



**Institut für Programmstrukturen
und Datenorganisation (IPD)**

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Peter C. Lockemann
Universität Karlsruhe (TH)
Fakultät für Informatik**

Modellierung und Implementierung eines Dienstes zur personalisierten Anfrage an Routenplanungssysteme im Güterverkehr

Studienarbeit

von

Tobias Licht

31. März 2004

Verantwortlicher Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Peter C. Lockemann

Betreuender Mitarbeiter: Dipl.-Inform. Heiko Schepperle

Diese Arbeit wurde von mir selbstständig angefertigt. Alle verwendeten Literaturstellen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt; eine Verwendung anderer Hilfsmittel erfolgte nicht. Ich versichere dies ausdrücklich mit nachstehender Unterschrift.

Tobias Licht, 31.3.2004

Kurzfassung

Diese Studienarbeit beschreibt die Konzeption und Implementierung eines personalisierbaren Routenplanungssystems für den Güterverkehr. Insbesondere werden die unterschiedlichen Anforderungen und Eigenschaften des benutzten Fahrzeugs sowie Präferenzen des Fahrers berücksichtigt.

In der Konzeptionsphase werden zunächst die konkreten Anforderungen an ein solches System bestimmt, die hierfür erforderlichen Daten ermittelt, klassifiziert und deren Verwendungsmöglichkeiten bei der Routenwahl analysiert sowie Möglichkeiten das System zu personalisieren untersucht.

In der Implementierungsphase werden ein prototypischer Dienst und ein passender Client implementiert, sowie ein Testszenario entworfen, das die Funktionalität und den Mehrwert eines erweiterten Routingdienstes demonstriert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Routenplanung und Routenplanungsdienste	6
1.1.1	Was ist Routenplanung?	6
1.1.2	Wie lösen heutige Dienste das Problem.	6
1.1.3	Personalisierung	7
1.2	Motivation	7
1.3	Aufgabenstellung	8
1.4	Weiteres Vorgehen	8
2	Architektur eines erweiterten Dienstes	9
2.1	Erweiterter Informationsbedarf	9
2.1.1	Fahrzeug	10
2.1.2	Anhänger	15
2.1.3	Ladung	15
2.1.4	Fahrt	17
2.1.5	Fahrer	17
2.1.6	Fahrprofile	18
2.1.7	Routingkriterien	18
2.1.8	Optimierungsprobleme mit Randbedingungen	19
2.2	Personalisierung	20
2.2.1	Daten pro Nutzer / Nutzergruppe	20
2.2.2	Standard-Fahrzeuge	20
2.2.3	Datenhaltung	21
2.3	Nutzung der erweiterten Informationen	22
2.3.1	Einbinden der Informationen	22
2.3.2	Kostenfunktion	22
3	Umsetzung	24
3.1	Bestehende Strukturen	24
3.1.1	VISUM-Verkehrssimulation	24
3.1.2	Zusätzlich benötigte Daten	24

3.1.3	Externes Routing.....	25
3.2	Struktur des erweiterten Routenplanungssystems	25
3.3	Datenstrukturen	28
3.3.1	Vehicle	28
3.3.2	Load	28
3.3.3	DrivingProfile	29
3.3.4	Location	29
3.4	GUI.....	29
3.4.1	Die Route	30
3.4.2	Das Fahrzeug	31
3.4.3	Die Ladungen.....	31
3.4.4	Das Fahrprofil	32
3.5	Personalisierung	33
3.6	Der Routing-Service.....	33
3.6.1	Matrix.....	33
3.6.2	Vertice.....	34
3.6.3	Edge	34
3.6.4	Restriction	34
3.6.5	Einlesen der Exportdaten	37
3.6.6	Mapping Start-/Zielort auf Kartendaten.....	38
3.6.7	Routing-Verfahren	38
3.6.8	Dijkstras Algorithmus	39
3.7	Testszenarien	40
4	Zusammenfassung und Ausblick	42
4.1	Zusammenfassung.....	42
4.2	Ausblick	42
4.2.1	Denkbare Erweiterungen	43
	Referenzen.....	45

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist Teil des *OVID*-Projektes der Universität Karlsruhe (TH). Nach der zugehörigen Webseite [9] ist das Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojektes *OVID* der Universität Karlsruhe (TH) „verkehrsbezogene Probleme zukünftiger Informationswelten verstehen und neue Möglichkeiten nutzen zu lernen. Hierzu erfolgt der Aufbau und einer Plattform zur Modellierung und Bewertung von verkehrsinfrastrukturellen, verkehrstelematischen und logistischen Maßnahmen im Verkehrs- und sozio-ökonomischen System.“

Während laut [9] „die permanente und allumfassende Verfügbarkeit von Information für den Verkehrsteilnehmer von morgen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr eine greifbare Zukunftsperspektive darstellt, gibt es nur unpräzise Vorstellungen darüber, wie die Informationsfülle individuell handlungsrelevant aufbereitet werden kann. Auch ist noch unzureichend durchdacht, wie der Verkehrsteilnehmer oder sein Fahrzeug als aktives Element in den Prozess der Informationserzeugung und –vermittlung eingebunden sein wird. Die letztgenannten Faktoren sind aber entscheidend dafür, inwieweit technische Optionen für die Veränderung von Verhaltensmustern tatsächlich individuell genutzt und sozial wirksam werden.“ Um diese Auswirkungen abzuschätzen, müssen grundlegende Dienste für die zu untersuchenden Verkehrsteilnehmer simulierbar sein, zu denen auch der hier entwickelte Dienst gehört.

1.1 Routenplanung und Routenplanungsdienste

Fast jeder Verkehrsteilnehmer steht am Anfang seiner Reise vor dem Problem, einen Route von seinem Startpunkt zu seinem Ziel zu finden. Da die meisten Fahrzeuge an festgelegte Wege gebunden sind und sich nicht einfach querfeldein direkt auf das Ziel zu bewegen können, ist das Vorwärtsbewegen Richtung Ziel keine praktikable Möglichkeit, dieses zu erreichen. Die Nutzung von Informationen über das Gebiet zwischen und um Start- und Ziel ermöglicht eine Planung, wie das Ziel zu erreichen ist.

1.1.1 Was ist Routenplanung?

Unter Routenplanung versteht man die Ermittlung eines Weges von einem gegebenen Startpunkt zu einem festgelegten Ziel, der vorher festgelegte Kriterien erfüllt. Diese Wegewahl geschieht durch Ausnutzung von Informationen über das Gebiet zwischen und um die Wegpunkte, meistens repräsentiert durch ein Streckennetz. Der Wunsch den kürzesten, oder nach anderen Maßstäben günstigsten, Weg zu nutzen ist häufiges Kriterium bei der Wegewahl.

1.1.2 Wie lösen heutige Dienste das Problem

Zurzeit gibt es mehrere Dienste, die Routenplanung anbieten. Zum einen gibt es in Fahrzeugen installierte Navigationssysteme, die eine auf der aktuellen Position beruhende Planung zu einem

bestimmten Ziel ermöglichen, und andererseits gibt es Routenplanungssysteme, die eine freie Start- und Zielwahl ermöglichen, die entweder als Kartenmaterial mit zugehörigem Routing-Programm verkauft oder als Web-Service zur Verfügung gestellt werden.

Populäre Beispiele für letztere sind unter anderem www.falk-online.de [1], www.map24.de [2] oder www.viamichelin.de [3].

Alle diese Dienste erlauben eine Start und Zielvorgabe über Postleitzahl oder Ort und eine Verfeinerung über Straßennamen und Hausnummer. Zusätzlich hat der Nutzer die Auswahl, ob er die schnellste oder kürzeste Route ermittelt haben möchte, [3] bietet zusätzlich an auf Mautpflichtige Straßen zu verzichten oder möglichst viel Autobahn zu benutzen.

Nur [1] bietet die Möglichkeit zwischen „PKW schnell“, „PKW mittel“ und „PKW langsam“ zu wählen ohne jedoch diese Angaben zu konkretisieren, wohin zumindest [2] angibt, dass die ermittelte Fahrzeit auf angenommenen Geschwindigkeiten von 120 km/h auf Autobahnen und 60km/h auf Land- und Kreisstraßen beruht.

1.1.3 Personalisierung

Als Personalisierung wird in dieser Arbeit die personen- bzw. nutzerbezogene individuelle Konfiguration eines Dienstes verstanden. Darunter fällt insbesondere auch die Übernahme und Speicherung von Konfigurationen über zeitliche und räumliche Distanzen.

1.2 Motivation

Für viele Nutzer eines solchen Dienstes ist diese Leistung ausreichend, da zumindest eine passende, wenn auch nicht unbedingt ganz optimale Route gefunden wird. Aber gerade im Güterverkehr kann es passieren, dass die bauartbedingten Eigenschaften (z.B. Maße, Gewicht) des Fahrzeuges die Benutzung der gewählten Route unmöglich machen. Der Fahrer eines LKW kann plötzlich bei Befolgung der Routenbeschreibung vor einer Brücke stehen, für die sein Fahrzeug zu schwer ist, oder vor einer Engstelle, die die Weiterfahrt für sein Fahrzeug verhindert.

Zusätzlich kann es sein, dass der Routing-Algorithmus ungünstige Entscheidungen trifft, weil er das individuelle Fahrzeugprofil (z.B. Höchstgeschwindigkeit) nicht berücksichtigt. Wenn von Startpunkt zu Zielpunkt beispielsweise eine 80km lange Landstraße und eine 100km lange Autobahn zur Verfügung stehen, ist für einen PKW, der auf der Landstraße nur 100km/h fahren darf, auf der Autobahn aber leicht 130km/h schafft der längere Weg über die Autobahn trotzdem schneller. Ein LKW hingegen, der auf beiden Strecken seine Höchstgeschwindigkeit von 80km/h ausnutzen kann, ist auf der kürzeren Strecke schneller am Ziel.

Gesetzliche Regelungen, die z.B. für Gefahrguttransporte hinsichtlich der Routenwahl gelten, werden auch nicht beachtet, genauso wenig wie Lenkzeitpausen für LKW und Busfahrer eingeplant werden können.

Zusätzlich ist es, gerade in Hinblick auf die Einführung der LKW-Maut auf Autobahnen, für einige Nutzer günstiger, einen streckenmäßig oder zeitlich längeren Weg in Kauf zu nehmen, um bestimmte mautpflichtige Streckenarten zu meiden. Als Kriterium für die Routenwahl sind neben „schnell“ und „kurz“ auch „günstig“ oder andere denkbar.

Außerdem basieren bei den meisten aktuellen Routenplanungssystemen alle Routingentscheidungen auf Netzinformationen, die nicht die aktuellen bzw. prognostizierten Auslastungen der Strecken berücksichtigen. Durch die zum Fahrtzeitpunkt vorliegende Verkehrslage könnte eine wesentlich bessere Planung erreicht werden oder es ließe sich der beste Startzeitpunkt für eine Fahrt bestimmen.

Für alle von diesen Einschränkungen betroffenen Nutzer wäre es wünschenswert, Zugriff auf einen erweiterten Dienst zu haben, der Ihre individuellen Einschränkungen und Anforderungen berücksichtigt.

1.3 Aufgabenstellung

Wie zuvor erläutert unterscheiden sich die Anforderungen des Güterverkehrs an moderne Verkehrsdienste zum Teil erheblich von denen des Individualverkehrs. Deswegen sollen in dieser Arbeit die wesentlichen Anforderungen an ein Routenplanungssystem für den Güterverkehr bestimmt, sowie die dafür notwendigen Akteure mitsamt ihrer datenspezifischen Eigenschaften modelliert werden. Darunter fallen unter anderem Benutzer-, Fahrzeug-, Fahrt- oder Ladungsprofile. Dieses Modell soll die Grundlage für weitere Verkehrsdienste darstellen.

Des Weiteren soll ein prototypischer Dienst implementiert werden, mit dem Routenempfehlungen personalisiert erzeugt werden können.

1.4 Weiteres Vorgehen

In Kapitel 2 dieser Arbeit werden zunächst die verwendbaren und benötigten Daten ermittelt und passenden Profilen zugeordnet. Danach wird beschrieben, wie diese Daten personalisiert gespeichert und schließlich entsprechend bei der Routenplanung berücksichtigt werden können.

Kapitel 3 beschreibt die Konzeption und Implementierung eines prototypischen Dienstes unter Nutzung des Verkehrssimulationstools VISUM, der einen sinnvollen Ausschnitt der beschriebenen Möglichkeiten umsetzt, sowie eines Clients, der Anfragen an diesen Dienst stellt. Die Evaluation erfolgt anhand einiger einfacher Beispiele.

2 Architektur eines erweiterten Dienstes

In diesem Kapitel werden die konkreten Anforderungen an einen erweiterten Dienst zur Routenplanung im Güterverkehr ermittelt, Implementierungsmöglichkeiten evaluiert und die grundlegende Struktur eines solchen Dienstes festgelegt.

2.1 Erweiterter Informationsbedarf

Um individuelle Anforderungen zu berücksichtigen, müssen bei der Anfrage an das Routenplanungssystem weitere Daten übermittelt werden. Dabei muss entweder das Routenplanungssystem alles Verwertbare aus den übermittelten Daten herausfiltern oder der anfragende Client die vorhandenen Daten an die Schnittstellen-Spezifikation des Routenplanungssystems anpassen.

Für eine Routenanfrage könnten eine Menge an Daten übermittelt werden. Um herauszufinden, welche Daten überhaupt relevant sind, ist zuerst festzulegen, welche Bedingungen für die Routenwahl gelten und wovon diese abhängen. Da viele Einschränkungen durch gesetzliche Regelungen bedingt sind, ist diese Arbeit im Weiteren auf die in Deutschland geltenden Bestimmungen ausgerichtet.

Bei der Entscheidung, ob eine bestimmte Strecke bei der Routenplanung berücksichtigt werden kann, muss festgestellt werden, ob das benutzte Fahrzeug diese Strecke überhaupt befahren darf. Manche Fahrzeugarten sind auf manchen Strecken nicht zugelassen, wie zum Beispiel Fahrräder auf Autobahnen. Dann ist zu überprüfen, ob es die Strecke auch befahren kann, ein schwer beladener LKW könnte beispielsweise an einer zu großen Steigung scheitern oder ein Transporter zu breit für eine schmale Durchfahrt sein. Weiterhin könnte eine mitgeführte Ladung das Nutzungsrecht für diese Strecke einschränken oder sich durch sie das Gesamtgewicht des Fahrzeugs über das zulässige Gewicht für eine Brücke erhöhen. Schließlich könnte auch der Fahrer diese Strecke nicht benutzen wollen, da sie beispielsweise sein fahrerisches Können überfordert oder eine Nutzungsgebühr für die Strecke erhoben wird.

Die individuelle Geschwindigkeit hängt davon ab, was das benutzte Fahrzeug leisten kann und darf aber auch vom Fahrverhalten des Fahrers. Ein Fahranfänger wird auf der Autobahn wahrscheinlich nicht mit 200 km/h fahren, auch wenn dies erlaubt und möglich wäre, ein fahrerfahrener Vertreter auf dem Weg zum nächsten Termin hingegen wohl mit maximaler Geschwindigkeit. Und auf einer Fahrt, bei der „Zeit ist Geld“ gilt, wie beispielsweise im Güterverkehr wird Straßenmaut kein Grund sein, eine Strecke zu meiden, während eine Familie auf dem Weg in den Urlaub doch die längere aber günstigere Strecke vorzieht.

An dem Fahrzeug lassen sich einige Beschränkungen für die Routenwahl festmachen, die unabhängig von Einsatzzweck und Benutzer sind. Auch die Ladung hat einen Einfluss auf die Wegewahl, die von dem Fahrzeug und dem Benutzer unabhängig ist. Der Fahrer schließlich hat einige Einschränkungen

oder Präferenzen, die für alle Fahrzeuge gelten, aber durchaus vom Zweck der Fahrt abhängen können. Daher wäre es möglich, eine individuelle Anfrage durch Fahrzeug, Ladung, Fahrer und Fahrt zu bestimmen und alle weiteren Informationen unterhalb dieser Einteilung zu speichern.

2.1.1 Fahrzeug

Das benutzte Fahrzeug hat den offensichtlichsten Einfluss auf die Routenwahl. Straßen können für bestimmte Fahrzeuge nur eingeschränkt oder überhaupt nicht benutzbar sein. Entscheidend sind hierfür vor allem Fahrzeugtyp und physische Eigenschaften des Fahrzeuges.

Klassifikation der Fahrzeugtypen

Mit den Begriffen Traktor, PKW oder Kleinlastwagen verbindet jeder eine bestimmte Fahrzeugart. Für die Routenplanung ist es aber wichtig, genau zu wissen, was für ein Fahrzeug gemeint ist, da z.B. nicht jedem Nutzer direkt klar ist, ob der VW-Bus, den er gerade fahren will, nun noch als PKW gilt oder ob schon weitere Einschränkungen für ihn gelten.

Bezüglich der Fahrerlaubnis werden die Fahrzeuge nach der deutschen Version des europäischen Führerscheines [8] in folgende Klassen eingeteilt:

- M
Zweirädrige Kleinkrafträder und Fahrräder mit Hilfsmotor mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 45km/h und einem Hubraum von nicht mehr als 50cm³.
- A1
Krafträder mit einem Hubraum von nicht mehr als 125cm³ und einer Motorleistung von nicht mehr als 11 kW (Leichtkrafträder). Für 16- und 17jährige Leichtkraftradfahrer gilt eine durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 80km/h.
- A
Krafträder mit und ohne Beiwagen
- B
Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 3.500kg und mit nicht mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz (auch mit Anhänger bis 750kg Gesamtmasse oder bis zur Höhe der Leermasse des Zugfahrzeugs bei einer zulässigen Gesamtmasse der Kombination von nicht mehr als 3.500kg)
- C1
Kraftfahrzeuge - ausgenommen jene der Klasse D - mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg, aber nicht mehr als 7.500kg (auch mit Anhänger bis 750kg Gesamtmasse).

- C
Kraftfahrzeuge - ausgenommen jene der Klasse D - mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500kg (auch mit Anhänger bis 750kg Gesamtmasse).
- D1
Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz, aber nicht mehr als 16 Sitzplätzen (auch mit Anhänger bis 750 kg Gesamtmasse).
- D
Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz (auch mit Anhänger bis 750kg Gesamtmasse).
- L
Zugmaschinen, die nach ihrer Bauart zur Verwendung für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke bestimmt sind und für solche Zwecke eingesetzt werden, mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 32km/h und Kombinationen aus diesen Fahrzeugen und Anhängern, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h geführt werden und, sofern die durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit des ziehenden Fahrzeugs mehr als 25km/h beträgt, sie für eine Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 25km/h durch Geschwindigkeitsschilder (§ 58 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, StVO [5]) gekennzeichnet sind, sowie selbstfahrende Arbeitsmaschinen, Stapler und andere Flurförderzeuge jeweils mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 25km/h und Kombinationen aus diesen Fahrzeugen und Anhängern.
- T
Zugmaschinen mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 60km/h und selbstfahrende Arbeitsmaschinen mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 40km/h, die jeweils nach ihrer Bauart zur Verwendung für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke bestimmt sind und für solche Zwecke eingesetzt werden (jeweils auch mit Anhängern). Bei Fahrern unter 18 Jahren: max. 40km/h

und zusätzlich den zugehörigen Klassen, die zum Führen eines Anhängers mit über 750kg zulässigem Gesamtgewicht berechtigen:

- BE
Kombination aus Fahrzeug der Klasse B und Anhänger >750kg und Kombination, die nicht unter Klasse B fällt
- C1E
Kombination aus Fahrzeug der Klasse C1 und Anhänger über 750kg zulässigem Gesamtgewicht, wobei das zulässige Gesamtgewicht der Kombination 12000kg und das


zulässige Gesamtgewicht des Anhängers das Leergewicht des Zugfahrzeugs nicht übersteigen darf

- CE
Kombination aus Fahrzeug der Klasse C und Anhänger über 750kg (Lastzüge u. Sattelkraftfahrzeuge)
- D1E
Kombination aus Fahrzeug der Klasse D1 und Anhänger über 750kg zulässigem Gesamtgewicht, wobei das zulässige Gesamtgewicht der Kombination 12000kg und das zulässige Gesamtgewicht des Anhängers das Leergewicht des Zugfahrzeugs nicht übersteigen darf
- DE
Kombination aus Fahrzeug der Klasse D und Anhänger über 750kg zulässigem Gesamtgewicht.

Die Straßenverkehrsordnung (StVO) [5] unterscheidet durch Ge- und Verbotsschilder zwischen

- Fahrradfahrer
- Mofas (bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit < 25 km/h)
- Krafträder, auch mit Beiwagen, Kleinkrafträder und Mofas
- Kraftwagen und sonstige mehrspurige Kraftfahrzeuge
- Kraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t, einschließlich ihrer Anhänger und Zugmaschinen, ausgenommen Personenkraftwagen und Kraftomnibusse



wobei für Lastkraftwagen durch das Zusatzschild  noch eine Unterteilung in solche mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über und unter 7,5t gemacht wird.

Durch Zusatzschilder können zusätzlich

- Wohnmobile
- Sattelschlepper
- Kraftomnibusse
- Kraftfahrzeuge und Fahrzeuge die nicht schneller als 25km/h fahren dürfen
- militärische Kettenfahrzeuge



unterschieden werden.

Die meisten Fahrzeuge könnten hierbei aufgrund ihrer technischen Daten eingeteilt werden, die wichtigsten Kriterien hierbei sind Spuranzahl (Kraftrad/mehrspuriges Kraftfahrzeug), zulässiges Gesamtgewicht, Sitzplatzanzahl und bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit. Nur der Status Wohnmobil, Sattelschlepper und militärisches Kettenfahrzeug wäre darüber nicht ermittelbar.

Zur Vereinfachung für den Benutzer ist es aber durchaus sinnvoll, mehrere der durch die Kombination der obigen Klassifizierung gebildeten Klassen unter einer Klassifizierung zusammenzufassen, die ausreichend ist um allein anhand dieser Angabe in den meisten Fällen eine korrekte Route bestimmen zu können und im Bedarfsfall dann durch genauere Informationen routenplanungstechnisch weiter unterteilt werden kann. Eine denkbare Einteilung wäre beispielsweise:

- Fahrrad
- Kraftrad Weiter unterteilt nach Motorleistung, Hubraum und bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit.
- PKW Merkmal Wohnmobil auswählbar
- LKW Weiter unterteilt nach zulässigem Gesamtgewicht, Merkmal Sattelschlepper auswählbar
- Omnibus Weiter unterteilt nach Sitzplatzanzahl.
- Traktor Weiter unterteilt nach bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit, die Merkmale „land-/forstwirtschaftliche Zugmaschine“, „selbstfahrende Arbeitsmaschine“ und „Stapler“ könnten unterteilt werden.

Militärische Kettenfahrzeuge werden nicht mitbetrachtet.

Diese Klassifizierung kann natürlich, wenn der Nutzer nicht den Bestimmungen entsprechende Angaben macht, korrigiert werden. Der Nutzer sollte bei der Eingabe darauf hingewiesen werden, dass

beispielsweise ein Geländewagen oder Kleinbus mit mehr als 3,5t zulässigem Gesamtgewicht als LKW klassifiziert werden muss.

Um die Fahrerlaubnis eines Nutzers zu speichern, können die Klassen des Führerscheins [8] übernommen werden.

Weitere Fahrzeugeigenschaften

Um das Fahrzeug bei der Routenwahl korrekt berücksichtigen zu können, müssen alle die Streckenauswahl einschränkende Eigenschaften angegeben sein. Dazu zählen in erster Hinsicht die physischen Eigenschaften, die eine Durchfahrt an einigen Stellen unmöglich machen, wie die Abmessungen des Fahrzeugs. *Länge*, *Breite* und *Höhe* müssen zumindest auf Zentimeter genau, optional millimetergenau, wie im Fahrzeugschein, angegeben werden können. Auch das *aktuelle Gewicht* des Fahrzeugs (in kg) kann an einigen Stellen eine Beschränkung sein, wobei es sich direkt aus dem *Leergewicht* des Fahrzeuges und dem Gewicht der Ladung errechnen lässt. Das *zulässige Gesamtgewicht* ist für die Klassifizierung des Fahrzeuges und damit auch für die Wegwahl mitbestimmend und kann außerdem als obere Schranke bei der Überprüfung von Einschränkungen des aktuellen Gewichtes genutzt werden sowie zur Überprüfung einer eventuellen Überladung des Fahrzeuges. Ein Fahrzeug mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 1550kg sollte in keinem Fall von einer Gewichtsbeschränkung einer Brücke auf 2,8t betroffen sein. Die *zulässige Achslast* kann auch, wie das zulässige Gesamtgewicht, als obere Schranke für die *aktuelle Achslast* betrachtet werden, die auf einigen Strecken Einschränkungen definiert. Über die *Achsenanzahl* sowie deren Positionierung ließe sich die *aktuelle Achslast* näherungsweise berechnen, auch wenn die Positionierung der Ladung darauf einen wesentlichen Einfluss hat. Diese könnte sowohl für die Routenplanung als auch für einen Beladungsplan des Fahrzeuges genutzt werden.

Die *bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit* kann zur Optimierung der Zeitaufwandsberechnung genutzt werden und ist bei einigen Fahrzeugarten zur genaueren Klassifizierung, wie auch die *Motorleistung* (angegeben in kW oder PS), nötig. Diese könnte auch in Relation zu dem Gewicht des Fahrzeuges benutzt werden, um auf einigen Strecken wie beispielsweise Steigungen oder geschwindigkeitsunbeschränkten Autobahnen die effektiv erreichbare Geschwindigkeit eines Fahrzeuges zu schätzen.

Weiterhin beeinflusst für Krafträder der *Hubraum* (in ccm) und für Kraftwagen die Sitzplatzanzahl die Klassifizierung des Fahrzeuges. Für Kraftwagen kann die Einteilung als Wohnmobil und für Lastkraftwagen der Status Sattelschlepper weitere Änderungen der Einschränkungen mit sich bringen und sollte deshalb festlegbar sein.

Um festzustellen, ob und welche Anhänger an ein Fahrzeug angehängt werden können, muss das *Vorhandensein einer Anhängerkupplung* und die *zulässige Anhängelast* für sowohl aktiv mit eigens ansteuerbarer oder Auflaufbremse versehene „gebremste“ Anhänger und „ungebremste“ Anhänger

ohne jegliche eigene Bremsvorrichtung bekannt sein. Die *maximale Stützlast* beschränkt auch die zulässigen Anhänger für ein Fahrzeug.

Schließlich ließen sich durch weitere Informationen, wie zulässige *Höchstgeschwindigkeit*, *Größe* und *Art der Ladefläche*, *Verbrauch*, *Verschleißkosten* sowie *Anzahl* und *Position der Antriebsachsen* das Routing je nach Anforderungen optimieren oder zusätzliche Dienste wie etwa Beladungsplanung implementieren.

2.1.2 Anhänger

Prinzipiell darf an jedes Fahrzeug ein Anhänger angehängt werden, an land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen bis zu zwei, solange die zulässige Gesamtlänge für Fahrzüge nicht überschritten wird. Allerdings wird für Beschränkungen durch die StVO [5] ein vorhandener Anhänger immer mitbetrachtet. So gelten Gewichts- und Längenbeschränkungen für ziehendes Fahrzeug zuzüglich dem Anhänger, für Breite und Achslast ist das Maximum der Kombination zu betrachten, für die zulässige Höchstgeschwindigkeit das Minimum. Zur vollständigen Berücksichtigung eines Anhängers müssen also auch Informationen über *Länge*, *Breite* und *Höhe* bekannt sein, sowie Angaben über das *zulässige Gesamtgewicht* und das *Leergewicht*, die sowohl für die Streckenbeschränkungen der Fahrzeug/Anhänger-Kombination relevant sind, aber auch mitbestimmen, ob ein Anhänger überhaupt an ein bestimmtes Fahrzeug gehängt werden darf oder ob ein Fahrer diese Kombination führen darf. Die *bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit* eines Anhängers kann die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Zuges beschränken und die *Bremsart* eines Anhängers mitbestimmen, welches Zugfahrzeug ihn ziehen darf. Dabei ist entscheidend, ob der Anhänger eigene Bremsen besitzt, die den gesetzlich festgelegten Bestimmungen genügen oder nicht.

Über die *Achsenanzahl* und die Zuladung des Anhängers könnten *Achslast* und *Stützlast* näherungsweise ermittelt werden, zusätzlich hat die Achsenanzahl des Gespannes einen Einfluss darauf, welche Fahrerlaubnis zum Führen notwendig ist. Wie auch bei dem ziehenden Fahrzeug könnten mit weiteren Informationen über die Ladefläche zusätzliche Optimierungsdienste angeboten werden.

2.1.3 Ladung

Die Ladung kann auch für die Routenwahl mitentscheidend sein. Offensichtlich ist, dass das *Gewicht* der Ladung einen direkten Einfluss auf das Gesamtgewicht des Fahrzeugs und dessen Achslast hat. Die Abmessungen der Ladung bestimmen, ob eine Ladung in den Laderaum des Fahrzeugs passt, oder über den Rand des Fahrzeugs hinausragt, und somit die effektive *Länge*, *Breite* oder *Höhe* ändert. Relevant hierfür wären ebenfalls Länge, Breite und Höhe der Ladung, wobei Länge und Breite eventuell vertauschbar sind da die Ausrichtung der Ladung zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs nicht unbedingt festgelegt sein muss. Für eine Ladeplanung sind die *Stapelfähigkeit* und *Belastbarkeit*

ausnutzbar, da auf flache Metallkisten durchaus weitere Ladungsstücke gestapelt werden können, eine Palette mit Eierkartons hingegen darunter leiden wird, wenn schwere Kisten darauf gestellt werden.

Auf einigen Strecken besteht ein Durchfahrtsverbot für kennzeichnungspflichtige Kraftfahrzeuge mit gefährlichen Gütern, wobei nach [7] gilt:



- Gefährliche Güter sind die Stoffe und Gegenstände, deren Beförderung auf der Straße nach § 2 Abs. 1 Nr. 2 der Gefahrgutverordnung Straße (GGVS) [4] in Verbindung mit den Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens über die internationale Beförderung auf der Straße (ADR) verboten oder nur unter bestimmten Bedingungen gestattet ist. Die Kennzeichnung von Fahrzeugen mit gefährlichen Gütern ist in Randnummer 10500 des Teils 1 und den auf die Endziffern 500 lautenden Randnummern des Teils II der Anlage B zum ADR geregelt.

oder ein Durchfahrtsverbot für Fahrzeuge mit wassergefährdender Ladung, die in [7] wie folgt definiert sind:



- Wassergefährdende Stoffe sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, insbesondere
 - Säuren, Laugen.
 - Alkalimetalle, Siliziumlegierungen mit über 30 Prozent Silizium, metallorganische Verbindungen, Halogene, Säurehalogenide, Metallcarbonyle und Beizsalze,
 - Mineral- und Teeröle sowie deren Produkte,
 - flüssige sowie wasserlösliche Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ester, halogen-, stickstoff- und schwefelhaltige organische Verbindungen,
 - Gifte,die geeignet sind, nachhaltig die physikalische, chemische oder biologische Beschaffenheit des Wassers nachteilig zu verändern.

Daher müssen die Informationen *gefährliches Gut* bzw. *wassergefährdende* Ladung entweder aus einer Menge vordefinierter Ladungstypen (wie etwa „008a Schwefelsäure“) ableitbar sein oder explizit zu jeder Ladung definierbar sein. Vordefinierte Ladungstypen hätten den Vorteil, dass je nach Rechtsraum anders klassifizierte Ladungen entsprechend behandelt werden könnten. Denkbar wäre beispielsweise, dass Schwefelsäure in Deutschland zwar als wassergefährdendes Gefahrgut klassifiziert ist, in der Schweiz jedoch nur als anderweitig kennzeichnungspflichtige Ladung und nicht als eingeschränktes Gefahrgut.

Von dem Sonntagsfahrverbot für LKW [6] ist die Beförderung von

- a) frischer Milch und frischen Milcherzeugnissen
- b) frischem Fleisch und frischen Fleischerzeugnissen
- c) frischen Fischen, lebenden Fischen und frischen Fischerzeugnissen

d) leichtverderblichem Obst und Gemüse

ausgenommen, daher muss eine Möglichkeit gegeben sein, aus der Ladung selber abzuleiten, dass diese Ausnahme gerechtfertigt ist, oder das Attribut „vom Sonntagsfahrverbot ausgenommen“ festlegbar sein.

2.1.4 Fahrt

Eine Fahrt ist prinzipiell grob festgelegt durch Start- und Zielpunkt, eventuelle eingeplante Zwischenstopps sowie den Abfahrts- oder gewünschten Ankunftszeitpunkt. Von den Zeitpunkten ist hauptsächlich die zu erwartende Verkehrslage abhängig, im Berufsverkehr um große Ballungsräume ist ein Fortkommen deutlich schwieriger als nachts auf leeren Autobahnen. Auch Ferienanfänge in bestimmten Gebieten bewirken meist ungünstige Verkehrssituationen. Zudem existieren auch zeitabhängige Verbote, zum Teil ist es Kraftfahrzeugen beispielsweise nachts verboten, in Krankenhausbereichen zu fahren. Für LKW besteht ein Sonntagsfahrverbot [6] zwischen 7-22 Uhr, von dem allerdings beispielsweise Transporte von frischen Lebensmitteln ausgenommen sind.

Dem Zweck einer Fahrt lassen sich nicht viele unmittelbare Eigenschaften zuordnen. Für einige Fahrtstypen, wie z.B. einen Gefahrguttransport gelten zwar bestimmte Einschränkungen [4], z.B. dass Autobahnen bevorzugt benutzt werden müssen, selbst wenn die Gesamtstrecke dadurch deutlich länger wird. Auch sind bestimmte Fahrtstypen, wie z.B. der „kombinierten Güterverkehr Schiene-Straße vom Versender bis zum nächstgelegenen geeigneten Verladebahnhof“ vom Sonntagsfahrverbot ausgenommen, solange die Gesamtstrecke 200 km nicht überschreitet.

Alle anderen Faktoren hingegen hängen auch von Fahrer und benutztem Fahrzeug ab und sind meist eine Abwägung zwischen realen entstehenden Kosten und Zeitaufwand. Zwar wird oft ein Motorradfahrer auf einem Sonntagsausflug kleinere Straßen in landschaftlich schönen Gegenden einer Autobahn vorziehen, muss es jedoch nicht immer tun. Selbst wenn ein bestimmter Motorradfahrer immer die gleiche Entscheidung fällt, kann dies nicht allgemeingültig für einen Fahrtstyp angenommen werden.

2.1.5 Fahrer

Von dem Benutzer eines Fahrzeugs hängen nicht viele Daten unmittelbar ab. Seine Fahrerlaubnis wird nicht von dem benutzten Fahrzeug beeinflusst. Ein Fahranfänger wird eventuell stark befahrene große Kreuzungen vermeiden wollen, egal welches Fahrzeug er benutzt, andererseits könnte ein Nutzer auch Fahranfänger mit einem Fahrzeug, hingegen schon Fortgeschrittener mit einem anderen sein. Alle anderen nutzerabhängigen Daten, im Prinzip seine persönlichen Präferenzen, können jedoch von dem benutzten Fahrzeug abhängen. So könnte ein Nutzer beispielsweise mit Motorrädern gefährliche Straßen wie Autobahnen lieber meiden, mit einem LKW jedoch bevorzugen, da dort weniger Brems- und Beschleunigungsmanöver notwendig sind. Auch das Fahrverhalten (nutzt der Fahrer die erlaubte

Geschwindigkeit aus oder fährt er konstant) kann bei gleichem Nutzer sowohl vom Fahrzeug als auch vom Zweck der Reise abhängen.

Auch die Entscheidung nach welchen Kriterien bei mehreren Routen die „bessere“ ermittelt wird, hängt zwar nicht nur am Nutzer, ist aber definitiv nutzerabhängig, da z.B. ein Nutzer evtl. lieber 1h auf der Autobahn wartet bis sich ein Stau aufgelöst hat, statt in dieser Zeit den Stau auf Landstraßen zu umfahren, auch wenn sich keine reale Zeitersparnis dadurch ergibt.

2.1.6 Fahrprofile

Letztendlich können die Präferenzen für jede Routenanfrage völlig individuell sein und lassen sich nicht alleine durch Angabe von allgemeinen Nutzer- oder Fahrteinstellungen bestimmen. Allerdings ist es durchaus denkbar, dass ein Nutzer mehrere Anfragen mit den gleichen persönlichen Präferenzen stellt, bzw. für einzelne Abfragen nur leicht variiert. Daher bietet es sich an, auf Nutzer-Ebene verschiedene Profile zu speichern, die jeweils die grundlegenden Eigenschaften einer Anfrage definieren, wie

- bevorzugte bzw. zu benutzende Streckenarten,
- individuelle Geschwindigkeitspräferenzen,
- Optimierungsparameter

Die Optimierungsparameter müssen hierbei zumindest den Wert, nach dem die Strecke optimiert werden soll festlegen und im erweiterten Fall auch die Funktion oder Parameter hierfür angeben.

2.1.7 Routingkriterien

Die typischen Anfragen an ein Routenplanungssystem sind die Fragen nach der kürzesten oder schnellsten Strecke. Auch wenn hierbei einige Faktoren miteinbezogen werden können, lässt sich diese Funktionalität recht einfach implementieren, da Streckenlänge bzw. Zeitkosten für verschiedene Routen direkt vergleichbar sind, auch wenn die für eine Route benötigte Zeit von wesentlich mehr Faktoren abhängt als die statisch festgelegte Länge. Die günstigste Route zu bestimmen ist bereits schwieriger, da allein schon mautpflichtige Strecken einen Nutzer vor die Wahl stellen, ob die Zeit- oder Streckenersparnis die Kosten für diese Strecke wert sind.

Um alle diese Faktoren bei der Planung zu berücksichtigen, wäre es möglich, statt der Länge oder der Zeit die Kosten einer Strecke zu vergleichen, die abhängig von den Benutzerpräferenzen berechnet werden könnten. Dabei müssten auf jeden Fall Zeit, Strecke und Nutzungsgebühren berücksichtigbar sein. Um die Faktoren vergleichbar zu machen, muss eine gemeinsame Einheit gefunden werden, z.B. Geld und für alle anderen Faktoren eine Kostenfunktion definiert werden wie EUR/km oder EUR/h. Diese können dann hierüber auch entsprechend gewichtet werden. Damit ließen sich dann individuell

bestimmen welche Strecke am günstigsten ist, aber auch alle einfacheren Funktionen wie „kürzeste“ oder „schnellste“ Strecke wären durch geeignete Kostenfunktionen realisierbar.

Die einfachste Möglichkeit wäre es hier, einfach die Gesamtkosten über

$$\text{Kosten} = t * c_{\text{Zeitdauer}} + k * c_{\text{Streckenlänge}} + m * c_{\text{Gebühren}}$$

mit über $c_{\text{Zeitdauer}}$ und $c_{\text{Streckenlänge}}$ gewichtbaren zeit- und streckenabhängigen Kosten zu definieren. Über die Festlegung von $c_{\text{Gebühren}}$ auf 0 oder 1 kann festgelegt werden, ob Maut oder sonstige Gebühren berücksichtigt werden sollen, wobei weiterhin eine Unterscheidung von streckenabhängigen Kosten (Maut, Fährkosten) und Pauschalen (Autobahn-Vignette in Österreich oder der Schweiz) gemacht werden kann.

Andererseits wäre es auch denkbar, die Kosten nach Streckenart zu modifizieren (man fährt lieber 100km auf zweispurigen Schnellstraßen oder Autobahnen als 90km auf engen Kreisstraßen, selbst wenn die zweite Alternative schneller und/oder kürzer ist) oder Abbiegemanöver, die die Wegbeschreibung komplizierter machen, mit Kosten zu versehen, so dass „schräg links, nach 50m rechts, nächste links, nach 100m wieder rechts, an der dritten Ampel rechts“ auch wenn es kürzer und schneller ist als „dem Straßenverlauf folgen, dann beim Casino links abbiegen und bis zum Straßenende durchfahren“ als günstigere Möglichkeit identifizierbar ist.

Auch vorstellbar wäre, dem Nutzer die Eingabe einer völlig individuellen Funktion zu erlauben, und alle möglichen Parameter als Variablen hierbei zur Verfügung zu stellen.

2.1.8 Optimierungsprobleme mit Randbedingungen

In einigen Fällen lässt sich auch nicht einfach in einem direkten Verfahren der ideale Weg bestimmen. Ein Spediteur, der einen Termin einhalten muss, will nicht unbedingt die schnellste oder kürzeste Strecke von einem Ort zum anderen finden, sondern beispielsweise die billigste auf der er seine Terminvorgaben noch einhalten kann. Für einen Gefahrguttransport z.B. sind vorzugsweise Autobahnen zu benutzen, hierbei müsste die Länge der nicht auf der Autobahn zurückgelegten Strecke minimiert werden, solange die Gesamtstrecke nicht mehr als das Doppelte der kürzesten Strecke beträgt. Während die Optimierung nach einem Kriterium durch einfache direkte Verfahren wie etwa den Dijkstra-Algorithmus (siehe 3.6.8) mit polynomiellm Aufwand lösbar ist, ist eine Maximierung bzw. Minimierung unter Randbedingungen ein wesentlich komplexeres Problem und erfordert Verfahren, die entweder mit exponentiellen Aufwand optimale Lösungen berechnen können oder Algorithmen, die nur Näherungslösungen liefern. Um beispielsweise die kürzeste Strecke, die in einer gewissen Zeit befahrbar ist zu finden, könnte etwa eine Kostenfunktion definiert werden, die sowohl Strecke als auch Zeit bewertet. Dann müsste schrittweise die Gewichtung der Zeit erhöht werden, solange die gefundene Lösung die Zeitbeschränkung nicht einhält.

2.2 Personalisierung

Für eine individuelle Anfrage an ein Routenplanungssystem können eine Fülle von Informationen angegeben werden, die auch einen wesentlichen Einfluss auf die Routenwahl haben. Da viele Nutzer ein Routenplanungssystem mehr als einmal benutzen werden und auch eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass viele Punkte der Anfragen übereinstimmen, sollte ein Benutzer häufig benötigte Eingaben speichern und leicht wieder abrufen können.

2.2.1 Daten pro Nutzer / Nutzergruppe

Ein Nutzer eines solchen Systems wird häufig dasselbe Fahrzeug oder zumindest eine beschränkte Fahrzeugauswahl benutzen. Auch einige Start- bzw. Zielpunkte werden öfters Teil der Anfrage sein, eine Spedition wird als Ausgangspunkt einer Tour meistens ihren Fuhrpark haben. Auch individuelle Präferenzen für die Routenauswahl werden bei einem Benutzer oft gleich oder zumindest abhängig von dem ausgewählten Fahrzeug ähnlich sein. Ein Nutzer sollte daher bestimmte Fahrzeuge und Fahrtprofile individuell speichern können.

Für die Mitglieder einer Benutzergruppe, wie beispielsweise den Mitarbeitern einer Spedition oder eines Busunternehmens oder den Mitgliedern eines Car-Sharings, wäre es hingegen auch sinnvoll, wenn die ihnen über diese Mitgliedschaft zur Verfügung stehenden Fahrzeuge zentral von einer Person verwaltet werden könnten, statt von jedem einzeln. So könnte der Verwalter eines Car-Sharing-Fuhrparks problemlos neue Fahrzeuge zur Verfügung stellen und jeder Nutzer des Systems könnte diese dann bei seiner persönlichen Planung berücksichtigen.

Zusätzlich wäre es für Einmalbenutzer, die nur eine grobe Anfrage stellen wollen hilfreich, wenn sie einfach und schnell grobe Richtlinien festlegen könnten, um schnell eine hinreichend gute, wenn auch nicht optimale Lösung zu erhalten, ohne detaillierte Angaben machen zu müssen. Eine Auswahl von „Kleinlaster“ und „schnellste Route“ z.B. könnte allen Nutzern des Systems bereits voreingestellt zur Verfügung stehen.

2.2.2 Standard-Fahrzeuge

Für jede Fahrzeugklasse sollte ein Standardfahrzeug verfügbar sein, das ein Nutzer entweder für eine grobe Anfrage benutzen kann oder als Grundlage zur Individualisierung seines Fahrzeuges nehmen kann, ohne alle Daten herausfinden zu müssen.

Für einige Klassen würde es sich allerdings anbieten, weitere Standard-Fahrzeuge zu definieren, da z.B. technisch gesehen auch Kleinbusse wie ein Mercedes Sprinter in die Klasse PKW gehören, aber im Gegensatz zu einem durchschnittlichen Sportwagen doch zu hoch für manche Unterführungen sein können.

In der LKW-Klasse könnten beispielsweise die Standards „Kleinlaster“, „LKW > 7,5t“ und „Sattelschlepper“ vordefiniert sein, für die dann Durchschnitts- oder Maximalwerte für die verschiedenen Eigenschaften definiert sein könnten.

2.2.3 Datenhaltung

Damit die persönlichen Daten eines Nutzers bei der nächsten Nutzung wieder verwendbar sind, müssen diese gespeichert werden. Dabei stellt sich zuerst die Frage, welche Nutzer wie auf das System zugreifen. Wenn ein Nutzer ausschließlich von seinem eigenen Computer das System nutzt, können alle Daten lokal auf diesem Rechner gespeichert werden. Für die temporäre Nutzung auf einem anderen Rechner könnte eine Import/Export-Funktion implementiert werden und die zusätzlichen Daten nach Nutzung wieder aus dem System entfernt werden.

Wenn aber mehrere Nutzer an einem System arbeiten, stellt sich bereits die Frage, ob jeder Nutzer alle Daten zur Verfügung haben soll, oder jeder nur seine eigenen. Im zweiten Fall müssten die Daten nutzerspezifisch abgespeichert werden, beispielsweise in einer gesonderten Datei pro Nutzer oder mit einem Nutzer-Feld versehen in einer Datenbank. Bereits hier stellt sich die Frage der Datensicherheit, da nicht jeder jedem anderen den Zugriff auf seine persönlichen Daten erlauben möchte. Eine Sicherung der Daten gegen fremde Zugriffe durch Passwortschutz und Verschlüsselung bietet sich an. Eine Nutzerauthentisierung für das komplette System könnte gleichzeitig diese Funktionalität übernehmen und zusätzlich Möglichkeiten bieten, bestimmten Nutzern einige erweiterte Funktionen vorzuenthalten. So könnte beispielsweise der Chef einer Spedition seinen Mitarbeitern Zugriff auf das Routenplanungssystem erlauben, aber verbieten, andere Fahrzeuge als die speditionseigenen zur Planung zu nutzen.

Um gemeinsam genutzte Daten zu ermöglichen, müssen alle Nutzer, denen diese Daten zur Verfügung stehen sollen, auch Zugriff auf ein gemeinsames Medium haben, auf dem diese Daten gespeichert sind. Um beispielsweise den zentral verwalteten Fuhrpark eines Car-Sharing-Unternehmens zu implementieren, könnte dieses seinen Kunden alle Daten über seine Fahrzeuge zur Verfügung stehen. Dabei könnte die Autorisation und Verteilung vom Routenplanungssystem unabhängig beispielsweise über einen Web-Download und eine Import-Funktion des Systems geregelt werden, oder in diesem die Funktionalität zum Importieren von Daten auf speziell dafür eingerichteten Servern implementiert werden. Möglicherweise wäre es hierbei auch hilfreich, wenn diese importierten Daten als schreibgeschützt markierbar sind.

Schließlich ist noch eine zentrale Datenhaltung auf einem Server beispielsweise des Diensteanbieters denkbar. Dies hätte den Vorteil, dass für jeden Nutzer auf jedem System alle seine Daten verfügbar wären. Auch Nutzergruppen wären einfach implementierbar, durch die Authentifizierung des Nutzers könnte das System direkt seine Gruppenzugehörigkeiten bestimmen und dementsprechend Zugriff auf alle ihm verfügbaren Daten bieten. Nachteilig hierbei wäre einerseits, dass der Diensteanbieter eine

große Menge an Daten zu speichern hätte, die sich sonst auf viele einzelne Systeme verteilt, und andererseits, dass ein Nutzer eine große Menge gesammelter persönlicher Informationen einem fremden, eventuell nicht vertrauenswürdigen Service anvertrauen müsste. Ein Spediteur müsste für eine einfache Nutzung beispielsweise seinen kompletten Fuhrpark, Adressdaten seiner Stammkunden und eventuell interne Kostenschätzungen, die für die Routenwahl benutzt werden auf dem entfernten System speichern. Ein Konkurrent, der an diese Daten gelangt, z.B. weil er diesen Dienst betreibt, könnte daraus erhebliche Vorteile ziehen.

2.3 Nutzung der erweiterten Informationen

Nur das Übermitteln weiterer Informationen über Fahrzeug, Fahrer und Sonstiges allein nützt nicht viel. Diese Informationen müssen von dem Routenplanungssystem auch entsprechend verwertet werden.

2.3.1 Einbinden der Informationen

Mit den übergebenen Daten kann ein Routenplanungssystem die individuelle Route für eine Anfrage ermitteln. Für jede bei der Planung berücksichtigte Strecke müssen die Einschränkungen von Fahrzeug, Ladung und Fahrprofil überprüft werden, dazu muss über die Strecke bekannt sein, ob und welche Einschränkungen auf ihr definiert sind.

Das System muss dann entscheiden, ob diese Strecke bei der Planung mit einbezogen wird, eventuell auch nur als teurere Alternative, oder ob die Benutzung komplett ausgeschlossen ist. Wichtig hierbei ist natürlich, dass für die zugrunde liegenden Strecken auch alle diese Informationen bekannt sind. Dazu zählt, welche Fahrzeugtypen die Strecke nutzen dürfen und welche Einschränkungen hinsichtlich der maximalen Höhe, Breite, Gewicht und ähnlichem bestehen und ob bestimmte Ladungstypen verboten sind.

Wenn die entsprechenden Daten über das Fahrzeug oder die Ladung nicht bekannt sind, können alle auf der Strecke vorhandenen, nicht überprüfbaren Beschränkungen bei der Ausgabe der Route als Warnhinweis mit ausgegeben werden, wohingegen fehlende Daten über die Strecke die sichere Routenplanung unmöglich machen.

2.3.2 Kostenfunktion

Eine der wichtigsten Entscheidungen hierbei ist, wann und ob eine Strecke für ein Fahrzeug als unpassierbar deklariert wird. Wenn eine Strecke für einen Fahrzeugtyp oder Ladungstyp verboten ist, ist diese Entscheidung eindeutig. Für Beschränkungen hinsichtlich der Abmessungen ist diese Entscheidung jedoch deutlich schwieriger, und hängt mitunter von den zugrunde liegenden Streckendaten ab. Eine straßenverkehrsrechtliche Höhenbeschränkung eines Tunnels wird sicherlich eine gewisse Toleranz einhalten, so dass ein Fahrzeug, das die erlaubten Maße nur leicht überschreitet,

diese Strecke evtl. doch nutzen könnte, vor allem wenn gerade bei Standard-Fahrzeugen die angegebenen Maße nicht unbedingt stimmen müssen. In diesem Fall würde eine Warnung, dass eine Beschränkung existiert und eine Überprüfung vor Fahrtantritt nötig ist, genügen oder es könnte zusätzlich eine Alternativroute für ein größeres Fahrzeug ermittelt werden.

Die reale Breite einer Durchfahrt hingegen schränkt die maximale Breite für durchfahrende Fahrzeuge auf deutlich weniger ein, da sicherlich kaum ein Fahrer perfekt hindurchmanövrieren kann. In diesem Fall müssten alle Fahrzeuge, die schmaler als Durchfahrtsbreite abzüglich einer bestimmten Toleranz sind als unbedenklich eingestuft werden, allen, die breiter sind, die Durchfahrt verwehrt und alle im Toleranzrahmen darauf hingewiesen werden, dass es für sie problematisch sein könnte. Bei einer erneuten bzw. angepassten Anfrage, könnten diese dann temporär die Breite des Fahrzeugs erhöhen, um diese Strecke auszuschließen.

In vielen Fällen ist es auch nicht unbedingt sinnvoll, jede Strecke mit in die Überlegungen miteinzubeziehen. Eine Stadtdurchfahrt kann zwar rein rechnerisch deutlich kürzer sein als die Nutzung der Umgehungsstrasse, die aber in den meisten Fällen deutlich schneller oder zumindest unkomplizierter sein wird. Sofern aber gewisse Strecken aus diesen Überlegungen ausgeschlossen werden, kann es vorkommen, dass plötzlich, wenn z.B. diese Umgehungsstrasse durch eine Baustelle gesperrt ist, im Routenplanungssystem keine Wege mehr vorhanden sind, obwohl real eine Strecke existiert. Ideal wäre es natürlich in diesem Fall eine Kostenfunktion zu benutzen, die eine optimale Verteilung des Verkehrs abhängig von der momentanen Auslastung aller verfügbaren Strecken garantiert.

Um die Zeitkosten für eine Strecke zu ermitteln, kann die für ein Fahrzeug erreichbare Geschwindigkeit für diese Strecke berücksichtigt werden, die sowohl von Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs und persönlicher Geschwindigkeitspräferenz des Fahrers abhängt, als auch von Streckeneigenschaften wie erlaubter Höchstgeschwindigkeit und Auslastung und zusätzlich auch von weiteren Abhängigkeiten wie das Leistung/Gewicht-Verhältnis des Fahrzeugs in Beziehung zu Steigung der Strecke und Beschleunigungsverhalten in Relation zu der Geschwindigkeit auf der vorherigen Strecke. Oder es wird vereinfacht das Minimum von Geschwindigkeitspräferenz des Fahrers, Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs bzw. des Anhängers und einem statistisch ermittelten Geschwindigkeitswert für die Strecke verwendet.

3 Umsetzung

Im folgenden Kapitel wird die Implementierung eines prototypischen Dienstes beschrieben. Dabei werden zu den verschiedenen Punkten jeweils eine der in Kapitel 2 beschriebenen Alternativen ausgewählt, erläutert weshalb andere Alternativen nicht gewählt wurden und mögliche Erweiterungen vorgestellt. In vielen Fällen ist die am einfachsten zu implementierende Variante verwirklicht, da der Sinn des prototypischen Dienstes eine prinzipielle Funktionsdemonstration und keine optimale Umsetzung ist.

3.1 Bestehende Strukturen

Im Rahmen des OVID-Projektes werden mehrere Verkehrssimulationswerkzeuge eingesetzt, an bzw. in die ein erweiterter Routing-Dienst eingebunden werden könnte. Für diese Arbeit ist VISUM als Grundlage gewählt worden, da es eine Simulation der Auslastung verschiedener Routen und somit eine Nutzung „aktueller“ Verkehrsdaten für den Routing-Service ermöglicht.

3.1.1 VISUM-Verkehrssimulation

VISUM ist ein Verkehrsinformations- und Planungssystem für Individual- und öffentlichen Verkehr der Firma PTV AG [10]. Über eine grafische Oberfläche können Verkehrsnetze bearbeitet, analysiert und bewertet, sowie mithilfe von Umlegungen und generierten Nachfragedaten Verkehrsauslastungen simuliert werden. Dadurch wird die Optimierung sowie Prognose der Wirkung geplanter Maßnahmen möglich. Unter anderem bietet das Programm eine integrierte Routensuchfunktion nach auswählbaren streckenabhängigen Werten.

3.1.2 Zusätzlich benötigte Daten

Die für eine Strecke vorgesehenen Daten in VISUM sind allerdings limitiert. Informationen wie Streckenlänge, erlaubte Verkehrsarten und Höchstgeschwindigkeiten sind editierbar, Einschränkungen bezüglich verschiedener Fahrzeugattribute wie etwa Länge, Breite oder Gewicht sind aber nicht vorgesehen, da der Verkehr auf Basis der Verkehrsart (PKW, LKW...) und nicht auf Basis individueller Fahrzeuge betrachtet wird. Geschwindigkeiten können nach Streckenart für die verschiedenen Verkehrsarten beschränkt sein (z.B. Landstraßen für LKW auf 80km/h und PKW auf 100km/h), und generell unabhängig von Strecken- und Verkehrstyp für den gesamten Individualverkehr, allerdings müssten für jede auftretende Straßenart und jede Geschwindigkeitskombination der definierten Verkehrsarten ein eigener Streckentyp definiert werden. Jede Fahrzeugart, für die eine individuelle Geschwindigkeits- oder Durchfahrtsbeschränkung existiert, müsste als eigenes Verkehrssystem simuliert werden. Wenn beispielsweise nur eine Strecke, auf der LKW mit über 7,5t zulässigem Gesamtgewicht auf 30km/h beschränkt sind, LKW unter 7,5t jedoch die erlaubten 80km/h fahren dürfen, korrekt berücksichtigt werden soll, muss das Verkehrssystem

LKW in die Verkehrssysteme „LKW über 7,5t zulässigem Gesamtgewicht“ und „LKW unter 7,5t Gesamtgewicht“ unterteilt werden. Eine Durchfahrtsbeschränkung für LKW über 5,5t realem Gewicht, würde wiederum jeweils eine Unterteilung dieser beiden Systeme in eines über 5,5t und unter 5,5t erfordern. Offensichtlich ist dies nicht praktikabel.

In dem Programm sind drei frei belegbare Felder je Strecke vorgesehen (ZWert1-3), die auch bei der Routenwahl als Kriterium ausgewählt werden können oder die als Linearkombination mit Zeit und Streckenlänge als Widerstand für Auslastungsberechnung und Routensuche benutzt werden können. Vergleiche und bitweise Operationen mit diesen Werten sind aber nicht möglich. So ließen sich etwa Beschränkungen bezüglich Höhe, Länge oder anderen Fahrzeugmerkmalen definieren, die in einem individuell festgelegten Format in den drei ZWert-Felder gespeichert werden könnten, die interne Routing-Funktion könnte diese jedoch nicht entsprechend berücksichtigen.

3.1.3 Externes Routing

Als Alternative bietet sich an, die einem VISUM-Verkehrsnetz zugrunde liegenden relevanten Daten zu exportieren und dann in einem eigenen System, das diese erweiterten Anforderungen unterstützt einzulesen und auszuwerten. Die in dem VISUM-Netz nicht vorliegenden Einschränkungen müssen hierbei natürlich noch zusätzlich definiert und dann auch in das eigene System eingegeben werden.

Für diese Arbeit wurde diese Variante gewählt und ein entsprechendes prototypisches System in Java implementiert.

3.2 Struktur des erweiterten Routenplanungssystems

Das in dieser Arbeit entwickelte Routenplanungssystem besteht aus einem Client, der die Benutzerinteraktion und Personalisierung übernimmt, und einem RoutingService, der für die Routenwahl unter Auswertung der angegebenen Parameter zuständig ist.

Abbildung 3-1 bietet einen Überblick über die Klassenstruktur des Clients. Der Hauptprozess ist die Klasse MainFrame, die aus den großteils unabhängigen Eingabemasken für Wegpunkte, Fahrzeug, Ladung und weiteren Routing-Optionen besteht, die in Kapitel 3.4 genauer beschrieben werden. Zusätzlich kennt ein MainFrame einen RoutingService, an den die Routing-Anfrage gestellt wird. Der TestRouter ist eine Beispielimplementierung eines solchen Services, der in dieser Arbeit zum Testen der Funktionalität entworfen wurde.

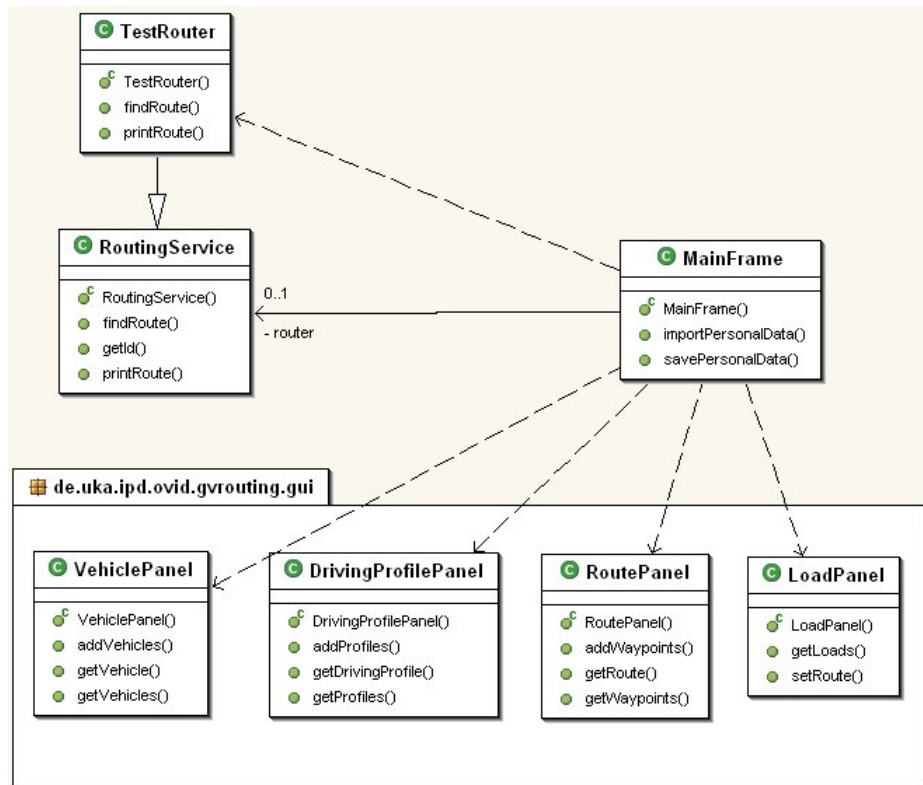


Abbildung 3-1: Klassenstruktur des Clients

Um die für eine erweiterte Routinganfrage nötigen Funktionsaufruf übersichtlich und erweiterbar zu halten, wurden die zu übermittelnden Daten in mehrere Datenobjekte gekapselt. Wie aus Abbildung 3-2 ersichtlich, müssen sowohl der Routing-Service als auch der Client die beidseitig genutzten Datenstrukturen Fahrzeug (Vehicle), Ladung (Load), und Fahrprofil (DrivingProfile) entweder erstellen oder auswerten können.

Abbildung 3-3 schließlich verdeutlicht den internen Aufbau des prototypischen Routing-Service, der in Kapitel 3.6 näher beschrieben wird. Die zugrunde liegende Verkehrsnetzstruktur wird in einer Matrix, die aus Strecken (Edge) und Verkehrsknotenpunkten (Vertice) besteht, gespeichert. Auf dieser Struktur kann dann ein Routingalgorithmus, wie z.B. der in Kapitel 3.6.8 beschriebene und hier verwendete Dijkstra operieren. Kapitel 3.6.4 erklärt die für die erweiterte Funktionalität eingeführten Restrictions, die jeder Strecke zugeordnet werden können.

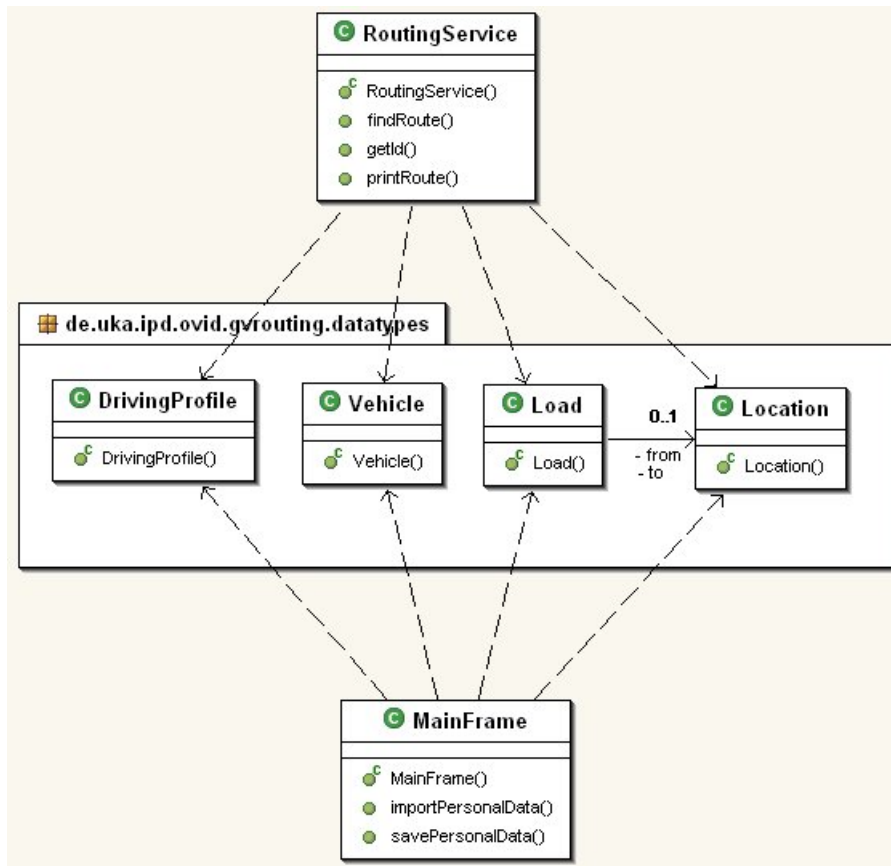


Abbildung 3-2: Gemeinsam genutzte Datenstrukturen

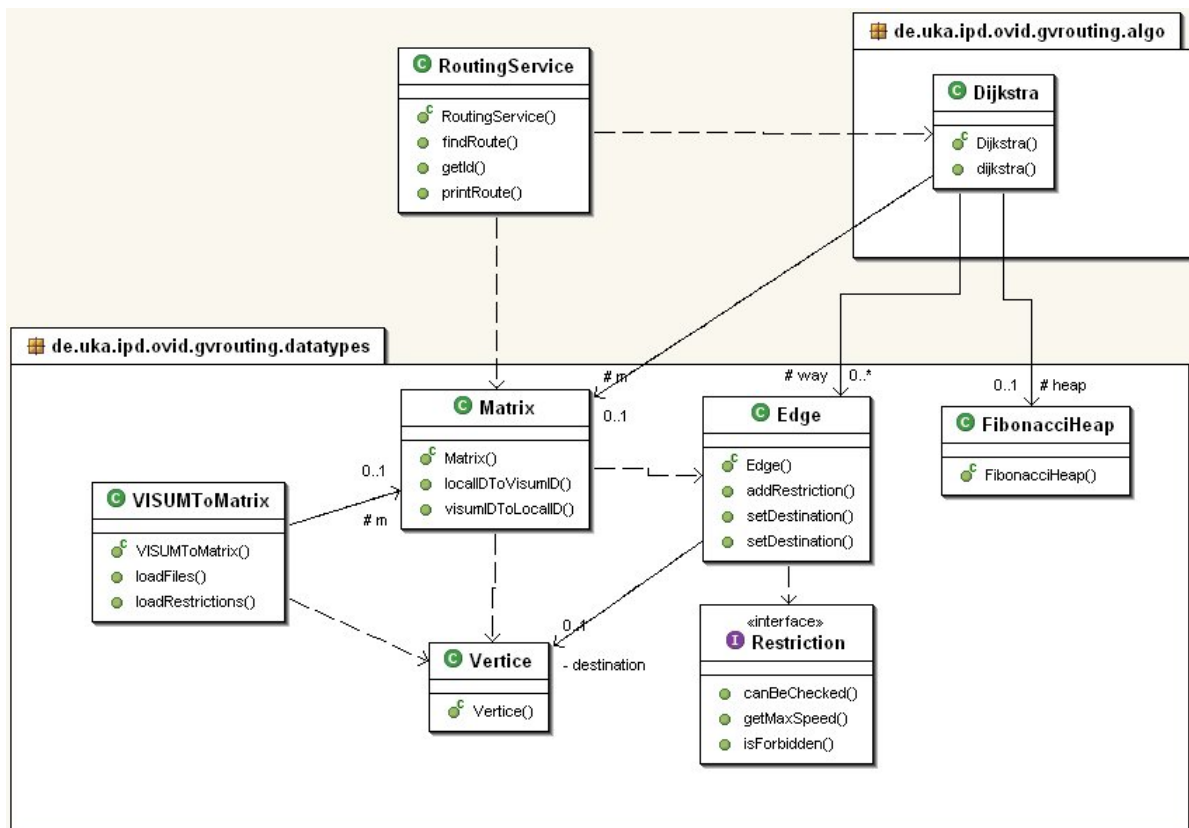


Abbildung 3-3: Aufbau des prototypischen Routing-Service

3.3 Datenstrukturen

Viele der in dieser Implementation benutzten Datentypen bieten nur eine beispielhafte, eingeschränkte Funktionalität, können aber problemlos erweitert werden. Im Folgenden werden die wichtigsten verwendeten Datentypen kurz vorgestellt und die für sie getroffenen Einschränkungen und Vereinfachungen erläutert.

3.3.1 Vehicle

Die datentechnische Repräsentation eines Fahrzeuges ist in der Implementierung eingeschränkt auf wenige beispielhafte Merkmale. Als typische beschränkte Eigenschaften sind Länge, Breite und Höhe definierbar sowie Leer- und zulässiges Gesamtgewicht, die bei einer Überprüfung als untere bzw. obere Schranke angenommen werden können, bzw. zusammen mit eventuellen Zuladungen das aktuelle Gewicht des Fahrzeuges definieren. Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeuges dient als eine der Schranken bei der Berechnung der für eine Strecke benötigten Zeit.

Alle diese Werte können in der vorliegenden Implementierung undefiniert sein und müssen nicht auf passende Minimal- oder Maximalwerte gesetzt werden. Daher wird in dieser Arbeit auch der Typ eines Fahrzeuges eingeführt, damit Beschränkungen für Fahrzeugklassen getestet werden können, ohne sich genauer um deren Definitionen zu kümmern. Im Idealfall mit entsprechend definierten Restrictions (siehe 3.6.4) könnte der Client je nach Typ-Angabe die dafür notwendigen Merkmale bei einem Fahrzeug setzen und der Routing-Service nur die wirklich geltenden Beschränkungen testen. Wenn ein Nutzer für ein Fahrzeug nur definiert, dass er einen LKW nutzen will, könnte der Client das Gesamtgewicht des Fahrzeuges, falls nicht genauer spezifiziert auf über 2,8t setzen sowie die Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h und der Service dann anhand der so gegebenen Werte eine Routenwahl treffen. Allerdings müsste man sich in diesem Fall Gedanken über ideale Standardwerte machen, da bei einer Festsetzung des Gewichtes auf den Mindestwert eventuell unzulässige Strecken mitbenutzt werden, während bei angenommenem Maximalwert nutzbare Strecken ausgeschlossen werden könnten. Alternativ können vollständige Angaben von Client bzw. Nutzer erwartet werden und typische Vertreter der verschiedenen Fahrzeugklassen mit vollständigen Angaben als Standardfahrzeuge (vergl. Kapitel 2.2.2) definiert werden.

Weiterhin könnte die Datenstruktur auf alle in Kapitel 2.1.1 erwähnten Fahrzeugeigenschaften erweitert werden.

3.3.2 Load

Für Ladungen sind in dieser Arbeit nur Gewicht und die Attribute „wassergefährdend“ und „Gefahrgut“ definiert.

Prinzipiell könnte die gesamte Behandlung der Ladung auf der Client-Seite gehalten werden und nur die relevanten Daten (Gesamtgewicht aller Ladungen, ob wassergefährdende Ladung oder Gefahrgut

darunter ist) an den Routing-Service übertragen werden. Eine Behandlung auf Server-Seite könnte aber, bei z.B. typisierten Ladungsbeschreibungen (beispielsweise 008a Schwefelsäure und schwefelsäurehaltige Verbindungen) eine unterschiedliche Behandlung in verschiedenen Rechtsräumen (bspw. EU, Russland) ermöglichen.

Um weitere Dienste wie eine Beladungsplanung zu integrieren, müsste die Datenstruktur um die in Kapitel 2.1.3 vorgeschlagenen Attribute erweitert werden.

3.3.3 DrivingProfile

Das Fahrprofil enthält in dieser Version nur Umrechnungsfaktoren, um die Fahrzeit in Stunden zu der Streckenlänge in km in ein Verhältnis setzen zu können. Beides wird auf eine gemeinsame Basis (hier EUR) umgerechnet, damit eine Erweiterung auf Berücksichtigung von Mautgebühren problemlos machbar ist.

Weitere Parameter, wie zu benutzende oder zu bevorzugende Streckentypen, einzurechnende Lenkzeitpausen bei LKWs und sonstige individuelle Präferenzen könnten als Erweiterung dieser Struktur implementiert werden.

3.3.4 Location

Eine Location enthält eine Adresse, bestehend aus Straßename, Hausnummer, Postleitzahl und Ortsangabe, mit evtl. zugehörigem Namen und wird in dieser Arbeit nur zur Speicherung der nutzerspezifischen Adressen genutzt.

Da ein für eine Routenwahl ein eindeutiger Start- und Zielpunkt notwendig ist, muss bei einer Adresse, insbesondere wenn sie unvollständig ist, eine Umsetzung der Adresse in eine eindeutige für das Routing nutzbare Kennung [siehe 3.6.6] erfolgen. Da der Routing-Service normalerweise keine direkte Nutzer-Interaktionsmöglichkeit hat, muss der Client diese Aufgabe übernehmen und eventuell auf unterstützende Funktionen des Routingservice, die beispielsweise eine Auswahl der zu einer Adressangabe passenden Punkte liefern, zurückgreifen.

3.4 GUI

Für eine individuelle Routenanfrage müssen von dem Benutzer einige Werte angegeben werden, andere sind optional. Die Funktion zum endgültigen Anfragen der Route sollte jederzeit verfügbar sein. Die einzugebenden Daten sollen logisch gruppiert und möglichst nach Wichtigkeit sortiert werden. Dafür bietet es sich an, verschiedene Eingabemasken für die unterschiedlichen Einflussfaktoren Route, Fahrzeug, Ladung und Fahrprofil zu definieren.

3.4.1 Die Route

Die wichtigsten Eingaben für eine Routenanfrage sind natürlich Start- und Zielpunkt. Ohne diese Angaben ist keine Planung möglich, andererseits sind diese Angaben unter Annahme gewisser Standardparameter ausreichend, da beispielsweise die Frage nach der kürzesten Strecke auch ohne Angaben zu Fahrzeug und/oder Ladung beantwortet werden kann.

The screenshot shows a software window titled "GVRouting Client Prototyp" with four tabs: "Route", "Fahrzeug", "Ladung", and "Fahrprofil". The "Route" tab is selected. The interface is divided into three main sections for defining route points: "Von:", "Über:", and "Nach:". Each section contains a dropdown menu labeled "neuer Ort...", a "Löschen ..." button, and a "Speichern ..." button. Below these are input fields for "Straße", "Nr.", "PLZ / ID", and "Ort". There are also "Zwischenstop einfügen" and "Zwischenstop entfernen" buttons. At the bottom of the window, there is a "Route suchen ..." button.

Abbildung 3-4: Routen-Eingabemaske

In der prototypischen Implementierung wird nur das Postleitzahl-Feld (PLZ/ID) zur Bestimmung des Start- bzw. Zielpunktes verwendet, trotzdem werden die restlichen Punkte wie Straße, Hausnummer und Ort mit angegeben und gespeichert. Über die Comboboxen können Adressen aus dem persönlichen Adressbuch ausgewählt und in die Eingabemaske übernommen werden und die aktuell eingegebene Adresse in diesem gespeichert werden.

Eine Erweiterung um eine Landeskennung und eine Anpassung der Adressfelder an ein eventuell anderes Adressformat wären bei einer international einsetzbaren Version nötig.

Abbildung 3-5: Fahrzeug-Eingabemaske

3.4.2 Das Fahrzeug

Die für ein Fahrzeug festlegbaren Attribute sind auf die gebräuchlichsten Angaben beschränkt. Die Maße sowie die Gewichte, die einen Einfluss auf die Routenwahl sowie der Typ des Fahrzeugs, standardmäßig ein PKW, sind änderbar. Auch diese Angaben können über eine Combobox aus dem persönlichen Fahrzeugpool übernommen oder die aktuellen Daten als neues Fahrzeug gespeichert werden. Dabei werden nicht oder falsch angegebene Werte als undefiniert betrachtet und bei der Routenplanung nicht berücksichtigt und nicht mit Standardwerten gefüllt.

Auch sind keine vordefinierten Fahrzeuge vorgesehen, da eine schnelle Klassifizierung über das Typ-Feld möglich ist. Wenn weitere Fahrzeugattribute angebar sind und das Fahrzeug durch die angegebenen Werte klassifiziert wird, wären typische Fahrzeuge der unterschiedlichen Klassen mit vollständig definierten Werten als Initialbelegung des persönlichen Fahrzeugpools sinnvoll.

Mögliche Erweiterungen hier wären die Möglichkeit zur Angabe weitere Attribute aus Kapitel 2.1.1, die Berücksichtigung eines Anhängers und eine Möglichkeit fremdverwaltete Fahrzeuge (wie z.B. den Fuhrpark eines Unternehmens) in die Liste der verfügbaren Fahrzeuge zu übernehmen.

3.4.3 Die Ladungen

Da Ladungen einerseits eher von Fahrt zu Fahrt unterschiedlich sind und zum anderen auch nicht viele Merkmale besitzen gibt es keine Möglichkeit diese über eine Anfrage-Sitzung hinaus zu speichern.

Eine Ladung besitzt nur ein Gewicht und die Attribute „Gefahrgut“ und „wassergefährdend“. Zusätzlich kann zur besseren Identifikation ein Name vergeben werden, sowie durch die Möglichkeit zum Einfügen von Zwischenstopps auf der Route ein Be- oder Entladeplatz auf der Route gewählt werden. Für eine Anfrage können beliebig viele Ladungen definiert werden, die auf den entsprechenden Teilrouten bei der Wegeplanung berücksichtigt werden.



Abbildung 3-6: Ladungs-Eingabemaske

Eine Überprüfung auf Überladung des Fahrzeuges oder eine generelle Klassifizierung von Ladungen und damit einhergehend eine automatische Festlegung des Gefahrgut- bzw. wassergefährdend-Status wären Erweiterungsmöglichkeiten für das System.

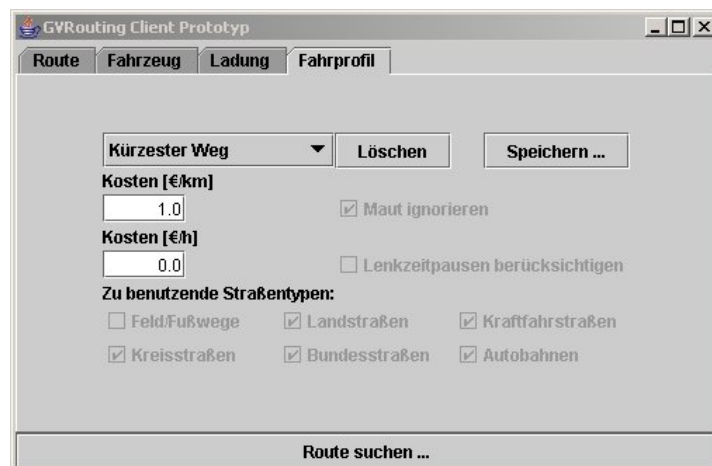


Abbildung 3-7: Fahrprofil-Eingabemaske

3.4.4 Das Fahrprofil

Ein individuelles Fahrprofil und damit effektiv eine Festlegung, nach welchen Kriterien die Routing-Entscheidungen getroffen werden sollen ist essenzieller Bestandteil einer Anfrage. Damit auch ohne Eingaben in dieser Maske eine Funktion des Clients sichergestellt ist, sind die Profile „Kürzester Weg“, bei dem ausschließlich die Länge der Strecke in die Kostenberechnung einbezogen wird und das Profil „Schnellste Route“, das ausschließlich die Zeit bewertet, fest voreingestellt, wobei „Kürzester Weg“, da dieses nicht von der Fahrzeugwahl beeinflusst wird, als Standard-Auswahl selektiert ist. Weitere persönliche Profile, die unterschiedliche Gewichtungen zwischen Zeit und Streckenlänge erlauben, können für einzelne Abfragen definiert und auch als persönliche Präferenz gespeichert werden.

3.5 Personalisierung

Die persönlichen Adressen, der persönliche Fahrzeugpool und die selbstdefinierten Fahrprofile sollten speicherbar und bei einer erneuten Verwendung des Clients wieder verwendbar sein. In dieser Arbeit wurden die Daten der Einfachheit halber in einem Java ObjectOutputStream gespeichert und aus diesem wieder ausgelesen, da das Hauptaugenmerk auf einer einfachen Funktionsdemonstration lag.

Die Nutzung einer lokalen oder entfernten Datenbank oder auch nur eine nutzerspezifische lokale Speicherung mit Nutzeridentifikation beim Starten des Clients, eventuell mit Passwortschutz könnte den Im- und Export von Daten, insbesondere von Vorgängerversionen mit anderen Datentypen erleichtern.

3.6 Der Routing-Service

Der Routing-Service bietet die eigentliche Funktionalität der Routenplanung. Seine Hauptfunktion ist definiert durch

```
public Vector findRoute(int source, int destination, Vehicle vhcl,
                       Vector loads, DrivingProfile drvpr)
```

Hierbei wird eine interne, eindeutige Identifikationsnummern als Start- und Zielvorgabe genutzt. Die Zuladungen werden als Vector von Loads (3.3.2) übergeben und der Rückgabewert ist eine Liste von Strecken, die durch die Datenstruktur Edge (3.6.3) modelliert sind.

Weiterhin bietet die Klasse eine Funktion zur Umsetzung einer Adresse auf eine eindeutige Knotenidentifikation, die allerdings, wie in Kapitel 3.6.6 weiter erläutert wird, nur eine simple Umsetzung der Postleitzahl in eine Knotenidentifikation leistet. Da bei nicht eindeutiger Adressangabe diese Umsetzung nicht möglich ist, müsste die Schnittstelle zum Client bei einem Dienst, der im Gegensatz zu dem hier implementierten eine echte Abbildung von Adressangaben auf Netzknoten leisten soll, um eine Funktion erweitert werden, die zu einer unvollständigen oder unkorrekten Adressangabe eine Auswahl an ähnlichen, im Netz existierenden Adressen liefert, aus denen der Client dann eine passende auswählen kann.

Der prototypische Dienst besitzt zudem eine Funktion printRoute mit der gleichen Signatur, die direkt die gefundene Route ausgibt und dabei im Verlauf der Routensuche mitberechnete Werte wie Gesamtstreckenlänge und –zeit nutzt. Bei einer echten Trennung zwischen Client und Service müsste der Client das Auswerten und die Ausgabe der zu benutzenden Strecken übernehmen und dabei eventuell einige Werte, insbesondere Summen über die Teilstrecken, neu berechnen.

3.6.1 Matrix

Das komplette Streckennetz wird in der internen Datenstruktur Matrix gehalten, die Kanten (Edge) und Knoten (Vertice) enthält, wobei die Kanten gerichtet und von einem Ausgangs- zum Zielknoten

eindeutig sind. Knoten sind über eine interne Nummerierung direkt adressierbar, Kanten über Quell- und Zielknoten-ID. Eine Umsetzung von der fortlaufenden internen Nummerierung auf von VISUM genutzte Identifikationsnummern und umgekehrt ist auch möglich. Um einen schnellen Zugriff ohne zu großen Speicherbedarf zu garantieren werden Kanten nach Quellknoten sortiert in einer Hashtabelle gehalten.

3.6.2 Vertice

Ein Knoten enthält in der Implementierung nicht viele Daten außer der Matrix-internen- und seiner von VISUM zugeordneten Identifikationsnummer. Ein Namensfeld zur intuitiveren Identifikation von Knoten ist vorgesehen, wurde aber in dieser Arbeit nicht genutzt. Zusätzlich wäre es denkbar, in jedem Knoten Adressdaten und weitere Informationen zu halten, allerdings wäre es bei einer datenbankgestützten Umsetzung von Adresse bzw. andersartiger Ortsbeschreibung wie „Hauptbahnhof“ oder „Autobahnkreuz Stuttgart“ leichter möglich, einem Knoten mehrere Beschreibungen zuzuordnen oder gar zu einer Beschreibung alternative Knoten zu finden.

3.6.3 Edge

Die Datenstruktur Edge repräsentiert eine Strecke mit definierter Länge von einem Quell- zu einem Zielknoten. Zusätzlich können auf einer Strecke beliebig viele Einschränkungen definiert sein, die durch die Datenstruktur Restriction modelliert sind. Zur Vereinfachung des Datenimports aus VISUM und um einen schnelleren Datenzugriff zu ermöglichen besitzen Edges noch die Attribute V_0 , die maximal für irgendein Fahrzeug erlaubte bzw. erreichbare Geschwindigkeit sowie V_{Akt} , die von VISUM bei der simulierten Auslastung prognostizierte erreichbare Geschwindigkeit. Prinzipiell ließen sich auch diese Beschränkungen über Restrictions modellieren.

3.6.4 Restriction

Für ein Fahrzeug sind auf einer Strecke generell zwei mögliche Einschränkungen denkbar:

- Das Fahrzeug darf/kann die Strecke nicht passieren.
- Das Fahrzeug kann/darf die Strecke nicht mit maximaler Geschwindigkeit passieren.

Um dies zu simulieren, und ein breites Spektrum an denkbaren Einschränkungen zu ermöglichen, können einer Strecke beliebig viele Restrictions zugeordnet werden, wobei eine Restriction als Interface über die Funktionen:

```
public boolean isForbidden(Vehicle vhcl, Vector loads)
public boolean canBeChecked(Vehicle vhcl, Vector loads)
public double getMaxSpeed(Vehicle vhcl, Vector loads)
```

definiert ist.

Die Funktion

```
public boolean isForbidden(Vehicle vhcl, Vector loads)
```

liefert `true` zurück, wenn die Strecke für die angegebene Kombination aus Fahrzeug und Zuladung definitiv nicht benutzbar ist, `false` in allen anderen Fällen, insbesondere auch wenn die Einschränkung nicht überprüfbar ist.

```
public boolean canBeChecked(Vehicle vhcl, Vector loads)
```

liefert `true` zurück, falls die Einschränkung prüfbar war, insbesondere natürlich auch, wenn `isForbidden` wahr ist. Diese Funktion kann dazu genutzt werden, um bei der Ausgabe der gefundenen Route auf bestimmte bestehende Einschränkungen hinzuweisen aber eindeutig nicht zutreffende herauszufiltern. Wenn ein 1,50m breites Fahrzeug für die Routenplanung angegeben ist, ist es nicht zwingend notwendig, bei der Ausgabe der Route darauf aufmerksam zu machen, dass eine Engstelle nur bis 2m Breite passierbar ist, wenn allerdings kein Fahrzeug spezifiziert ist oder dessen Breite nicht angegeben ist, sollte der Nutzer doch auf die Möglichkeit hingewiesen werden, dass die gewählte Route für ihn unpassend sein könnte.

```
public double getMaxSpeed(Vehicle vhcl, Vector loads)
```

dient dazu, Geschwindigkeitsbeschränkungen für individuelle Fahrzeuge bzw. Fahrzeugklassen zu definieren und sollte im unbeschränkten Fall unendliche Geschwindigkeit (`Double.POSITIVE_INFINITY`) zurückliefern, damit keine unbeabsichtigte Verfälschung der Zeitplanung auf der Strecke geschieht.

Durch diese flexible Definition lassen sich z.B. auch Typbeschränkungen in unterschiedlichen Rechtsräumen simulieren, d.h. eine Einschränkung für LKW kann entweder über den beim Fahrzeug angegebenen Typ, oder direkt als Einschränkung für die einen LKW definierenden Eigenschaften gemacht werden. Ein PKW mit mehr als 2,8t zulässigem Gesamtgewicht könnte von einer entsprechenden Einschränkung als LKW erkannt werden, auch wenn der Typ vom Nutzer falsch angegeben wurde.

Denkbar wäre es weiterhin, die Parameter der Funktionen auf weitere denkbare Gegebenheiten zu erweitern, die bei der Überprüfung der Beschränkung berücksichtigt werden könnten. Um ein Nachtfahrverbot für LKW oder ein Sonntagsfahrverbot, müssten Uhrzeit und Datum mit angegeben werden. Gebirgspässe beispielsweise könnten jahreszeitbedingt gesperrt werden.

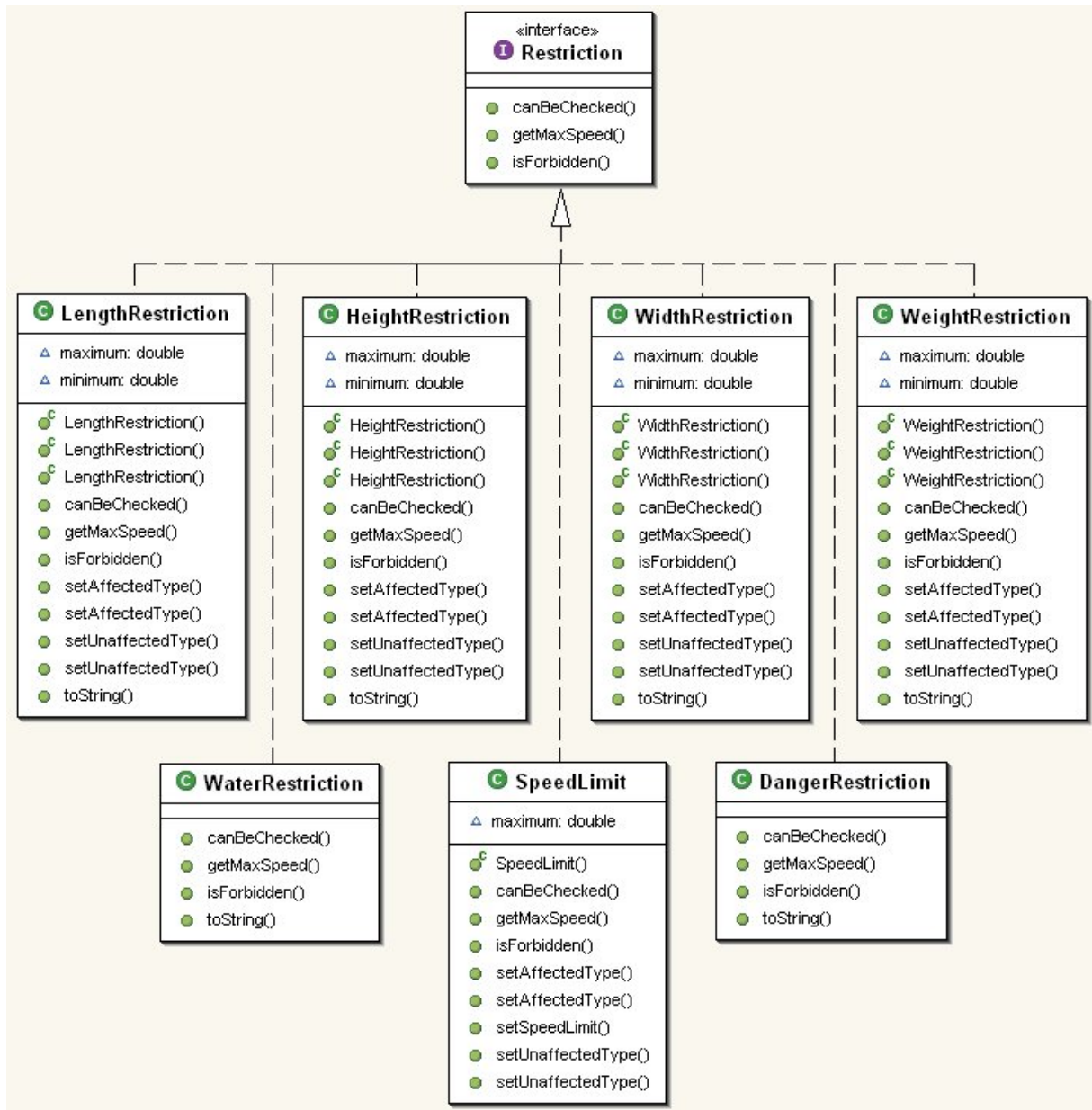


Abbildung 3-8: Übersicht der implementierten Restrictions

Abbildung 3-8 zeigt die in der prototypischen Version implementierten Restrictions:

- **LengthRestriction** Verbot für definierbare Fahrzeugklassen über einer bestimmten Länge
- **WidthRestriction** Verbot für definierbare Fahrzeugklassen über einer bestimmten Breite
- **HeightRestriction** Verbot für definierbare Fahrzeugklassen über einer bestimmten Höhe
- **WeightRestriction** Verbot für definierbare Fahrzeugklassen über einem bestimmten Gesamtgewicht inklusive Ladung
- **DangerRestriction** Verbot für Fahrzeuge mit Ladung, die als Gefahrgut gekennzeichnet ist.

- WaterRestriction Verbot für Fahrzeuge mit Ladung, die als wassergefährdend gekennzeichnet ist.
- SpeedLimit Geschwindigkeitsbegrenzung für bestimmte Fahrzeugklassen

Weiterhin denkbar wären Mindestgeschwindigkeit, Zulässiges Gesamtgewicht oder generelle Typbeschränkungen als weitere Varianten.

3.6.5 Einlesen der Exportdaten

Damit der angepasste Routing-Service auch mit den bereits in VISUM vorhandenen Daten arbeiten kann, müssen die relevanten Netzinformationen von VISUM exportiert und vom Routing-Service importiert werden. Dafür bietet VISUM die Möglichkeit, die Daten der Knoten und Kanten in einem Text-Format in einer Datei abzulegen, die wiederum von dem Routing-Service eingelesen werden kann und aus der die nutzbaren Informationen entsprechend von einem Parser herausgefiltert werden können. Da im Rahmen des OVID-Projektes [9] bereits Code für eine ähnliche Problematik existierte, bot es sich an, diesen Code an die Erfordernisse dieser Arbeit anzupassen. Ein Auswerten der Header-Informationen der Export-Datei statt einer statisch angenommenen Feldabfolge beispielsweise macht den Import resistenter gegenüber zusätzlich exportierten Daten oder einer geänderten Reihenfolge.

Das Einlesen eines simulierten Netzzustandes erlaubt natürlich nur für einen bestimmten, den simulierten, Zeitpunkt eine Routenwahl zu treffen. Für eine Version, die zeitabhängige Anfragen unterstützt, wäre es denkbar, auf Server-Seite über die COM-Schnittstelle VISUMs für jede Anfrage eine entsprechende Verkehrslage zu simulieren und diese aktuellen Daten dann zu exportieren. Hierbei wäre natürlich zu überprüfen, ob nicht eine direkte Datenübernahme über besagte Schnittstelle statt über eine Export-Datei möglich ist, da dies sehr zur Parallelisierbarkeit beitragen würde, da mehrere Routing-Services mit einer VISUM-Instanz arbeiten könnten, ohne dass Zugriffsüberschneidungen auf temporäre Dateien auftreten können. Alternativ könnten Netzzustände mit Zeitangaben versehen gespeichert werden, um so wiederholte Simulationen für den gleichen Zeitpunkt zu vermeiden.

Da die VISUM-Daten keine Informationen über eventuelle Einschränkungen enthalten, müssen diese hinzugefügt werden. Dabei ließen sich diese entweder manuell als weitere Datenfelder in die Export-Datei einfügen oder sogar entsprechend codiert in den frei belegbaren VISUM-Feldern speichern und mit exportieren. Alternativ können alle Restrictions in einer gesonderten Konfigurationsdatei abgelegt werden und nach dem Netzimport hinzugefügt werden. Da unterschiedliche Einschränkungen auch verschiedene Parameter haben, muss die einlesende Klasse die verschiedenen möglichen Einschränkungen kennen und die weiter angegebenen Parameter entsprechend dem Einschränkungstyp interpretieren. Die Behandlungsroutine müsste dabei für neu eingeführte Restrictions immer auch angepasst werden. Denkbar wäre es allerdings auch, dem Interface Restriction einen Konstruktor

```
public Restriction(String parameterString)
```

hinzuzufügen, der aus dem Parameterstring alle für die Initialisierung notwendigen Daten selber parsen kann. Die die Restrictions-Datei einlesende Klasse könnte aus dem angegebenen Namen über die Java-Funktion `classesByName()` dann den entsprechenden Konstruktor auch neu definierter Klassen aufrufen und diesen dann die Initialisierung der Einschränkung überlassen. Nur das Zuordnen der erzeugten Restriction zu einer Strecke wäre dann noch Aufgabe der einlesenden Klasse.

In dieser Arbeit wird eine gesonderte Konfigurationsdatei zum Erzeugen der Restrictions verwendet und die entsprechenden Daten direkt von der einlesenden Klasse `VISUMToMatrix` interpretiert. Diese generiert die Restrictions und interpretiert die Parameter nach einem statisch festgelegten Schema.

3.6.6 Mapping Start-/Zielort auf Kartendaten

Zu einer angegebenen Adresse einen passenden Knoten im Netz zu finden, ist ein typisches praktisches Problem bei der Routenplanung. Solange ein Nutzer genaue Angaben machen kann, wohin er fahren möchte, ist die Umsetzung noch einfach. Aber selbst eine Adressangabe mit Hausnummer ist bei einer mit zwei getrennten Fahrspuren versehenen Straße nicht unbedingt eindeutig. Für einen Paketdienstfahrer oder Pizzalieferanten ist es meist hinreichend, auf der falschen Straßenseite kurz zu halten und seine Ladung abzuliefern, insbesondere wenn er in der Richtung gleich weiterfahren kann. Für ihn wäre es ungünstig, wenn der Routenplaner Wendemanöver oder gar Umwege einplant, um ihn auf die zu der Hausnummer passende Seite zu führen. Der Fahrer eines voll beladenen LKWs wird hingegen Wert darauf legen, auch direkt zu der Einfahrt seines Zieles zu gelangen. Ohne angegebene Hausnummer steht der Routenplaner gar vor dem Problem, entweder eine Festlegung des Nutzers auf eine Seite zu verlangen, die dieser nicht fundiert treffen kann, einen der möglichen Punkte nach festgelegten Kriterien (bspw. kleinere interne Nummer) auszuwählen oder zu jedem möglichen Punkt die Route zu berechnen und die insgesamt günstigste als Ergebnis zurückzuliefern.

Dieses Problem wurde aber in der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt, die Umsetzung einer Adresse in eine auf dem Routing-Netz gültige Identifikationsnummer ist in der Beispielimplementierung durch die Postleitzahl gelöst, die einfach als Visum-interne eindeutige Identifikation interpretiert wird.

3.6.7 Routing-Verfahren

In dieser Arbeit ist für die Wegewahl nur die Optimierung nach einem Kriterium, den Kosten, vorgesehen, die sich allerdings frei gewichtbar aus Zeit- und Streckenkosten zusammensetzen. Da jeder Kante so ein eindeutiges positives Gewicht zugeordnet werden kann, das auch für jede Kante unabhängig bestimmt werden kann, kann die Wegewahl als aus der Graphentheorie bekanntes Single-pair shortest path-Problem [11] betrachtet und mit entsprechenden Algorithmen gelöst werden.

3.6.8 Dijkstras Algorithmus

Offensichtlich ist der günstigste Weg (nachfolgend auch als kürzester bezeichnet) von einer Quelle zu einem Ziel leicht bestimmbar, wenn der kürzeste Weg von dieser Quelle zu allen Knoten in einem Netz bekannt ist. Nach [11] ist zusätzlich kein Algorithmus bekannt, der im schlechtesten Fall asymptotisch schneller ist als der beste Single-source shortest path-Algorithmus, der den günstigsten Weg zu jedem Knoten im Netz bestimmt. Dijkstras Algorithmus ist das klassische Beispiel für einen Single-source shortest path-Algorithmus, dessen Theorie beispielsweise in [11], Kapitel 25 genauer erklärt wird.

Als Grundlage dient ein gerichteter Graph mit positiv gewichteten Kanten. Die Grundidee ist, dass für einen Knoten die Entfernung (wobei die Entfernung die Summe der Kantengewichte des kürzesten Pfades von der Quelle zu einem Knoten ist) von der Quelle definiert werden kann durch das Minimum aus der Entfernung seiner Nachbarknoten zuzüglich des Kantengewichts der verbindenden Kante.

Dijkstras Algorithmus definiert nun für jeden Knoten eine obere Schranke für die geringste Entfernung von der Quelle, die für jeden Knoten initial unendlich und für die Quelle selber 0 ist. Die Menge der Knoten wird unterteilt in einen Teil zu dem bereits der kürzeste Weg bekannt ist (M_1) und den Rest (M_2). Zu Beginn des Algorithmus ist zu keinem Knoten der kürzeste Weg bekannt.

In einem Iterationsschritt wird nun derjenige Knoten K mit der geringsten oberen Schranke bestimmt, zu dem der kürzeste Weg noch nicht feststeht. Alle Wege von Knoten mit bekanntem kürzestem Weg sind, wie im weiteren Verlauf der Iteration ersichtlich, berücksichtigt. Ein Weg über einen Knoten aus M_2 müsste, da alle Kantengewichte positiv sind, über einen Knoten führen, der über Knoten aus M_1 mit geringeren Kosten erreicht werden könnte als K , was der Wahl von K widerspricht. Daher ist der zu K gefundene Weg auch der tatsächlich kürzeste. Der Knoten wird in die Menge derjenigen mit bekannter kürzester Entfernung übernommen, und die obere Schranke seiner Nachbarknoten erniedrigt, falls die kürzeste Entfernung des aktuellen Knotens plus das Kantengewicht zum Nachbarknoten kleiner ist als die bisher festgelegte obere Schranke. Dann wird der Iterationsschritt wiederholt, bis zu allen Knoten der kürzeste Weg feststeht. Wenn man sich beim Erniedrigen der oberen Schranke zusätzlich den Vorgängerknoten merkt, kann der Weg von der Quelle zu jedem Knoten durch Rückwärtsabgehen der Strecke festgestellt werden.

Wenn nur der Weg zu einem bestimmten Knoten gesucht wird, kann der Algorithmus abgebrochen werden, sobald der kürzeste Weg zu diesem feststeht.

Bei V Knoten und E Kanten benötigt der Algorithmus V mal die Bestimmung des Minimums der bekannten kürzesten Wege und E mal eine Berechnung eines neuen möglichen Minimums.

Der Aufwand für die Bestimmung eines Minimums aus einer unsortierten Menge ist $O(V)$, die Berechnung eines neuen Minimums $O(1)$, der Gesamtaufwand des Algorithmus also $O(V^2 + E) = O(V^2)$.

Wenn die unbestimmten Knoten in einer geeigneten sortierten Struktur, beispielsweise einem Fibonacci-Heap gehalten werden, ist, wie [11] zeigt, eine Laufzeit von $O((V+E) \log V)$ möglich.

In dieser Arbeit wird ein modifizierter Dijkstra-Algorithmus verwendet, dessen Implementierung auf bereits vorhandenem Code des OVID-Projektes [9] beruht, der nur an die Erfordernisse und Datenstrukturen dieser Arbeit angepasst wurde.

3.7 Testszenarien

Abbildung 3-9 zeigt ein besonders entworfenes Testnetz, das zum Überprüfen der Funktion des Systems dient. Jeder Testabschnitt des ersten Teils besteht aus einer strecken- und zeitmäßig längeren uneingeschränkten Strecke und einer Alternative, die für bestimmte Fahrzeuge nicht passierbar ist. Zwischen den Teststrecken existieren weitere Routen, die dazu dienen, dass unabhängig von der auf der letzten Teststrecke getroffenen Wegewahl die Ausgangspunkte der nächsten Teststrecke unter gleichen Bedingungen erreichbar sind.

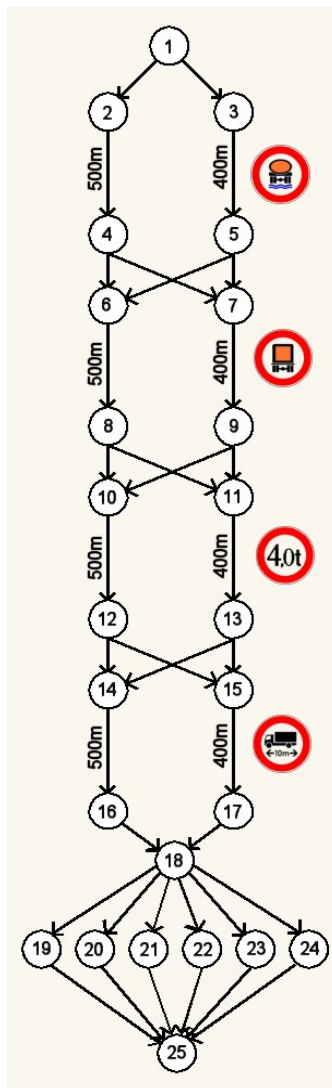


Abbildung 3-9: Testnetz

Die implementierten Testfälle sind:

- Verbot für Fahrzeuge mit wassergefährdender Ladung (Zwischen Knoten 3 und 5)
- Verbot für Fahrzeuge mit geladenem Gefahrgut (Zwischen Knoten 7 und 9)
- Verbot für Fahrzeuge mit über 4t tatsächlichem Gewicht (Zwischen Knoten 11 und 13)
- Verbot für als LKW klassifizierte Fahrzeuge mit über 10m Länge (Zwischen Knoten 15 und 17)

Abschließend existieren zwischen Knoten 18 und 25 mehrere Strecken unterschiedlicher Länge mit verschiedenen Geschwindigkeitsbegrenzungen, die so bemessen sind, dass die längste Strecke bei maximal erlaubter Geschwindigkeit die schnellste ist.

Zielknoten	Länge	Geschwindigkeitslimit	Zeit bei Höchstgeschwindigkeit
19	10900m	120 km/h	5m27s
20	10000m	100 km/h	6m
21	8900m	80 km/h	6m41s
22	7500m	60 km/h	7m30s
23	5700m	40 km/h	8m23s
24	3300m	20 km/h	9m54s

Zusätzlich ist die Strecke zwischen 18 und 19 für Motorräder auf 100km/h beschränkt, so dass für diese, auch wenn sie bauartbedingt schneller fahren könnten, die zweite Strecke die zeitlich günstigere ist.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend wird in diesem Kapitel das Erreichte zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen und Einsatzmöglichkeiten gegeben.

4.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sind die wichtigsten Akteure für eine Routenplanung im Güterverkehr identifiziert und klassifiziert worden. Die für eine datentechnische Repräsentation notwendigen und möglichen Attribute für Fahrzeuge, Ladungen und Fahrprofile sind bestimmt und im Implementationsteil repräsentativ umgesetzt.

Zur Veranschaulichung, dass diese Faktoren auch einen Einfluss auf die Routenwahl haben, ist im weiteren Verlauf ein prototypischer Dienst mit dazugehörigen Client entworfen und implementiert worden, der es erlaubt, auf einem mit entsprechenden Einschränkungen versehenen Streckennetz, unter Berücksichtigung der angegebenen Daten, passende Routen zu finden.

Die zur Speicherung und Übermittlung der erweiterten Anfragedaten genutzten Datenstrukturen sind bewusst einfach gehalten und enthalten nur wenige Attribute, um die prinzipielle Funktionalität zu demonstrieren, können aber leicht um weitere Eigenschaften erweitert werden.

Die Einführung der flexibel konzipierten Restrictions auf Service-Seite erlaubt auch hier eine einfache Funktionalitätserweiterung.

Ein entsprechend entworfenes Testszenario schließlich zeigt anschaulich die Relevanz und Einflussmöglichkeiten weiterer bei einer Routenanfrage übermittelter Daten.

4.2 Ausblick

Das größte Problem bei der Entwicklung dieser Arbeit waren fehlende Daten über Streckeneinschränkungen bzw. das Fehlen eines mit entsprechenden Daten versehenen Straßennetzes. Für eine Weiterentwicklung wäre es interessant zu wissen, wie viele Strecken eines realen Streckennetzes überhaupt eingeschränkt sind und in wie weit diese bei Routenanfragen überhaupt genutzt werden. Da gerade bei Langstrecken hauptsächlich uneingeschränkte Autobahnen genutzt werden, fallen Gewichts- oder Abmessungsbeschränkungen wahrscheinlich selten ins Gewicht. Eine Berücksichtigung der individuellen Geschwindigkeiten könnte hingegen auch auf längeren Strecken andere Ergebnisse als herkömmliche Routenplanungssysteme liefern. Eventuell könnte auch mithilfe eines entsprechenden Routenplanungsdienstes simuliert werden, ob eine Autobahnmaut für LKW den Fernverkehr, trotz etwas längerer Fahrzeiten, auf Landstraßen verlagern würde.

Viele Einschränkungen bei der Routenwahl sind auch temporär, wie beispielsweise Baustellen oder Staus. Um diese auch mit berücksichtigen zu können, müssen die Streckendaten des Systems möglichst aktuell gehalten werden.

4.2.1 Denkbare Erweiterungen

Viele für das System denkbare Erweiterungen, bzw. in der prototypischen Implementation gemachte Einschränkungen wurden bereits an den entsprechenden Stellen vorgestellt. Zu den sicherlich interessantesten gehört hierbei die Nutzung aktueller Verkehrsdaten und die Prognose der Streckenauslastung bei in der Zukunft liegenden Anfragen. Kombiniert mit einem dynamischen Routing auf einem sich über die Zeit ändernden, statt einem statischen Streckennetz könnte beispielsweise das Umgehen von Feierabendverkehr in Ballungsräumen ermöglicht werden oder die Entscheidung erleichtern, bei welchen Staus sich ein kurzfristiges bzw. weiträumiges Umfahren lohnt und bei welchen nicht.

Referenzen

- [1] Falk Marco Polo Interactive GmbH, Falk Online Webservice, <http://www.falk-online.de>
- [2] Mapsolute GmbH, Map 24 Webservice, <http://www.map24.de>
- [3] ViaMichelin (Deutschland) GmbH, Via Michelin Webservice, <http://www.viamichelin.de>
- [4] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (Gefahrgutverordnung Straße/GGVSt) vom 12. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1886), ersetzt durch Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße und mit Eisenbahnen (Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn/ GGVSE) vom 11. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3529), geändert durch Verordnung vom 28. April 2003 (BGBl. I S. 595)
- [5] Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1565), zuletzt geändert am 1. September 2002 (Bundesgesetzblatt Teil I, S. 3442, 3444)
- [6] Umweltschutz und Sonntagsfahrverbot, §30(3) StVO [5]
- [7] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) vom 22. Oktober 1998 (BAnz. Nr. 246b vom 1998-12-31, Ber. 1999 S. 947), zuletzt geändert am 2001-12-18 (BAnz. Nr. 242 vom 2001-12-18, S. 25513)
- [8] Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung/FeV) vom 18. August 1998 (BGBl. I S. 2214, Heft 55); zuletzt geändert durch Verordnung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3267 ff.; 3570 f.)
- [9] Stärkung der SelbstOrganisationsfähigkeit im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste (OVID), Verbundprojektes der Universität Karlsruhe (TH), <http://www.ovid.uni-karlsruhe.de>
- [10] Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe (PTV AG), <http://www.ptv.de>
- [11] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, and R.L. Rivest. *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1994