur les indices peuvent être représentés par STRADA-View/Axe-Tendu:

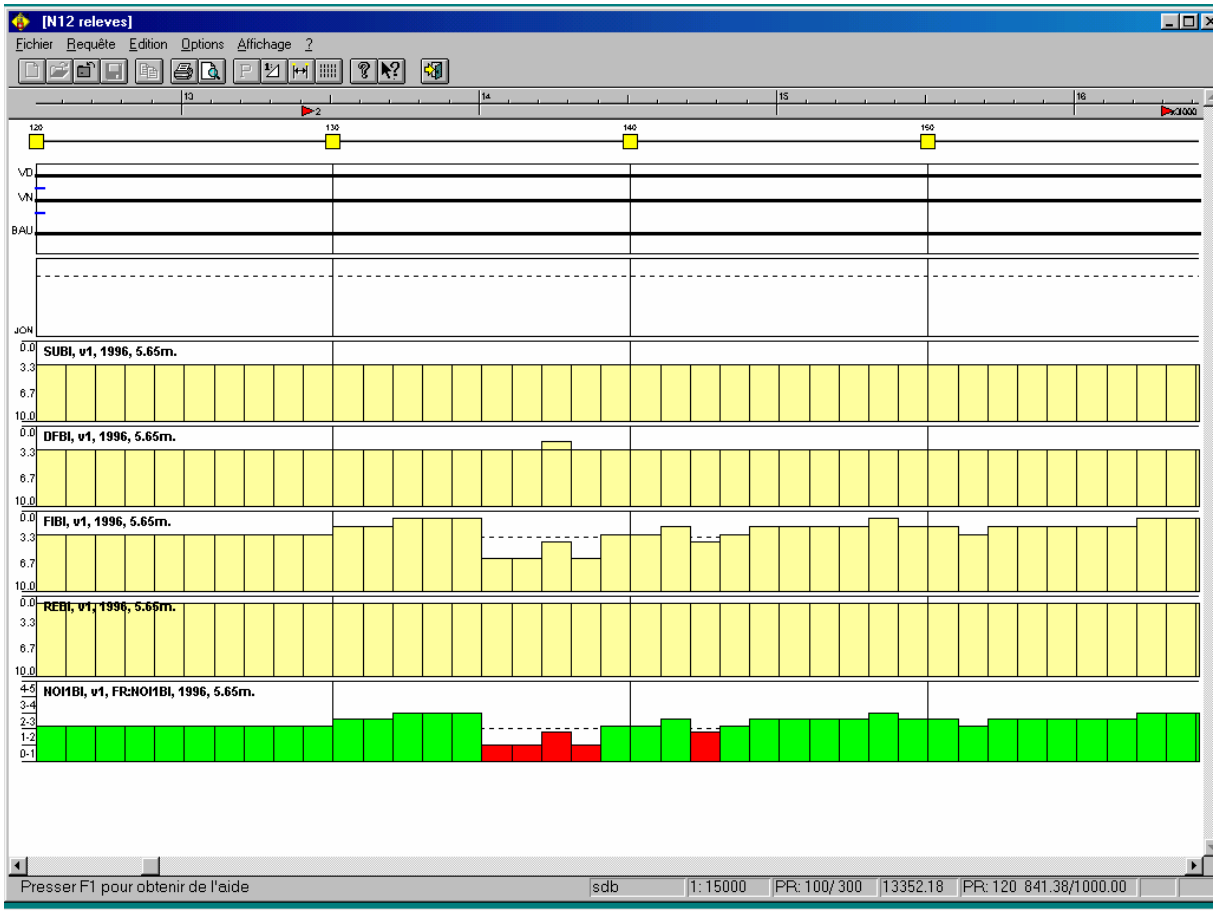


Figure E-6 : Représentation des données brutes levées et l'indices I1 à l'aide de STRADA-View/Axe Tendu (SUBI: dégradation de surface, DFBI: déformation de surface, FIBI: fissuration, REBI: réparation, NOI1BI: indice I1)

La figure E-6 montre les différentes données levées, normalisées sur une échelle de 10 pour la N12, la voie normale. Ces données ont été levées tous les cents mètres le long de l'axe routier. Chaque ligne représente les données d'un type: dégradation de surface, déformation de la surface, fissuration et finalement l'indice I1. L'indice I1 peut être considéré comme la "somme" des quatres types de données. Le responsable constate que la valeur I1 entre PR 130:500 et PR 140:300 est insuffisante (zone rouge). S'il souhaite connaître la raison de ce défaut de l'état de la chaussée, il peut consulter les types de données individuellement et il constate que ce défaut est dû à un degré de fissuration trop élevé.

L'avantage d'une représentation linéaire de STRADA-View/Axe-Tendu est de pouvoir visualiser plusieurs variables d'un axe, alors que la représentation cartographique STRADA-View/Carto permet de représenter une variable sur plusieurs axes.

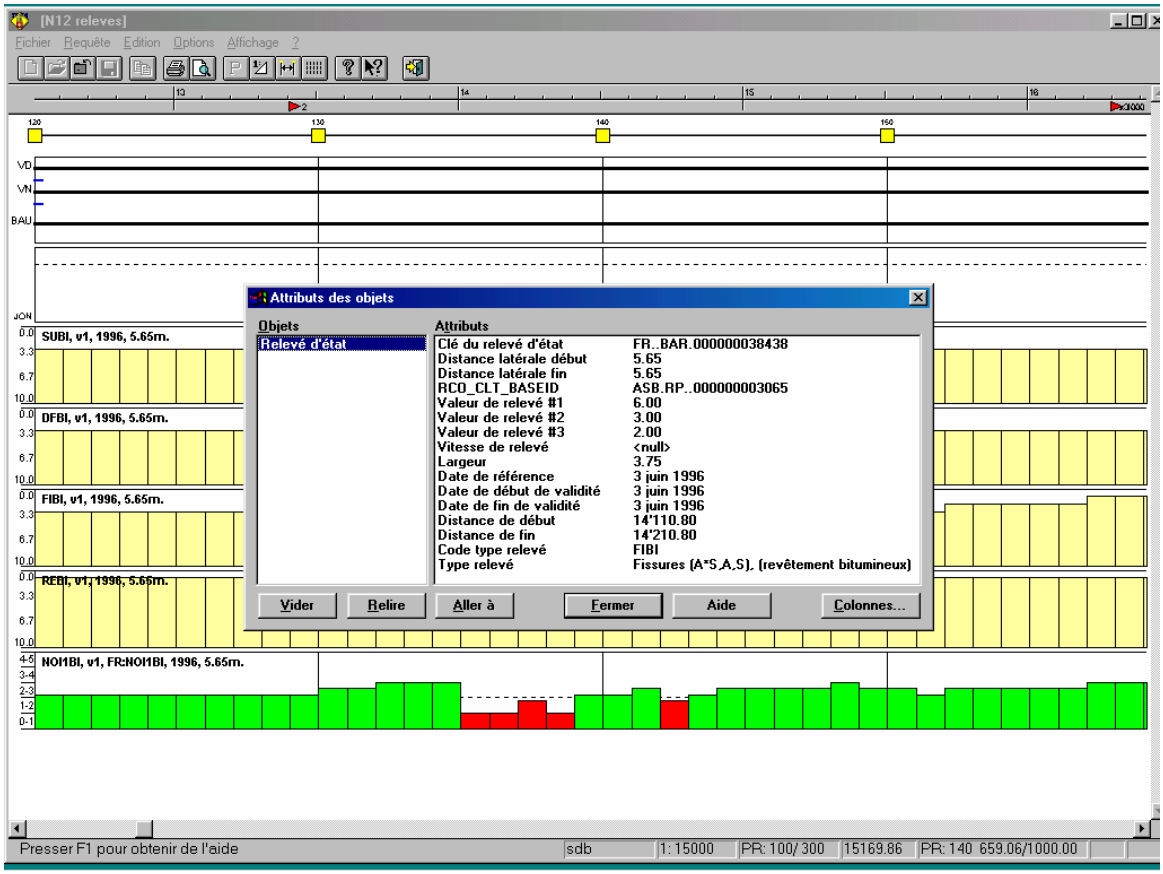


Figure E-7 : Consultations des valeurs d'état dans STRADA-View/Axe-Tendu

STRADA-View/Axe-Tendu permet également de consulter les différentes valeurs d'état levées. En sélectionnant une valeur sur la représentation linéaire, une fenêtre est affichée comprenant tous les attributs liés à cette valeur. Les attributs liés à une valeur d'état "fissuration" sont par exemple les distances de référence par rapport aux points de repère correspondants et les écarts, les liens aux catalogues de textes, les valeurs et le type de relevé comme le montre la figure ci-dessus. L'application offre également la possibilité à l'utilisateur de définir ses propres libellés pour les attributs. En effet, les libellés dans la base de données ne sont souvent pas très compréhensibles pour les utilisateurs et, de plus, l'utilisateur souhaite avoir ces libellés dans sa langue maternelle. Cette souplesse de définition des libellés offert par STRADA-View/Axe-Tendu permet aux utilisateurs d'adapter l'application à leurs préférences.

d) Agrégation des valeurs d'état

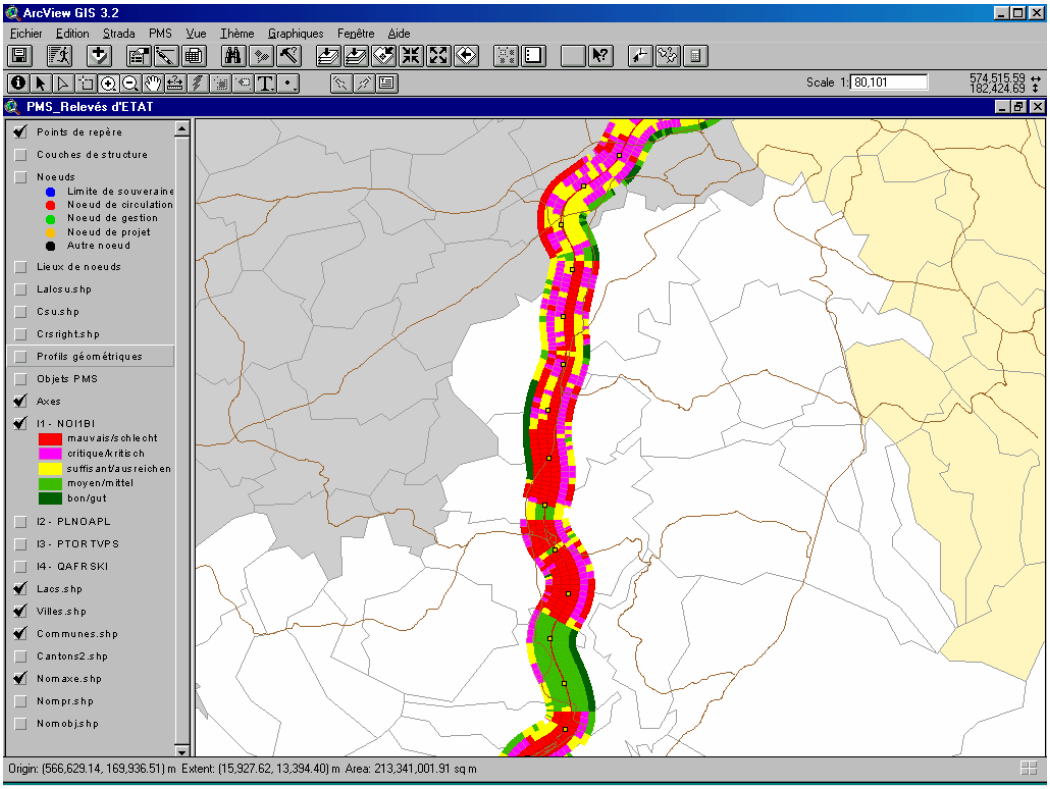


Figure E-8 : Valeurs d'état d'indice I1 sur la N12

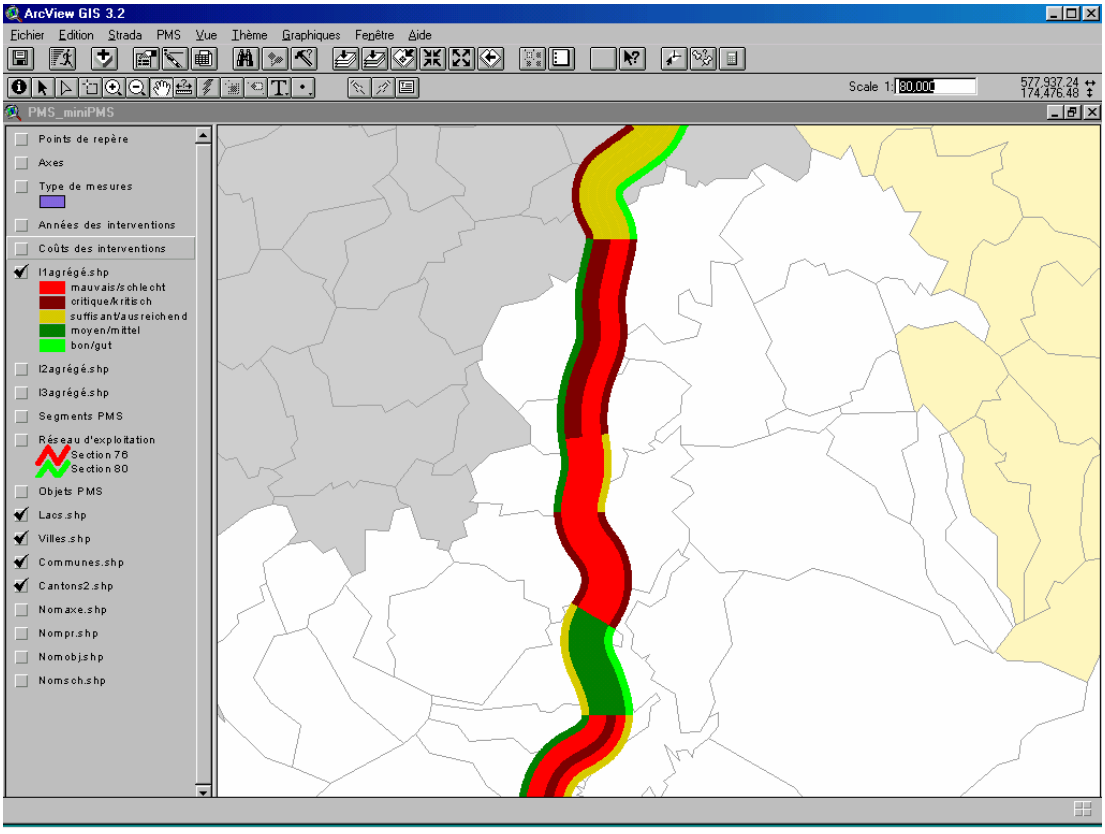


Figure E-9 : Valeurs d'état agrégé d'indice I1 sur la N12

Comme indiqué auparavant, les données d'état sont levées tous les 100 mètres le long de l'axe de la route. Ces donneés sont trop détaillées pour recevoir une image globale de l'état du réseau routier. Par

conséquent, les données d'état doivent être agrégées sur les unités relevantes pour le responsable PMS, appelés objets PMS.

Les figures E-8 et E-9 montrent les valeurs d'état originales, de détail et les valeurs d'état agrégées de la même zone.

e) Résultats de la phase 1

Les résultats de la phase 1 "diagnostic du réseau routier" peuvent être représentés par STRADA-View/Carto, comme le montrent les figures suivantes:

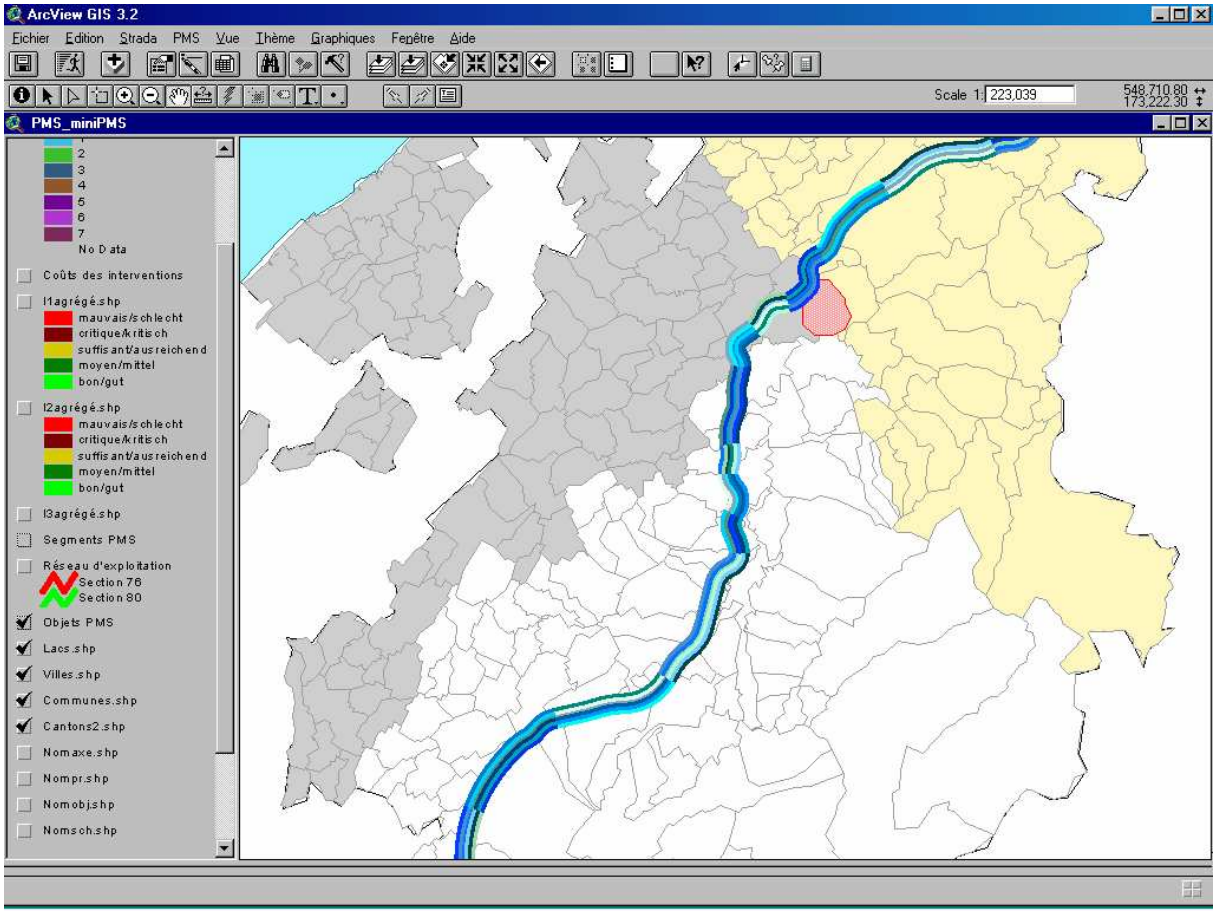


Figure E-10 : Représentation des objets PMS

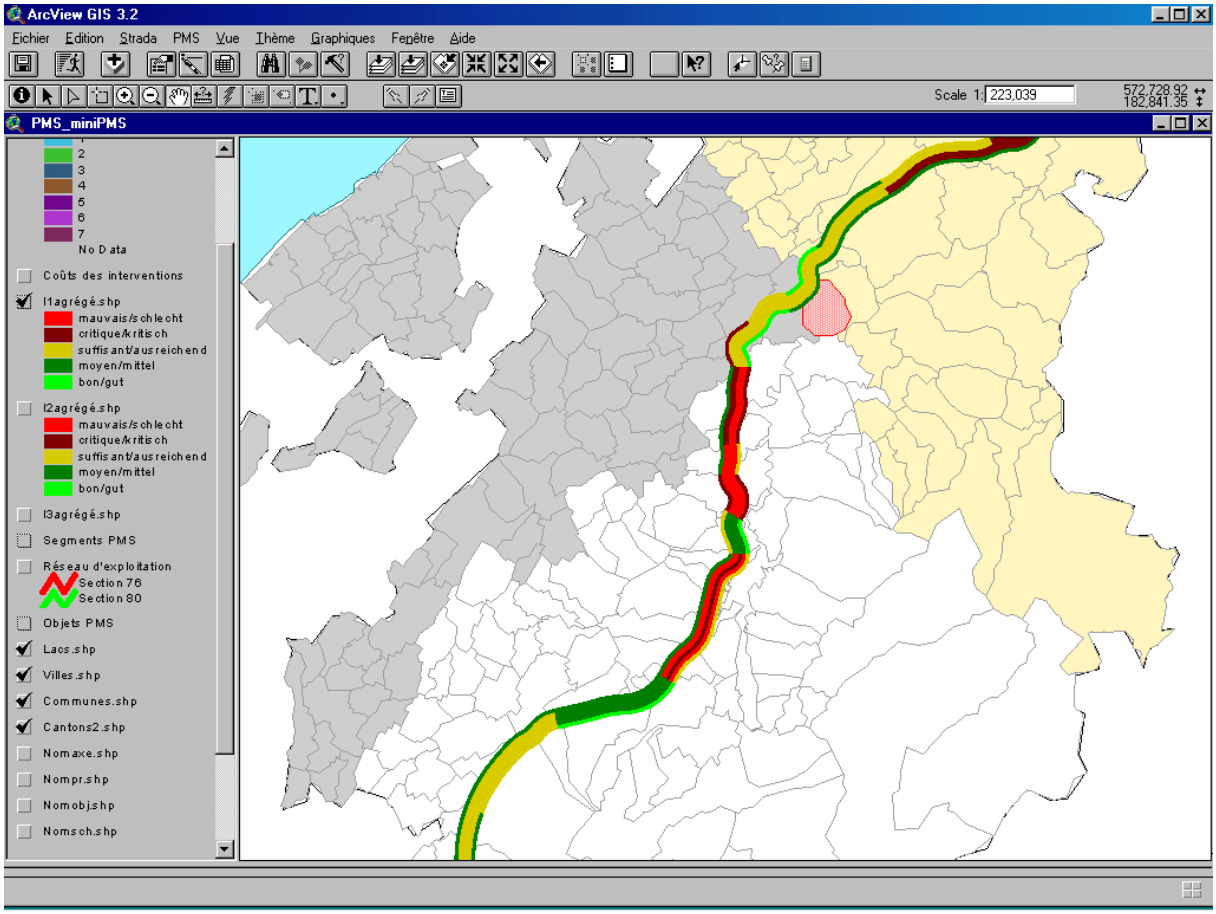


Figure E-11 : Représentation des valeurs d'état agrégées sur les objets PMS

12.2.2Phase 2

L'objectif de la phase 2 est l'attribution des mesures possibles aux objets PMS. Ceci est réalisé sur la base d'un catalogue de mesures, comme représenté ci-dessous:

BERNA - PMS, Massnahrnenkatalog										
	Ein-heit	Basis-fläche m2	Ein-heit	Basis-fläche m2	Einheits-preis [CHF]	Dauer T1	...	Dauer T6	Neu I1	Bereich I1
1. Oberflächenverbesserungen										
1.1. OB	m^2	>10'000	7.-	<3'000	10.-	6	...	-	+0.7	3.0 - 4.0
1.2. Mikrobelag (kalt)	m^2	>10,000	11.-	<3'000	14.-	7		3	+0.8	3.0 - 4.0
2. Belagsüberzüge, Verstärkung										
2.1. Microbeton (heiss)	m^2	>10000	20.-	<3'000	22.-	14	...	-	4.40	3.5 - 3.9
2.2. Hocheinbau (4 cm)	m^2	>8000	21.-	<4'000	26.-	18	...	10	4.60	3.3 - 3.8
2.3. Hocheinbau (10 cm)	m^2	>8000	48.-	<4'000	52.-	22	...	-14	4.80	3.1 - 3.7
3. Belagserneuerung, Verstärkung										
3.1. Tiefeinbau (4 cm)	m^2	>5000	27.-	<3'000	33.-	17	...	-	4.60	3.6 - 3.9
3.2. Tiefeinbau (10 cm)	m^2	>5000	52.-	<3'000	63.-	-	...	14	4.70	2.8 - 3.3
3.3. Tiefeinbau (20 cm)	m^2	>4000	73.-	<2'000	86.-	-	-	16	4.80	2.3 - 2.6
4. Erneuerung (Neubau)	m^2	>4000	160.-	<2'000	180.-	35	...	17	4.80	1.5 - 2.5
5. Spurrinnen (pro m')										
5.1. Mikrobelag (ka1t)	m'	1500	6.-	<500	8.-	-	...	-	+0.7	3.0 - 4.0
5.2. Fräsen / Belag	m'	1500	21.-	<500	26.-	-	...	5	+1.0	3.0 - 4.0
6. Ränder										
6.1. Bankettsanierung	m'		120.-		160.00					
6.2. Sanierung RA (RN/SN)	m'		75.-		90.-					
7. Spezialfälle										

Figure E-12 : Extrait du catalogue de mesures de Berna-PMS

Cet exemple montre quelques mesures en colonnes avec les informations suivantes:

- leurs prix unitaires en fonction de la surface d'application de la mesure.
- la durée d'influence pour chaque classe de trafic pondéral T1 à T6[1] (T1: très leger, …, T6: extrêmement lourd). Admettons une route avec un indice d'état I1 égal à 3.3. Si la route est peu sollicitée (classe T1) et si sa chaussée est renforcée (4 cm, voir rubrique 4), la dégradation de la chaussée est retardée de 18 ans, c'est à dire que dans 18 ans, la route se trouve avec le même état qu'avant l'application de la mesure. Si la route est fortement sollicitée (classe T6), la dégradatioon de la chaussée n'est retardée que de 10 ans.

– l'indice I1 attendu ou l'amélioration de l'indice I1 après l'application de la mesure est indiqué (colonne "Neu I1").

– Domaine d'indices I1 pour lequel la mesure peut être appliquée

Ces mesures peuvent par la suite être attribuées aux objets PMS en fonction de leurs valeurs d'indices d'état et leurs charges de trafic (T1 à T6).

[1] Voir la norme SN 640'324a

L'attribution de mesures aux objets PMS peut être réalisée à l'aide de l'application pilote STRADA-DB/PMS, comme le montre la figure suivante:

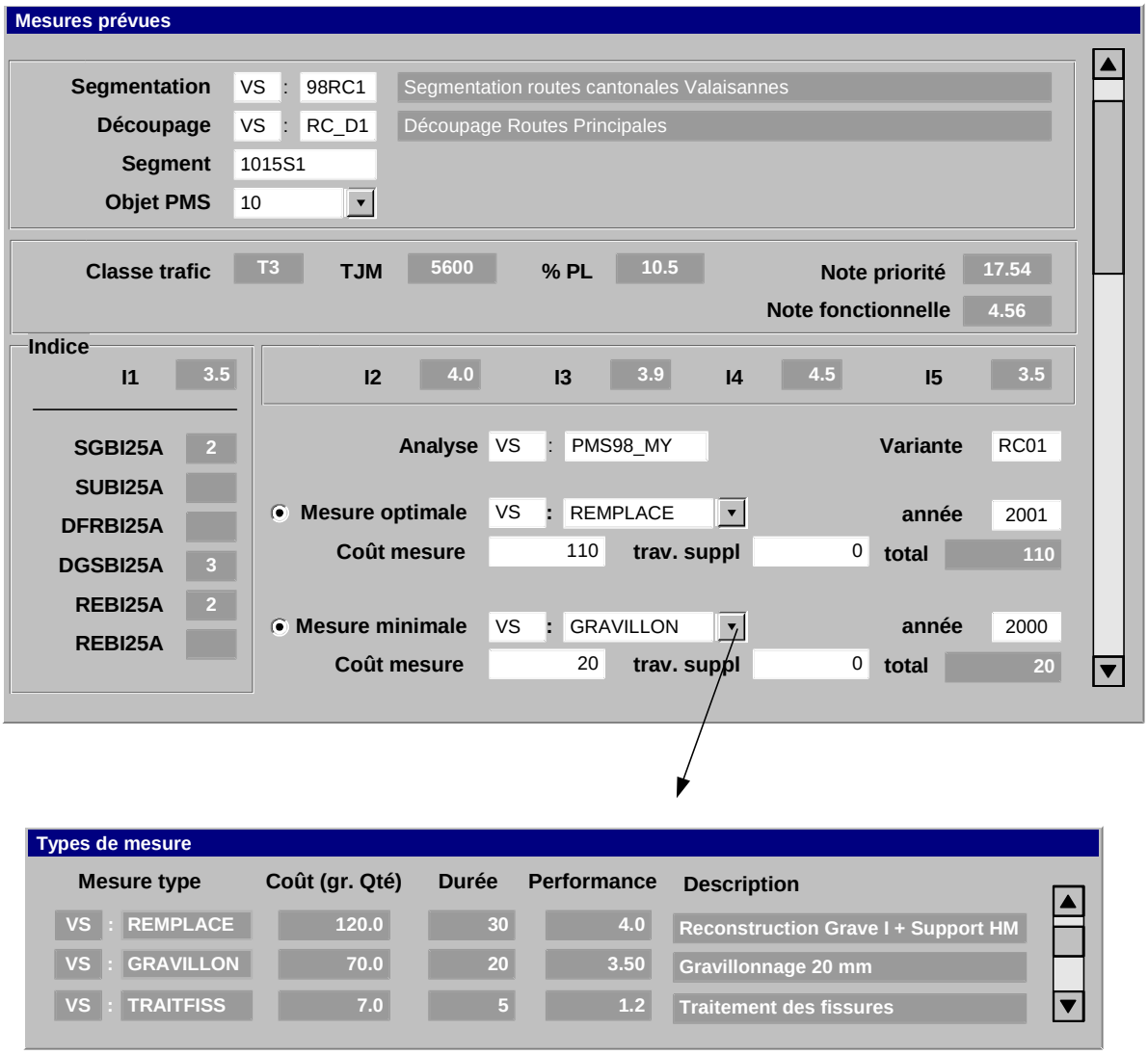


Figure E-13 : Attribution des mesures aux objets PMS

Les outils SIG comme STRADA-View/Carto ont peu d'importance dans cette phase.

12.2.3Phase 3

Cette phase permet d'établir des plans d'entretien en fonction du budget disponible, des ressources de personnels et des critères d'évaluation objectif comme par exemple des critères d'environnement, de confort, de sécurité etc.

Deux approches peuvent soutenir le responable PMS dans cette phase:

- Approche exploratoire: le responsable établit des variantes de plans d'entretien en fonction de contraintes définies différemment pour chaque variante sur la base des données aquises. Cette approche est soutenue par l'application MiniPMS
- Approche d'optimisation: optimisation des mesures en fonction des contraintes prédéfinies. Cette approche est soutenue par l'application ViaPMS.

Le plan définitif d'entretien doit se baser sur les deux approches: l'approche exploratoire pour estimer les paramètres sensibles, pour établir des variantes d'analyse et pour valider les solutions qui proviennent de l'optimisation, l'approche d'optimisation pour faciliter la recherche des solutions optimales pour le responsable à l'aide des algorithmes d'optimisation.

STRADA-View/Carto joue un rôle important dans cette phase, car elle permet de visualiser les résultats des deux approches et de les communiquer aux intervenants politiques.

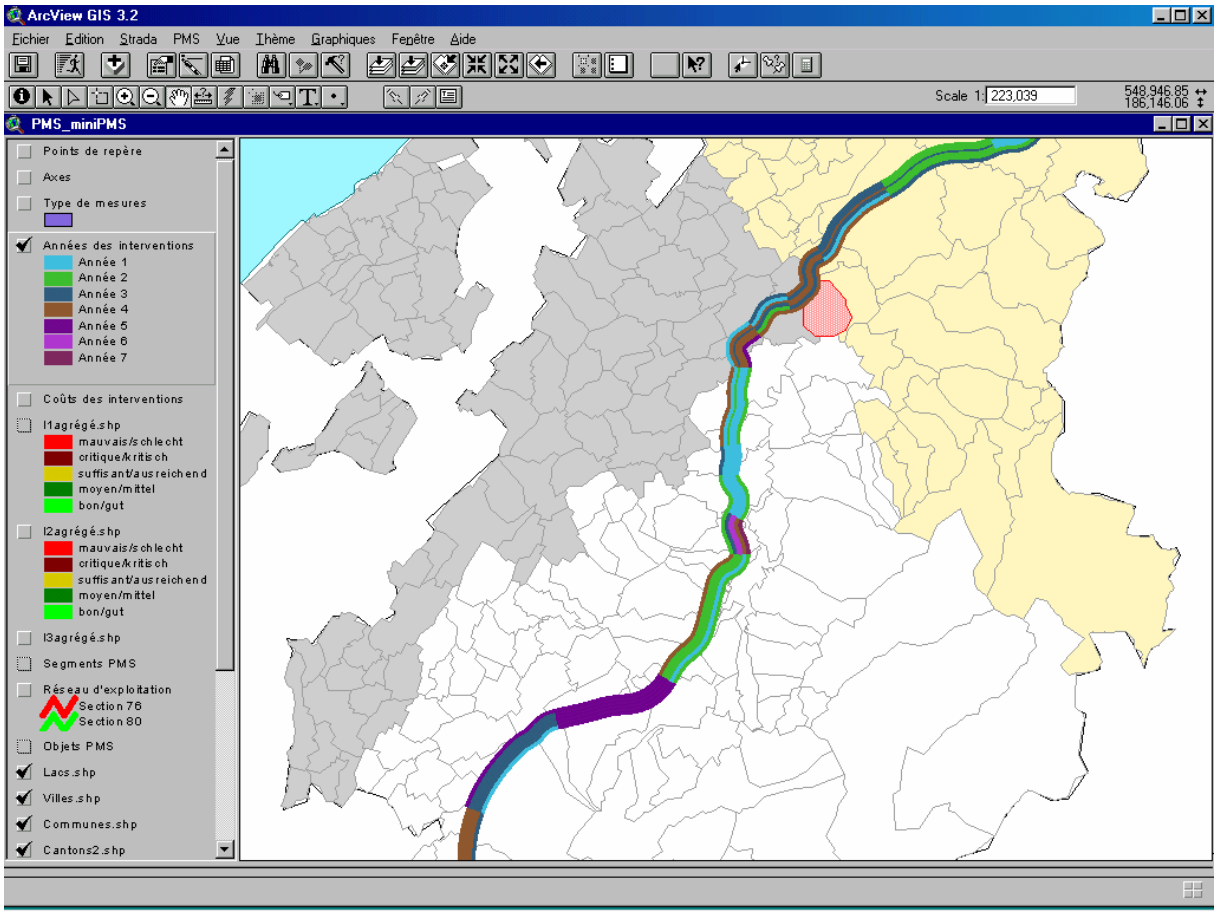


Figure E-14 : Représentation des interventions classées par années d'intervention pour un budget annuel donné.

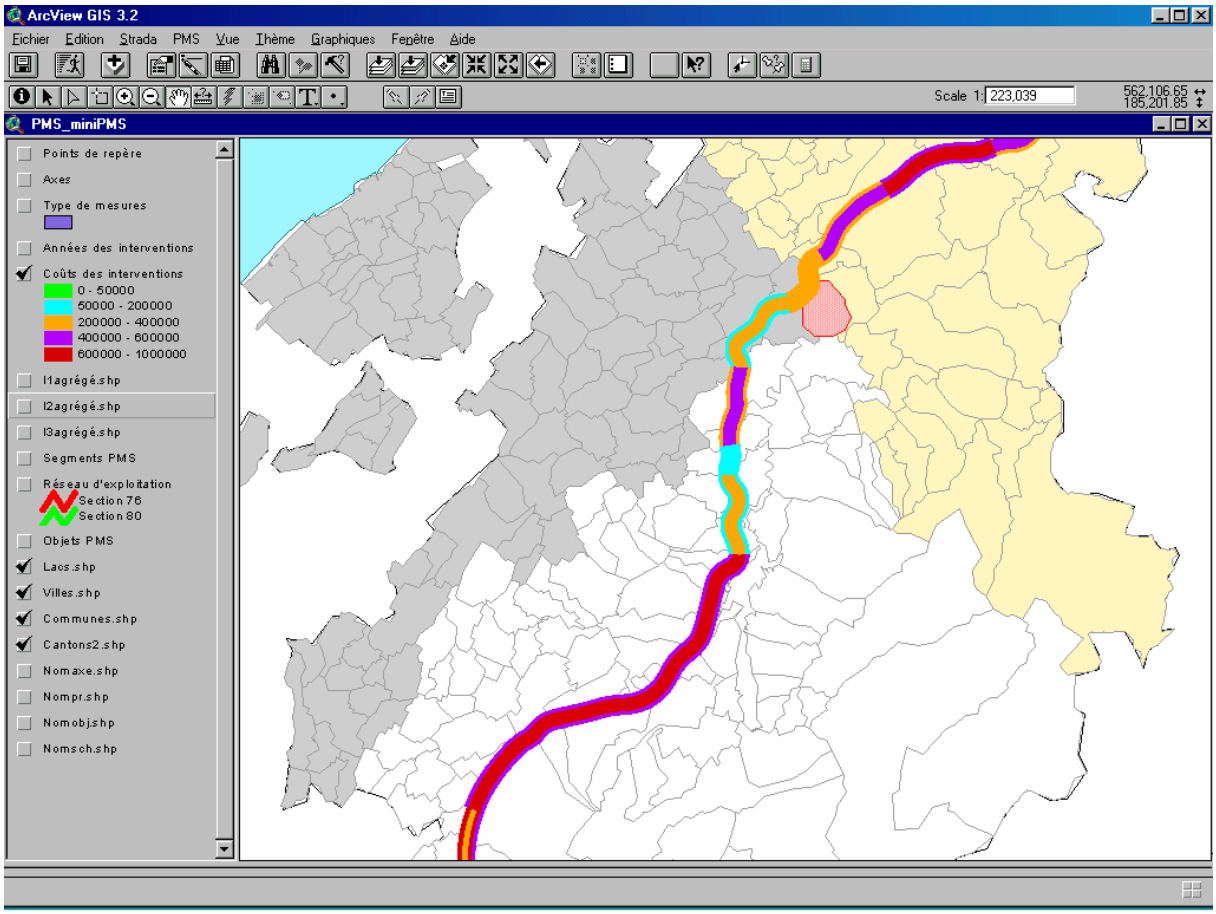


Figure E-15 : Représentation des interventions classées en fonction de l'importance des coûts pour un budget annuel donné

12.3 Illustration des fonctions complémentaires de STRADA-View-Carto

12.3.1 Aide à la localisation

L'abstraction du réseau routier dans les activités d'entretien routier et l'utilisation d'un système de repérage linéaire nécessitent des méthodes de saisie adaptées. Les utilisateurs peuvent saisir des informations de repérage spatial dans une application alphanumérique (STRADA-DB/UR-A) ou ils peuvent faire appel à des fonctionnalités SIG puissantes et performantes de STRADA-View/Carto.

STRADA-View/Carto offre quatre types de fonctionalités à ce propos:

- Saisie en mode ponctuel: détermination de l'axe, du point de repère, de la distance et de l'écart en cliquant sur le fond de carte à la proximité d'un axe
- Saisie en mode linéaire: détermination de l'axe, du point de repère, de la distance et de l'écart du lieu de début et du lieu de fin d'un objet linéaire en cliquant deux fois à la proximité d'un axe
- Calcul des données curvilignes: calcul des coordonnées curvilignes d'objets existants
- Construction des "segments de liaison": saisie des coordonnées curvilignes d'un objet linéaire, construction de la forme de l'objet linéaire et représentation sur la carte

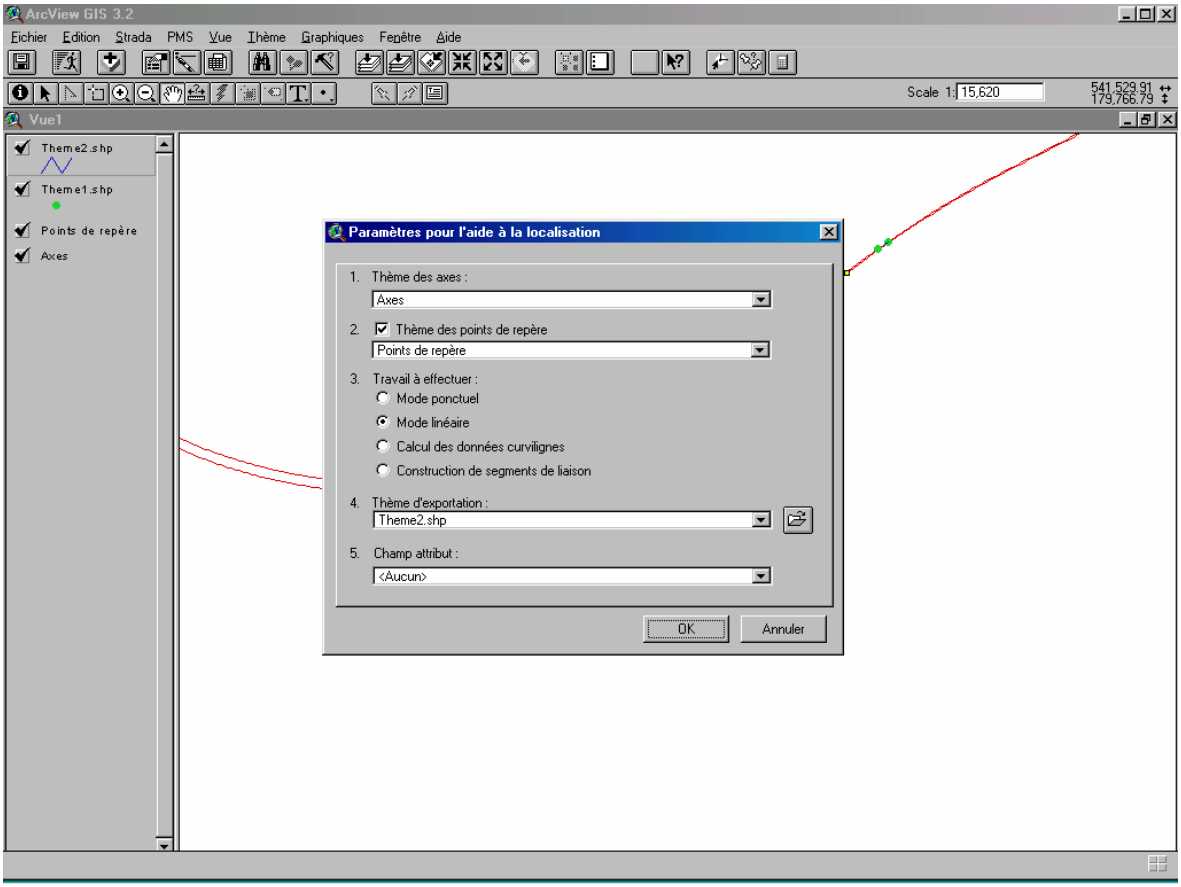


Figure E-16 : Fonctionalités SIG liées à la saisie des objets routiers

Ces trois fonctionalités de saisie en mode ponctuel, en mode linéaire et en mode "construction des segments de liaison" sont illustrés par la suite:

a) Mode ponctuel

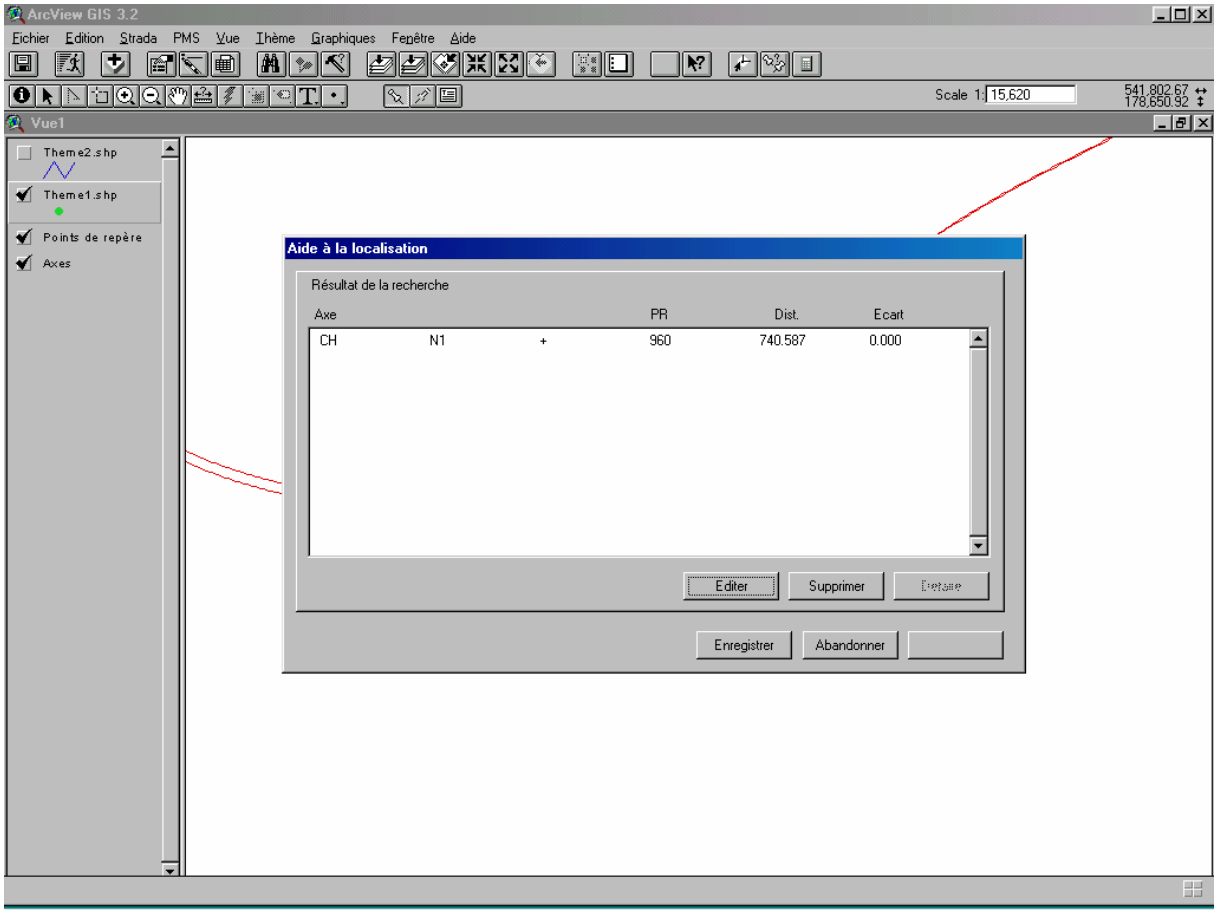


Figure E-17 : Affichage des coordonnées curvilignes dans la saisie en mode ponctuel

Dans ce mode de saisie, l'utilisateur positionne un objet ponctuel sur le fond de carte à proximité d'un axe. L'application cherche l'axe, le point de repère correspondant et calcule la distance curviligne par rapport à ce point de repère et l'écart latéral par rapport à l'axe. Ces informations sont affichées à l'écran, comme le montre la figure E-17. L'utilisateur a la possibilité de modifier ces informations. Ceci peut être très utile pour positionner les objets ponctuels exactement sur l'axe par exemple. Dans ce cas, l'utilisateur définira l'écart latéral égal à zéro. La modification alphanumérique de l'écart d'un point est souvent utilisée pour arrondir sa valeur. L'écart en principe est calculé en fonction de la position où l'utilisateur a cliqué sur le fond de plan. Par contre, l'utilisateur souhaite avoir souvent des valeurs arrondies pour l'écart, suffisamment précis pour attribuer un objet à une voie.

En validant les informations de repérage linéaire, l'objet ponctuel est représenté sur le fond de plan, comme le montre la figure suivante:

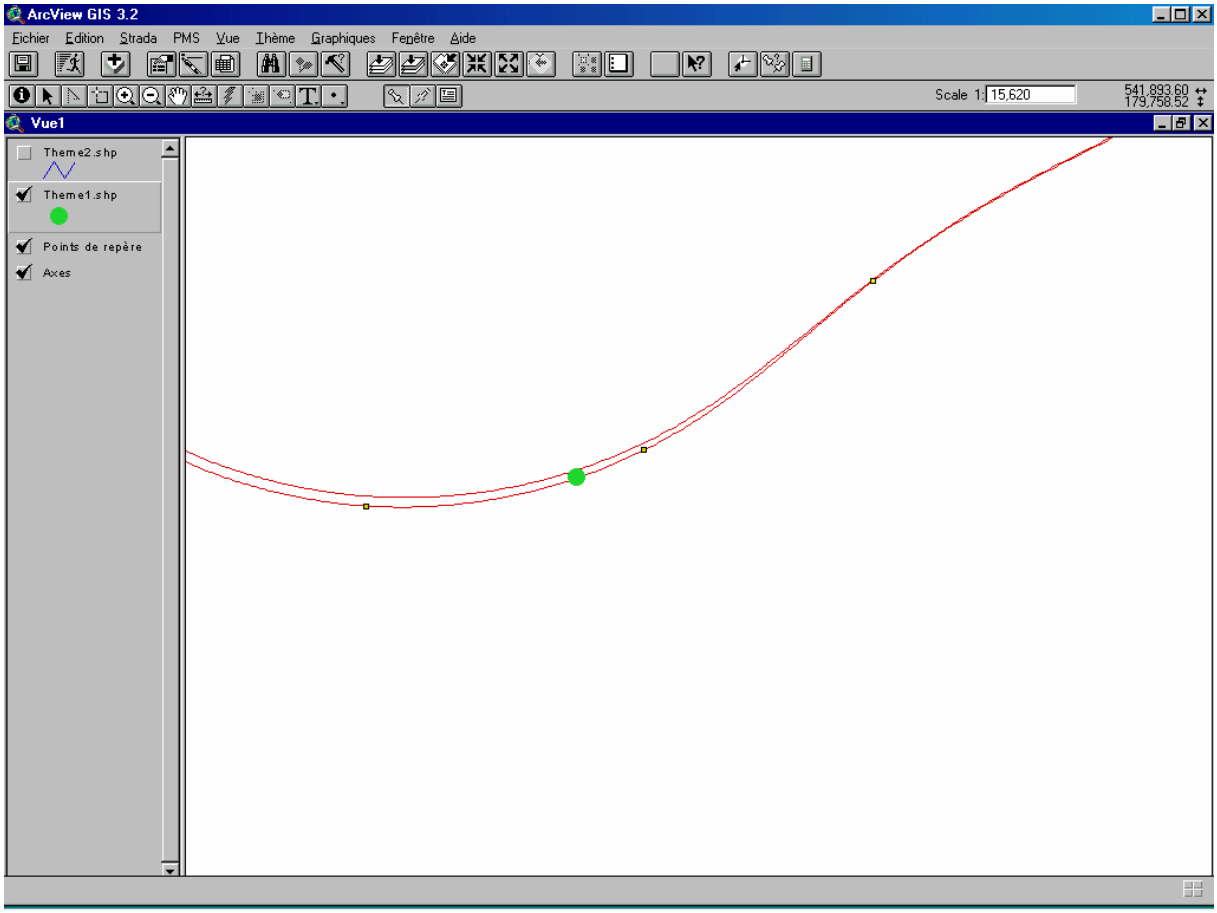


Figure E-18 : Représentation de l'objet ponctuel sur le fond de plan

b) Mode linéaire

De manière analogue, l'utilisateur peut saisir des objets linéaires en positionnant le lieu de début et le lieu de fin d'un objet linéaire à la proximité d'un axe. Les informations de repérage linéaire sont affichées par l'application comme le montre la figure E-19. L'utilisateur a ainsi la possibilité de modifier ces informations par une saisie alphanumérique. Cette fonctionnalité peut se révéler utile pour imposer qu'un objet soit parallèle à l'axe donné par exemple.

En validant ces informations, l'utilisateur peut afficher l'objet linéaire sur le fond de plan. Le calcul de la forme de cet objet tient compte de la forme de l'axe, comme le montre la figure E-20. Elle est construite par une interpolation linéaire de l'écart latéral en fonction de l'écart de début et de fin de l'objet linéaire.

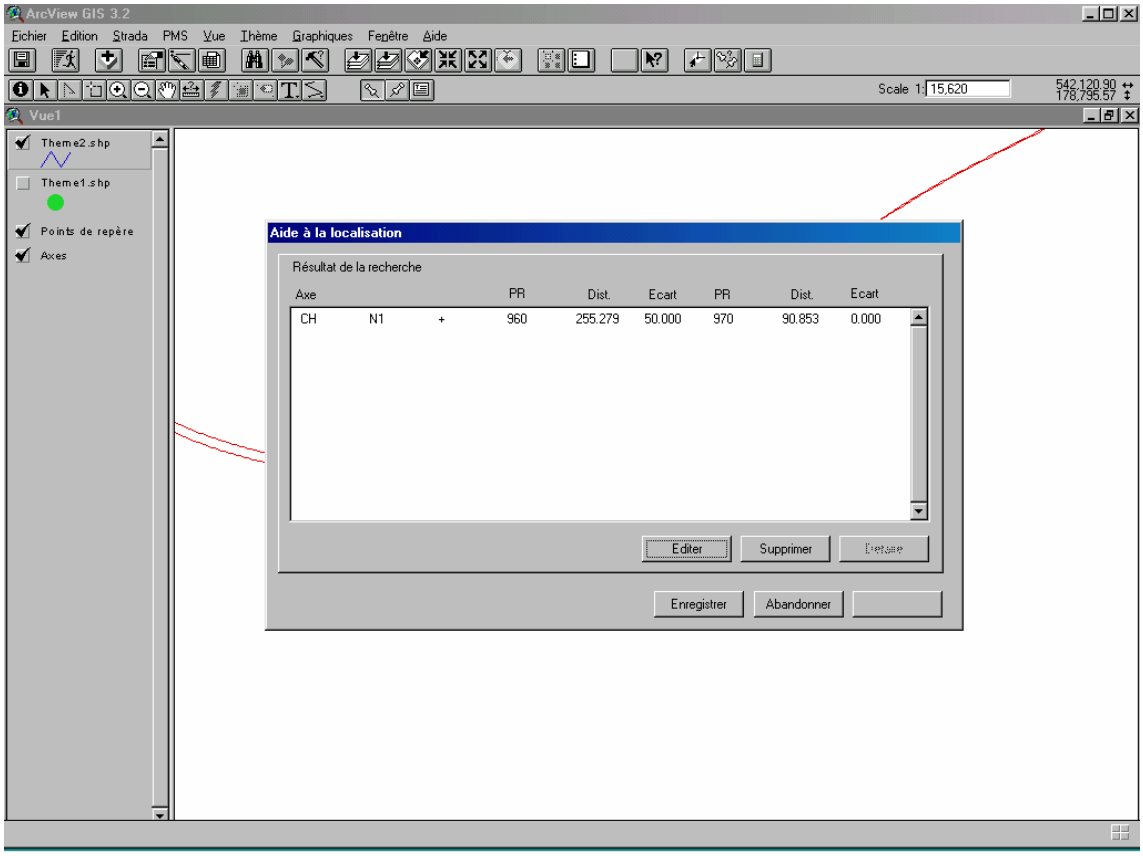


Figure E-19 : Affichage des coordonnées curvilignes dans la saisie en mode linéaire

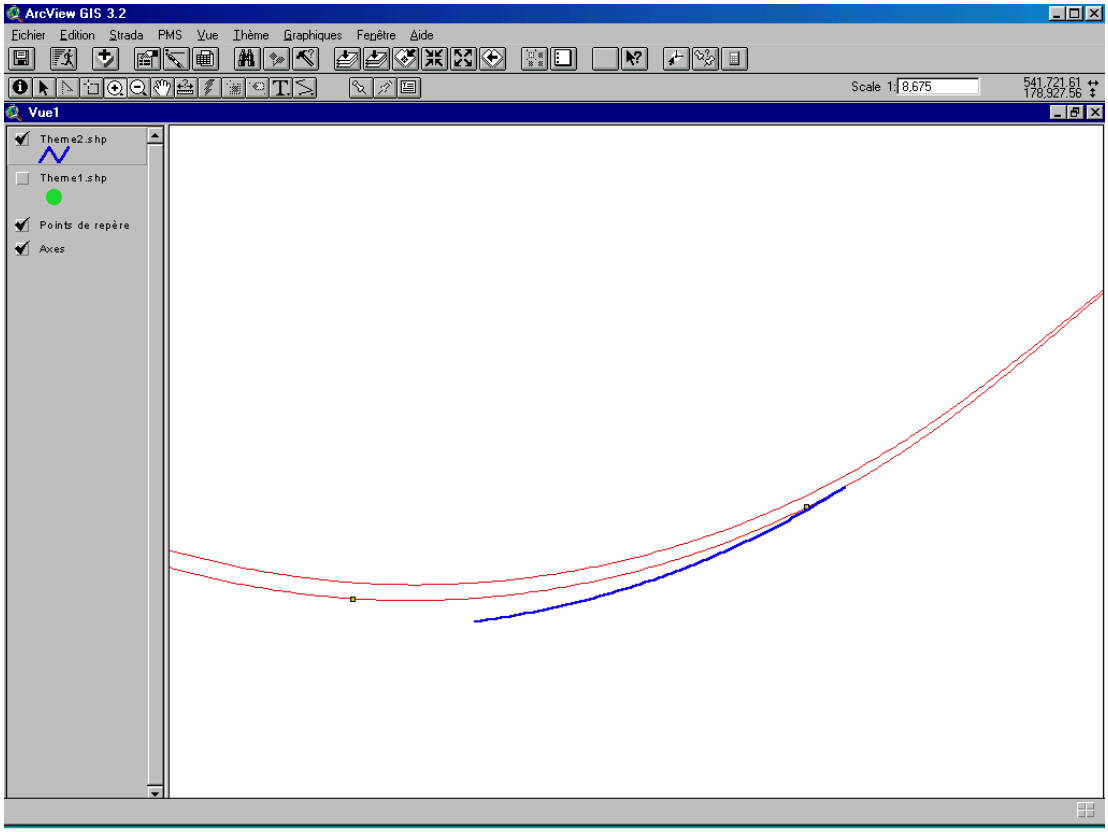


Figure E-20 : Représentation d'un objet linéaire sur un fond de plan

c) Construction des segments

Les objets linéaires peuvent être construits dans le sens inverse, c'est à dire que l'utilisateur saisit les paramètres de repérage linéaire dans un masque alphanumérique et l'application calcule la forme de cet objet et la représente sur le fond de plan. Le masque de saisie des paramètres de repérage est illustré par la figure ci-dessous:

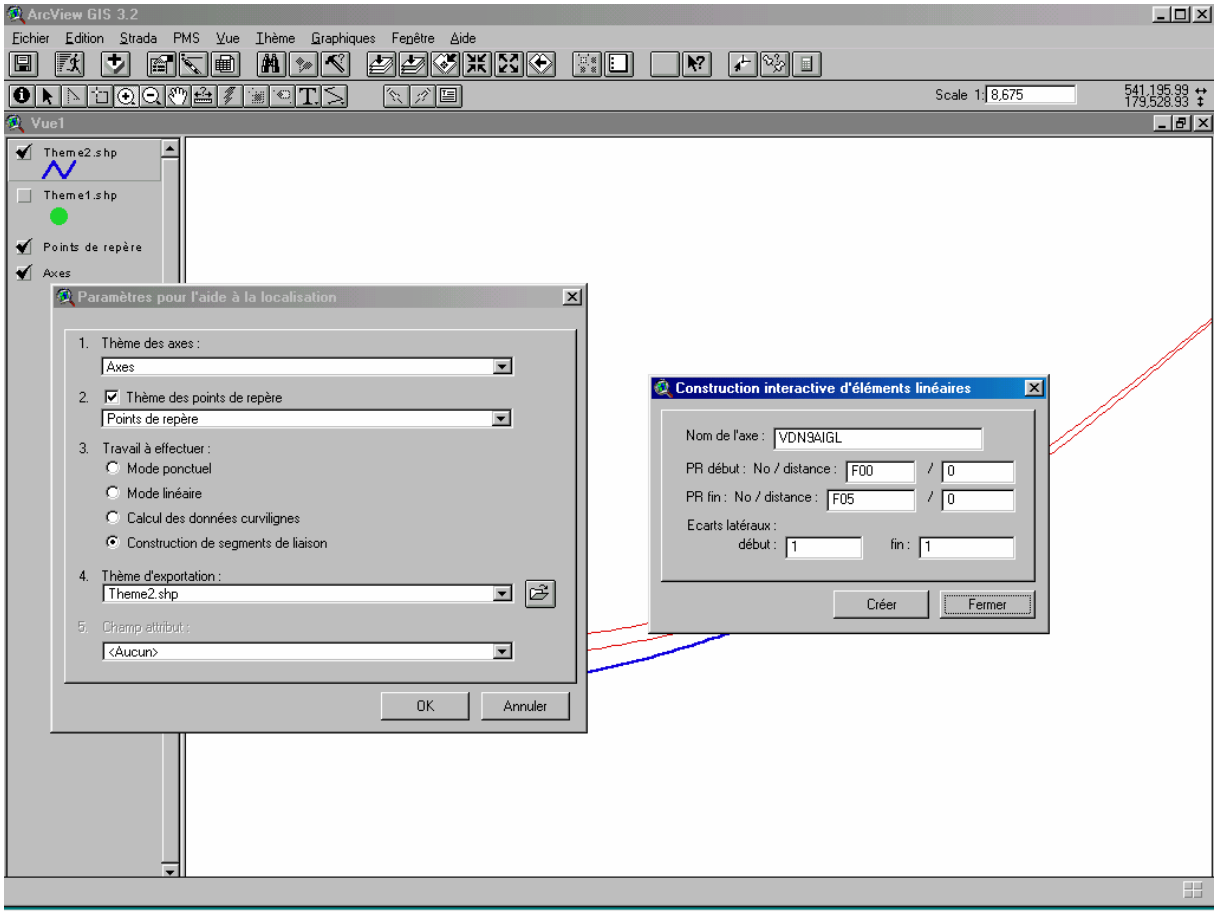


Figure E-21 : Masque de saisie alphanumérique pour repérer un objet linéaire sur le SRB.

12.3.2 Saisie du réseau topologique

Le prototype de saisie a pour but de faciliter la définition des topo-réseaux dans l'espace. En effet, l'utilisateur peut facilement définir des tronçons sur une base cartographique qui représente entre autres données les axes routiers, les points de repère et les nœuds. Ce prototype est conçu avec les fonctionalités minimales pour répondre aux exigences de la saisie des tronçons. Il convainc par sa convivialité et par sa conception orientée productivité, rentabilité de la saisie.

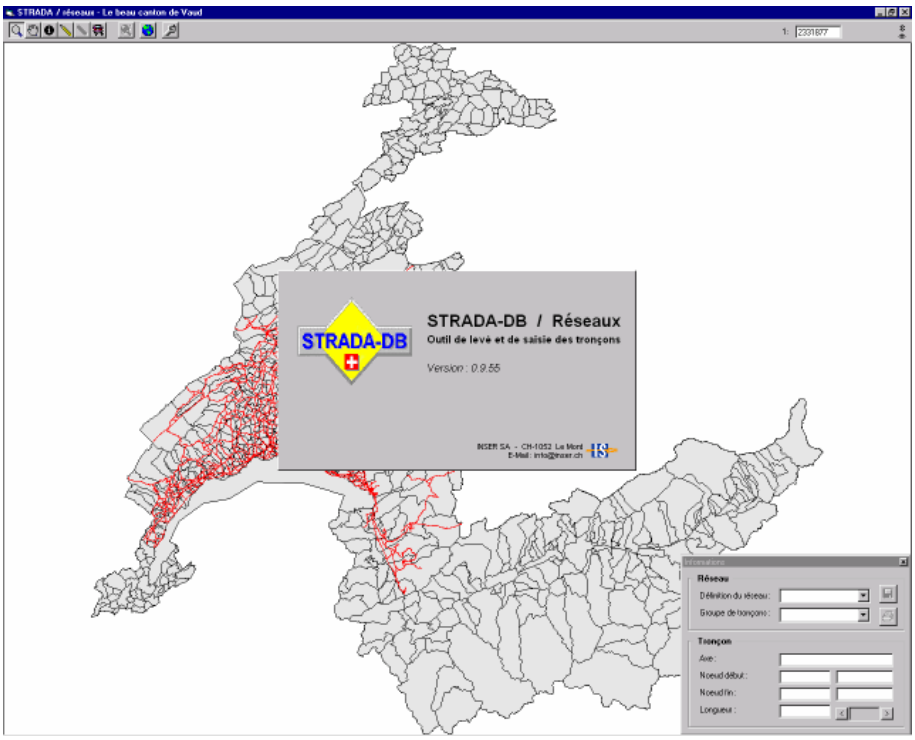


Figure E-22 : Aperçu général de l'application de saisie des topo-réseaux

La zone de travail de l'application offre deux fenêtres:

- ***Fenêtre cartographique***: l'utilisateur définit les tronçons dans cette fenêtre. Il a un ensemble de fonctionnalités de visualisation à disposition: l'agrandissement, la réduction et le déplacement de la représentation cartographique. De plus, il dispose des fonctions de création et d'effacement de tronçons.

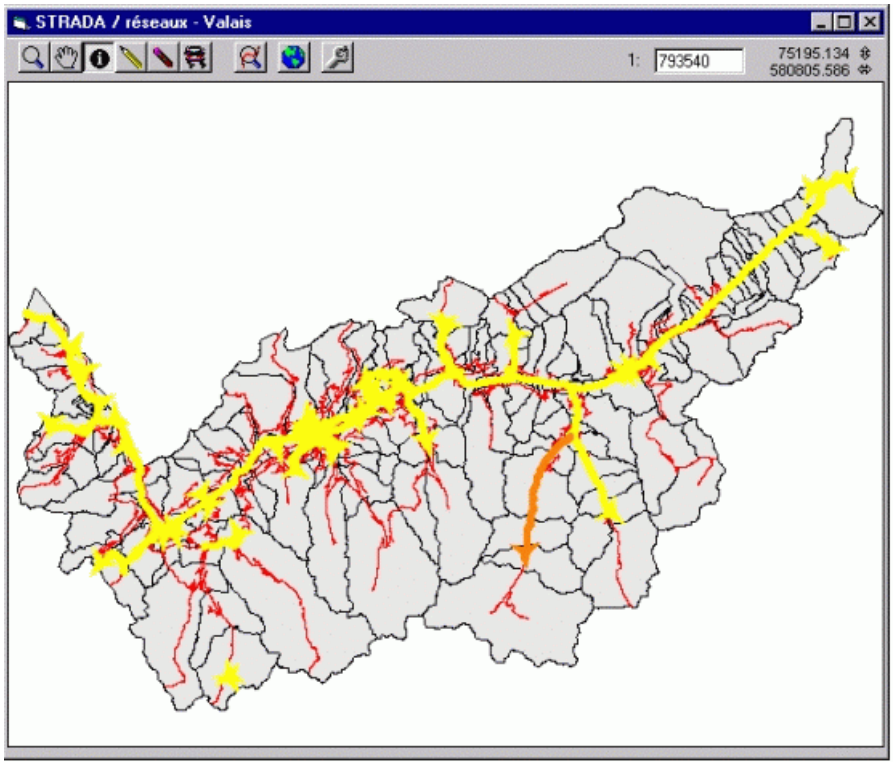


Figure E-23 : Fenêtre cartographique

– ***Fenêtre d'information***: l'utilisateur selectionne le type de topo-réseaux et le topo-réseau qu'il souhaite saisir. Au fur et à mesure de la saisie, diverses d'informations sont affichées dans cette fenêtre (nombre de tronçons déjà saisis etc.). A partir de cette fenêtre, l'utilisateur peut accéder à des fonctions de traitement comme, par exemple, l'exportation des données en INTERLIS, l'affichage de la liste des tronçons et l'impression de la liste ou de la représentation cartographique.

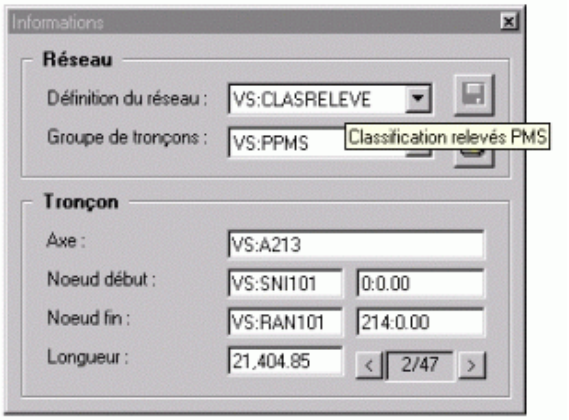


Figure E-24 : Fenêtre d'information

L'application permet d'afficher les objets géographiques en fonction de l'échelle de représentation. Pour une petite échelle, elle représente uniquement les axes et le contexte géographique dans la fenêtre cartographique. Pour une grande échelle, elle visualise également les nœuds, les lieux de nœud et les points de repère, comme le montre la figure suivante.

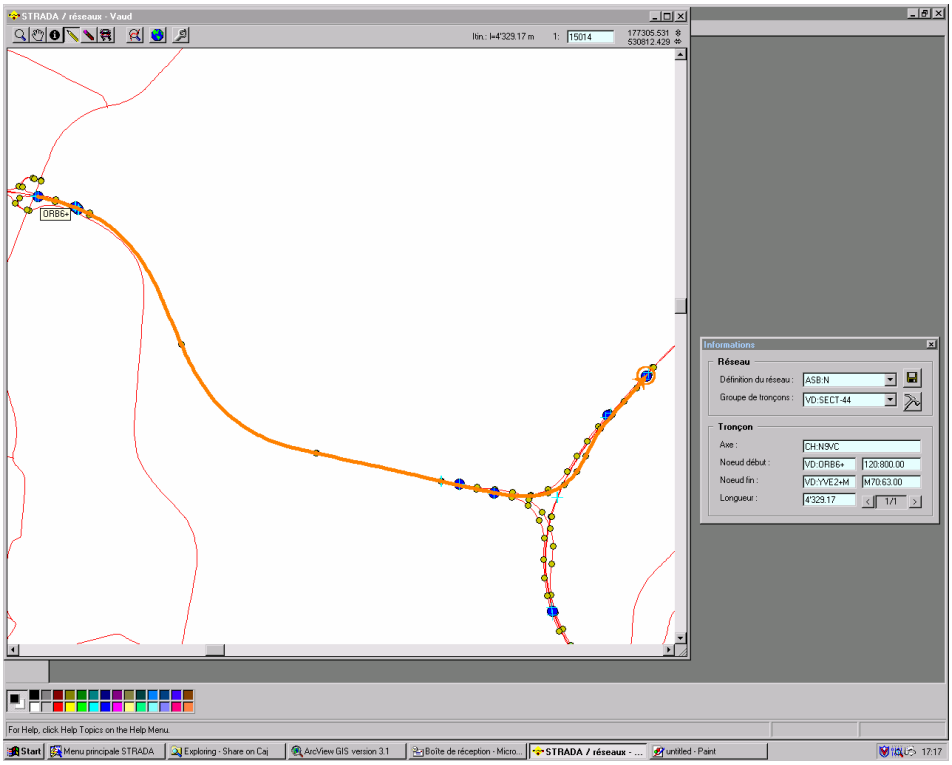


Figure E-25 : Représentation des objets d'information en fonction de l'échelle (ligne rouge: axes, carré jaune: point de repère, rond bleu: nœud, croix bleu-clair: lieux de nœud, ligne orange: tronçon sélectionné)

Cette application offre des fonctions adaptées à la saisie des topo-réseaux en tenant compte de la topologie du réseau routier:

- Lors de la saisie des tronçons, l'utilisateur ne peut sélectionner que des nœuds pour délimiter les tronçons dans l'espace.
- Les tronçons saisis sont dessinés en fonction de la géométrie de l'axe correspondant.
- Si plusieurs tronçons forment un itinéraire, l'outil dessine une ligne orientée à condition que les tronçons forment bien un itinéraire et respectent la topologie du réseau routier.

L'application ne contient pas toutes les fonctionnalités des outils SIG possibles, mais des fonctionnalités utiles pour répondre à un besoin spécifique, à savoir la saisie de tronçons. Quelques fonctionnalités ont été améliorées, notamment celles de l'agrandissement et de la réduction de la base cartographique, afin d'améliorer le rendement de la saisie.

De plus, l'application permet d'interroger les coordonnées curvilignes d'une position sur un axe routier. Ceci peut être utile pour le contrôle d'intégrité des tronçons saisis.

a) Démarche de travail

1. L'utilisateur selectionne d'abord le type de topo-réseau (dans l'exemple "ASB.N") et le topo-réseau ("IS.DAA") dont les tronçons doivent être définis. Pour cela, l'application accède directement à la base de données STRADA-DB.

2. Pour la saisie du premier tronçon, il sélectionne un nœud dans la fenêtre cartographique. Le nœud sélectionné est mis en évidence par un cercle de taille légèrement plus grande que le symbole du nœud (voir figure E-26).

3. Un tronçon se trouve sur un axe et il est délimité par deux lieux de nœud. Par conséquent, l'utilisateur détermine un axe sur lequel le tronçon doit être défini. Le premier noeud doit avoir été localisé par rapport à cet axe (voir figure E-27).

4. L'utilisateur sélectionne le deuxième nœud qui représente la fin du tronçon. Ainsi le tronçon est dessiné dans la fenêtre cartographique et la fenêtre d'information est renseignée (voir figure E-28). Le nœud est automatiquement sélectionné comme début du prochain tronçon.

5. Par la répétition des étapes 2 à 4, l'utilisateur définit tous les tronçons du réseau concerné. L'application met à jour la fenêtre d'information en transmettant les informations liées au dernier tronçon saisi et le nombre total de tronçons (Voir figure E-29).

6. L'ensemble des tronçons doit être enregistré et exporté en format INTERLIS. L'enregistrement a pour but d'une part de stocker les données dans les fichiers temporaires afin de pouvoir continuer plus tard et d'autre part d'alimenter la zone d'exportation.

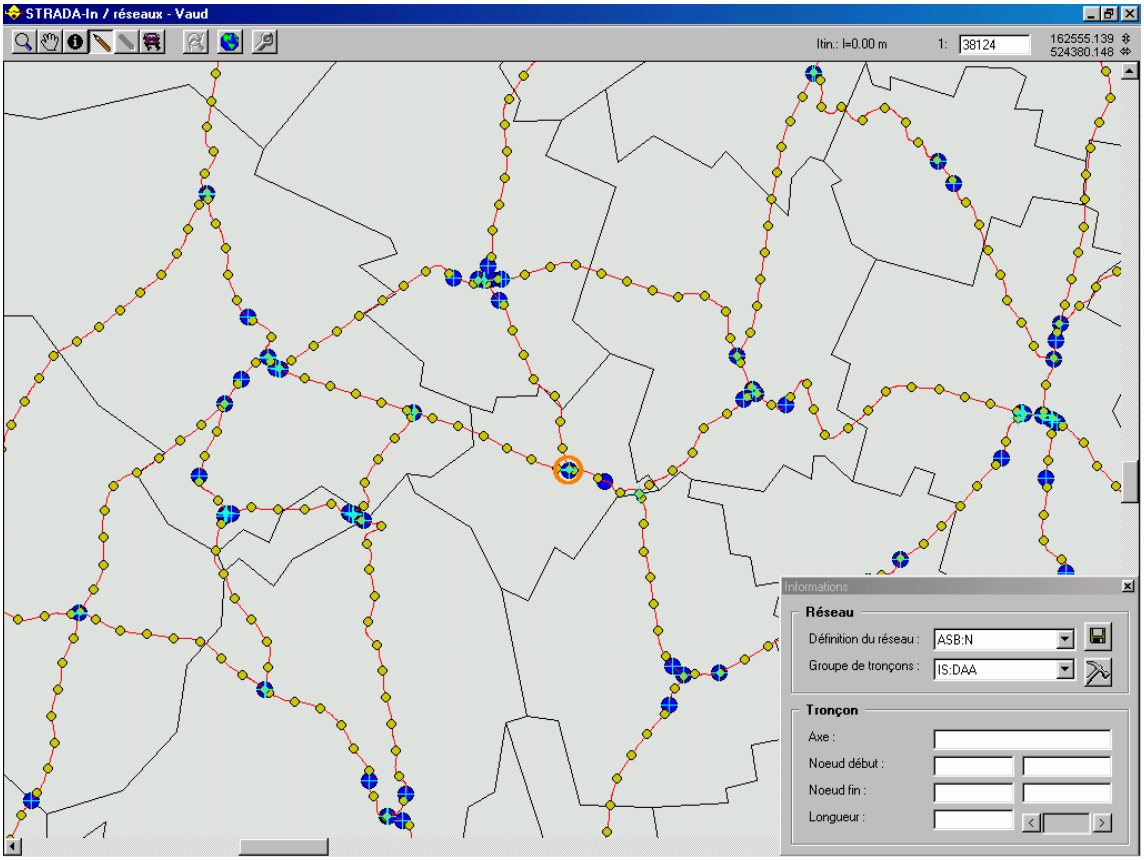


Figure E-26 : Sélection du premier nœud pour la définition d'un tronçon

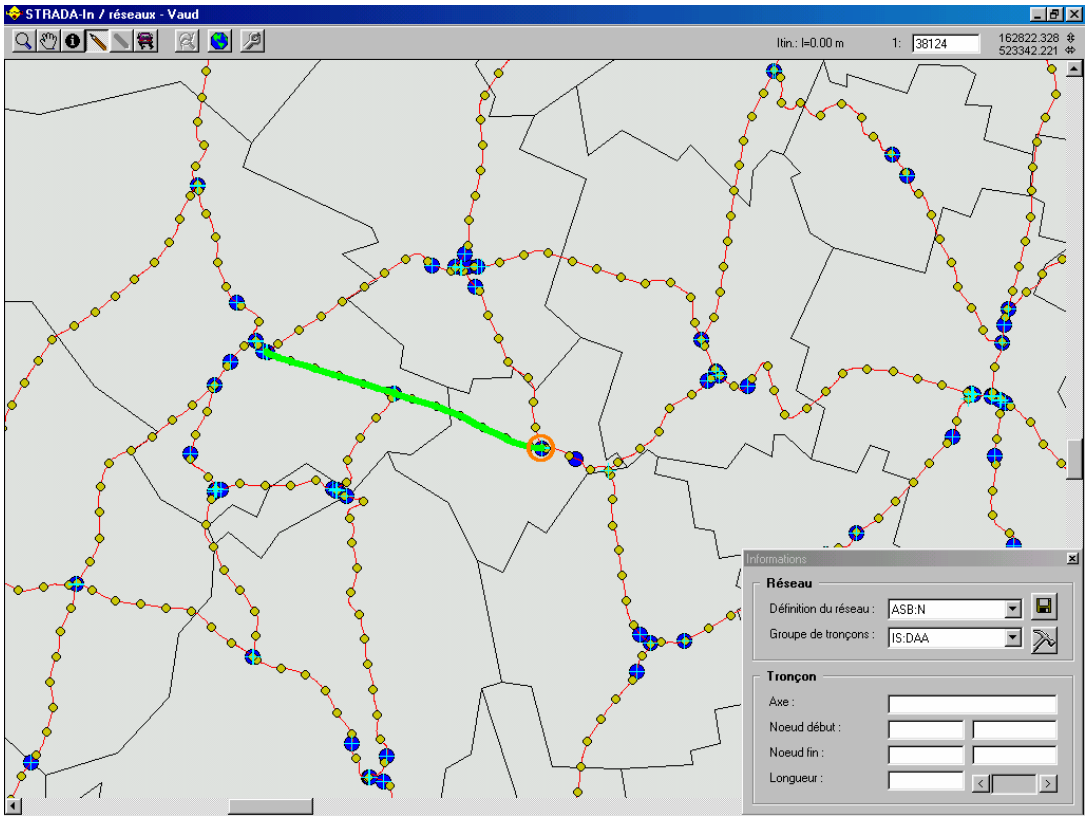


Figure E-27 : Détermination de l'axe

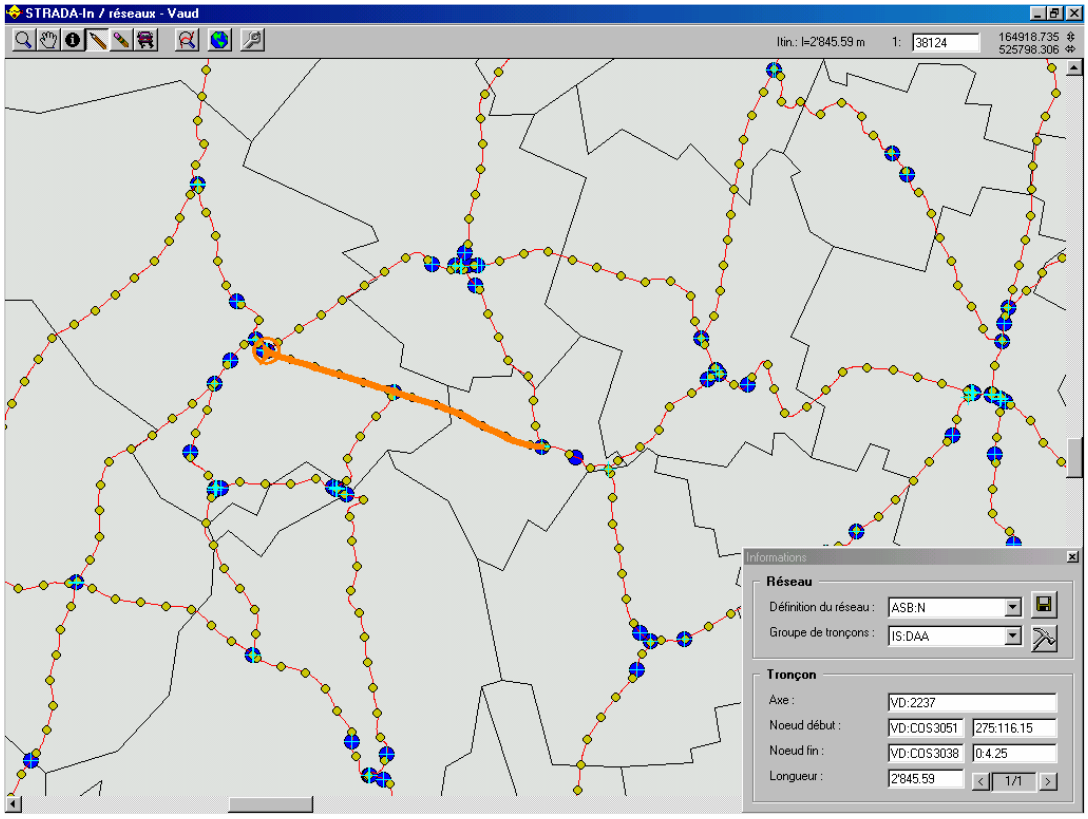


Figure E-28 : Sélection du nœud de fin

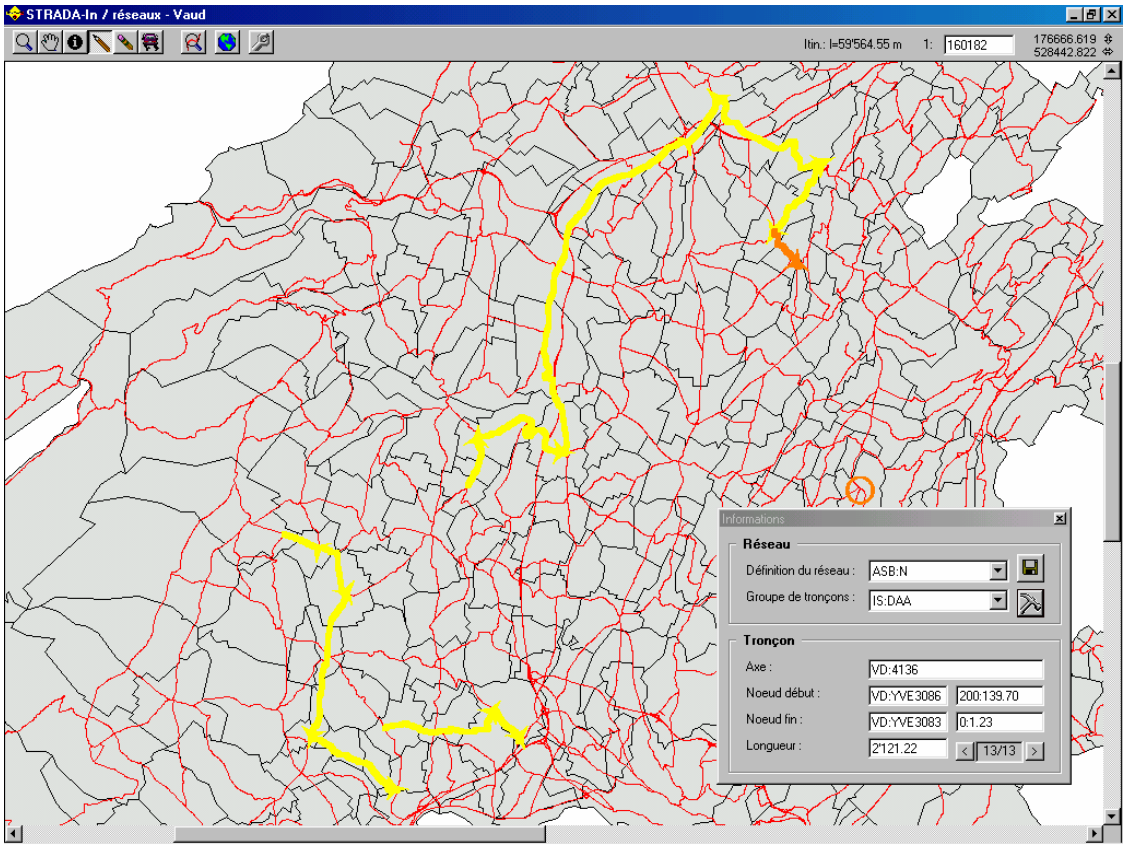


Figure E-29 : Exemple de topo-réseau avec tous les tronçons saisis

b) Fonctions de traitement

Les domaines de fonctions suivants sont mis à disposition par l'application:

- Liste de segments: tous les tronçons d'un topo-réseau donné sont affichés sous forme de liste
- Impression: impression de la liste des tronçons ou de la vue dans la fenêtre cartographique sur une imprimante
- Exportation: exportation de la liste des tronçons dans un fichier texte et exportation de la vue cartographique dans un fichier image.
- INTERLIS: exportation des tronçons dans un fichier de format INTERLIS. Cette exportation est nécessaire pour pouvoir importer ces données dans STRADA-DB à l'aide de l'outil ASCII-IN.

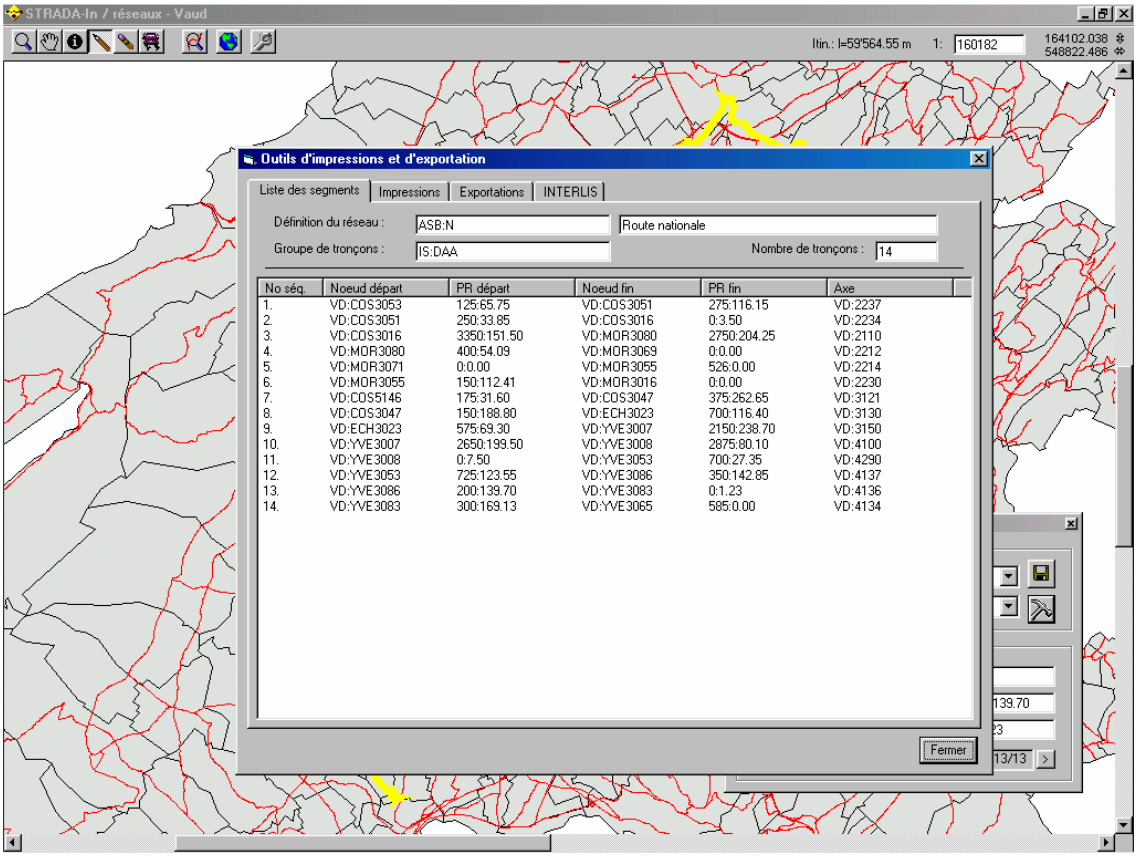


Figure E-30 : Liste des tronçons d'un topo-réseau

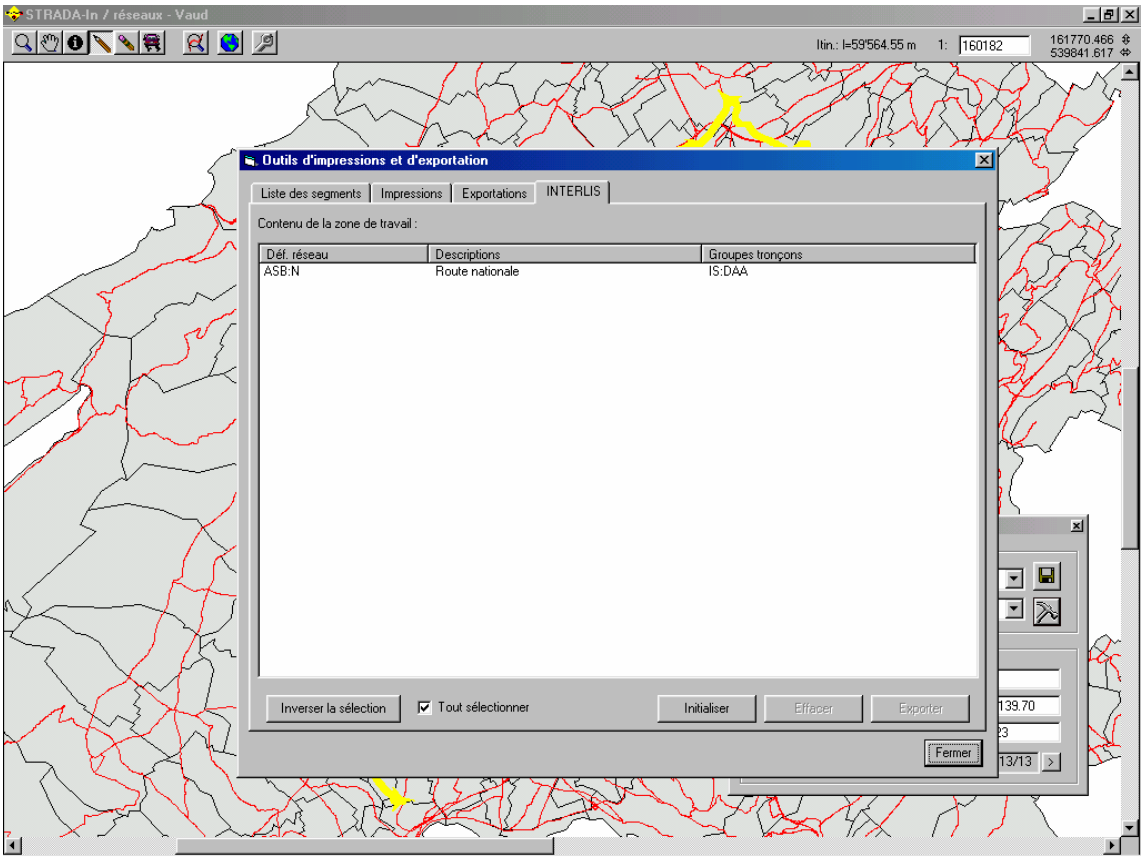


Figure E-31 : Zone d'exportation en INTERLIS

12.4 Exemples de combinaison de données géographiques

a) Superposition des données routières et des cartes nationales

Pour l'intégration des données routières dans le contexte géographique, les cartes nationales disponibles auprès de l'Office Fédéral de la Topographie peuvent être très utiles. Ces cartes contiennent des bâtiments, des noms des villes et villages, le réseau hydrographique, les forêts, les voies de communications (routes, rail) et les courbes de niveau. Néanmoins, quelques points doivent être pris en considération pour cette superposition:

- L'échelle de la source de la géométrie des axes et l'échelle de la carte nationale doivent être comparables.
- La carte nationale contient beaucoup de symboles et de couleurs. La superposition ne doit pas être surchargée puisque la lisibilité est fondamentale pour l'effet de la représentation cartographique.

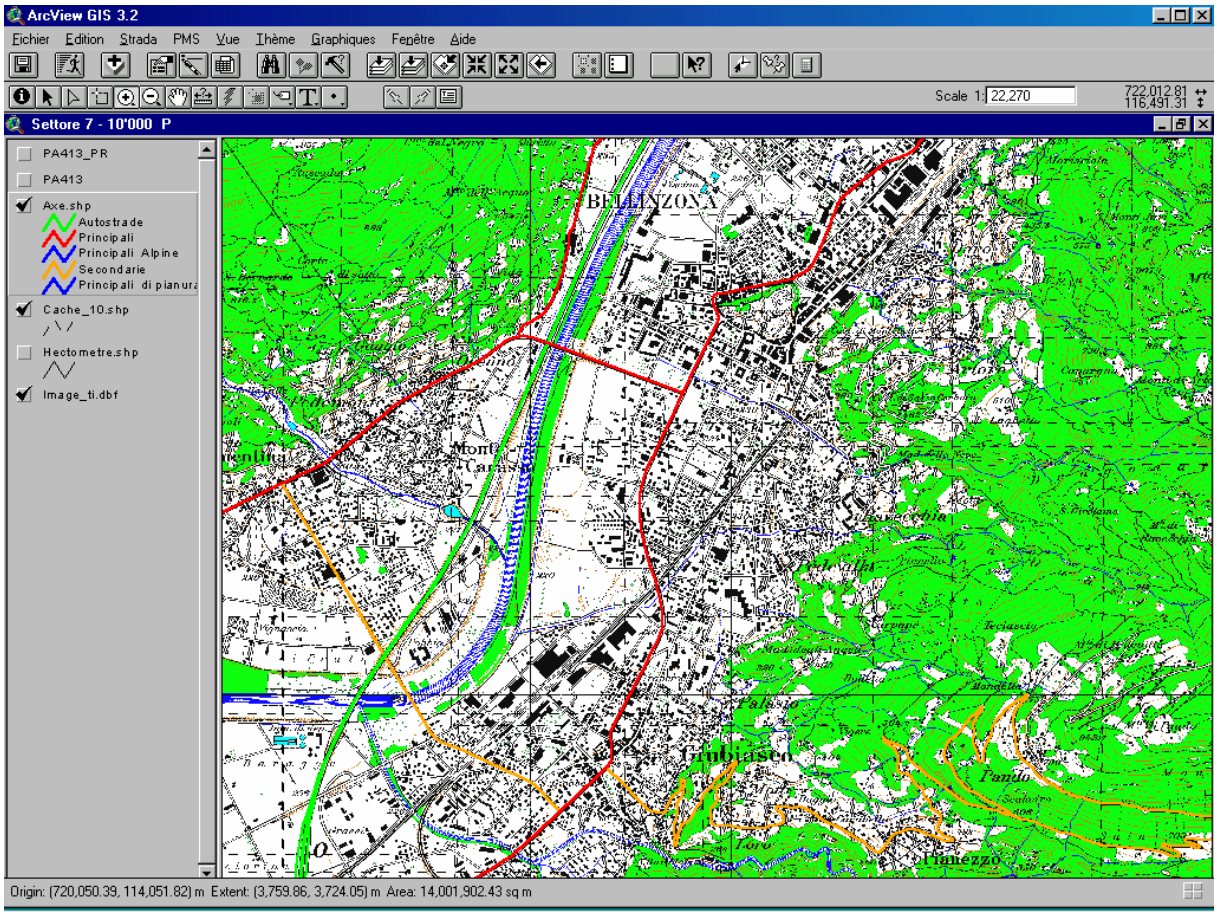


Figure E-32 : Superposition des objets routiers et une carte nationale

b) Combinaison de données routières repérées par rapport au SRB et des données routières repérées par rapport au système de coordonnées nationales

Le rapport de recherche SYRROU[2] a montré que le SRB est fondamental dans la gestion des données routières pour l'entretien routier. Il a également montré que pour des représentations plus détaillées d'objets routiers avec une autre abstraction (la géométrie de l'axe n'influence pas la géométrie des objets routiers), un système de coordonnées cartésien comme par exemple le système de coordonnées nationales est mieux adapté.

La combinaison des deux types d'objets routiers est très interessante pour des activités d'entretien des surfaces vertes par exemple (Voir figure E-33) et des équipements d'évacuation des eaux (Voir figure E-34).

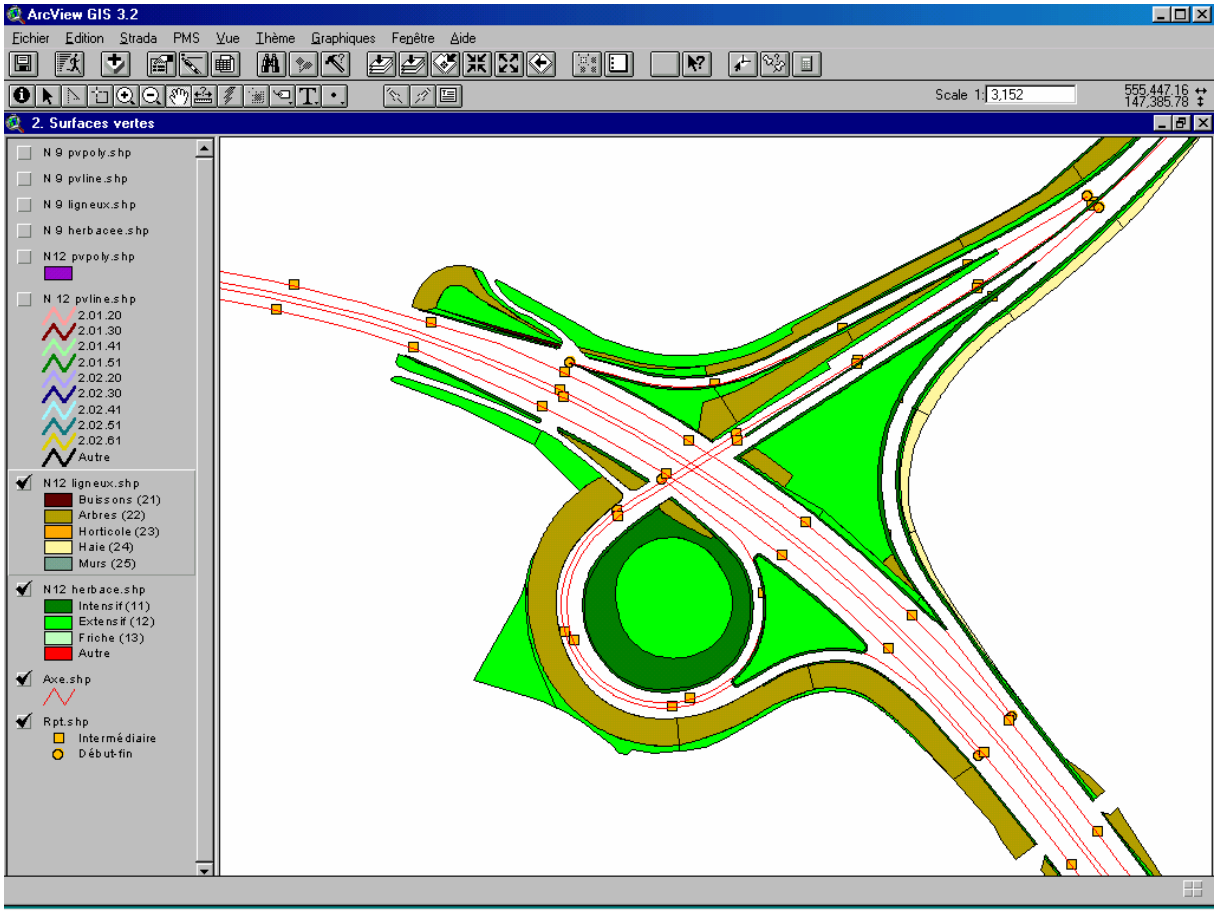


Figure E-33 : Combinaison de différents objets routiers pour la gestion des surfaces vertes

[2] Golay F. et al. (2000): SYRROU, Systèmes de repérage spatial des données routières, base pour la révision des normes VSS SN 640'910 et SN640'911, pour l'Office Fédéral des Routes.

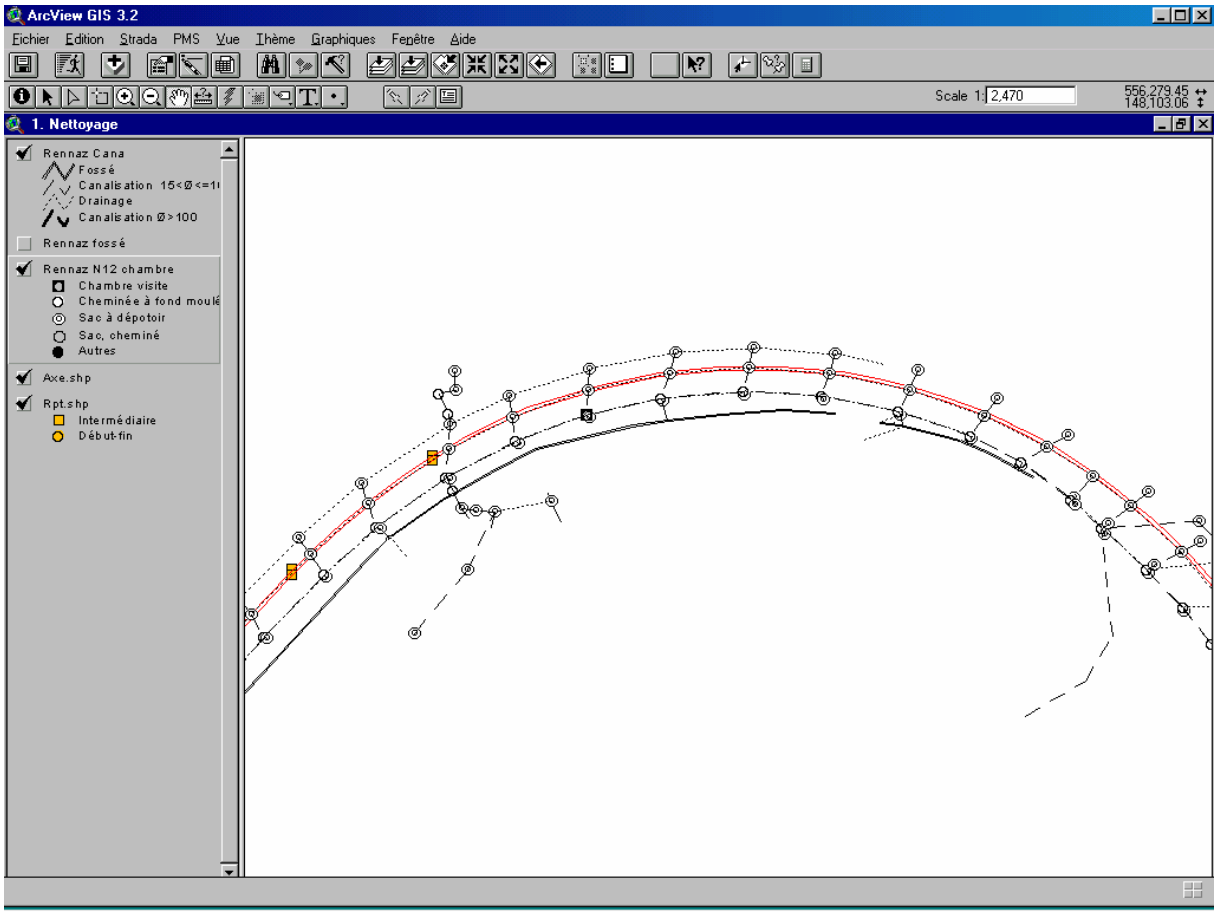


Figure E-34 : Combinaison de différents objets routiers pour la gestion des équipements d'évacuation des eaux.

c) Représentation des données routières sur le tracé routier

Un usager de la route s'oriente sur le réseau routier par rapport à des jonctions et par rapport à la géométrie de la route. Pour cela, il est nécessaire de représenter des données routières en forme de carte, même si aucun fond de plan est à disposition. Ainsi, un gestionnaire de route peut analyser la géométrie d'une route en fonction des accidents et la gravité des accidents (Voir figure E-36). Une telle représentation est également utile pour communiquer des informations routières à des tiers, qui ne sont pas forcément habitués aux représentations linéaires. Il est donc nécessaire de compléter les représentations cartographiques d'annotations permettant d'identifier les objets représentés (Voir figure E-35).

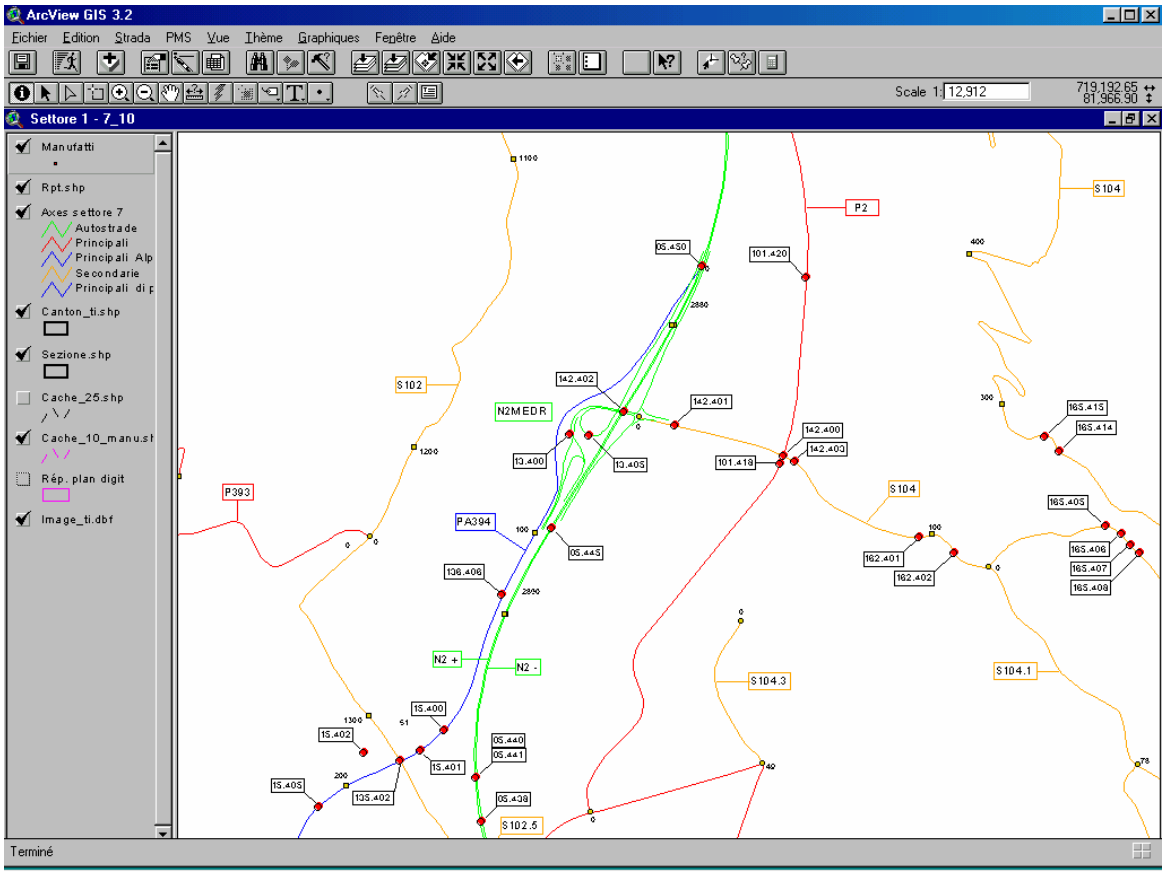


Figure E-35 : Représentation des objets routiers avec annotation

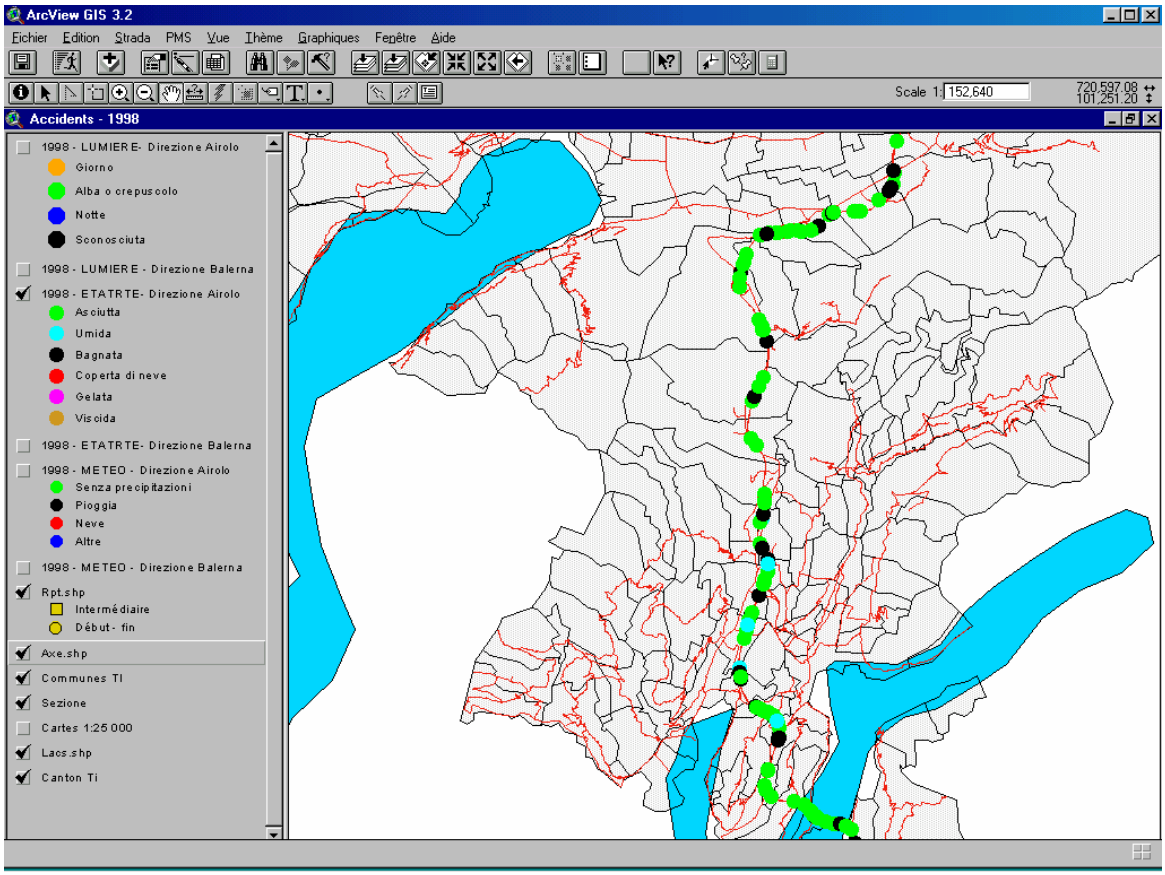


Figure E-36 : Analyse des accidents à l'aide d'une représentation cartographique

13 Conclusion

STRADA-View/Carto et STRADA-View/Axe-Tendu sont des outils de représentation graphique des données routières. Le succès de ces outils a montré la nécessité d'intégrer ces outils dans les processus "métier", comme le PMS. Les outils SIG offrent de nombreuses fonctions de traitement, mais l'utilisation des ces fonctions doit être adaptée aux activités des gestionnaires des routes. L'utilisation de nouvelles technologies est rarement le but principal pour l'introduction de nouveaux systèmes informatiques. Ce sont plutôt les nouvelles exigences des utilisateurs qui initient des projets informatiques dans leurs activités de gestion des routes. Néanmoins, ces utilisateurs doivent être renseignés du potentiel des SIG. Ainsi, ils peuvent mieux évaluer les améliorations potentielles de leurs processus et donc mieux formuler leurs exigences. Il ne faut pas introduire tout ce qui est techniquement possible, mais tout ce qui est utile pour les clients.

Une particularité du domaine de la gestion des routes est le besoin de représenter les données routières à plusieurs échelles sur un fond de plan ou de carte adapté. La recherche au niveau de la généralisation des données géographiques et surtout l'implémentation des algorithmes de généralisation ne sont actuellement pas assez avancées pour générer des géométries à toutes les échelles. Par conséquent, ces différentes géométries doivent être gérées dans la base de données routières. Les consultants SIG des administrations routières devront suivre l'évolution dans la recherche concernant la généralisation des données géographiques pour pouvoir appliquer des règles de généralisation résultantes de cette recherche.

Un domaine des SIG peu exploité par les administrations routières sont les fonctions liés à la troisième dimension et à l'imagerie. Les utilisateurs doivent examiner le rapport coûts/bénéfice de la gestion de la troisième dimension (altitude) et des images pour leurs activités.

Les SIG ont gagné en importance surtout dans ces dernières années. Auparavant, les systèmes DAO étaient utilisés pour des représentations cartographiques. Les données n'étant pas disponibles, la préoccupation principale était le levé et la saisie des données géographiques. Les outils SIG n'avaient pas connu de succès. Aujourd'hui, la situation a fondamentalement changée. De nombreuses données géographiques sont disponibles. La mise à jour des ces données, l'exploitation et l'échange sont des domaines de recherche principaux dans le domaine des données géographiques. Les SIG sont fondamentaux pour assurer la mise à jour et l'exploitation des données géographiques.

Dans le domaine de l'entretien routier, les données ont été collectées pendant une dizaine d'années sur la base d'une structure de données cohérente. Comparé à d'autres domaines exploitant des données géographiques, les intervenants dans l'entretien routier disposent d'une base de données qui assure l'intégrité des données routières. Grâce à la structure et les mécanismes de gestion adaptés, le pool de données n'a pas été transformé en chaos de données. Il s'agit de valoriser ce potentiel à l'aide de la nouvelle technologie, adaptée aux besoins de l'entretien routier: à savoir les outils SIG, l'internet, outils de levé etc.

Anhang E Interopérabilité dans le domaine des SIG

1 Introduction

13.1 Contexte

Le rapport principal "Couplage des systèmes d'information géographique (SIG) et des bases de données routières" propose différentes architectures pour réaliser ce couplage. L'objectif en d'autres termes est de trouver un niveau d'interopérabilité entre les bases de données routières et les SIG. La notion d'interopérabilité est souvent utilisée dans la recherche, mais sa définition n'est souvent pas claire, car cette notion peut être appliquée à plusieurs niveau (du conceptuel au technique). Cette annexe a pour but d'éclaircir ce terme.

13.2 Bibliographie

Benslimane Djamal, Jouanot Fabrice, Laurini Robert et al. (1999): Interopérabilité de SIG: un état de l'art. Dans Revue internationale de géomatique volume 9 n°3/1999, hermes science publications, Paris.

Buehler Kurt, McKee Lance (1998): The OpenGIS Guide, Introduction to Interoperable Geoprocessing ant the OpenGIS Specification, draft, third edition

Keller Stefan F. (1998): Brauchen wir dokumentierte Geodaten ? dans: GIS 98 de la journée d'étude de l'OSIG Zurich, 26 et 27 février 1998.

14 Interopérabilité

14.1 Définition de l'interopérabilité

Selon Benslimane et al, "l'objectif principal de l'interopérabilité est d'offrir à un utilisateur les moyens de manipuler de manière transparente des données issues d'un ensemble de sources d'information hétérogène, autonomes et réparties". L'interopérabilité est donc la capacité d'un système ou des composants d'un système à fournir des informations portables et des services effectués de manière coopérative par plusieurs applications.

Au niveau technique, l'interopérabilité est composée de composants de logiciels interagissant pour fournir des services, par exemple importation/exportation, accès aux ressources de données distribuées à travers des environnements de calcul et des données hétérogènes.

La recherche d'interopérabilité peut apporter les avantages suivants:

- Partage et combinaison des données: la combinaison de données est un besoin devenu de plus en plus important. Pendant les dernières années, de nombreuses administrations publiques et d'entreprises privées ont beaucoup investi dans la levé des données géographiques. En comparant les données géographiques disponibles, ces derniers ont constaté qu'en combinant d'autres données géographiques avec les leurs, leurs tâches de gestion ou d'aide à la décision pouvaient être réalisés plus efficacement. Ils ont également constaté que par une collaboration entre les acteurs impliqués pour le levé de données géographiques, ils auraient pu combiner des données sans avoir de problèmes de structure de données ou de formats. La diversité de structure et de format représentent l'obstacle principal de la partage des données.
- Réutilisation de données: le levé et la gestion des données géographiques étant des opérations chères, les administrations et les entreprises privées cherchent à commercialiser leurs données géographiques.
- Répartition de la gestion des données: les utilisateurs de données souhaitent combiner des données géographiques avec leurs données sans devoir gérer l'ensemble des données. Il est souhaitable que la responsabilité de gestion est répartie afin d'éviter des redondances de gestion, les données routières sont

gérées dans une base de données routières et les données de la mensuration sont gérées par des géomètres par exemple.

14.2 Caractéristiques des architectures pertinente pour l'interopérabilité

Les caractéristiques des architectures pouvant avoir une influence sur l'interopérabilité sont les suivantes:

- ***Autonomie***: chaque gestionnaire conserve le contrôle total de son système et ses données. Il choisit les données, la structure de ces données et leur implémentation, il choisit les systèmes externes et les méthodes pour échanger des données et il choisit le fonctionnement des composants de son système pour répondre à ses besoins de traitement.
- ***Extensibilité***: désigne la capacité d'un système de s'adapter pour un ajout ou un retrait d'une source de données ou pour une modification de la structure des données locales.
- ***Transparence et uniformité d'accès***: la transparence d'accès désigne le capacité d'accéder des données d'un système sans connaître la structure interne des données, le format et la localisation des données à l'internieur d'un système partagé.
- ***Composabilité***: désigne la capacité d'un système de combiner dynamiquement des composants afin de répondre à des nouveaux besoins de traitement. Par les méthodes de modélisation "orientée objet", l'analyse et le développement des systèmes d'information ont pour but de réaliser des composants (ou objets) ré-utilisables.

Ces caractéristiques ne sont pas complémentaires, ils peuvent influencer les unes sur les autres. Plus l'autonomie des systèmes est importante, plus de problèmes liés à la transparence et à l'uniformité d'accès et à la composabilité doivent être résolus afin d'établir l'interopérabilité.

14.3 Niveaux d'interopérabilité

Trois niveaux d'interopérabilité peuvent être distingués:

- Niveau plate-forme: concerne l'interconnexion des systèmes au niveau des fichiers de données. A ce niveau, les questions liées à la recherche des données, d'extraction et de traduction des données sont résolus.
- Niveau syntaxique: traite principalement les conflits liés au différents modèle de données et aux différents langages d'interrogation.
- Niveau application: traite des conflits sémantiques. Les outils à ce niveau permet d'avoir une vision globale des sources de données pour chaque contexte d'application ("métier") prédéfini. L'utilisateur ne se fait pas de souci de format, de structure et de sémantique de données. Les outils prépare les données en tenant compte du contexte d'application.

Pour chaque niveau d'interopérabilité, les exigences envers les utilisateurs pour participer aux systèmes interopérables sont différentes:

Niveau	***Problème pris en compte***	***Exigences vers l'utilisateur***
Plate-forme	Interconnexion des systèmes Format d'échange des données	Format des données distants Utilisation des convertisseurs
Syntaxique	Conflits de modèles Conflits de langages	Contenu des sources de données
Application	Conflits structurels Conflits sémantiques Localisation de l'information	Aucune

Ce tableau est tiré de [1] et complété

15 Solutions recherchées

15.1 Niveau plate-forme

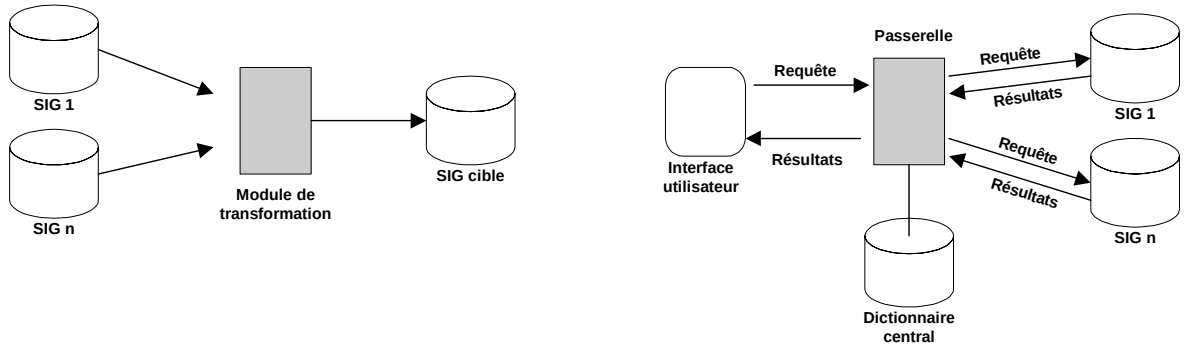


Figure F-1 : Approches d'interopérabilité au niveau plate-forme

Deux approches d'interopérabilité au niveau plate-forme ont été proposées:

- **Approche de type ad hoc**: consiste à fournir un module de transformation permettant l'échange de données (y compris la conversion de format de données) et le paramétrage des données spatiales. Un exemple de module de transformation est le produit de Safe Incorporation, Feature Manipulation Engine FME.
- **Approche de type passerelle**: comprend un outil qui assiste l'utilisateur de rechercher, de transférer et de traduire des données. L'outil RADEF est un exemple de passerelle pour accéder aux données routières.

15.2 Niveau syntaxique

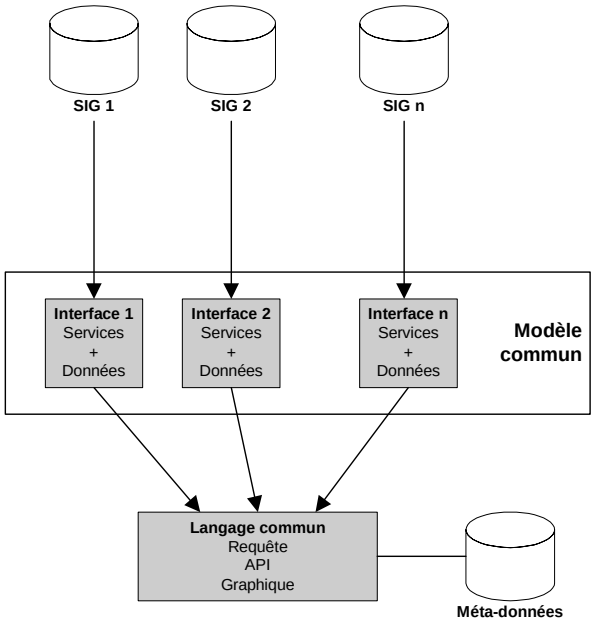


Figure F-2 : Interopérabilité au niveau syntaxique

L'objectif de l'interopérabilité au niveau syntaxique est l'accès simultané à plusieurs sources de données à l'aide d'un modèle, un langage de manipulation de données commun et un dictionnaire de méta-données. Par modèle commun, on entend le modèle de stockage (structure de stockage gérée par les SGBD) et le modèle des services, par exemple CORBA ou Java/RMI. Ce modèle est complété par un modèle spatial (modélisation des primitives géométriques comme par exemple point, ligne, droite etc.) et des services liés aux données géographiques. Les spécifications d'OpenGIS s'appliquent au complément du modèle et des services dû aux données géographiques.

Une autre solution de ce type est Open Geospatial DataStore Interface (OGDI) qui se base sur ODBC (Open DataBase Connectivity). OGDI utilise une architecture client-server comme ODBC complétée avec des outils d'accès aux données spatiales. Il permet de réaliser des connexions sur des SIG, la consultation du dictionnaire de données d'un SIG distant, la résolution de certaines hétérogénéités spatiales et la conversion des données. Le modèle spatial utilisé par ODBC n'est pas celui d'OpenGIS, mais un modèle appelé "Transient Data Model".

Un exemple de language comme est SQL 3 contenant quelques mots-clés pour appeler des fonctions spécifiques aux données géographiques.

15.3 Niveau application

"L'objectif de l'interopérabilité de niveau application est de faire coopérer des systèmes d'information hétérogènes en permettant une compréhension mutuelle des informations partagées entre ces systèmes" [1]. Ceci implique que les outils fournissent les informations souhaitées et adaptées au contexte de travail de l'utilisateur (contexte d'application des informations).

Deux types de solution d'interopérabilité de niveau application peuvent être distingués:

- ***Approche fédérée***: comprend une intégration statique de schéma de données et de fonctions
- ***Approche de médiation*** (médiation de schéma, médiation de contexte): comprend une intégration plus souple et plus évolutive des informations en fonction d'un contexte d'application.

15.3.1 Approche fédérée

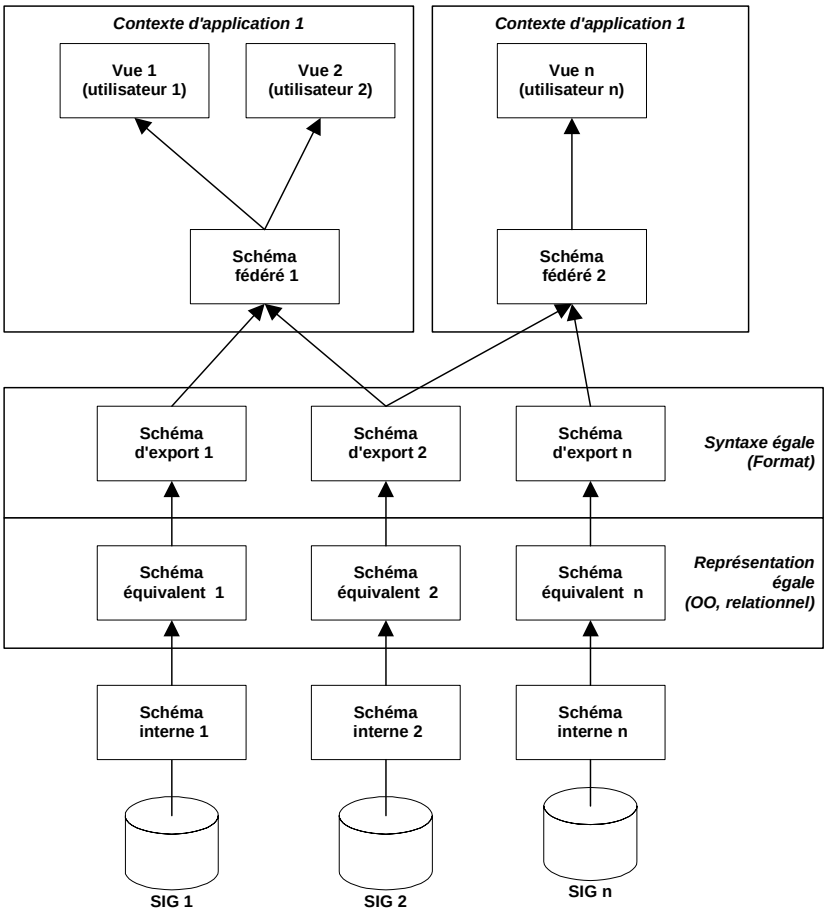


Figure F-3 : Illustration conceptuelle de l'approche fédérée d'interopérabilité de niveau application

La figure ci-dessus schématise l'approche fédérée d'une manière conceptuelle. Elle distingue les schémas suivants:

- Schéma interne: le schéma interne de la base de données d'un SIG
- Schéma équivalent: représentation du schéma interne par rapport dans un modèle de représentation (relationnel ou OO).
- Schéma d'export: représentation du schéma interne par un modèle avec une seule syntax (notation)

- Schéma fédéré: résultat d'une combinaison de schémas utile pour répondre à un besoin dans un contexte d'application
- Vue: Partie du schéma fédéré utile pour un utilisateur précis

Le terme de schéma est applicable pour les données et les fonctions.

Les schémas fédérés sont construits de manière statique. Pour un contexte d'application donnée, un schéma fédéré est généré.

15.3.2 Approche par médiation de schémas

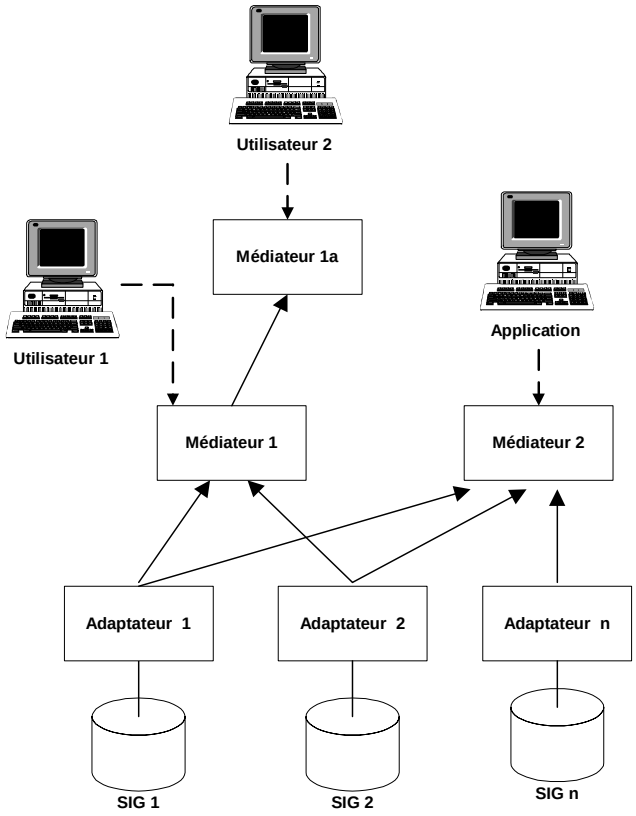


Figure F-4 : Approche de médiation de schémas

Cette approche comprend deux composants:

- Adaptateur (wrapper): traite les conflits syntaxiques
- Médiateur: traite les conflits sémantiques et conceptuels

Comparé avec l'approche fédérée, le médiateur convertit le schéma interne en schéma d'export alors que les médiateurs recherchent l'information en fonction des requêtes des utilisateurs et du schéma de médiation. Le médiateur résout les conflits structurels et sémantiques des données provenant des sources différentes. Le gestionnaire peut modifier le schéma de médiation et les liens aux sources de données sont mis à jour automatiquement.

Cette approche est de plus en plus utilisée, puisque la notion d'objet géographique a été introduite dans le modèle de médiation.

15.3.3 Approche de médiation de contextes

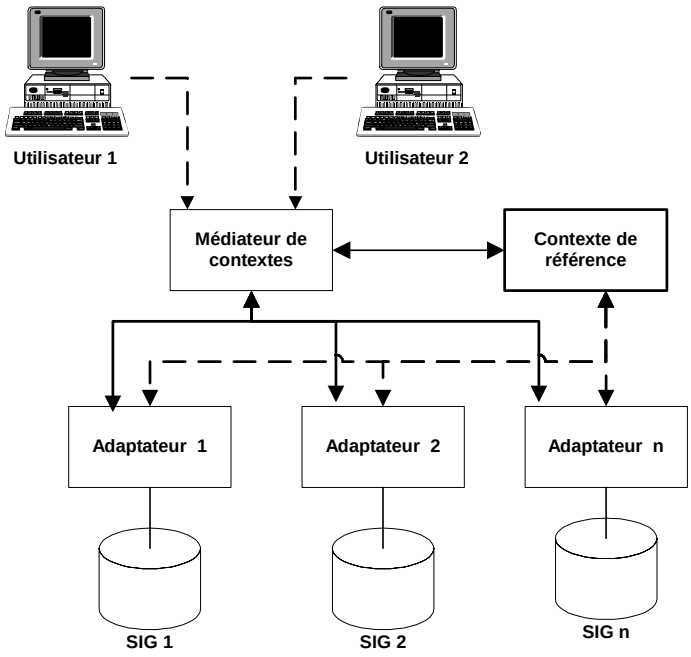


Figure F-5 : Approche de médiation de contextes

Pour cette approche, un contexte de référence et/ou ontologie est utilisé. L'ontologie est définie comme la conceptualisation de l'univers de discours dédié à un domaine d'application. Elle comprend un ensemble de termes de l'univers de discours et des liens sémantiques (homonymie, symonymie, rôle). Le médiateur de contextes compare les requêtes des utilisateurs avec le contexte de référence à l'aide des liens sémantiques (rapprochement sémantique ou de contexte) et recherche les informations "comparable" dynamiquement dans les différentes sources de données.

La médiation de contexte a été développée pour des environnements ouverts et dynamiques comme le web.

16 Open-GIS

16.1 Généralités

L'objectif de OpenGIS est de rendre possible un accès transparent à des données géoréférencées hétérogènes et à des ressources de transformation dans un environnement informatique interconnecté. Pour atteindre cet objectif, OpenGIS spécifie des interfaces standardisées, ouvertes. Sur cette base, les développeurs peuvent réaliser des composants de logiciel interopérables. L'environnement informatique est défini par les plates-formes distribuées courantes (DCP : Distributed Computing Plateform)..

Le consortium OpenGIS (OGC) s'appuie sur les exigences techniques fixées par les DCP's qui assurent la communication en réseau ou l'interopérabilité entre les solutions IT hétérogènes et les configurations de réseau hétérogènes.

Les exemples de DCP courants sont CORBA d'OMG (Object le management Group), OLE/COM ou DCOM de Microsoft, le Distributed Computing Environment (DCE) d'Open Software Foundation ou Java/RMI de SunSoft.

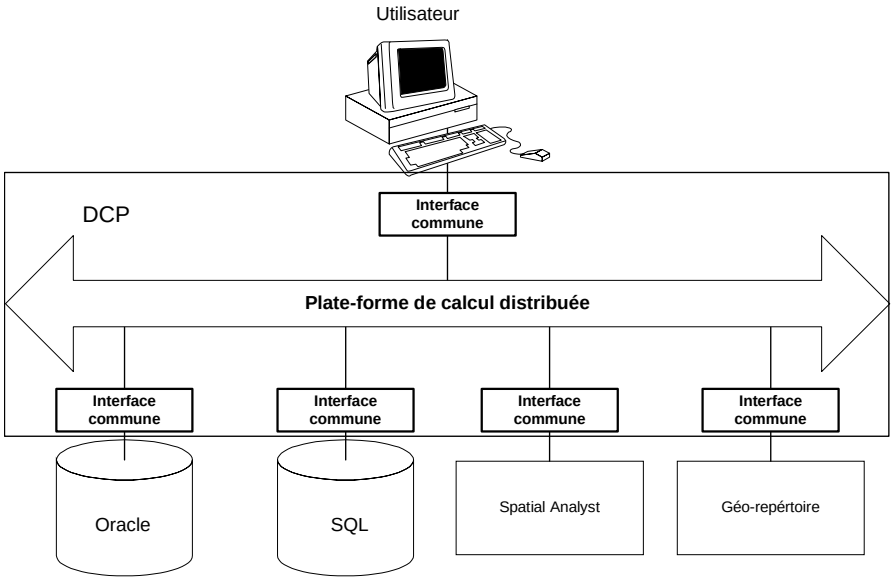


Figure F-6 : Interopérabilité recherchée par OpenGIS

OpenGIS contient des spécifications abstraites et des spécifications d'implémentation. Les spécifications abstraites décrivent les exigences de structures de données et de fonctions nécessaires pour interfaces OpenGIS. Les spécifications d'implémentation représentent des recommandations concrètes aux développeurs d'interfaces OpenGIS pour une DPC donnée.

L'OpenGIS ne contient pas :

- La description de protocoles de transfert standardisé (format). Ceci est défini par le DCP.
- La description des schémas standardisés pour les données "métier"
- La standardisation des structures de données et des traitements à l'intérieur des bases de données et des applications

OpenGIS contient donc les spécifications abstraites suivantes:

- Thème 1 "Géométrie des objets spatiaux (feature)": décrit un ensemble de primitives géométriques (points, lignes etc.) pour représenter des objets spatiaux
- Thème 2 "Système de référence spatial": fournit un système de référence spatial afin de repérer des objets spatiaux sur la surface terrestre de manière univoque. Ce thème fait appel à la géodésie.
- Thème 3 "Géométrie de localisation": fournit des outils pour le repérage spatial des coordonnées d'images, de raster et de système de repérage indirect qui ne sont pas décrits dans la littérature de la géodésie.
- Thème 4 "Fonctions stockées et interpolation": décrit les fonctions liées aux couvertures. Une couverture est l'association de points dans le contexte spatio-temporel et de valeurs, par exemple un ensemble de stations de mesures pluviométriques répartie sur le terrain.
- Thème 5 "Objects spatiaux et collections d'objets spatiaux": décrit la démarche d'abstraction d'un objet spatial dans le monde réel à un objet spatial compatible OpenGIS.
- Thème 6 "Type couverture": décrit la représentation des couvertures dans OpenGIS.
- Thème 7 "Imagerie de la surface terrestre": fournit une structure adaptée à toutes sortes d'images de la surface terrestre et leurs utilisations.
- Thème 8 "Relations entre objets spatiaux": fournit des règles de représentations des relations entre objets spatiaux
- Thème 9 "Qualité": fournit un concept de description de la qualité
- Thème 10 "Technologie de transfert": traite les aspects liés au transfert de données.
- Thème 11 "Métadonnées": fournit une structure de métadonnées et décrit des fonctionalités d'accès et de traitement des métadonnées
- Thème 12 "Architecture OpenGIS des services": fournit un modèle de référence pour implémenter des services d'accès, de gestion, de représentation et de partage de données entre des communautés d'information
- Thème 13 "Catalogues": décrit les géo-répertoires, des catalogues de données géographiques permet d'accéder aux données à l'aide de leur localisation.
- Thème 14: Communauté d'information et sémantique: fournit des règles d'intégration des données alphanumériques des communautés d'information

16.2 Architecture OpenGIS des services

Le thème 12 sur l'architecture OpenGIS pour les services décrits au niveau conceptuel. Cette architecture est représentée par la figure suivante.

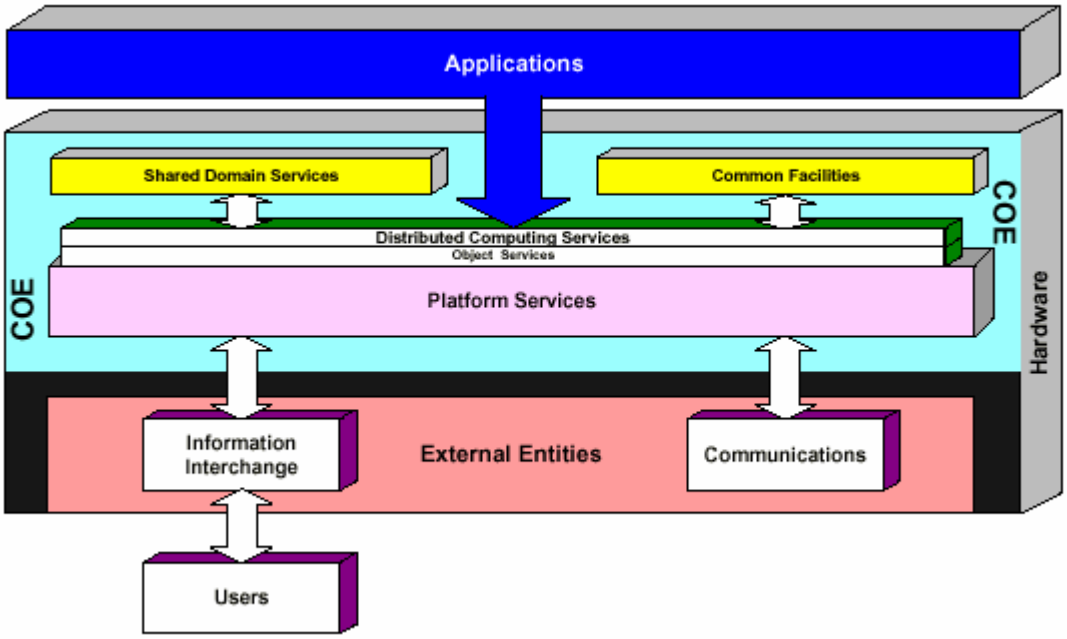


Figure F-7 : Architecture générale OpenGIS (selon OpenGIS Abstract Specification, The OpenGIS Service Architecture) [COE: Common Operating Environment]

L'architecture est composé d'éléments suivants:

- Applications: des programmes ou scripts pour supporter un utilisateur pour effectuer une tâche. Ces applications peuvent être spécifiques à un domaine "métier" (pour le domaine des transports, de la santé, de commerce financière etc.), ou générique (traitement de texte, tableurs, calculatrices etc).
- Services partagés des domaines d'application (Shared Domain Services): composé d'une ou plusieurs applications spécifiques à un domaine "métier" qui peuvent être partagées.
- Outils communs: composés d'applications d'utilité général (spécifique à l'architecture CORBA) comme par exemple des applications de traitement de texte
- Services de calcul et d'objets distribués: permettent de distribuer l'exécution de processus sur plusieurs plateformes
- Services des plateformes: synonyme à système d'exploitation de chaque ordinateur
- Entités externes: toutes entités externes à l'exécution des processus, par exemple des entités de communication (câbles), des entités d'échange d'information (claviers, souris, écran etc.) permettant la communication des utilisateurs avec le système et les entités de stockage (disque dur, etc.).

Les services OpenGIS s'intégrent dans la partie "services partagés" pour le domaine du "géo-processing".

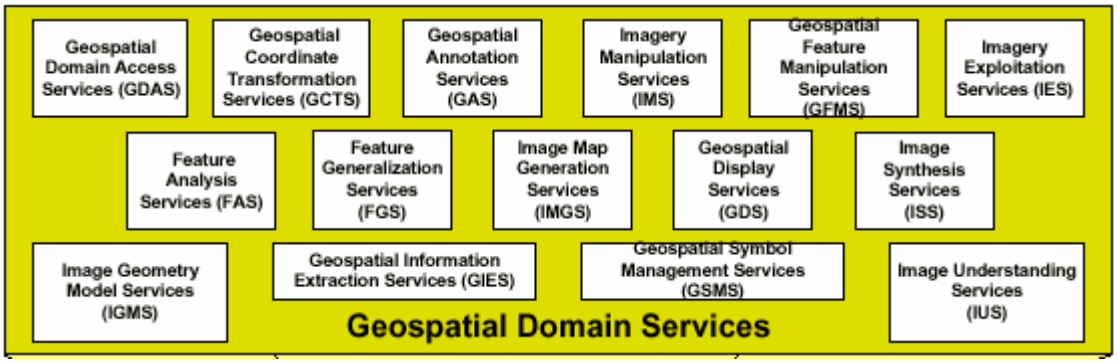


Figure F-8 : Les services de manipulation des données géographiques identifiés par OpenGIS [OpenGIS specifications].

OpenGIS identifie les services de manipulation des données géographiques suivants:

- ***Geospatial Domain Access Services***: définit un ensemble d'interfaces pour localiser, extraire et difuser des informations géographiques sélectionnées d'un SIG ou d'une librairie géographique, et pour mettre à jour cette librairie (stockage, suppression et modification des informations spatiales)
- ***Geospatial Coordinate Transformation Services***: services pour convertir des coordonnées entre systèmes de références
- ***Geospatial Annotation Services***: permet d'ajouter des informations supplémentaires aux objets spatiaux, par exemple les libellés, les hyper-liens.
- ***Imagery Manipulation Services***: permet de manipuler des images (aggrandissement/réduction, modifier les valeurs de couleurs, de contrast, filtrage etc.) et faire des analyses sur ces images (histogrammes etc.).
- ***Geospatial Feature Manipulation Services***: permet de créer, analyser et représenter des objets spatiaux pour un utilisateur et contrôler la qualité de ces objets.
- ***Imagery Exploitation Services***: permet l'analyse photogrammetrique d'images satellites ou scannés et la génération des rapports basés sur ces analyses.
- ***Feature Analysis Services***: exploite les informations liées aux objets spatiaux permettant de fournir des informations dérivées
- ***Feature Generalization Services***: permet de modifier les aspects cartographiques d'un objet spatial en fonction de l'échelle de représentation
- ***Image Map Generation Services***: permet de manipuler et combiner des images
- ***Geospatial Display Services***: permet de préparer des collections d'objets spatiaux pour les passer à un outil périphérique (écran ou imprimante)
- ***Image Synthesis Services***: permet de créer et des transformer des images en utilisant des modèles spatiaux, transformations perspectives afin d'améliorer la visibilité, la netteté de la résolution et de réduire les effets de bruit.
- ***Image Geometry Model Services***: permet de calculer des positions sur la base de modèles mathématiques, par exemple le modèle numérique de terrain.
- ***Geospatial Information Extraction Services***: permet l'extraction des objets spatiaux et des informations spatiales à partir des images satellites.
- ***Geospatial Symbol Management Services***: permet la gestion des libraires de symboles
- ***Image Understanding Services***: fournit des outils de comparaison d'images, différences d'images et des tests statistiques.

Ces différents groupes de services sont encore précisé dans les spécifications OpenGIS.

17 Conclusion

La recherche de l'interopérabilité est fondamentale pour des systèmes d'information qui sont complexe au niveau organisationnel (beaucoup d'intervenants) et au niveau technique (beaucoup de systèmes informatiques). La prise en compte des critères d'interopérabilité lors de la conception de systèmes d'information peut générer des économies d'exploitation importantes après la mise en place du système. La standardisation, notamment OpenGIS, permettra de protéger les investissments d'ajourd'hui dans le futur. Malheureusement, la standardisation réalisée par des fournisseurs de logiciels SIG n'évolue que lentement, puisque ces fournisseurs défendent leurs intérêts dans les commissions de normalisation, notamment les spécificités de leurs logiciels. Par conséquent, cette standardisation doit être encouragée par les utilisateurs qui expriment leurs exigences envers la standardisation.

La standardisation OpenGIS ne traite pas les modèles de données métier. Ces modèles doivent être standardisés dans les commissions de normalisation spécifiques. Les données liées à l'entretien routier en Suisse par exemple sont standardisées par l'Association des professionnels suisse de la route (VSS). La méthodologie de normalisation des modèles de données fait l'objet d'autres commissions de normalisation au plan international et national. En Suisse, la norme INTERLIS définissant un langage textuel de description a été introduit dans ce but. De plus, l'utilisation des standards de facto comme Unified Modeling Language pour la représentation graphique des modèles de données permettra d'améliorer la compréhension des modèles de données standardisés.

L'interopérabilité complète ne peut être atteinte que par une forte centralisation des données et par des logiciels identiques permettant d'accéder, de gérer et de traiter les données. Ceci ne doit pas être le but pour des administrations fédérales pour ne pas restreindre l'autonomie des administations cantonales. Néanmoins, une interopérabilité minimale est souhaitable pour pouvoir transférer des données entre les cantons et l'administration fédérale.