

Ein Kostenmodell zur Ermittlung der Bereitstellungskosten von Geodaten am Beispiel der intermodalen Routensuche

M. Stark^a

^a Universität Stuttgart – Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen
Geschwister-Scholl Straße 24D, 70174 Stuttgart, Deutschland

Abstract: Human mobility is one of the most important economic factor. But the increasing flood of vehicles using street network endangers our mobility in future. Therefore the aim is to optimise the traffic by using the available infrastructure efficiently and to develop new information technologies. With the information about actual traffic situation a management system can react right in time before the traffic collapses. All suitable traffic data must carry a spatial information to be used in such an information system. The digital geo-database, which is used as basic can only be realised with a high financial engagement. In this paper a model is presented to forecast the costs for realising a geo-database. It will be explained by using the example of the official German research project "MOBILIST" where a software for intermodal route planning had been invented.

The willingness to pay for traffic information has to be considered as very small. That is the reason why the possibilities for return on investment should be examined exactly. Therefore the demanding of use fee for specified use-cases will be compared with the aggregated cost of the information service, and a critical number of uses can be estimated up to 1,5 Mio p.a.

Kurzfassung: Der zunehmende Personen- und Güterverkehr als Resultat steigender Mobilitätsbedürfnisse beeinträchtigt die bestehende Verkehrsinfrastruktur bis an die Grenze ihrer Belastbarkeit. Intelligente Verkehrsleitsysteme zur gleichmäßigeren Auslastung sind dabei auf dynamische Verkehrsflussinformationen ebenso angewiesen, wie auf die geometrisch-topologisch richtige und vollständige Beschreibung der Verkehrsnetze in Form von digitalen Geodaten. Die Herstellung dieser Geodaten ist mit enormem finanziellen Aufwand verbunden. In diesem Beitrag wird deshalb ein Kostenmodell zur Bereitstellung von Geodaten erläutert und dessen Anwendung am Beispiel des intermodalen Routenplaners, welcher im BMBF-Leitprojekt MOBILIST realisiert worden ist, gezeigt.

Da für internetbasierte Verkehrsinformationsdienstleistungen die Zahlungsbereitschaft potenzieller Nutzer grundsätzlich als eher gering einzustufen ist, kommt der Betrachtung der Wiedergewinnung der Investition durch Nutzungsgebühren bzw. alternativer Verwertungskonzepte besondere Bedeutung zu. Dieser Beitrag leitet für diese Informationsdienstleistung eine mindestens notwendige Anzahl von 1,5 Mio Nutzungen pro Jahr zur Chancenwahrung des Return On Investments innerhalb eines Nutzungszeitraums von 10 Jahren ab.

Schlagworte: Geodaten, intermodale Routensuche, Kostenmodelle, Aufbaustrategien, Qualitätsmerkmale, Qualitätsanforderungen.

1 Einleitung

Die zunehmende Mobilität von Personen und Gütern ist Voraussetzung und gleichzeitig Folge einer kontinuierlich wachsenden Wirtschaft einer Gesellschaft. Die bestehende Verkehrsinfrastruktur steht dabei durch die Globalisierung der Märkte und die damit verbundenen längeren Transportwege einerseits und den aufgrund steigender Durchschnittseinkommen stark zunehmenden Freizeitverkehrs andererseits an der Grenze der Belastbarkeit [4]. Intelligente Verkehrsleitsysteme zur Verhinderung eines Engpasses, Technikentwicklungen zur Verkehrsvermeidung sowie rechnergestützte Reiseassistenten leisten dabei einen Beitrag zur besseren und gleichmäßigeren Auslastung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur.

Durch ein besseres Zusammenwirken der Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasser, Luft) kann ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der individuellen Mobilität bei stetig steigendem Verkehrsaufkommen geleistet werden. Eine Möglichkeit des besseren Zusammenwirkens besteht in einer verkehrsträgerübergreifenden, intermodalen Routenplanung in Ballungszentren. Dort sind die Verkehrsbelastungen sehr hoch und gleichzeitig das Verkehrsnetz des öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) gut ausgebaut. Zahlreiche Projekte der Öffentlichen Hand, wie z.B. die durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Leitprojekte zum Thema „Mobilität in Ballungsräumen“ (WayFlow, Mobilist, Intermobil, StadtInfoKöln, MobiNet, CashCar) haben eine Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs zum Ziel.

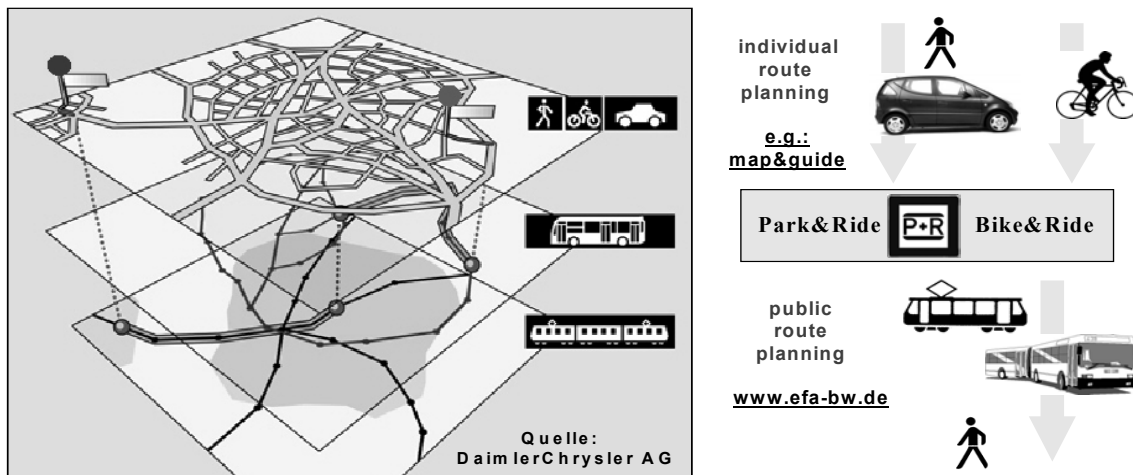


Abbildung 1.1: Verknüpfung mehrerer Verkehrsnetze

In diesem Beitrag soll anhand des im Leitprojekt MOBILIST entstandenen Intermodalen Routenplaners der Aufwand beschrieben werden, der notwendig ist, um eine digitale Geodatenbasis für die intermodale Routenberechnung zwischen dem Individualverkehr (Pkw, Fahrrad, Fuß) und den Verkehrsmitteln des ÖPNV aufzubauen. Zuvor jedoch soll der theoretische Rahmen der Kostenermittlung über ein Kostenmodell detailliert erläutert werden.

2 Kostenmodell zur Bereitstellung von Geodaten

Die Bereitstellung nutzbarer Geodaten für verkehrsplanerische oder –leittechnische Anwendungen ist neben der Durchführung bzw. technischen Realisierung der wohl entscheidendste Faktor des wirtschaftlichen Erfolgs von Verkehrsinformationsdienstleistungen. Die Kosten, die bei diesem Bereitstellungsvorgang anfallen, werden derzeit über grobe Vorkalkulationsverfahren und Expertenwissen prognostiziert, oder aus Erfahrungswerten und Kostensätzen von ähnlichen, in der Vergangenheit durchgeführten, Projekten heraus extrapoliert [1]. Eine solche Kostenschätzung beinhaltet dadurch eine beträchtliche Menge an pauschalisierten Kostenfaktoren, die für ein Dienstleistungsunternehmen ohne Fachwissen über Geodaten nur schwer zu durchschauen und nur unzureichend auf den eigenen Sachverhalt übertragbar sind.

Eine Kostenprognose auf der Basis eines solchen Kostenmodells zur Bereitstellung von Geodaten mit klar definierten Kostenfaktoren schafft die benötigte Transparenz bezüglich der Kostenstrukturen (Kostenarten und –stellen) und dient der leichteren Anpassung des Modells bei sich verändernden Kostenfaktoren. Je mehr Transparenz innerhalb der Kostenrechnung eines Unternehmens vorhanden ist, desto reibungsloser finden Rationalisierungs- und Einsparmaßnahmen statt. Dieses Kostenmodell wurde mit folgenden Anforderungen aufgestellt:

- Das Modell muss sich bei allen Anforderungen von Verkehrsinformationsdienstleistungen anwenden lassen und hat sämtliche Möglichkeiten des Aufbaus von Geodaten zu berücksichtigen.
- Das Modell muss bereits in der Definitionsphase von Geodatenbeständen anwendbar sein und hat notwendige Grundlagen in Form von Kostenstrukturen für strategische Unternehmensentscheidungen zu liefern.
- Das Modell hat die Aufgabe, transparente Beurteilungskriterien zu schaffen, die zur Entscheidung über die Vorgehensweise des Aufbaus von Geodatenbeständen herangezogen werden.

Durch diese Beurteilungskriterien, die mit Hilfe von Qualitätsforderungen ausgedrückt werden, soll erstens die Komplexität und Kostenintensivität, die mit der Nutzung von Geodaten allgemein verbunden ist, nachvollziehbar angegeben werden können sowie zweitens ein Beitrag dazu geleistet werden, die Unsicherheiten, die bei der Definition der richtigen Vorgehensweise der Geodatenbereitstellung existieren, zu minimieren. Diese Minimierung trägt entscheidend dazu bei, die richtige Strategie im Spannungsfeld zwischen kostensenkendem unternehmerischen Denken und technisch Machbarem zu finden.

2.1 Prozess der allgemeinen Geodatenbereitstellung

Der Vorgang der Geodatenbereitstellung lässt sich in die Hauptprozesse der *Anforderungsanalyse*, der *Datenerhebung*, der *Integration* sowie des *Homogenisierens* mit den zugehörigen Kostenfaktoren (vgl. Abbildung 2.1) unterteilen. Unter dem Begriff der **Geodatenbereitstellung** werden im Rahmen dieses Beitrags die Aufgaben der Datenveredelung, der vollständige Neuaufbau, die Fusion zweier Datenbestände sowie der

Vorgang des Aktualisierens zusammengefasst. Welche dieser Aufgaben letztendlich im Rahmen der Geodatenbereitstellung durchzuführen sind, hängt von der Ausgangssituation bzw. dem Ausgangsdatenbestand ab und wird in Form von Aufbaumöglichkeiten in Abschnitt 3 weiter behandelt.

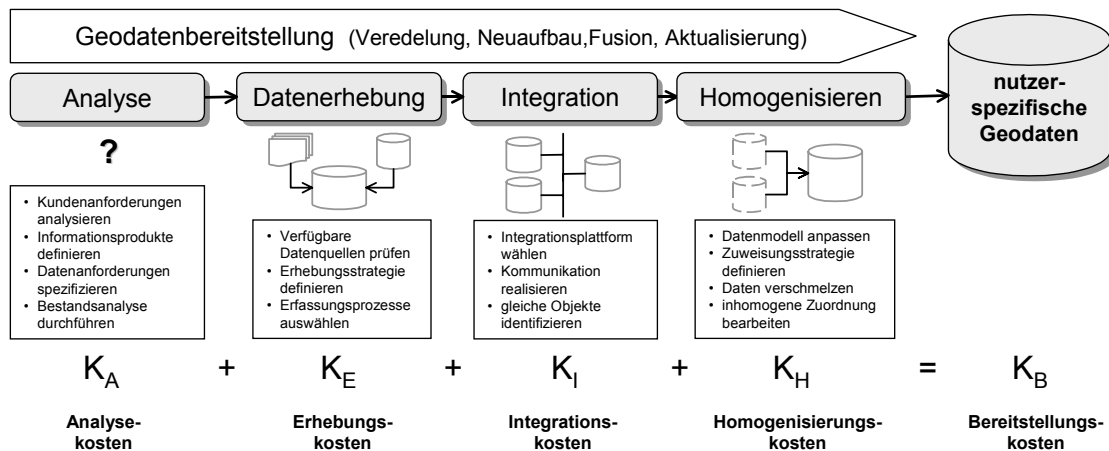


Abbildung 2.1: Prozess der allgemeinen Geodatenbereitstellung

Durch die weiterführende Unterteilung der Hauptprozesse *Analyse*, *Datenerhebung*, *Integration* und *Homogenisieren* in weitere Teilprozesse kann ein Diskretisierungsgrad erreicht werden, mit dessen Hilfe die Erarbeitung **spezifischer Kostenstrukturen** für die genannten Aufgaben und die damit verbundenen Aufbaumöglichkeiten der Geodatenbereitstellung möglich wird.

2.2 Grundprinzip eines Kostenmodells

Die Grundlage zum Aufbau eines Kostenmodells ist der in folgender Abbildung 2.2 dargestellte, prinzipielle Zusammenhang zwischen Kosten, Kostenarten, Kostenparameter und Kostenfunktionen. Die anfallenden Gesamtkosten werden in Kostenarten klassifiziert, die ihrerseits durch Kostenparameter zu quantifizieren sind. Aus diesen Parametern werden Kostenfunktionen zusammengestellt mit denen die Gesamtkosten berechnet werden können.

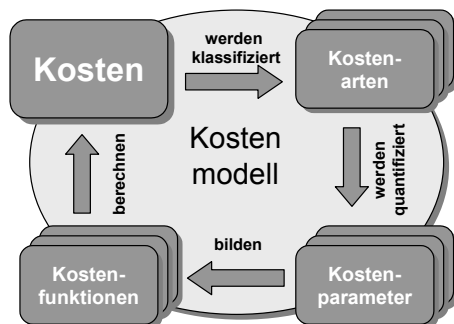


Abbildung 2.2: allgemeines Kostenmodell

Da sowohl die Klassifizierung der Kosten über Kostenarten als auch deren Berechnung über Kostenfunktionen von den Kostenparametern abhängt, stellt die Ermittlung dieser Parameter die erste zentrale Aufgabe der modellgestützten Kostenprognose dar.

2.3 Unterschiedliche Arten von Kostenmodellen

Bei den meisten existierenden Kostenmodellen (Suchkalkulation, Analogieverfahren, etc.) der industriellen Fertigung und der Konstruktion standen der Fertigungsablauf und das betrieblichen Kostenrechnungsschema lange Zeit im Hintergrund ([12], [3]). Sie verwendeten hauptsächlich geometrische, objektspezifische Merkmale, während die fertigungstechnischen und betriebsspezifischen Einflüsse und Randbedingungen als Konstanten in das Kostenmodell integriert wurden. Durch diesen Aufbau waren diese Kostenmodelle in ihrer Gültigkeit stark eingeschränkt und nicht in der Lage, für verschiedene andere Entscheidungssituationen Kosteninformationen zu liefern.

Zur Ermittlung entscheidungsrelevanter Kosteninformationen wurde z.B. von [12] neben dem mathematisch-objektspezifischen Teil der betriebliche (prozessspezifische) Kostenrechnungsteil sowie ein logischer Teil zur Steuerung mit in den formalen Aufbau des Kostenmodells integriert. Folgende Abbildung 2.3 zeigt die Einteilung hinsichtlich objektspezifischer und prozessspezifischer Modellbildung.

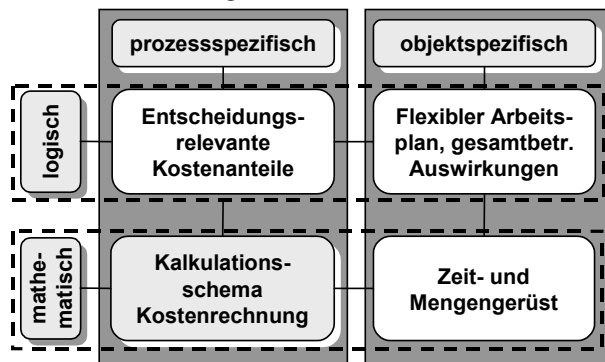


Abbildung 2.3: Einteilung der Kostenmodelle aus [12]

Der objektspezifische Teil des Kostenmodells beinhaltet die festen Parameter des Kalkulationsobjekts sowie die objektspezifischen Randbedingungen und verarbeitet die variablen, objektbeschreibenden Merkmale. Der prozessspezifische Teil des Kostenmodells berücksichtigt die betrieblichen Randbedingungen, die Betriebssituation sowie die Kosten- und Leistungsrechnung und ist für die Bereitstellung der entscheidungsrelevanten Kosteninformationen verantwortlich. Dementsprechend können die Eingangsgrößen in Merkmale zur Beschreibung von Kalkulationsobjekten (Objektmerkmale), Betriebssituation (Betriebsmerkmale), Erfassungssituation (Erfassungsmerkmale) und Entscheidungssituation (Steuerparameter) gegliedert werden. Während bei den **objektspezifischen Kostenmodellen** Objekteigenschaften zur Bildung funktionaler Zusammenhänge herangezogen werden, sind bei **prozessspezifischen Kostenmodellen** die funktionalen Zusammenhänge aus den Fertigungs- bzw. Konstruktionsprozessen abzuleiten.

Überträgt man dieses Grundprinzip eines Kostenmodells auf die Aufgaben der Geodatenbereitstellung, wie sie in Abschnitt 2.1 allgemein erläutert sind, und berücksichtigt man die Modelleinteilung nach [12], so kann ein Kostenmodell, welches das Ziel verfolgt, die Bereitstellungskosten von Geodaten für verkehrliche Anwendungen prognostizieren zu wollen, nur als **mathematisch - prozessspezifisches Kostenmodell** aufgestellt werden.

2.4 Konzept eines prozessspezifischen Kostenmodells

Aufbauend auf das Grundprinzip und die verschiedenen Arten von Kostenmodellen folgt hier ein Konzept eines Kostenmodells für die Geodatenbereitstellung. Da der Zweck und die Notwendigkeit der Geodatenbereitstellung unterschiedlich sein kann, spielt die Vorgehensweise (Veredelung, Aktualisierung, Neuerfassung), wie die Geodatenbereitstellung durchgeführt wird, eine entscheidende Rolle. Die Vorgehensweise, nachfolgend *Aufbaumöglichkeit des Geodatenbestands* genannt, bildet sozusagen den funktionalen Rahmen, welcher die Diskretisierung der Hauptprozesse in Teilprozesse und deren Zusammenstellung zu Kostenfunktionen im Rahmen des Kostenmodells bestimmt. Maßgeblichen Einfluss auf das hier definierte prozessspezifische Kostenmodell haben somit die

- *gewählte Aufbaumöglichkeit des Geodatenbestands* (siehe Abschnitt 3) und die
- *allgemeinen, natürlichen Kostenarten* (Personal, Material, Kapital und Fremdleistungen).

Dieser Zusammenhang ist in nachfolgender Abbildung 2.4 dargestellt.

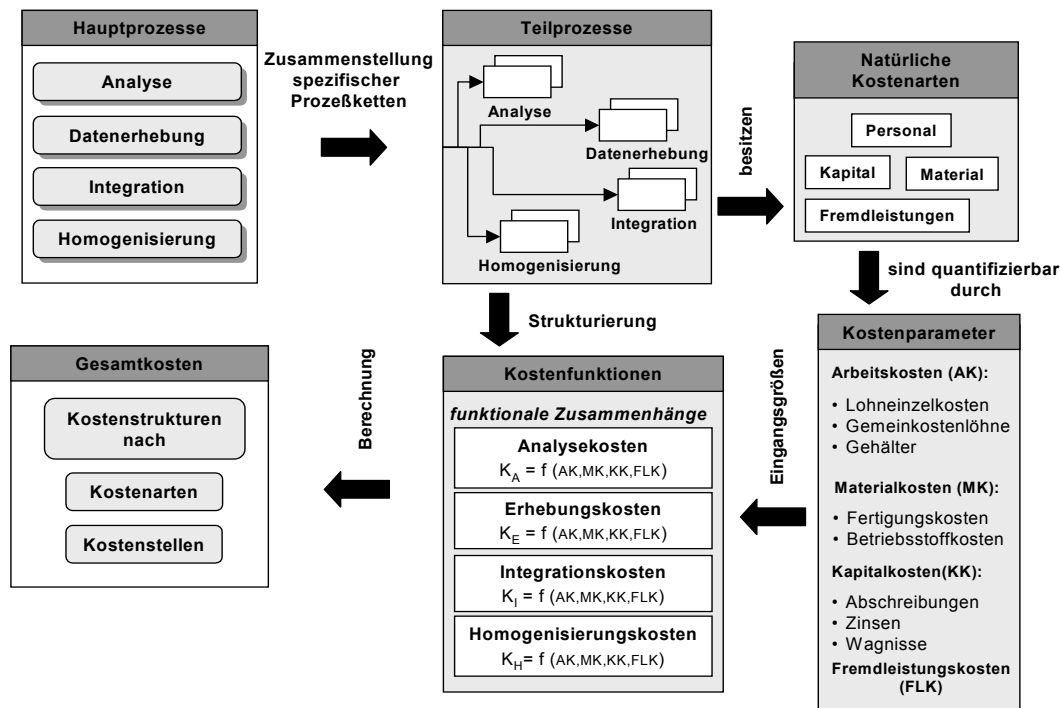


Abbildung 2.4: Kostenmodell für die Bereitstellung von Geodaten

Mit dieser Strukturierung der Teilprozesse und den natürlichen Kostenarten (vgl. [16], [11]), die durch die Kostenparameter Personal, Material, Kapital und Fremdleistungen quantifiziert werden, können die allgemeinen vier Kostenfunktionen (K_A, K_E, K_I, K_H), die in der Summe das prozessspezifische Kostenmodell ergeben, zusammengestellt werden.

Die **Ergebnisse der Kostenfunktionen** dienen daraufhin zur Aufstellung der **Kostenstrukturen**, welche ihrerseits bezüglich **Kostenarten und Kostenstellen** unterschieden werden können. Mit Hilfe dieser Kostenstrukturen sind anschließend Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Aufbaumöglichkeiten zu treffen. Die Strukturierung der Prozesszusammenhänge wird darin als Bildungsvorschrift der funktionalen Zusammenhänge zwischen den natürlichen Kostenarten verwendet.

3 Aufbaumöglichkeiten von Geodatenbeständen

Die jeweilige *Aufbaumöglichkeit eines Geodatenbestandes* ist die strukturbestimmende Eingangsgröße des Kostenmodells. Sie orientiert sich an den beiden prinzipiellen Alternativen des *Zukaufs von Daten* aus Fremdbeständen und der *eigenen Datenerfassung* und wird darüber hinaus maßgeblich von der Existenz *eigener Datenbestände* beeinflusst.

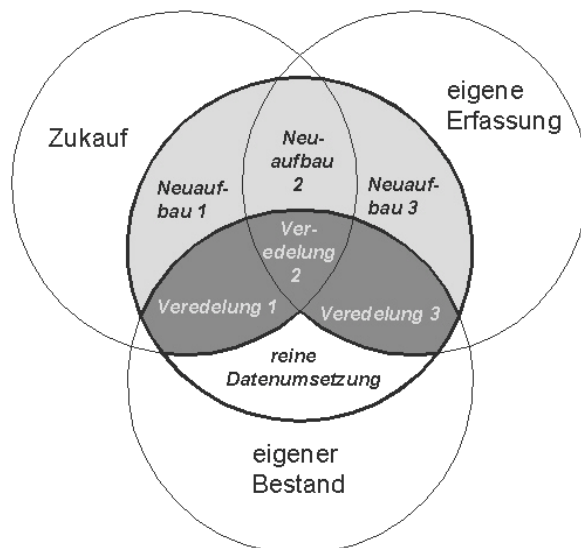


Abbildung 3.1: Aufbaumöglichkeiten von Geodatenbeständen

Abbildung 3.1 stellt den Zusammenhang zwischen dem aufzubauenden Zieldatenbestand, der dafür notwendigen Arbeiten und der Ausgangssituation graphisch dar. Der Zieldatenbestand kann demzufolge durch 7 unterschiedliche Möglichkeiten realisiert werden. Diese lassen sich in die beiden Gruppen:

- des **Neuaufbaus** und
- der **Veredelung**

von Daten unterscheiden. Die Einteilung in diese Gruppen ist von der Ausgangssituation, also von der Existenz eigener Datenbestände abhängig. Die Aufbaumöglichkeit der *reinen Datenumsetzung* ist ein Sonderfall und wird in diesem Beitrag nicht näher beschrieben.

Die **Möglichkeiten des Neuaufbaus** können zur Bereitstellung von Geodaten Verwendung finden, wenn keine eigenen Datenbestände vorhanden sind. Sie sind in drei unterschiedliche Varianten (1,2,3) unterteilt. Die Variante 1 (N1) beschreibt den Neuaufbau unter alleiniger Hilfe von Fremddatenbeständen mittels Zukauf. Variante 2 (N2) geht von einer Kombination des Zukaufs und eigener Erfassungsleistung aus, während die Variante 3 (N3) den Neuaufbau des Datenbestands vollständig durch eigene Erfassungsleistungen realisiert.

Die **Möglichkeiten der Veredelung** greifen auf prinzipiell nutzbare eigene Geodatenbestände zurück und sind ebenso wie die Neuaufbaumöglichkeiten in drei unterschiedliche Varianten zu unterscheiden. Die erste Variante (V1) geht von der Bereitstellung des Zieldatenbestandes, von einer Zusammenführung (Integration /Homogenisierung) des eigenen Bestandes mit Fremdbeständen mittels Zukauf aus. Variante 2 (V2) stellt den Zieldatenbestand durch eigene Daten, den Zukauf von Fremddaten und eigener Erfassungsleistung sicher. Die Veredelungs-Variante 3 (V3) realisiert den Zieldatenbestand über eine Kombination des eigenen Bestands mit eigener Erfassungsleistung.

3.1 Qualitätsmerkmale als Entscheidungskriterien der Aufbaumöglichkeiten

Die Beschreibung der Qualität von Daten und Informationen kann allgemein über einen Satz von Qualitätsmerkmalen durchgeführt werden. Diese Qualitätsmerkmale variieren entsprechend ihrer Verwendung und können sich auch innerhalb verschiedener Fachdisziplinen stark unterscheiden. In der Arbeit von [15] werden unter Berücksichtigung von [7] Qualitätsmerkmalsätze zur Beschreibung und Berechnung der Informationsqualität von informationsverarbeitenden Systemen herangezogen. Bei diesen Qualitätsmerkmalen handelt es sich um

- die **Zuverlässigkeitsmerkmale:** *Verfügbarkeit* und *Aktualität*,
- die **Integritätsmerkmale:** *Vollständigkeit*, *Konsistenz* und *Korrektheit* und um
- die **Genauigkeitsmerkmale:** *metrische* und *semantische Genauigkeit*.

Diese Qualitätsmerkmale lassen sich vor dem Hintergrund der Reihenfolge ihrer Bewertung bei der Geodatenbereitstellung in grundlegende und inhaltliche Merkmale unterscheiden (vgl. Abbildung 3.2).

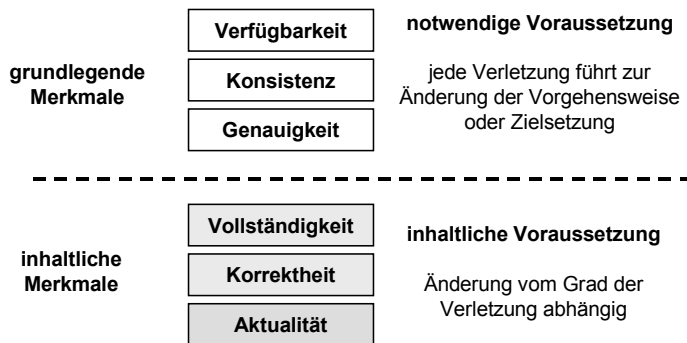


Abbildung 3.2: grundlegende und inhaltliche Qualitätsmerkmale

Während die grundlegenden Merkmale sozusagen die notwendige Voraussetzung für eine Verwendung eines Geodatenbestandes darstellt und jedwede Verletzung zu einer Änderung der Vorgehensweise oder Zielsetzung führt, ist bei den inhaltlichen Merkmalen der Grad der Verletzung für eine Änderung der Vorgehensweise verantwortlich. Dabei wird der Verletzungsgrad vom Aufwand zur Qualitätsverbesserung (Vervollständigen, Fehlerkorrektur, Aktualisierung) stark beeinflusst. Dieses Verhältnis ist nicht konstant, sondern variiert situationsabhängig.

3.2 Kostenstufen der Aufbaumöglichkeiten

Da die Aufbaumöglichkeiten von unterschiedlichen, nacheinanderfolgenden Teilprozessen geprägt sind, die in ihrer Anzahl und Kostenauswirkung stark unterschiedlich sein können, werden die Aufbaumöglichkeiten in diesem Abschnitt als Entwicklungsstufen mit den zugehörigen Kosten dargestellt. Durch diese Darstellungsform wird gleichzeitig die damit verbundene Qualitätsverbesserung deutlich gemacht. Da die Darstellung aller Kostenstufen sämtlicher Aufbaumöglichkeiten den Rahmen dieses Beitrags überschreiten würde, sind hier die Kostenstufen speziell für die Aufbaumöglichkeit der Veredelung 2 beispielhaft dargestellt (Abbildung 3.3). Dies Beispiel wurde gewählt, da es sich bei der Geodatenbereitstellung für die intermodale Routensuche eben um diese Variante handelt.

Veredelung 2:
Zukauf + Eigener Bestand+
eigene Erfassung

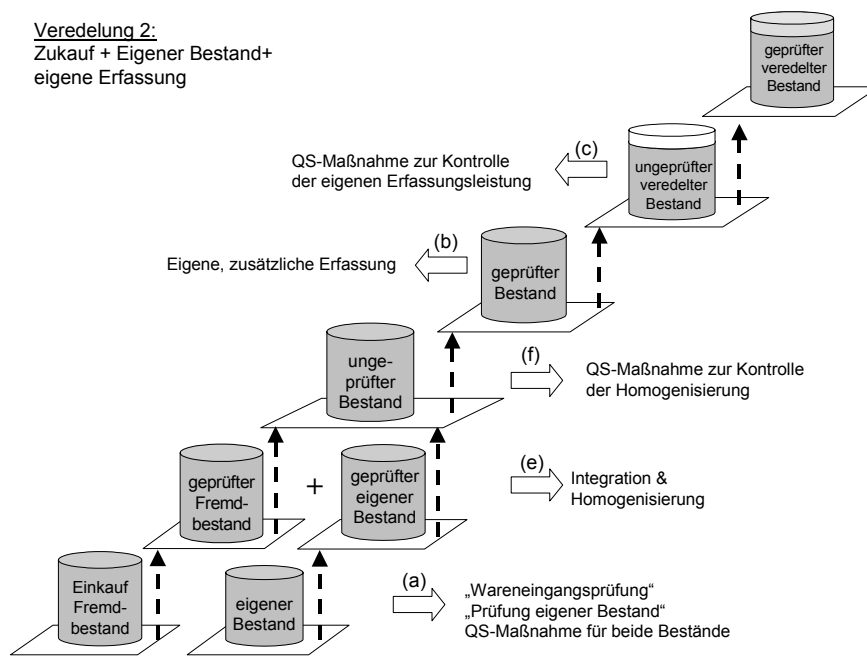


Abbildung 3.3:
Kostenstufen der
Veredelung 2

Als erste Kostenstufe (a) ergibt sich die Qualitätssicherungsmaßnahme für eigene und zugekaufte Datenbestände in Form einer „Wareneingangsprüfung“. Darauf folgen Integrations- und Homogenisierungsmaßnahmen (e) sowie Maßnahmen zu deren Kontrolle (f). Die eigene zusätzliche Erfassung (b) überführt den geprüften, homogenisierten Datenbestand in einen veredelten, inhaltlich vollständigen Datenbestand, der seinerseits durch Qualitätssicherungsmaßnahmen (c) zu kontrollieren ist.

Bei den hier betrachteten Kostenstufen werden die Maßnahmen zur Qualitätssicherung explizit pro Einzelstufe angesetzt und nicht als eine Art ganzheitlicher Qualitätssicherungsmaßnahme am Ende der jeweiligen Aufbaumöglichkeit betrachtet. Mehrere stufenspezifische QS-Maßnahmen besitzen gegenüber einer ganzheitlichen QS-Maßnahme die Vorteile, dass Qualitätsverletzungen frühzeitig erkannt und korrigiert werden können und es damit nicht zu einer Verschleppung oder gar zu einer Fortpflanzung möglicher fehlerhafter Elemente kommt. Bei einer ganzheitlichen QS-Maßnahme ist es ungleich schwieriger, die Fehlerursache zurückzuverfolgen, da man in einem solchen Fall sämtliche Stufen rückwärts durchlaufen müsste, um die Fehlerquelle identifizieren zu können. So hat es sich z.B. durch den im Rahmen des Aufbaus der digitalen Straßenkarte für Europa (EDRM) durchgeführten Benchmark-Test herausgestellt, dass stufenweise Qualitätssicherungsmaßnahmen wesentliche Kosten- und Qualitätsvorteile gegenüber ganzheitlichen, am Ende durchgeführten QS-Maßnahmen besitzen [8].

4 Realisierungsaufwand einer Geodatenbasis zur intermodalen Routensuche

Unter Verwendung dieses Kostenmodells und detaillierter Arbeitszeitprotokolle konnte der Realisierungsaufwand zur Herstellung einer Geodatenbasis zur intermodalen Routensuche ermittelt werden.

4.1 Funktionsweise einer intermodalen Routenplanung

Bei der intermodalen Routenberechnung ist es das Ziel, die Routensuchsysteme der beiden Verkehrsnetze des Individualverkehrs (IV) und des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) so miteinander zu koppeln, dass einem Reisenden neben der reinen Fahrtauskunft mit dem Pkw bzw. einem öffentlichen Verkehrsmittel eine Reiseauskunft unter Nutzung beider Verkehrsmittel zur Auswahl gestellt werden kann [14].

Notwendige Voraussetzung dieser Kopplung ist eine gemeinsame Geodatenbasis, welche die Umsteigepunkte (Haltestellen des ÖV) zwischen dem Straßennetz und dem Verkehrsnetz des öffentlichen Personenverkehrs beinhaltet und umsteigerelevante Informationen in Form von Attributen (Fußwegzeit, P&R-Platz, B&R-Platz, etc) enthält (vgl. Abbildung 1.1). Die technische Umsetzung basiert dabei auf der digitalen Straßenkarte (Fa.NavTech) in Verbindung mit einem Routenplaner für den IV, sowie der Elektronischen Fahrplanauskunft (EFA) des Verkehrs- und Tarifverbunds Stuttgart (VVS).

Die Ausgangspunkte der intermodalen Routenberechnung bilden die Start- und Zieladressen in Form eindeutiger Objektschlüssel der entsprechenden Straßenkanten. Von diesen Kanten aus werden unter Verwendung des IV-Routers die jeweils nächstgelegenen Haltestellen identifiziert. Es entstehen damit n mögliche Start- und m mögliche Zielhaltestellen. Diese werden an das Elektronische Fahrplanauskunftssystem (EFA) weitergegeben, welches sämtliche $n \times m$ Verbindungsmöglichkeiten berechnet. Als Ergebnis können daraufhin diejenigen Teilstücke zu Gesamtrouten zusammengesetzt werden, die den nutzerspezifischen Anforderungen (schnellste, kürzeste, Strecke, etc.) entsprechen.

Die Herstellung dieser intermodalen Geodatengrundlage wurde innerhalb des Forschungsprojekts MOBILIST auch als *IV/ÖV-Modellierung* bezeichnet. Sie besteht im wesentlichen aus folgenden Einzelschritten, die im Sinne einer Kostenrechnung auch als Kostenstellen zu verstehen sind:

- Nachbearbeitung der digitalen Straßenkarte
- Modellierung der ÖPNV-Haltestellen
- Erfassung des ÖV-Netzwerks
- Georeferenzierung der Haltestellen und Linien.

4.2 Nachbearbeitung der digitalen Straßenkarte

Da die digitale Straßenkarte zum Zwecke der Fahrzeugnavigation und Routenberechnung aufgebaut wurde [2], sind in ihr keine flächendeckenden Informationen für das Fußgängerrouting enthalten. Darüber hinaus stehen zur adressscharfen Routenberechnung nur

unzureichend Straßenkanten zur Verfügung, die mit Hausnummernbereichen versehen sind. Die Nachbearbeitung der digitalen Straßenkarte umfasst deshalb die

- (a) Erfassung von Fußwegen an Haltestellen,
- (b) die Änderung der Attributierung der Straßenelemente sowie
- (c) das Vervollständigen der Hausnummernbereiche sämtlicher Straßenkanten.

Die *Erfassung von Fußwegen* dient zur fußgängerspezifisch richtigen Berechnung (vgl. [6] und [13]) des Weges zwischen Startkanten und Haltestellen. Bei einer Gesamtanzahl von 3440 Haltestellen im Verkehrsgebiet des Verkehrs- und Tarifverbunds Stuttgart mussten für 1376 Haltestellen neue Fußwegverbindungen modelliert werden. Da im Durchschnitt pro Haltestelle ca. zwei Fußwege hinzugekommen sind, kann von einer Gesamtanzahl von 2750 neuen Fußwegen in Form von Kantenelementen ausgegangen werden.

Die *Änderung der Attributierung der Straßenelemente* im Umkreis der Haltestellen ist erforderlich, da die digitalen Straßendaten Attribute enthalten, welche die Nutzung des Straßenelements in Form von zugelassenen Verkehrsmitteln (motorisierter Verkehr, bevorzogter Verkehr, Eisenbahn, Straßenbahn) charakterisieren. Eine Änderung dieser Attributierung ist für die Berechnung der Fußwege von der Haltestelle zur Zielkante notwendig und wird durch die Erweiterung der Attributwertliste um „Fußweg“ und „Radweg“ realisiert. Bei innerstädtischen Bundesstraßen in akzeptabler Fußwegentfernung von ÖPNV-Haltestellen muß deren Attributierung spezifisch angepasst werden, da nicht jede Bundesstraße über Geh- oder Radwege verfügt, die ein diesbezügliches Routen gestattet.

Die *Hausnummernbereiche*, die die Grundvoraussetzung für das Fußgängerrouting von den Haltestellen zu den Start- und Zielkanten darstellen, sind oftmals gar nicht oder nur unvollständig im Datenbestand der digitalen Straßenkarte enthalten. So lagen z. B. im März 2001 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im TeleAtlas-Datenbestand [15] nur für ca. 48% der Bevölkerung tatsächlich erfaßte Hausnummernbereiche für die Straßenkanten vor. Eine Analyse der Straßendaten (NavTech) mit ArcGIS ergab, dass für nur 24 von insgesamt 141 Gemeinden des VVS-Gebiets Hausnummernbereiche vorliegen. Alle anderen Straßenkanten verfügen lediglich über eine sogenannte Zentrumsordinate des Straßenelements, die als Zielkoordinaten des Routingalgorithmus verwendet wird. Zur Verbesserung der Auskunftqualität des intermodalen Dienstes wurden durch den VVS Adressdatenbestände zugekauft und mit den Straßendaten verknüpft.

4.3 Modellierung der ÖPNV-Haltestellen

Das Ziel der IV/ÖV-Modellierung ist die Zuordnung einzelner Haltestellenobjekte zu den Straßen- oder Schienenelementen. Die dafür notwendige Grundlage ist das Datenmodell der Firma MentzDV [9] (vgl. Abb. 3). Darin wird eine *Haltestelle* nicht nur durch ein Objekt repräsentiert, sondern hierarchisch in *Haltestellenbereiche* und *Steige* aufgegliedert. Dabei sind die *Haltestellenbereiche* der Start und das Ziel der Fußwege zur Festlegung der Gehzeiten. Eine *Haltestelle* wird immer dann in Bereiche unterteilt, wenn mehr als ein ÖV- oder IV- Verkehrsmittel (S-Bahn, U-Bahn, Auto, Taxi, Fahrrad, Bus) an dieser *Haltestelle* angeschlossen ist. Die *Haltestellenbereiche* können ihrerseits in die *Steige* mit den

zugehörigen Attributen der Steignummer, des Steignamens, der Koordinate und der geographischen Referenz unterteilt werden.

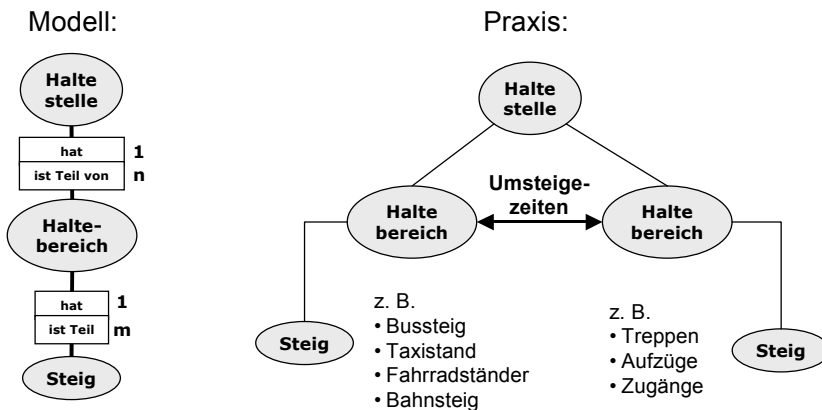
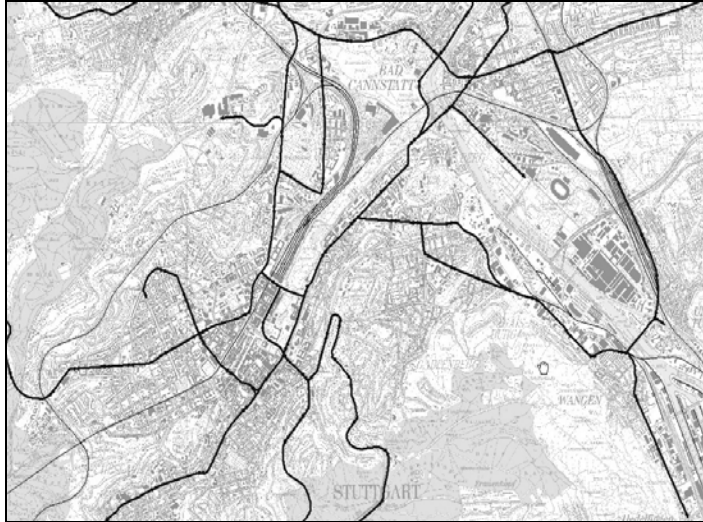


Abbildung 4.1:
Datenmodell für
Haltestellen des ÖPNV

Bei diesen *Steigen* kann es sich sowohl um Bahnsteige als auch um Treppen, Aufzüge und ggf. Zugangswege für Fußgänger zu Haltestellen handeln. Sie sind die geographisch genauen Punkte des Ein- oder Ausstiegs bzw. des Wechsels des Verkehrsmittels. Da im Rahmen des Fahrplanauskunftssystems EFA bereits sämtliche Haltestellenobjekte (122 Schienenhaltestellen) erfasst und in ihre Teilbereiche aufgeteilt worden sind, mussten für die intermodale Routenberechnung 223 zusätzlich erforderliche Haltestellenbereiche und Steige (P&R, B&R, Taxi) hinzugefügt werden.

4.4 Erfassung des ÖV-Netzwerks

Da die digitalen Straßendaten der Herstellerfirmen (TeleAtlas bzw. NavTech) die Schienenwege lediglich teilweise und auch nur ihre Geometrie zum Zwecke der kartographischen Visualisierung enthalten, waren sämtliche ÖV-Linien (Schienenwege DB und Regionalverkehr, Buslinien) in den Datensatz aufzunehmen. Die Geometrie der Schienenstrecken der DB, in deren Gleisbett S-Bahn- und Regionalbahnstrecken verlaufen, war zu 90 % in der digitalen Straßenkarte enthalten. Für die S-Bahnstrecken betrug die Abdeckung nahezu 100 %, während bei den Regionalbahnen einige Strecken in weniger dicht besiedelten Gebieten fehlten. Die Liniengeometrien der Stadtbahnen im VVS-Gebiet waren zu Beginn der IV/ÖV-Modellierung allerdings nicht digital verfügbar und mussten nachdigitalisiert werden (Abbildung 4.2).



**Abbildung 4.2: Auszug aus der
Liniengeometrie der Stuttgarter
Stadtbahnen**

Da die Linienführung der Busse fast ausschließlich auf den vorhandenen Straßenelementen stattfindet, musste für den Busverkehr keine eigene Netzgeometrie aufgebaut werden, sondern die Buslinien konnten auf die entsprechenden Straßenkanten referenziert werden. Die Hauptaufgabe der Erfassung des ÖV-Netzes bestand folglich darin, die Linienverläufe der Stadtbahnen vollständig und die Verläufe der fehlenden DB-Strecken nachzudigitalisieren sowie die Buslinien den Straßenkanten hinzuzufügen.

4.5 Georeferenzierung der Haltestellen und Linien

Die Verbindung zwischen dem Straßenelement und der Haltestelle wird über eine Objektzuweisung realisiert. Im einfachsten Fall (Bushaltestelle) genügt eine Verknüpfung zwischen der ID des Straßenelements und der ID der Haltestelle. Bei komplexen Haltestellen mit mehreren Treppen, Aufzügen, Gleisen und Ebenen genügt diese Verbindung nicht mehr. In diesem Fall ist die Verknüpfung durch einzelne Zugänge modelliert, die dann dem entsprechenden Straßenelement hinzugefügt werden.

Die vollständig modellierten Haltestellen werden zusammen mit allen Haltebereichen und Steigen in einem Geoinformationssystem dem Straßennetz überlagert. Das Straßennetz ist dann bereits um die Schienengeometrie relevanter S-, U- und Regionalbahnen erweitert. Im Moment der Überlagerung der beiden Datenbestände existiert außer der Hauptkoordinate, die lediglich zur Plazierung der Haltestelle in der Karte dient, noch keine Georeferenz für die einzelnen Bereiche und Steige. Sie „hängen“ in Form einer aufgereihten Perlenkette an der Haltestelle (Abbildung 4.3) und erhalten erst aufgrund einer manuellen Zuordnung ihre Koordinate zugewiesen. Durch Verschieben eines Steiges auf ein Straßenelement wird die Koordinate des gerechneten Lotfußpunktes dem Steig zugeordnet (Abbildung 4.4).

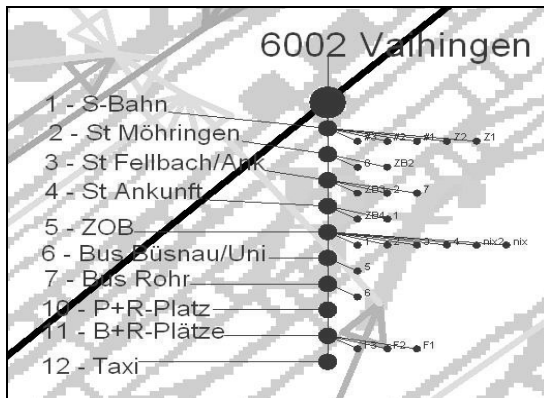


Abbildung 4.3: Vor der Georeferenzierung

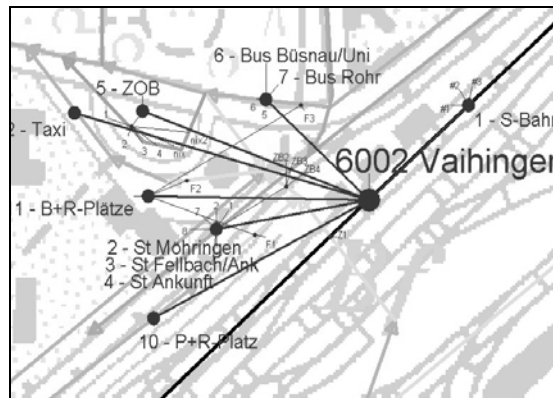


Abbildung 4.4: Nach der Georeferenzierung

Die *Linienreferenzierung* zwischen Schienenhaltestellen kann, durch die hergestellte Geometrie (vgl. Abschnitt 3.3) automatisiert, GIS-gestützt ablaufen. Für die Bushaltestellen findet diese Linienreferenzierung allerdings in drei aufeinanderfolgenden halbautomatischen Arbeitsschritten statt (Abbildung 4.5).



Abbildung 4.5: Ablauf der Linienreferenzierung

Nach der Georeferenzierung der einzelnen Haltestellenobjekte (Bus) (1) erfolgt im zweiten Schritt (2) die Verknüpfung der Haltestellen als „Luftlinien“ entsprechend ihrer sequentiellen Reihenfolge über die Informationen aus den Linienfahrplänen automatisch. Erst jetzt erfolgt im dritten Schritt (3) die Zuordnung der Teilstücke zu dem Straßennetz.

Dabei wird die Verbindungslinie durch den Bearbeiter ungefähr in ihrer Mitte angewählt und dieser Linienpunkt in Richtung des gewünschten Straßenverlaufs verschoben. Dadurch wird verhindert, dass der assistierende Routenplaner eine mögliche, jedoch von der Linienführung her falsche, Straßenfolge berechnet. Die Linienreferenzierung, welche hauptsächlich zur Verbesserung der kartographischen Präsentation der dynamisch generierten Haltestellenpläne dient, wurde für alle 524 Linien des VVS durchgeführt.

4.6 Kostenstruktur der IV/ÖV-Modellierung

Unter Zuhilfenahme detaillierter Arbeitszeitprotokolle und Angaben aus VVS-interner Kostenrechnung konnten die Kostenfaktoren der Geodatengrundlage (Abbildung 4.6) ermittelt werden. Stellt man die Kostenfaktoren zueinander in Relation, so ergibt sich eine

deutliche Dominanz des Preises der *Digitalen Straßenkarte* mit 37 %, gefolgt von jenen für die *Hard- und Software* mit 20 % Anteil (Abb. 6). Darüber hinaus zeigt sich, dass die beiden Kostenstellen *Überprüfung* 19 % und *Georeferenzierung* 15 % innerhalb der IV/ÖV-Modellierung die mit Abstand größten Kostenfaktoren sind.

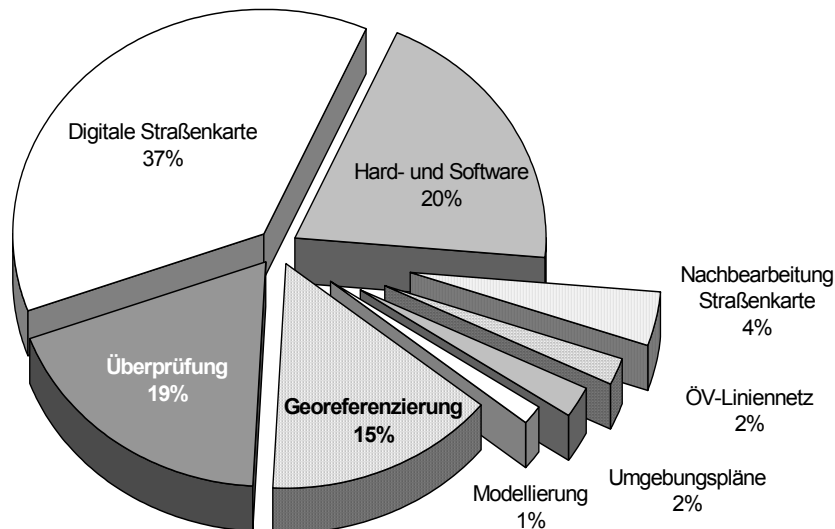


Abbildung 4.6: Kostenfaktoren der Geodatenbasis

Ihnen gegenüber stehen die Arbeiten der *Modellierung* (1 %), die Zeichnung der *Umgebungspläne* (2 %), die Digitalisierung des *ÖV-Netzes* (2 %) und die *Nachbearbeitung der Straßenkarte* (4 %). Sie haben in der Summe lediglich einen Anteil von 7 % an den Gesamtkosten. Vergleicht man den Kostenfaktor der IV/ÖV - Modellierung von insgesamt 22 % mit dem der *Überprüfung* von 19 %, so kann festgestellt werden, dass zur zuverlässigen Realisierung einer Geodatenbasis nicht nur die Datenerfassung, sondern auch die Qualitätskontrolle der eigenen Datenerfassung einen maßgeblichen Kostenfaktor darstellen. So wurden im Rahmen des 1992 fertig gestellten Benchmarktests EDM, welcher zur Vorbereitung des Aufbaus der europäischen Straßendatenbank für die Fahrzeugnavigation im Rahmen des EU-Projekts DRIVE durchgeführt wurde, die annähernd gleichen Anteile für die Erfassung der Daten (23 %) bzw. deren *Überprüfung und Korrektur* (26 %) ermittelt werden [10].

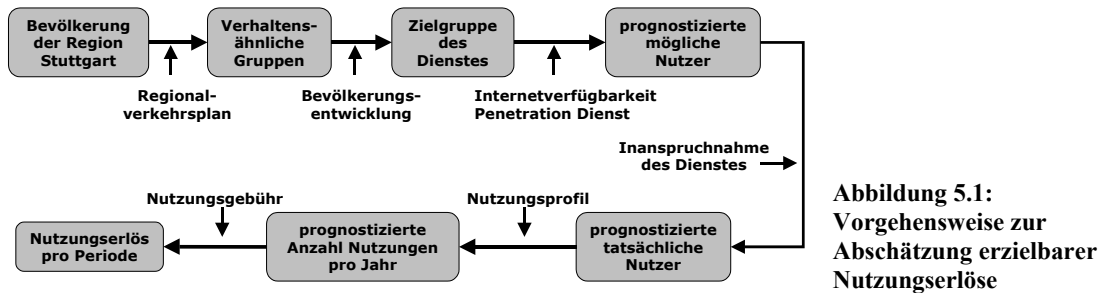
5 Nutzungserlöse verschiedener Szenarien

Die Refinanzierung (Return On Invest - ROI) von Informationsdienstleistungen durch Nutzungsgebühren ist direkt von der Akzeptanz des Kunden in Form des individuellen Informationsgewinns, seiner Nutzungshäufigkeit und seiner Zahlungsbereitschaft abhängig. Eine Prognose der Nutzungshäufigkeit kann allgemein über folgende Faktoren gestützt werden:

- Mögliche, potentielle Nutzeranzahl
- Internetverfügbarkeit für potentielle Nutzer
- Bekanntheitsgrad des Dienstes

- Grad der Inanspruchnahme des Dienstes

Die Vorgehensweise zur Abschätzung der Nutzungshäufigkeit ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Sie orientiert sich nach derselben, von der Arbeitsgruppe Wissenschaft des Forschungsprojekts MOBILIST entwickelten Bewertungsmethodik zur Abschätzung des Penetrationsgrads von Informationsdienstleistungen und deren verkehrliche Wirksamkeit [5].



Während die Menge der prognostizierten möglichen Nutzer aus der Menge der Bevölkerung der Region Stuttgart über bekannte Größen, wie die verhaltensähnlichen Gruppen des Regionalverkehrsplans, der Bevölkerungsentwicklung sowie die Internetverfügbarkeit abgeleitet werden kann, muss zur Mengenermittlung der prognostizierten Nutzungen pro Jahr von Nutzungsszenarien ausgegangen werden.

Tabelle 5-1: Szenarien der Nutzungsentwicklung

Optimistische Entwicklung	Pragmatische Entwicklung	Pessimistische Entwicklung
<ul style="list-style-type: none"> • Inanspruchnahme des Dienstes nach 10 Jahren bei ca. 30% Sättigung • Exponentiell-degressive Zunahme • Stammkundschaft hat sich etabliert. • Mobile PDA unterstützen die Online-Auskunft 	<ul style="list-style-type: none"> • Inanspruchnahme des Dienstes nach 10 Jahren bei ca. 20% Sättigung • Langsame exp.-degressive Zunahme • Kleine Stammkundschaft • Verbesserte Umsteigeinformationen an Haltestellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Inanspruchnahme des Dienstes nach 10 Jahren bei ca. 10% Sättigung • Stetige, fast lineare Zunahme • Wechselnde Kunden, sporadische Teilnahme • Keine mobile Auskunft über PDA.

Diese Szenarien legen die Quote der Inanspruchnahme des Dienstes, sowie die Nutzungshäufigkeit in Form eines Nutzungsprofils fest. Anschließend ist eine Aussage der Nutzungserlöse über variierende Gebühren möglich. Tabelle 5-1 zeigt mögliche Nutzungsszenarien. Für die weiterführende Betrachtung wurde das pragmatische Nutzungsszenario zu Grunde gelegt.

Stellt man die Aufwendungen zur Einrichtung und für den Betrieb des Dienstes den szenarienabhängigen Nutzungserlösen gegenüber so erhält man die Zeitpunkte des Return On Invest, beispielhaft für pragmatisches Nutzungsszenario, in folgender Abbildung 5.2.

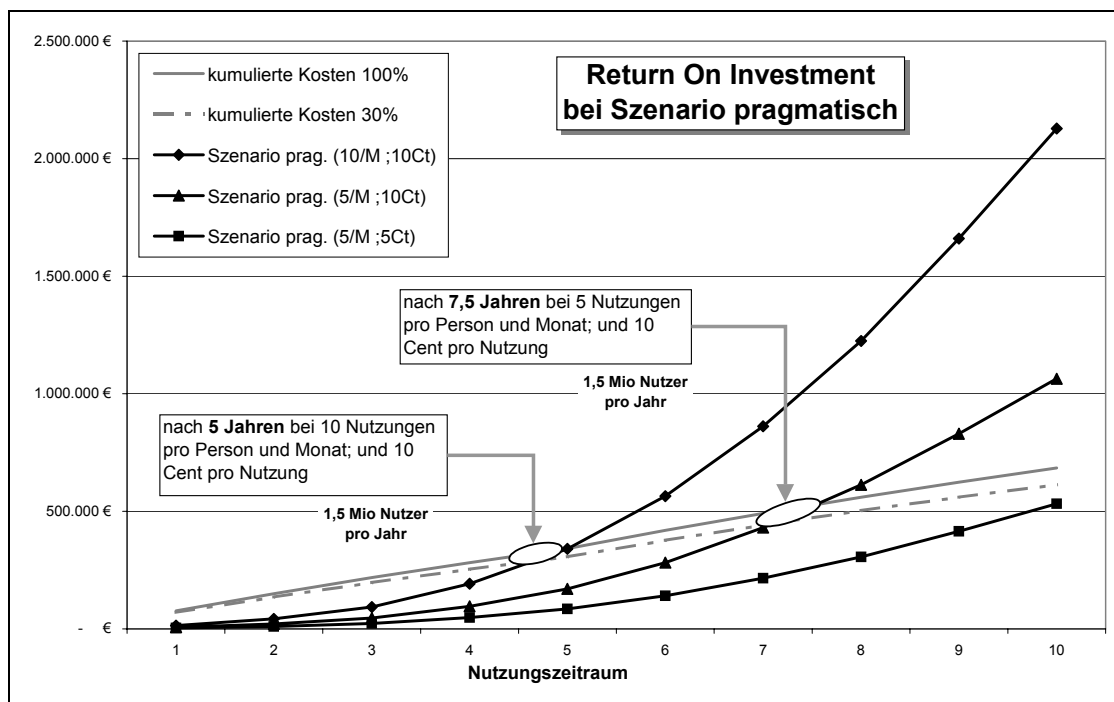


Abbildung 5.2: Zeitpunkte des Return on Invest bei Szenario pragmatisch

In dieser Abbildung sind die kumulierten Kosten bezüglich eines 10 jährigen Nutzungszeitraums den geschätzten Erlösen aus Nutzungsgebühren gegenübergestellt. Es kann innerhalb des Nutzungszeitraums mit zwei Zeitpunkten des ROI nach 4,5 und 7,5 Jahren gerechnet werden. Dafür notwendig sind jedoch insgesamt 10 bzw. 5 Nutzungen pro Person und Monat mit einer Gebühr von 10 €-Cent pro Nutzung. Für beide Nutzungsprofile ist eine Gesamtanzahl von 1,5 Mio jährliche Nutzer pro Jahr notwendig. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der verbleibenden Szenarien. Damit entspricht diese Anzahl der kritischen Masse der Nutzungen, die zum Erreichen eines Return On Invest notwendig ist. Sie entspricht einem ca. 10-20 % igen Anteil an den jährlichen entgeltfreien Nutzungen der elektronischen Fahrplanauskunft EFA der Region des Mittleren Neckarraums.

Es muss folglich das Ziel des Dienstebetreibers sein, mindestens 10 bis 20% der Kundschaft (bzw. Neukunden) des Fahrplanauskunftssystem EFA für eine entgeltpflichtige Nutzung des Intermodalen Routenplaners zu gewinnen, um eine Chance auf Refinanzierung der Investition und der laufenden Kosten zu erreichen. Damit ist jedoch das Problem allein noch nicht gelöst, denn es verbleibt immerhin noch die fragliche Zahlungsbereitschaft der Nutzer, bzw. das ebenfalls mit Kosten verbundene Abrechnungsverfahren.

6 Bewertung und Ausblick

Die Akzeptanz und Inanspruchnahme des Dienstes sowie die Bereitschaft des Kunden, für die Informationsbereitstellung ein Entgelt zu entrichten wächst mit steigendem Verkehrsaufkommen und damit verbundenem individuellen Zeit- und Geldverlust. Stellt man sich die Dynamisierung des Intermodalen Routenplaners, unterstützt durch mobile Organzier (PTA - Personal Travel Assistant, PDA - Personal Digital Assistant) und durch leistungsverbesserte Mobilkommunikation (UMTS) als Zukunftsszenario vor, dann wäre nicht nur eine bereits heutzutage in Ansätzen vorhandene Stauumfahrung mit Hilfe von Verkehrsmeldungen über RDS-TMC in Kombination mit einem Kfz-Navigationssystem sondern auch die „onboard“-Berechnung einer intermodalen Alternativroute denkbar. In einem solchen Fall könnten Fahrzeuge an der letzten Möglichkeit vor dem Stauanfang die Strecke verlassen, per Navigationssystem auf einen Park&Ride-Platz geführt werden und deren Fahrer in öffentliche Verkehrsmittel umsteigen. Wenn diese, heutzutage bereits existierenden, technischen Einzelkomponenten zu einem wirtschaftlichen Gesamtkonzept zusammengeführt werden, ist auch von einer steigenden Nutzernachfrage des intermodalen Routenplaners auszugehen.

7 References / Literatur

- [1] Behr, F.-J (1998): Strategisches GIS-Management: Grundlagen und Schritte zur Systemeinführung, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- [2] CEN (1995): Geographic Data Files – Version 3.0, Europäisches Komitee für Normung, CEN TC 278. (www.ertico.com/links/gdf/gdfdocs/gdfdoc.htm)
- [3] Eitrich, O. (1996): Prozessorientiertes Kostenmodell für die entwicklungsbegleitende Vorkalkulation, Dissertation, Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- [4] Fiehn, D. (2002): Verteilte Berechnung einer Fahrplanauskunft durch kooperierende Routingdienstleister, Dissertation, Verlag im Internet GmbH, www.dissertation.de.
- [5] Hautzinger et al., (2001): 3. Evaluationsbericht der AG Wissenschaft für das BMBF Leitprojekt MOBILIST im Auftrag des Bundesministerium für Bildung und Forschung. Stuttgart, Heilbronn, Tübingen (unveröffentlicht).
- [6] Jermann, J. (2002): GIS-gestützte Modellierung von Anmarschwegen auf Haltestellen des öffentlichen Verkehrs. In: Strobl, J. et al (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung. XIV Beiträge zum AGIT-Symposium 2002, Heidelberg, Wichmann Verlag.
- [7] Joos, G. (2000): Zur Qualität objektstrukturierter Geodaten. Dissertation, Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München, Heft 66, Neubiberg.
- [8] Kronjäger, W. (1992): Results of Benchmark Test – Data Acquisition, Proceedings Internationaler Workshop: European Digital Road Map, 2.-3. März 1992, unveröffentlicht.
- [9] MentzDV, (2000): Internetseite der Fa. MentzDV: (<http://www.mentzdv.de>)
- [10] Möhlenbrink, W. (1992): EDRM-Further Strategy, Outlook, Beitrag zum Internationalen Workshop: European Digital Road Map, unveröffentlicht.
- [11] Olfert, K., Rahn, H.-J. (2001): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre - Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft. 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Kiehl Verlag, Ludwigshafen.

- [12] Pickel, H. (1989): Kostenmodell als Hilfsmittel zum kostengünstigen Konstruieren. Hanser Verlag, München, ISBN 3-446-15770-0.
- [13] Prinz, Th. (2002): GIS als Instrument zur Standortoptimierung im öffentlichen Personennahverkehr, In: Strobl, J. et al (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung. XIV Beiträge zum AGIT-Symposium 2002. Wichmann-Verlag. Heidelberg.
- [14] Stark, M., Torlach, V. (2003): Realisierungsaufwand zur Herstellung einer Geodatenbasis für die intermodale Routenberechnung zwischen Individual- und öffentlichem Personennahverkehr. In: Strobl, J. et al (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV. Beiträge zum AGIT-Symposium 2003, Heidelberg, Wichmann Verlag 2003.
- [15] TeleAtlas (2000): MultiNet - Standard Data Model Description, Version 3.0, TeleAtlasBV, Gent, Belgien, interne Spezifikation, unveröffentlicht.
- [16] Warnecke, H.J., Bullinger, H.-J., Hichert, R., Voegelé, A. (1996): Kostenrechnung für Ingenieure, 5. überarb. u. erw. Auflage, München, Wien, Hanser Verlag.
- [15] Wilschko, Th. (2001): Ein Qualitätsmodell für Informationen – Zur Beschreibung der Informationsqualität infrastrukturgestützter Fahrerassistenzsysteme. DGON Jahreshauptversammlung 2001, Mobilität und Sicherheit, Wolfsburg, S.185-195.