

Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Emissionsmodellierung aus Verkehrszähldaten“ Modellansatz unter Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Faktoren

vorgelegt von

Dipl.Ing. Wolfgang Fischer
U1325, UNIGIS MSc Jahrgang 2007

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Wien, 10.08.2009

Vorwort und Motivation

Diese Arbeit bildet den Abschluss des Master-Studiengangs Geographical Information Science & Systems (UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik in Salzburg, den ich im Januar 2007 begonnen habe.

Die Entscheidung für ein berufsbegleitendes Fernstudium wurde nicht zuletzt durch den „Boom“ ausgelöst, der in den letzten 5 Jahren viele Bereiche der Informationswissenschaften geprägt hat. Der räumliche Bezug von Daten und Informationen hat mittlerweile weite Bereiche der Informationstechnologien durchdrungen. Google Earth, Web 2.0 Anwendungen mit Geoinformation oder Geofencing über RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) sind nur wenige Beispiele, die das unterstreichen. Während also klassische GIS-Lösungen verschwinden, „diffundiert“ die Geoinformatik in verstärktem Maße in viele Bereiche der Informations- und Kommunikationswissenschaften.

Mein Anspruch an diese Master Thesis war, ein spannendes und zugleich praxisrelevantes Thema zu finden, das sich vor allem mit ökologisch relevanten Problemstellungen befasst. Rückblickend gesehen war ein wesentlicher Zündfunke für die Themenfindung die Bearbeitung des UNIGIS-Moduls „Projektmanagement und Organisation“, bei der im Zuge der Aufgabenstellung (Projekterstellung eines EU-weiten Umwelt-GIS) die Auseinandersetzung mit dem IPCC-Report 2007 stattfand. Dieser „Klimareport“ fasst wissenschaftliche Untersuchungen vieler Forschungsgruppen zusammen. Es wird darin der globale Ist-Zustand der (vom Menschen verursachten) Klimaerwärmung analysiert und mögliche Szenarien für weitere Klima-Entwicklungen werden prognostiziert. Der Report enthält aber auch Empfehlungen für weitreichende Maßnahmen, um ein 'worst case scenario' zu verhindern.

Im Zuge der Recherchen rund um die Thematik „Klimawandel“ stieß ich auf die IMPACT-Studie der Forschungsstelle CE Delft, die sich mit der Problematik externer Kosten im Straßenverkehr befasst. Diese Studie beinhaltet ein Modell zur Berechnung der gesellschaftlichen (externen) Kosten, die auf Grund verschiedener Belastungen bei unterschiedlichen Transportarten (Schiff, Straße, Schiene, Flugzeug) entstehen.

Auslöser für die Idee einer „Emissionsmodellierung aus Verkehrszähl­daten unter Berücksichtigung der Topographie“ war letztendlich eine profane Ö3-Verkehrsmeldung von der A10-Tauernautobahn. Hier kommt es jedes Jahr im Sommer bei Urlaubsbeginn zu kilometerlangen Staus, stundenlange Wartezeiten und Blockabfertigung vor dem Tauerntunnel sind die Folge. Daraus ergab sich für mich die Fragestellung, wie aus aktuellen Verkehrszähl­daten die Emissionen berechnet und räumlich dargestellt werden können.

Widmung

Für Monika.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Strobl und dem gesamten UNIGIS-Team sowie meinen Studienkolleginnen und -kollegen. Über die reine Wissenvermittlung hinaus verliefen die vergangenen beiden Jahre sehr spannend, einige neue Freundschaften sind entstanden und der soziale Austausch war von einer lockeren und angenehmen Atmosphäre geprägt. Danke!

Für den Zugang und die Bereitstellung von Datenmaterial möchte ich mich bei folgenden Personen herzlich bedanken: Herr Mag. Jürgen Praher war als direkter Ansprechpartner bei der ASFINAG die kommunikative „Drehscheibe“, um an einen anonymisierten Auszug der Road-Pricing-Verkehrszählungen heranzukommen. Am Institut für Verkehrswissenschaften (Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik) der TU-Wien wurde mir von Herrn MAS MSc Heinrich Zupal der Zugang zu Daten und Tabellen der INFRAS-Studie ermöglicht, ohne denen diese Arbeit nicht durchführbar gewesen wäre.

Last but not least möchte ich aber auch meinem Freund und Studienkollegen Michael Novak für das gemeinsame „Durchbeißen“ danken. Die nächtlichen GIS-Sessions mit erhöhtem Koffeinspiegel werden mir fehlen :-).

Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.



Wien, August 2009

Wolfgang Fischer

Zusammenfassung

Als Folge der in den letzten Jahren stark gestiegenen Verkehrsauslastung im Straßenverkehr, die sich vor allem entlang von nationalen Transitkorridoren widerspiegelt, hat auch die Belastung von Mensch und Umwelt durch Schadstoffemissionen zugenommen. In den Geowissenschaften gibt es unterschiedliche Ansätze zur Berechnung der räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen. Die hier untersuchte Methode geht von einem 'bottom up' - Ansatz aus. Aus zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Verkehrszähl- und Verkehrsdaten wird unter Berücksichtigung von topographischen Parametern und den straßenbezogenen Modellgrößen (Anzahl der Spuren, Steigung, Baustelle/keine Baustelle, Tunnel/kein Tunnel, Geschwindigkeitsbeschränkung) ein Berechnungsmodell erstellt. In einem zweiten Schritt wird die räumliche Ausbreitung der Emissionswerte simuliert.

Startpunkt der Modellbildung ist die statistische Untersuchung der ASFINAG - Verkehrszähl- und Verkehrsdaten über die gesamte A10-Tauernautobahn: es wird ein Zeitfenster von zwei Wochen detailliert analysiert. Die Daten beinhalten pro Mautabschnitt stündliche, in die Anzahl der Achsen aufgeteilte Messwerte für Lkws und Reisebusse. Da das Ergebnis der Analyse eine zeitlich und räumlich homogene Verteilung der Achsklassen ergibt, erfolgt im nächsten Schritt unter Zuhilfenahme von Daten der INFRAS/IWW-Studie (vgl. [INFRAS, 1999], [SCHREYER C., et al. 2004a]) eine Aufteilung der Achsklassen in die unterschiedlichen Kfz-Schichten (entspricht der Unterteilung nach Größenklasse und EURO-Abgasnorm-Klasse). Die Daten für Pkws liegen nur als monatliche Wochentags-Durchschnittswerte vor. Die Verwendung von Verkehrs-Tagesgängen bietet eine Möglichkeit, diese Daten auf Stundenwerte zu disaggregieren.

Die als Polyline vorliegende Datenstruktur der Autobahn wird für die Modellrechnung aufbereitet und um die oben erwähnten straßenbezogenen Modellgrößen erweitert. Die Verknüpfung der Zusatzinformationen mit der Geometrie erfolgt über eine lineare Referenzierung. Dadurch wird jeder Mautabschnitt in weitere Sub-Abschnitte unterteilt.

Von dieser Datenbasis ausgehend werden zwei Modellansätze in UML für die Emissionsberechnung entwickelt. Im 'Simple Mode' werden Emissionswerte nur mit Hilfe der Streckenlänge bestimmt. Die Berechnung des 'Simple Mode' liefert Ergebnisse

pro Kfz-Schicht und Mautabschnitt, die über den Berechnungszeitraum aggregiert sind. Im 'Complex Mode' fließen die straßenbezogenen Modellgrößen in die Berechnung ein. Aus Anzahl von Kfz und Fahrspuren wird pro Fahrzeug-Kategorie über eine Geschwindigkeits-Strömungs-Funktion (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.155-160]) eine Verkehrssituation (entspricht einer gewissen Geschwindigkeit) berechnet. Abfragen der entsprechenden Emissionsfaktoren aus den INFRAS-Tabellen ergeben dann dazu die Absolutwerte der Emissionsberechnung. Die Berechnung des 'Complex Mode' liefert Ergebnisse pro Kfz-Schicht, Stunde und Mautstrecken-Subabschnitt.

Bei der Implementierung des Modells zeigt sich, dass die Umsetzung in ArcGIS einen adäquaten Lösungsweg darstellt. ArcGIS bietet die Möglichkeit der Einbindung einer Vielzahl verschiedener Datenquellen. Zudem stellt die Programmiersprache VBA in Verbindung mit dem Objektmodell ArcObjects eine einfach zu erlernende aber trotzdem sehr weitreichende Entwicklungsumgebung dar. Für die nachfolgende Diffusionsrechnung bietet sich die Open Source Software AUSTAL2000 an. Diese wurde nach der deutschen TA-Luft Richtlinie (vgl. [BMU, 2002]) entwickelt und verwendet für die Ausbreitung ein Lagrangesches Partikelmodell.

Die Analyse des Emissionsmodells zeigt, dass gewisse einschränkende Annahmen und Abstraktionen notwendig sind. Ein direkter Vergleich der beiden Berechnungsarten 'Simple Mode' und 'Complex Mode' zeigt für einige Emissionsparameter eine geringfügige Überbewertung im 'Simple Mode'. Anhand eines Mautabschnitts mit Tunnelpassagen wird die Berechnung erklärt und die räumliche Ausbreitung der Emissionen dargestellt. In einem zweiten Beispiel werden die Emissionswerte des selben Verkehrs-Tagesgangs zweimal verglichen: einmal als 'normale' Berechnung, einmal mit einem zweistündigen Stau. Eine quantitative Analyse der Emissionswerte zeigt hier partielle Zunahmen von bis zu 60%. Im letzten Beispiel zeigt die Berechnung externer Kosten aus Luftschadstoffen mit [MAIBACH M., et al. 2008, S.57, Tab. 15] vergleichbare Ergebnisse.

Es bieten sich einige Möglichkeiten zur Weiterführung dieser Arbeit an. Eine qualitative Verbesserung des Modells ergäbe sich durch stündlich erfasste Pkw-Daten sowie durch die Berücksichtigung realer Staus. Die Ausweitung dieses Modells auf innerstädtische und ländliche Gebiete ist denkbar, doch alleine aufgrund der wesentlich stärker vernetzten Straßenstruktur wäre das eine komplexe Herausforderung.

Abstract

During the recent years a strong growth of the road traffic volume mainly along national transit corridors lead to a growing stress of human and nature by emissions. Inside the geosciences there exist different approaches for the calculation of the spatial distribution of emissions. The method used in this thesis follows a bottom-up approach. Spatial and temporal highly resolved traffic census data is used to develop a calculation model, which also takes topographic and road-related parameters (number of lanes, construction sites, tunnels, allowed maximum speed, the road-inclination) into consideration. In a second step a spatial propagation model is employed.

Starting point for this model is the statistical exploration of the ASFINAG-traffic census: a time frame, which includes measurement data of two weeks for the entire A10 - Tauernautobahn is analyzed. These data contain counting values per hour for trucks and busses, aggregated on the number of axes. The result of the analysis shows a temporal and spatial homogeneous distribution, so the next step is the split of the axes-classes into different vehicle-layers (size classes and EURO-emission-classes) based on the INFRAS/IWW-study (cf. [INFRAS, 1999], [SCHREYER C., et al. 2004a]). The basis of the traffic census for passenger vehicles only exists as weekday-average values, calculated from monthly values. The use of traffic patterns enables a disaggregation to hourly values.

The polyline data-structure for the motorway is extended with the road-related parameters mentioned above. The combination of the additional information with the geometry is the result of the process of linear referencing. Now each toll-segment is divided into sub-segments.

Based on this dataset two different emission-models are developed in UML. The 'Simple Mode' approach only takes the length of the toll-segment into consideration. Output of the 'Simple Mode' consists of data that are segregated by vehicle-layer, but aggregated over toll-segment and time-period. The 'Complex Mode' approach uses all of the road-related parameters described above. Beginning from the number of vehicles and lanes a speed-flow-function (cf. [MAIBACH M., et al. 2008, S.155-160]) calculates for each vehicle-category a traffic situation, which corresponds to a certain vehicle-speed. With emission-factors from the INFRAS-tables the absolute

value of emission is computed. Output of the 'Complex Mode' consists of data that are segregated by vehicle-layer, hour and toll-subsegment.

The implementation of the model in ArcGIS offers an appropriate solution. On the one side ArcGIS can read a lot of different data-formats. On the other side the ArcGIS programming language VBA in conjunction with ArcObjects offers an easy-to-learn but mighty development system. For the spatial propagation simulation the open source software AUSTAL2000 is used. This program uses a Lagrange-particle-model and was developed according to the german TA-Luft guideline (technical guidance for pollution control, cf. [BMU, 2002])

The analysis of the emission-model shows the need to abstract and define some restricting assumptions. A direct comparison between the 'Simple Mode' and the 'Complex Mode' shows for certain emission-parameter some minor overestimations in the 'Simple Mode' calculation. On the basis of a toll-sequence with tunnel-passages the calculation is explained and spatial propagation maps are visualized. In a second example the emission-values of the same toll-sequence are calculated for the same day and with the same traffic pattern, but the second calculation includes a two-hour congestion. The quantitative comparison shows partial increase of some values up to 60% due to the congestion. The results of the last example, which calculates external costs per vehicle-km are compareable to [MAIBACH M., et al. 2008, S.57, Tab. 15].

This thesis offers some possibilities for continuation. A qualitative enhancement of the model would emerge from hourly traffic-census for passenger cars and the inclusion of real congestions. The extension of this model to urban and interurban areas is feasible, but due to the complex network structure a big challenge.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Klimawandel und Verkehrsproblematik	2
1.2. Arbeitshypothese und methodischer Ansatz	3
1.3. Abgrenzung der Fragestellung	4
1.4. Struktur der Master Thesis	5
2. Umweltbelastungen im Straßenverkehr	7
2.1. Studien zu Emissionen im Straßenverkehr	8
2.1.1. Die IMPACT-Studie	9
2.1.2. Weitere Untersuchungen zu Emissionsquellen	14
2.2. Modellierung von Verkehrsdaten	15
2.2.1. Räumliche Aspekte	15
2.2.2. Zeitliche Aspekte	16
3. Emissionsmodell im Straßenverkehr	19
3.1. Datengrundlage im Überblick	19
3.1.1. Geodaten	19
3.1.2. ASFINAG Verkehrszählraten	24
3.1.3. Annahmen über die Kfz-Verteilung	29
3.1.4. Modellierung der Emissionswerte mit HBEFA 2.1	31
3.2. Konzeptuelle Datenmodellierung in UML	33
3.2.1. Notationselemente im Aktivitätsdiagramm	34
3.2.2. Überblick über den Gesamtprozess	35
3.2.3. 'Simple Mode' - Berechnungsmodell	37
3.2.4. 'Complex Mode' - Berechnungsmodell	38
4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS	41
4.1. GPS-Datenerfassung	41
4.2. Verwendete Speicherstrukturen	43
4.2.1. Geo-Datenbanken in ArcGIS	44
4.2.2. Beschreibung des Datenmodells	45
4.3. Programmierung mit VBA und ArcObjects	50
4.3.1. Implementierung des 'Simple Mode'	50
4.3.2. Implementierung des 'Complex Mode'	54
4.4. Diffusionsberechnung mit AUSTAL2000	59
4.4.1. Aufbereitung der Datenquellen für A2K	59

4.4.2.	Erstellen eines Parameterfiles	62
4.4.3.	Simulationslauf und Ergebnisse	63
4.5.	Abfragen und Visualisierungen	64
4.5.1.	Datenanalyse in Access	64
4.5.2.	Räumliche Datenanalyse in ArcGIS	66
5.	Analyse der Modellierung	69
5.1.	Annahmen bei Emissionsmodellen	69
5.2.	Vergleich 'Simple Mode' - 'Complex Mode'	72
5.3.	Visualisierung von Modellparametern	74
5.3.1.	Räumliche Ausbreitung der Emissionen	74
5.3.2.	Zeitlicher Verlauf von Emissionen	81
5.4.	Kostenberechnung aus Emissionen	85
6.	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	86
6.1.	Rückblick auf diese Arbeit	86
6.2.	Pro- und Kontra	87
6.3.	Möglichkeiten der Weiterführung	88
A.	Datenbeschreibung	90
A.1.	Verwendete Geodaten	90
A.2.	Event-Tabellen für die A10	90
A.3.	Relationales Datenmodell	92
A.3.1.	Datenstruktur der HBEFA - Tabellen	92
A.3.2.	Datenstruktur ASFINAG-Verkehrszählraten	94
A.3.3.	Datenstruktur des Berechnungsmodells	94
A.3.4.	Sonstige Tabellen	96
B.	Statistische Untersuchungen	97
B.1.	Zeitliche Kfz-Verteilung entlang der A10	97
B.2.	Verteilung von Pkw/Lnf	99
B.3.	Verteilung von Snf/Rbus	101
C.	Emissionsgrenzwerte	104
D.	Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen	107
D.1.	Berechnung für Pkw/Lnf	107
D.2.	Berechnung für Snf/Rbus	108
E.	VBA-Code	109
F.	Literaturverzeichnis	146

Tabellenverzeichnis

1.1. Externe Kostenfaktoren im Straßenverkehr [MAIBACH M., et al. 2008, S.21-22]	3
2.1. Emissionsparameter für Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeuge	13
2.2. Parallelen in räumlichen und zeitlichen Strukturen	17
3.1. Parameter für UTM 33T	20
3.2. Datenstruktur für Routenevents	23
3.3. Routenevents entlang der A10	24
3.4. Tabellenstruktur der ASFINAG-Messdaten	25
3.5. Tabellenstruktur der aggregierten ASFINAG-Daten	25
3.6. Statistik der Achs-Fraktionen A10 nach Woche, Richtung	26
3.7. Statistik der Achs-Fraktionen gesamte A10	27
3.8. Wahl der Verkehrssituationen	33
4.1. verwendete Datenquellen	44
4.2. Kardinalitäten im Berechnungsmodell	47
4.3. Setting für 'Simple Mode'- Berechnung	52
4.4. Setting für 'Complex Mode'- Berechnung	55
5.1. Vergleichsrechnung 'Complex Mode'- Setting	72
5.2. Quantitativer Vergleich 'Simple-Mode' und 'Complex-Mode'	73
5.3. Emissionsberechnung mit Tunnel	75
5.4. Emissionswerte pro Emissionspunkt NO_x , PM_{10} , CO_2	75
5.5. Emissionswerte vor/nach den Tunnelröhren	76
5.6. Vergleich der Tages-Emissionswerte ohne Stau / mit Stau	81
5.7. Externe Kosten 2008 - Mautabschnitt 'Hallein - Kuchl'	85
B.1. Verteilung von Pkw und Lnf auf Autobahnen	100
B.2. Verteilung von RBus auf Autobahnen	102
B.3. Verteilung von Snf auf Autobahnen	103
C.1. Emissionsgrenzwerte für Pkw, [g/km]	104
C.2. Emissionsgrenzwerte für Lnf $\leq 1305\text{kg}$ (Kat. N1 I), [g/km]	104
C.3. Emissionsgrenzwerte für Lnf 1305-1760kg (Kat. N1 II), [g/km]	105
C.4. Emissionsgrenzwerte für Lnf $> 1760\text{kg}$ (max. 3500kg) (Kat. N1 III), [g/km]	106
C.5. Emissionsgrenzwerte für Snf (Kat. N2 - N3), [g/kWh]	106

Abbildungsverzeichnis

1.1. Prognostizierter Temperaturanstieg für 2090-2099 [IPCC, 2007, S.9, Fig. SPM.6]	1
1.2. Formaler Aufbau der Masterthesis	6
2.1. Geoinformatik im interdisziplinären Umfeld	7
2.2. Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens als Funktion der Kolonnen- geschwindigkeit (a) und Fundamentaldiagramm (b)	10
2.3. Unterschiedliche Verkehrsmuster auf deutschen Autobahnen und Fern- straßen	11
2.4. Geschwindigkeits-Strömungs-Funktion für Pkw (3 Spuren)	12
2.5. Prozessfluss im Impact Pathway Approach	13
2.6. ASFINAG Mautportal (Quelle: < http://www.asfnag.at >)	16
3.1. Unterteilung eines Mautstreckenabschnitts	22
3.2. Mittelwert/Standardabweichung für Wochengang	27
3.3. Tagesgang Montag	28
3.4. Tagesgang Sonntag	28
3.5. Überblick Berechnungsablauf	36
3.6. 'Simple Mode' - Berechnungsmodell	37
3.7. 'Complex Mode' - Berechnungsmodell	40
4.1. A10 - Tauernautobahn Richtung Villach (Bereich Kuchl)	42
4.2. A10: GPS-Profil (Hallein-Werfen)	43
4.3. EmissionGIS.mdb - Datenmodell	46
4.4. Verkehrs-Tagesgang A, B, C	48
4.5. Überblick FGDB, PGDB	49
4.6. Forms-Maske 'Simple Mode'	51
4.7. Schichtaufteilung für Pkw	54
4.8. Forms-Maske 'Complex Mode'	55
4.9. Ausschnitt der SQL-Querys (1) - links / (2) - rechts	57
4.10. Ausschnitt der SQL-Query (3) - links / SQL-Query (4) - rechts	58
4.11. Emissionspunkte entlang der A10	61
4.12. Setting im Parameterfile austal2000.txt	62
4.13. Ergebnis der SQL-Query	65
4.14. Beispiel einer Pivot-Tabelle mit Chart	65
4.15. PM ₁₀ -Konzentration/-Deposition im Jahresmittel ('Hallein - Kuchl')	67

5.1.	Räumliche NO _x -Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels . . .	77
5.2.	Räumliche PM ₁₀ -Deposition mit Berücksichtigung von Tunnels	78
5.3.	Räumliche PM ₁₀ -Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels . .	79
5.4.	Räumliche CO ₂ -Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels . .	80
5.5.	NO _x -Emissionen in Abhängigkeit vom Verkehrs-Tagesgang	82
5.6.	NO _x -Emissionen (Verkehrstagesgang 'A')	83
5.7.	NO _x -Emissionen (Verkehrstagesgang 'A-Stau' 12:00, 13:00)	84
A.1.	A10 Event-Tabelle (Fahrtrichtung Villach)	90
A.2.	A10 Event-Tabelle (Fahrtrichtung Salzburg)	91
A.3.	Datenstruktur der Emissionsfaktoren-Tabellen	93
A.4.	Datenstruktur der Fahrzeugverteilung	93
A.5.	Datenstruktur der Tabelle emission_calc	94
A.6.	Datenstruktur der Tabelle emission_res	94
A.7.	Datenstruktur der Tabelle emission_res_complex	95
A.8.	Datenstruktur der Tabelle emission_efa	95
A.9.	Datenstruktur der Tabelle trafficpattern	96
B.1.	Gewichtete Wochenverteilung KW29 Mautabschnitt 'Paß Lueg - Golling / Abtenau' Fahrtrichtung 'Villach'	97
B.2.	Gewichtete Wochenverteilung KW38 Mautabschnitt 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' Fahrtrichtung 'Salzburg'	98
B.3.	Anteil Pkw/Lnf auf Autobahnen (2008)	99
B.4.	Anteil Snf auf Autobahnen (2008)	101

Abkürzungsverzeichnis

ADO	ActiveX Data Objects
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
DB	Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DHM	Digitales Höhenmodell
EFA	Emissionsfaktoren
EPSG	European Petroleum Survey Group
FGDB	ESRI File Geodatabase
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GI	Geoinformatik
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
HC	Kohlenwasserstoffe (Hydrocarbons)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
N ₂ O	Lachgas
NH ₃	Ammoniak
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NO _x	Stickoxide
OGC	Open Geospatial Consortium
OSM	OpenStreetMap
PGDB	ESRI Personal Geodatabase
Pkw	Personenkraftwagen

PM ₁₀	Feinstaub - particulate matter (10 μm)
PM _{2.5}	Feinstaub - particulate matter (2.5 μm)
Rbus	Reisebusse
S/N	Signal/Noise (Ratio)
Snf	Schwere Nutzfahrzeuge
SO ₂	Schwefeldioxid
SQL	Structured Query Language
THC	Total Hydrocarbons
UML	Unified Modeling Language
UTM	Universal Transverse Mercator
VBA	Visual Basic for Applications
VCÖ	Verkehrsclub Österreich
WFS	Web Feature Service
WGS 84	World Geodetic System 1984
WMS	Web Map Service

1. Einleitung

„Warming of the climate system is unequivocal, as is now evident from observations of increases in global average air and ocean temperatures, widespread melting of snow and ice and rising global average sea level.“
([IPCC, 2007, S.2])

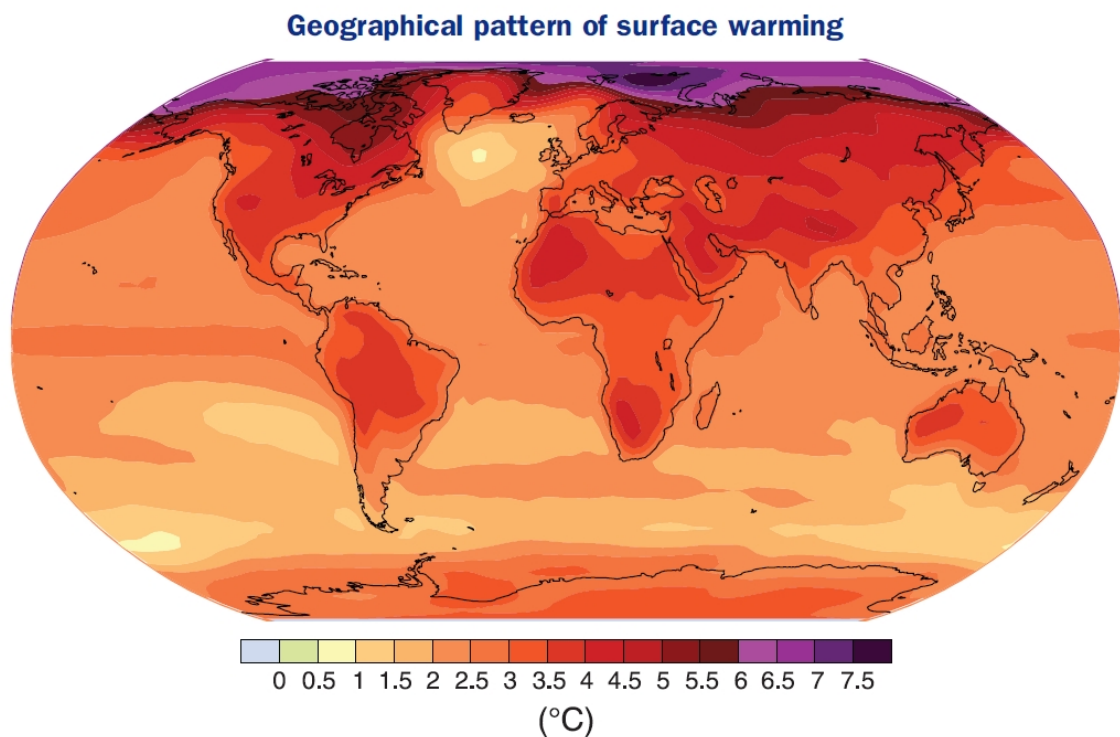


Abbildung 1.1.: Prognostizierter Temperaturanstieg für 2090-2099
[IPCC, 2007, S.9, Fig. SPM.6]

Die Auswirkungen der anthropogen induzierten Klimaerwärmung beeinflussen schon heute weite Bereiche unseres Lebens und der uns umgebenden Umwelt. Ein fortgesetzter, irreversibler Temperaturanstieg hätte nicht nur in südlichen Ländern dramatische soziale, politische und ökologische Auswirkungen. Auch die von Klimaprognosen angezeigten Temperaturanstiege von bis zu 5°C in der sensiblen Alpenregion würden nebst geologischen Folgen (Hangabrisse, Muren, etc.) zu einer 'Artenverdrängung von unten' und zu einer massiven Gefährdung hochalpiner Ökosysteme

führen. Viele Geo-Wissenschaftler warnen vor den Folgen einer globalen Erwärmung (vgl. Abb. 1.1, 'worst case scenario'), doch noch ist das Zeitfenster für eine nachhaltige, ökologische Trendwende offen.

Einleitend werden daher in diesem Kapitel die aus steigender Mobilität erwachsende Verkehrsproblematik und ihre Folgen skizziert. Schadstoffemissionen aus dem Straßenverkehr machen einen wesentlichen Teil der sogenannten externen Kosten aus. Für die geplante Umsetzung eines Emissionsmodells werden eine Arbeitshypothese sowie ein methodischer Ansatz vorgestellt. Eine Abgrenzung der Problemstellung, zu erwartende Ergebnisse und eine kurze Erläuterung des strukturellen Aufbaus dieser Arbeit beschließen dieses Kapitel.

1.1. Klimawandel und Verkehrsproblematik

Mobilität ist ein heute in vielen Zusammenhängen verwendeter Begriff, der im allgemeinen die dynamische Entwicklung der Gesellschaft der letzten Jahrzehnte charakterisiert. Das Spektrum einer 'mobilen' Gesellschaft erstreckt sich von physischer Mobilität durch die Wahl einer Fortbewegungsart (zu Fuß, Rad, Bus, Bahn, Flugzeug, Auto, ...) über moderne Kommunikationsmittel (Mobiltelefon, World Wide Web, ...) bis hin zu sozialer Mobilität (Veränderung der sozialen Stellung oder des Umfelds). Die negativen Auswirkungen eines (vermeintlichen) Mobilitätsgewinns auf Menschen und Umwelt zeigen sich oft erst nach mehreren Jahren.

Die Erweiterung und Integration des europäischen Binnenmarktes hat zu einem starken Anwachsen des Güterverkehrs auf der Straße und damit auch zu erhöhten CO₂ Emissionen geführt. Laut der VCÖ-Studie „Klimaschutz im Verkehr“ (vgl. [VCÖ, 2008, S.15]) wurden im Jahr 2006 vom österreichischen Gesamtverkehr 22.8 Millionen Tonnen CO₂ erzeugt, wovon 94% auf den Straßenverkehr fallen (Pkw: 12.6 Millionen Tonnen, Lkw: 8.9 Millionen Tonnen, vgl. [VCÖ, 2008, S.15]). Doch auch andere Faktoren wie Lärm oder die Zerschneidungswirkung von Straßen beeinträchtigen Menschen und Umwelt und zerstören sensible Ökosysteme auf Dauer. Nach Schätzungen des VCÖ entstanden im Jahr 2007 EU-weit durch den Lkw-Straßenverkehr 300 Milliarden Euro an externen Kosten, die der Allgemeinheit aufgelastet werden. Die Hauptkategorien der externen Kosten sind in Tabelle 1.1 angeführt.

Im gesamtgesellschaftlichen Kontext gilt es also Lösungen für eine Emissionsreduktion im Straßenverkehr zu finden. Das bedeutet einerseits eine Reduktion von Lkw-Leerfahrten und Verlagerung des Gütertransports auf die Schiene, andererseits sollte

Kostenkomponente	Kostenelemente	Haupt-Kostentreiber
Staukosten	Zeit und Betriebskosten	Art der Infrastruktur, Verkehrsauslastung - abhängig von: Tageszeit, Ort, Unfällen, Bauarbeiten
Unfallkosten	medizin. Kosten, Tod, Produktionskosten	Art der Infrastruktur, Verkehrsvolumen, Geschwindigkeit, Fahrweise
Luftverschmutzung	Gesundheitskosten, Verlust an Lebensjahren, landwirtschaftliche Kosten, Gebäudeschäden, Kosten für Natur und Biosphäre	Bevölkerungs- und Bebauungsdichte, Sensitivität des Gebiets, Höhe der Emissionen abhängig von: Art und Zustand des Kfz, Weglänge, Art der Infrastruktur, Geschwindigkeitscharakteristik
Lärmkosten	Wertverlust von Immobilien, Gesundheitskosten	Bevölkerungs- und Bebauungsdichte, Tag/Nacht, Lärmpegel abhängig von: Art und Zustand von Kfz und Infrastruktur
Klimawandel	Verhinderungskosten zur Reduktion des Klimawandels, Schadenskosten für steigende Temperatur	Höhe der Emissionen, abhängig von Art des Kfz und zusätzlichem Equipment (z.B. Klimaanlage), Geschwindigkeitscharakteristik, Fahrweise, Treibstoffart
Landschafts- und Naturkosten	Kosten zur Reduktion von Zerschneidungseffekten, Kompensationskosten zur Erhaltung der Biodiversität	Art der Infrastruktur, Sensitivität des Gebiets
zusätzliche Umweltkosten (Wasser, Boden)	Kosten für Absicherung der Qualität	Höhe der Emissionen, Art der Infrastruktur

Tabelle 1.1.: Externe Kostenfaktoren im Straßenverkehr
[\[MAIBACH M., et al. 2008, S.21-22\]](#)

auch der motorisierte Individualverkehr durch entsprechende politische Maßnahmen (forcierter Ausbau des öffentlichen Verkehrs mit kostengünstiger oder freier Benutzung, Radwegeausbau, Querfinanzierung durch fahrleistungsabhängige Straßenbemaßung, etc...) in Richtung ökologisch nachhaltiger Verkehrskonzepte gelenkt werden.

1.2. Arbeitshypothese und methodischer Ansatz

Die Berechnung der Schadstoffemissionen aus dem Straßenverkehr kann auf Basis von unterschiedlichen Modellmaßstäben erfolgen. Steht die regionale Betrachtung im Fokus der Analyse, so ist ein möglicher Ansatz die räumliche Untersuchung des

Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung. Statistische Verteilungen und Kenngrößen (durchschnittliche Anzahl von Kfz-Kilometern pro Haushalt, durchschnittliche Entfernung zum Arbeitsplatz, Verkehrsauslastung an Hauptverbindungsstrecken, etc.) können mit Hilfe von GI-Methoden methodisch aufbereitet und in die Fläche gebracht werden, Aussagen zu Schadstoffemissionen sind größtmäßig daraus ableitbar.

Im Gegensatz dazu stellt der hier präsentierte Ansatz einen sogenannten 'Bottom Up' Approach dar. Ausgangspunkt dieser Emissionsberechnung ist das einzelne Kraftfahrzeug, das unter bestimmten Rahmenbedingungen eine räumliche Strecke von A nach B zurücklegt. Die **Arbeitshypothese** dieser Master Thesis lautet daher:

„Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, ein zeitlich-räumliches Datenmodell für die Berechnung und Visualisierung von Emissionen des Straßenverkehrs zu entwickeln, das möglichst akkurate und aktuelle Datenquellen aus Verkehrszählung und Verkehrsstatistik verwendet und den Einfluss der Topographie berücksichtigt.“

Dieses Modell soll also die Möglichkeit bieten, die zeitlich-räumlichen Faktoren der Verkehrsauslastung und der damit verbundenen Emissionswerte zu untersuchen und Ausgaben der Berechnungen in Form von Karten, Grafiken und Tabellen zu ermöglichen. Als strategisches Ziel steht die Entwicklung einer allgemeinen Berechnungsmethode im Vordergrund, die in Abhängigkeit von Verkehrsauslastung, der Anzahl der vorhandenen Fahrspuren sowie der Längsneigung der Fahrbahn über die aktuelle Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs Emissionswerte berechnet. In einem nächsten Schritt sollen dann diese, einer Straßenlinie zugeordneten Emissionswerte in den Raum gebracht werden, um daraus Aussagen zur realen Belastungssituation der Bevölkerung und Umwelt treffen zu können.

Auf der Ebene der konkreten Umsetzung bedeutet dieser Ansatz die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Schnittstelle, mit der Eingangsparameter gesetzt und Emissionsparameter berechnet werden können. Für die komplexe Thematik der Ausbreitungsrechnung soll auf schon bestehende Ansätze zurückgegriffen werden.

1.3. Abgrenzung der Fragestellung

Auf Grund der komplexen Thematik dieser Modellbildung müssen vorab einige Abstraktionen und Einschränkungen getroffen werden. Zunächst betrachtet diese Arbeit nur Luftschadstoffe, die aus dem Verbrennungsprozess von Kfz-Motoren stam-

men. Andere Emissionsquellen (Abrieb, Verschleiß) sowie (photo-)chemische Reaktionen von Emittenten (z.B. die Bildung von bodennahem Ozon durch sog. Ozon-Vorläufersubstanzen, zu denen auch NO_x gehört) werden nicht in die Modellbildung einbezogen. Die additive Wirkung anderer Schadstoffquellen aus Industrie, Landwirtschaft oder Haushalt wird hier ebenfalls nicht berücksichtigt. Ebenso wird die akkumulierende Wirkung gewisser Schadstoffpartikel (z.B.: Feinstaub PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) nicht in die räumliche Depositionsberechnung einbezogen.

Die inhaltliche Ausrichtung der Master Thesis versucht ein Brückenschlag zwischen (Geo-)Wissenschaftlern und interessierten Laien zu sein. Auf Grund der „Unbefangenheit“ des Autors mit der Thematik der Emissionsberechnung werden grundlegende Dinge genau erklärt, der methodische Ansatz greift auf einige etablierte Methoden der Geoinformatik zurück und erläutert deren Einsatz im Bedarfsfall. Natürlich liegt die Intention dieser Master Thesis aber auch darin, über die Ergebnisse der Emissionsberechnungen und -darstellungen die Problematik der Klimaerwärmung (indirekt) zu kommunizieren und Alternativen für die rasche Umsetzung umweltfreundlicher Technologien einzufordern.

1.4. Struktur der Master Thesis

Die Struktur der Masterthesis gliedert sich in 6 Abschnitte (vgl. Abb. 1.2). Nach einem einleitenden Überblick über die Thematik mit Definition von Arbeitshypothese, methodischem Ansatz und Abgrenzung der Fragestellung wird im 2. Kapitel ein Querschnitt über den Fachbereich der Emissionsmodellierung gegeben. Hier wird mit der IMPACT-Studie ([MAIBACH M., et al. 2008]) und dem Ansatz der INFRAS-Studie ([INFRAS, 1999]) das Fundament für den weiteren Aufbau der Arbeit gelegt. Ergänzende Erläuterungen zu zeitlichen und räumlichen Aspekten von Verkehrsdaten runden die Literaturrecherche ab.

Das 3. Kapitel untersucht zunächst die Datengrundlagen hinsichtlich Verfügbarkeit und Nützlichkeit. Darauf aufbauend werden 2 konzeptuelle Berechnungsmodelle ('Simple Mode', 'Complex Mode') in UML-Notation erarbeitet. Das 4. Kapitel wendet sich nach der praktischen Erfassung und Verarbeitung modellrelevanter Geodaten der Umsetzung des Modells in ArcGIS mit VBA und ArcObjects zu. Ergänzt wird die Emissionsmodellierung mit einer praktischen Beschreibung der Ausbreitungsrechnung in AUSTAL20000.

Die dem Modell zugrunde liegenden Annahmen und ein Vergleich der beiden Berechnungsmodi bilden den Beginn des 5. Kapitels, das mit Möglichkeiten der Darstellung

von Modellparametern und einer Berechnung externer Kosten im Bereich der Luftverschmutzung endet. Im 6. Kapitel bilden ein kritisches Resümee sowie der Ausblick auf weiterführende Arbeiten den Abschluss dieser Master Thesis.

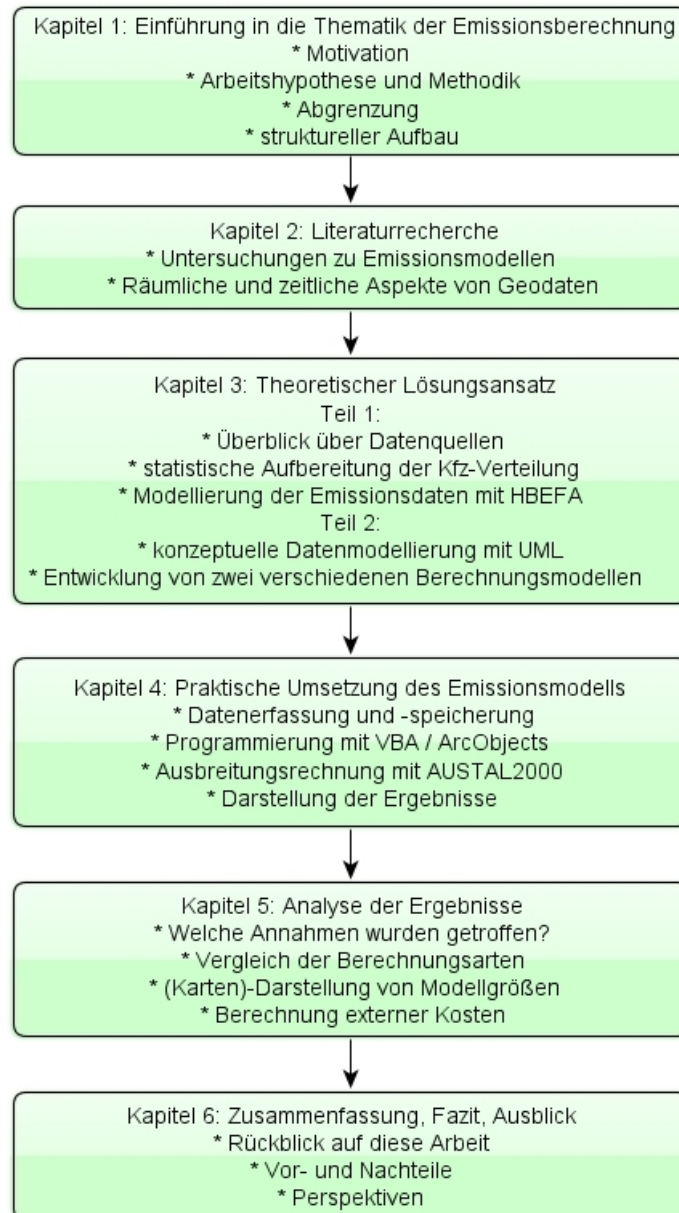


Abbildung 1.2.: Formaler Aufbau der Masterthesis

Im Anhang sind die in diese Arbeit verwendeten Datenstrukturen und Formeln, statistische Untersuchungen zur Verteilung der Fahrzeugschichten sowie der VBA-Code wiedergegeben.

2. Umweltbelastungen im Straßenverkehr

Die Grundlagenforschung zu externen Kostenfaktoren im Bereich des Straßenverkehrs sowie deren systematische Klassifizierung rückte in den vergangenen 10 Jahren verstärkt in den Fokus wissenschaftlicher Studien. Diese weisen im Allgemeinen einen stark interdisziplinär geprägten Ansatz auf. Charakteristisch ist dabei die Zerlegung der übergreifenden Problemstellungen in partielle Forschungsfragen, die mit den spezifischen Methoden der involvierten Disziplinen untersucht werden. Wichtige Ergebnisse werden in thematisch benachbarten Wissenschaften weiterverwendet. So dient etwa die Ableitung von Emissionsfunktionen für Lkws aus dem Forschungsfeld der angewandten Thermodynamik als wichtiger Input für die Berechnung von Emissionsmodellen im Bereich der Klimatologie.

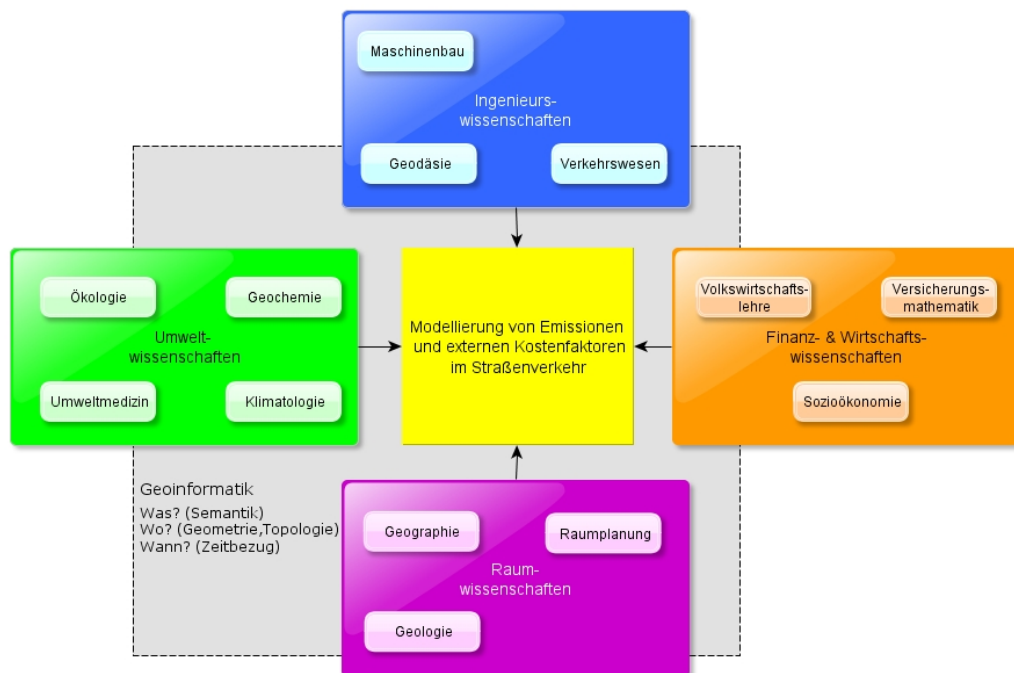


Abbildung 2.1.: Geoinformatik im interdisziplinären Umfeld

Die Rolle der Geoinformatik in diesem Forschungsfeld kann in zweierlei Hinsicht verstanden werden. Einerseits versucht sie, als räumliches Bindeglied die relevanten Komponenten der Problemlösung aufzugreifen und einen expliziten Ortsbezug herzustellen. Semantische Informationen - die Frage nach dem „Was“ - werden um

geometrische und topologische Informationen - die Fragen nach dem „Wo und in welcher räumlichen Gesamtbeziehung“ - ergänzt (vgl. Abb. 2.1). Darüber hinaus bietet die Geoinformatik eigene Methoden zur Analyse, Interpretation und Darstellung von räumlichen und raumzeitlichen Phänomenen.

Die Modellierung von Verkehrszählungen stellt ein dynamisches, weil in Raum und Zeit variables Phänomen dar. Das Ziel der folgenden Literaturrecherche liegt darin, die semantisch, räumlich und zeitlich relevanten Aspekte für Staufunktionen und Emissionsmodelle zu erarbeiten.

2.1. Studien zu Emissionen im Straßenverkehr

Die folgenden Abschnitte bieten einen Überblick über die aus Sicht der Geoinformatik (GI) wichtigen methodischen Ansätze und Parameter. Modelle für die Übersetzung der Kostenkategorie in Geldwert werden nur angedeutet. Zunächst werden folgende Begriffe näher erläutert:

Interne Kosten: Diese umfassen systembezogene Kosten, die vom Nutzer der Verkehrsinfrastruktur abgegolten werden. Dazu zählen die laufenden Kosten für Verwaltung und Betrieb und die Investitionen für Adaptionen und Ausbau der Verkehrsanlage. Verkehrsspezifische Steuern und Mautabgaben tragen in der Regel zur Kostendeckung bei. Auf Seiten des Straßenbenutzers werden die Kosten für Betrieb und Wartung des Kfz (Treibstoff, Verschleißteile, Service), die eigenen Zeitkosten und Kfz-bezogene Steuern und Abgaben zu den internen Kostenfaktoren gezählt.

Externe Kosten: Hier gilt nicht das Verursacherprinzip da die Kosten negativer Umweltauswirkungen durch den Straßenverkehr von der Gesamtbevölkerung getragen werden. Schadstoffemissionen, Lärm, Lichtsmog belasten Mensch und Umwelt und führen zu chronischen Erkrankungen, kontaminierten Gewässern und Böden oder auch zu abnehmender Biodiversität. Als langfristige Folge wäre die Verstärkung des Treibhauseffekts und die damit verbundene Veränderung der Klimazonen zu nennen. Auch Unfall- und Staukosten oder Naturraumkosten durch die Zerschneidungswirkung von Straßen zählen zu den externen Kosten. Eine exakte Modellierung und finanzielle Bewertung ist hier noch Gegenstand aktueller Forschungsprojekte.

Road Pricing: Hier ist zwischen fahrleistungsabhängigen Mautkosten (Lkw - Road Pricing auf den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen) und zeitabhängigen Mautkosten (Autobahn-Vignette für Pkw-Verkehr) zu unterscheiden. Bei Sondermautstrecken (z.B. A10: Tauern-Tunnel, Katschberg-Tunnel) werden die Gebühren vor Ort eingehoben.

EU-Direktive 1999/62/EC (EU-Wegekostenrichtlinie): Diese gesetzliche Vorlage des EU-Parlaments dient als Regulator für die Festlegung der höchstzulässigen Lkw-Maut auf höherrangigen Straßen. Seit der letzten Novellierung (2008) kann in den EU-Mitgliedstaaten ab 2010 bei der Lkw-Bemautung auch nach EURO-Norm (Abgasnorm für Kfz) differenziert werden.

2.1.1. Die IMPACT-Studie

Vor allem die Transportaktivitäten des Lkw-Straßenverkehrs innerhalb der EU bringen negative Umwelteinflüsse mit sich und verursachen externen Kosten, die volkswirtschaftliche Verluste bedeuten. Ziel des EU-Gesetzgebers war daher eine Novellierung der EU-Direktive 1999/62/EC, um diese externen Kosten zu erfassen. In diesem Zusammenhang vergab der EU-Gesetzgeber das Mandat an die EU-Kommission, aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse zusammenzufassen und einen praxisnahen Ansatz für die Schätzung und Internalisierung externer Kosten aller Verkehrstransportarten (Pkw, Lkw, Bahn, Flugzeug) zu erstellen.

Im Februar 2008 wurde von der Forschungsstelle CE Delft das „Handbook on the estimation of external costs in the transport sector“ publiziert, das in den Rahmen der Studie „Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT)“ eingebettet ist [MAIBACH M., et al. 2008]. Von den dort modellierten Kostenkategorien werden in dieser Masterthesis folgende behandelt:

- Staumodell: hier sind vor allem Kfz-Geschwindigkeit und der damit verbundene Treibstoffverbrauch von Interesse
- Emissionsmodell: ausgehend von der EURO-Abgasnorm und den Schadstoffemissionen wird der Bogen zum Luftverschmutzungs-Kostenmodell gespannt

2.1.1.1. Modellierung von Verkehrsstaus

Ausgehend von einer Definition der Leistungsfähigkeit eines Straßenquerschnitts wird in diesem Abschnitt die Problematik des Verkehrsstaus erklärt und die räumlich-zeitliche Übersetzung in den Bereich der Geoinformatik angedeutet.

Allgemeines: Die Leistungsfähigkeit eines Straßenquerschnitts wird durch interne und externe Faktoren bestimmt. Zu den internen Bestimmungsgrößen zählen Anzahl und Breite der Fahrstreifen je Richtung, Längsneigung sowie Kurveneigenschaften. Witterungsverhältnisse, Tageszeit und Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer beeinflussen als externe Faktoren die Leistungsfähigkeit. Leistungskurven und Fundamentaldiagramm beschreiben den funktionalen Zusammenhang zwischen Verkehrsmenge

Q [Kfz/h], der mittleren Geschwindigkeit V [km/h] und Verkehrsdichte D [Kfz/km] [NUHN H., HESSE M., 2006, S.41-43].

$$Q = D \cdot V$$

Interessant ist vor allem der Übergang von freiem zu gebundenem Verkehr (vgl. Abb. 2.2, [NUHN H., HESSE M., 2006, S.43]). Hier setzt Kolonnenbildung ein, die Stabilität des Verkehrsflusses nimmt ab, lokale Einzelereignisse (Bremsen, steigungsbedingte Geschwindigkeitsabnahme von Lkws) können räumlich weitreichende Folgen nach sich ziehen, die Stauanfälligkeit nimmt zu.

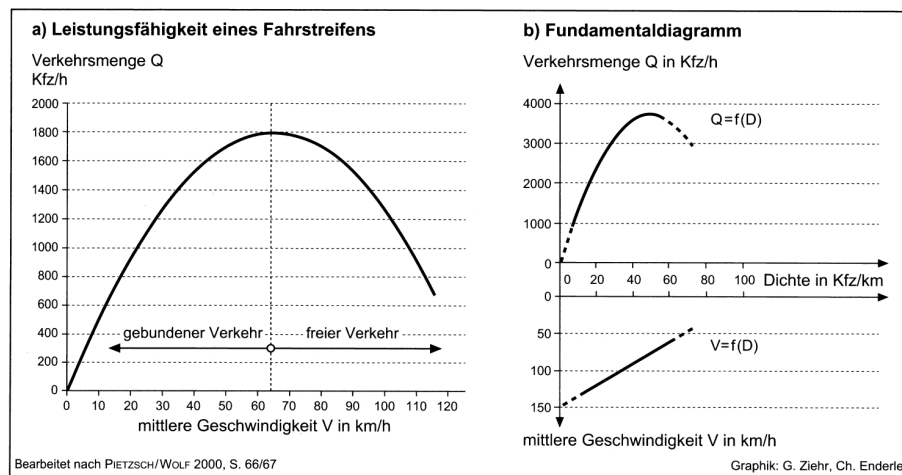
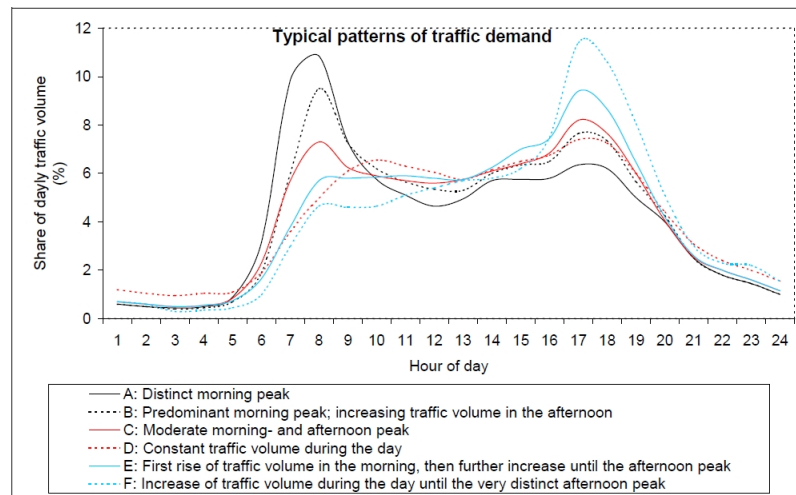


Abbildung 2.2.: Leistungsfähigkeit eines Fahrstreifens als Funktion der Kolonnengeschwindigkeit (a) und Fundamentaldiagramm (b)

Aus dem Blickwinkel der Geoinformatik ist hier vor allem die Modellierung der internen Bestimmungsgrößen interessant. Anzahl und Breite der Fahrstreifen lassen sich als direkte geometrisch-attributive Erweiterung implementieren, Längsneigung und Kurveneigenschaften können für definierte Streckenabschnitte aus den geometrischen Eigenschaften abgeleitet werden.

Stau-Typen: Abhängig von der Art der Straßeninfrastruktur werden Verkehrsstaus in 2 Haupttypen unterteilt: Engpass-Staus (bottleneck congestions), hervorgerufen durch Straßenkreuzungen und Fahrspurverengungen und Fluss-Staus (flow congestions), ausgelöst durch Kapazitätsüberlastungen. Für die Stau-Modellierung auf interurbanen, höherrangigen Straßennetzwerken (Autobahnen, Schnellstraßen) sind vor allem letztere, bei Baustellenbereichen eine Mischung der beiden Typen von Bedeutung [AFFORD, 2000]. Auslöser für Kapazitätsüberlastungen können Berufsverkehr, Urlaubsbeginn oder Großveranstaltungen sein. Die Darstellung periodischer Auslastung wird durch Tagesgang-Diagramme (vgl. Abb. 2.3, [SCHREYER C., et al. 2004a])



Source: INFRAS/IWW, 2004a.

Abbildung 2.3.: Unterschiedliche Verkehrsmuster auf deutschen Autobahnen und Fernstraßen

veranschaulicht. Hier zeigen sich charakteristische Verläufe von Verkehrsauslastungen für Berufsverkehr. Umgekehrt können auf Tages-Level aggregierte Verkehrszähl-daten durch die Überlagerung von adequate Verkehrs-Tagesgängen wieder näherungsweise auf Stundenwerte disaggregiert werden.

Staukosten: Staukosten sind vom Charakter jene Kosten, die den Straßenbenutzern kollektiv angelastet werden, jedoch nicht die gesamte Bevölkerung betreffen (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.23]). Die Zunahme der Fahrzeit macht ca. 90% der Staukosten aus, zusätzliche Treibstoffkosten die restlichen 10%. Für eine finanzielle Bewertung der Zeitverlängerung ist unter anderem zwischen Zweck, Transportmodus und Trip-Gesamtlänge zu unterscheiden. Der beste Ansatz zur Abschätzung von Staukosten basiert laut IMPACT-Studie auf der Verknüpfung von Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen (speed-flow relations), der monetären Bewertung von Zeit (VOT, value of time) und einer Nachfrage-Elastizität (demand elasticities).

Da in dieser Masterthesis die Staukosten nicht abgebildet werden, sind aus dem IMPACT-Staumodell nur die Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen für die weitere Modellbildung interessant. Die IMPACT-Studie verwendet für interurbane Verkehrskorridore die Funktionen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [MAIBACH M., et al. 2008, S.155-160]. Diese berechnen in Abhängigkeit von Anzahl der Fahrstreifen, Längsneigung und Lkw-Anteil bei gegebener Kapazität die mögliche Geschwindigkeit der einzelnen Kfz-Kategorien Pkw, Snf, Lkw und Rbus (vgl. Abb. 2.4, Quelle: [MAIBACH M., et al. 2008, S.30], Details

EWS speed-flow curves for passenger cars on a three lane motorway

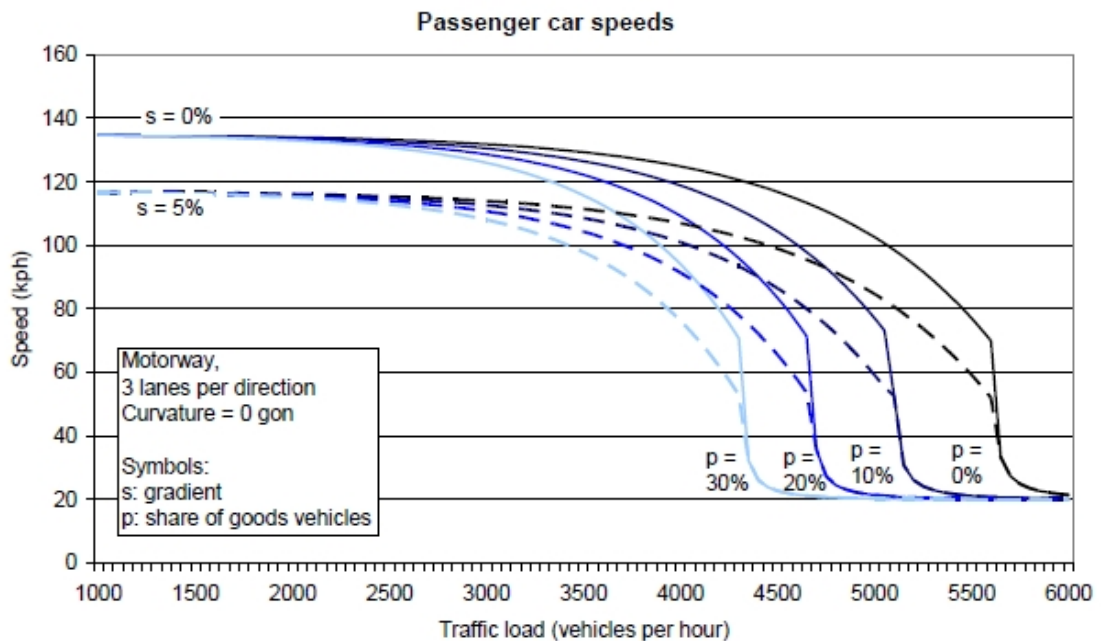


Abbildung 2.4.: Geschwindigkeits-Strömungs-Funktion für Pkw (3 Spuren)

siehe Anhang D). Diese Funktion könnte in einem prozessorientiert ablaufenden Berechnungsmodell umgesetzt werden. Eine Alternative im objektorientierten Sinne wäre die Zuweisung der passenden Geschwindigkeits-Strömungs-Funktion als objektteigene Methode an das jeweilige Straßensegment. Bei gegebener Verkehrsauslastung könnte die Berechnung der aktuellen Geschwindigkeit „on-the-fly“ erfolgen.

2.1.1.2. Modellierung von Schadstoffemissionen

Dieser Abschnitt beginnt mit einer kurzen Erläuterung der EURO-Abgasnorm und den zugehörigen Emissionsparameter für Kfz. Danach wird der Ansatz für das Kostenmodell der IMPACT-Studie erklärt und die Umsetzbarkeit im Rahmen der Geoinformatik diskutiert.

EURO-Norm: In der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des EU-Parlamentes und des Rates vom 20. Juni 2007 werden die für die Zulassung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen erlaubten Emissionsgrenzwerte festgelegt: EURO-5-Norm (gültig ab 1.9.2009) und EURO-6-Norm (gültig ab 1.9.2014) [EU, 2007]. Für diese Kfz-Kategorien werden die Grenzwerte km-abhängig [g/km] festgelegt, bei Lkw über 3,5 t erfolgt eine motorleistungsbezogene Festlegung [g/kWh]. Die folgende Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die in EURO-5/6 gemessenen Emissionsparameter in Abhängigkeit vom eingesetzten Motortyp (Diesel, Benzin). Für einen detaillierten

Überblick über die Grenzwerte von Kfz verschiedener Treibstoff- Gewichtsklassen (Pkw, Lkw) siehe Anhang C.

	CO	HC	NMHC	NO _x	HC+NO _x	PM
Benzin	x	x	x	x	-	x
Diesel	x	-	-	x	x	x

Tabelle 2.1.: Emissionsparameter für Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeuge

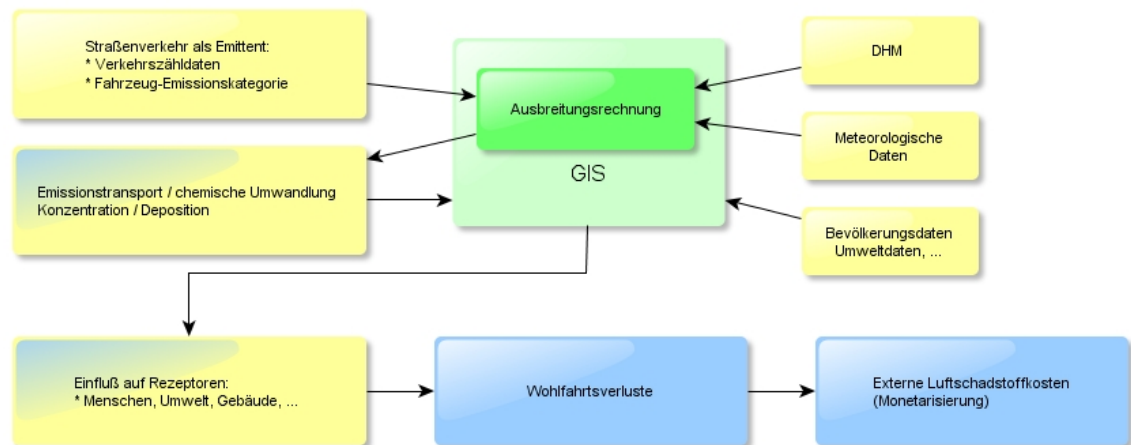


Abbildung 2.5.: Prozessfluss im Impact Pathway Approach

Emissionskosten: Emissionskosten sind vom Charakter solche Kosten, die die gesamte Bevölkerung betreffen. Die Berechnung basiert auf dem Impact Pathway Approach, der hier kurz skizziert wird (vgl. Abb. 2.5, [MAIBACH M., et al. 2008, S.48-49, Diagramm erweitert]. Ausgehend von detaillierten Verkehrszählenden, meteorologischen Daten (Windrichtung, Windstärke) und einem DHM (Digitales Höhenmodell) wird ein Ausbreitungsmodell gerechnet. Dieses kann als Input für weitere Verschneidungsoperationen in einem GIS für die Auswirkungsanalyse auf Mensch und Umwelt verwendet werden. Eine entsprechende ökonomische Bewertung und Umsetzung in monetäre Werte (Kosten von erhöhten Risiken für Leben und Gesundheit) ist im IMPACT-Modell angegeben.

Die Ausbreitungsmodellierung von Emissionsquellen ist ein Spezialgebiet der Geoinformatik, für das derzeit nur wenige Softwarelösungen existieren. Als Beispiel sei hier die Software AUSTAL2000 erwähnt, die vom deutschen Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Janicke entwickelt wurde (vgl. <http://www.austal2000.de>). Sie verwendet für die Ausbreitungsrechnung ein Lagrangesches Partikelmodell (gemäß der Verordnung TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, vgl. [BMU, 2002]), die auf folgendem Modellansatz

basiert: von punkt-, linien- oder flächenförmigen Emittenten wird eine große Anzahl von gasförmigen Schadstoffpartikeln in die Atmosphäre abgegeben, die den turbulenten Luftbewegungen folgen. Nach einer Berechnung einer hinreichend großen Menge von Partikelausbreitungswegen kann auf die räumliche Deposition einer gesamten Schadstoffwolke rückgeschlossen werden. Die Berechnung erfolgt über einen Kommandozeilen-basierten Modus, der eine Steuerdatei mit genaueren Angaben zu meteorologischen und/oder DHM-spezifischen Parametern erlaubt, auch die Berücksichtigung von digitalen Gebäudemodellen ist möglich. Das Simulationsergebnis liegt im Rasterformat (ASCII-Grid) wahlweise in UTM- (Universal Transverse Mercator) oder Gauss-Krüger-Koordinaten vor. Diese Software ist unter der GNU PUBLIC LICENSE frei verfügbar. Mittlerweile ist AUSTAL2000 auch als kommerzielles Softwarepaket AustalView mit graphischer Benutzeroberfläche erhältlich.

2.1.2. Weitere Untersuchungen zu Emissionsquellen

Wie eingangs erwähnt fasst die IMPACT-Studie eine Reihe von wichtigen wissenschaftlichen Publikationen zusammen. Deshalb wird hier die von den zwei unabhängigen Instituten INFRAS (Zürich) und IWW (Universität Karlsruhe) gemeinsam durchgeführte INFRAS/IWW-Studie genauer beschrieben (vgl. [INFRAS, 1999], [SCHREYER C., et al. 2004a]). Die Studie beschreibt eine umfassende Methodik zur Berechnung von Emissionen im Straßenverkehr. Darin werden Kraftfahrzeuge in die Kategorien Pkw, Lkw unter 3.5t (Lnf), Lkw über 3.5t und Busse des öffentlichen Nahverkehrs, Reisebusse (Rbus) und Motorräder aufgeteilt. Der räumliche Split sieht die Klassen Autobahn, Straßen in ländlichen Gebieten und städtische Straßen vor. Diese Studie modelliert nun pro Kfz-Kategorien für alle darin existenten EURO-Emissionsklassen (Kfz-Schichten) die folgenden Schadstoffklassen:

- Ozon-Vorläufersubstanzen: CO, NO_x, NMHC
- Kohlenwasserstoffe: HC
- Treibhausgase: CO₂, CH₄, N₂O
- Säurebildende Substanzen: Stickstoffeintrag (z.B. NH₃), SO₂
- Feinstaub: PM₁₀
- aromatische Kohlenwasserstoffe: Benzol, Toluol, Xylol
- Schwermetalle: Pb (Blei)

Weiters wird der Kraftstoffverbrauch berechnet. Diese Studie berücksichtigt drei unterschiedliche Emissionsquellen: Startphasen-Emissionswerte (Kaltstart), thermische stabilisierte Emissionswerte (Motor in Warmphase) und Emissionen wegen Verdunstungsverlusten. Ebenso werden Emissionen abhängig von unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen untersucht. Im Zuge dieser Studie wurde die Software HBEFA entwickelt, die ein umfangreiches Tabellenwerk für Emissionsberechnungen enthält.

Fazit: In Abschnitt 2.1 sind die folgenden wichtigen Aspekte zusammengefasst, die in dieser Arbeit weitere Verwendung finden:

- Nach Kenntnis des entsprechenden Verkehrstagesgang werden die als Tagesdurchschnittswert vorliegenden Verkehrszählraten auf stündliche Werte disaggregiert
- Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen bilden die funktionale Beziehung zwischen Verkehrsauslastung und möglicher Fahrgeschwindigkeit
- Verkehrstaus auf Autobahnen werden als überlastungsbedingte Staus (Fluss-Staus) charakterisiert
- Die INFRAS/IWW-Studie bietet ein umfassendes Tabellenwerk zur Emissionsberechnung verschiedener Kfz-Kategorien und Kfz-Schichten an

2.2. Modellierung von Verkehrsdaten

Verkehrsmobilität stellt ein raum-zeitliches Phänomen dar, jede Ortsveränderung ist mit einem zeitlichen Aspekt verknüpft. Dieser wird entweder durch zwei Zeitkoordinaten (Anfangs-, Endzeitpunkt) oder durch eine Zeitkoordinate (Anfangszeitpunkt) und eine Zeitspanne definiert. Im folgenden Abschnitt wird auf die räumlichen Aspekte eingegangen, im zweiten Abschnitt das Zeitmodell nach ISO 19108 erklärt.

2.2.1. Räumliche Aspekte

Technologie: Heute existieren verschiedene Möglichkeiten der Datenerfassung im Straßenverkehr. Diese sind immer auch im Zusammenhang mit der Applikationsebene zu sehen. Über Floating Car Technologien werden Fahrzeuge zu mobilen Sensoren (GPS + Mobilfunksystem) in Verkehrstelematiksystemen und dienen der Erfassung aktueller Geschwindigkeiten oder der Fahrzeugdichte. Online-Videokameras an neuralgischen Verkehrspunkten verwerten aktuelle Informationen über die Verkehrsauslastung und warnen vor potentiellen Staurisiken oder anderen Gefahrenquellen

(Nebel, Unfall, etc.). Ein anderer Weg der Verkehrsstromanalyse sind statische Erfassungssysteme, zu denen auch die Gateways der ASFINAG für das Road Pricing bei Lkws und Bussen zählen. Beim Passieren dieser Mautportale kommuniziert die sog. Go-Box des Lkw über Mikrowellentechnologie mit dem Gateway, es erfolgt eine automatische Abbuchung der Mautgebühr (vgl. Abb. 2.6). Andere technische Möglichkeiten zur kontinuierlichen Erfassung sind Induktionsschleifen in der Fahrbahn oder Mikrowellendetektoren am Fahrbahnrand.



Abbildung 2.6.: ASFINAG Mautportal (Quelle: <<http://www.asfinag.at>>)

Räumliche Verknüpfung: Aus Sichtweise einer geoinformatischen Umsetzung können räumliche Mobilitätsphänomene für verschiedene Anwendungsbereiche verwendet werden. Bei [KOLLARITS S., 1994] werden die Ebenen Visualisierungsfunktion, Datenmanagement und Analyseinstrument genannt. Für Querschnittsdaten, die zwar als (Mess-)Punktinformation vorliegen, semantisch aber den Kanten zwischen zwei Autobahn-Auffahrten (= Quellen und Senken für Verkehr) zugeordnet werden, bedeutet das konkret folgendes: Anwendung einer Visualisierung wäre eine abschnittsbezogene Kapazitätsauslastungskarte, die Darstellung könnte über Variation von Linienbreite, -farbe und -typ erfolgen. Die Datenmanagement-Anwendung beinhaltet die modellhafte Verbindung von räumlichen und nichträumlichen Datenquellen (Verkehrszählraten, Personendaten, Straßenabschnitte, etc.), die Datenverwaltung (Vermeidung von Redundanzen, Prüfung der Konsistenz) und die Ebene der Metadaten. Als mögliche analytische Fragestellungen sind die Interaktionen von raumvarianten (Umweltbelastung) mit zeitvarianten (Verkehrszählraten) Attributen zu nennen.

2.2.2. Zeitliche Aspekte

Geographie ist mehr als eine raumorientierte Wissenschaft: während Geometrie und Topologie die statische räumliche Dimension von Objekten und deren Beziehungen untereinander abbildet, wirkt Zeit als zusätzliche dynamische Dimension des Raums. [SINTON D., 1978] nennt Thematik, Ort und Zeit als inhärente Eigenschaft geographischer Daten. Zur Messung einer der drei Eigenschaften muss eine zweite fixiert und eine dritte kontrolliert werden. Übertragen auf die Auswertung von

Verkehrszählungen an Straßensegmenten bedeutet das die Fixierung der Zeitkomponente (Erhebungszeitpunkt bzw. -intervall), die Kontrolle der Raumeinheit (welches Straßensegment) und die Messung der Verkehrsmenge (Anzahl der Kfz).

Die Ziele zeitbezogener Fragestellungen können vielschichtig sein. Ausgehend vom Abruf und/oder Vergleich von Messdaten unterschiedlicher Erfassungszeitpunkte über die Untersuchung von periodischen Phänomenen und deren Schwankungsbreiten bis hin zu prädiktiven Zeitmodellen gibt es ein weites Spektrum der Interaktion von Raum und Zeit. Die zeitliche Auflösung der Messdaten bildet hierbei den Rahmen für die sich ergebenden Möglichkeiten zeitbezogener Fragestellungen. Eine hohes Aggregationsniveau, wie es beispielsweise bei den öffentlich verfügbaren ASFINAG-Verkehrszählungen gegeben ist (Tagesdurchschnittswerte werden aus Monats- und Jahresdaten gemittelt), erlaubt keine Analyse von Wochentagen oder einzelnen Tagessgängen.

	Kartographischer Raum	Kartographische Zeit
Gesamtkonfiguration	Karte	Zustand
Konfigurationen getrennt durch ...	Blattschnitte	Ereignisse
Regelmäßige Sample-Einheiten	Zellen	Stunden, Tage, Dekaden, etc.
Sinnvolle Einheiten	Objekte	Versionen
Untergliederungen getrennt durch ...	Grenzlينien	Mutationen
Größe, gemessen durch ...	Länge, Fläche	Dauer
Position, beschrieben durch ...	Koordinaten	Datum
Angrenzende Nachbarn sind ...	angrenzende Objekte	vorhergehende und nachfolgende Manifestationen
Maximale Anzahl angrenzender Nachbarn	unendlich	zwei

Tabelle 2.2.: Parallelen in räumlichen und zeitlichen Strukturen

[LANGRAN G., CHRISMAN N., 1988, S.5] ziehen Analogien zwischen räumlichen und zeitlichen Topologien. Ausgehend von systemtheoretischen Betrachtungen wird als zeitliche Entsprechung zur Karte der Zustand (eindimensionaler Abschnitt auf Zeitachse) eingeführt. Zustandsänderungen im System „Karte“ können an mehreren Objekten zeitgleich oder versetzt auftreten und werden als Ereignisse (nulldimensionaler Punkt auf Zeitachse) bezeichnet. Jedes Objekt in einer Karte hat also seine eigene, unabhängige Geschichte. In dem oben genannten Dokument werden folgende Parallelen zwischen räumlichen und zeitlichen Strukturen gezogen (vgl. Tab. 2.2).

Die ISO-Norm 19108:2002 (Geographic Information – Temporal Schema) legt Konzepte für die Beschreibung zeitlicher Charakteristiken geographischer Systeme fest.

Grundbausteine dieser ISO-Norm sind die beiden Zeitprimitive Zeitpunkt (engl. instant) und Zeitspanne (engl. period). Für zwei Zeitpunkte besteht immer eine strenge Ordnung, es gibt ein Davor und ein Danach. Zeitpunkt und Zeitintervall bzw. zwei Zeitintervalle können verschiedene zeitlich-topologische Beziehungen miteinander eingehen (vgl. [BARTELME N., 2005, S.225]). Folgende topologischen Beziehungen gibt es für 2 Zeitspannen: *Ordnung, unmittelbare Nachbarschaft, Identität, Überlappung, Einkapselung, Beginn, Beendigung.*

Fazit: Die Betrachtung der Geographie als raum-zeitliches Kontinuum ist seit wenigen Jahren auch Gegenstand intensiver Forschung auf der Ebene einer praktischen Umsetzung. Relationale Datenbanken wurden in den letzten Jahren um die räumliche Komponente im objektorientierten Sinne zu objekt-relationalen Datenbanken weiterentwickelt, räumlich-topologische Konzepte sind weitgehend etabliert. Für die kommenden Jahre ist eine Weiterentwicklung von räumlichen Datenbanken zu spatio-temporalen Datenbanken, also eine Integration der „4. Dimension“ (Zeit) und der Umsetzung zeitlich-topologischer Konzepte zu erwarten (vgl. [BRINKHOFF T., 2008, S.435-441]).

3. Emissionsmodell im Straßenverkehr

Ausgehend vom Literaturüberblick und dem dort umrissenen Ansatz für die Modellierung von Schadstoffemissionen wird in diesem Kapitel ein konzeptionelles Datenmodell entwickelt. Dabei wird zunächst die Frage notwendiger (Geo-)Datenquellen hinsichtlich der Aspekte Qualität, Verfügbarkeit und Umfang behandelt. Die Straßendaten bedürfen einer speziellen Aufbereitung, um den Berechnungsablauf zu ermöglichen. Um eine mögliche räumliche und zeitliche Variation der Verteilung der Kraftfahrzeuge zu untersuchen, werden die ASFINAG-Verkehrszählraten einer statistischen Untersuchung unterzogen. Danach erfolgt mit Hilfe der INFRAS/IWW-Tabellen die statistische Zuordnung der ASFINAG-Verkehrszählraten (Achsklassen) zu den INFRAS-Fahrzeugschichten (EURO-Abgasnormklassen). Zuletzt werden zwei Ansätze zur Emissionsberechnung als Aktivitätsdiagramme in UML modelliert.

3.1. Datengrundlage im Überblick

3.1.1. Geodaten

Die Auswahl und vor allem die Aufbereitung der für diese Arbeit nötigen Geodaten stellen einen zentralen Bereich dieser Arbeit dar. Da die Bemaßung (und somit auch die kontinuierliche quantitative Messung) auf Österreichs Straßen derzeit auf Autobahnen und Schnellstraßen beschränkt ist, spielt das linienförmige Straßennetzwerk dieser beiden Kategorien eine zentrale Rolle. Für eine Abschätzung der direkt von Emissionen betroffenen Bevölkerung wären demographische Daten in Verbindung mit Bebauungsdaten relevant. Diese waren für diese Arbeit nicht verfügbar. Die Ausbreitungsberechnung benötigt zudem ein DHM sowie für den konkreten Zeitpunkt (bzw. Zeitperiode) meteorologische Winddaten (Richtung und Stärke). Die Abschätzung der Belastungen von Luftschadstoffen auf sensible Naturräume (Gewässer, Naturschutzgebiete, etc.) erfordert Fachdaten dieser Sparte.

Erwerb und Nutzung von Geobasisdaten waren vor wenigen Jahren mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden. Die Entwicklung neuer Technologien im Zusammenhang mit dem World Wide Web und damit verbundene strenge Standardisierungen ließen in den letzten 5 Jahren eine Reihe von serviceorientierten Architekturen entstehen. Web Map Service (WMS) und Web Feature Service (WFS)

sind vom OGC (Open Geospatial Consortium) standardisierte Schnittstellen und ermöglichen die kostenfreie Abfrage von im Internet verteilten Geodaten und deren clientseitige Darstellung. Ein weiterer Trend der im Kontext mit dem Web 2.0 (interaktives, Nutzer-gesteuertes Internet) steht, bezieht sich auf den Aufbau von lizenzkostenfreien Geodatenbanken.

3.1.1.1. OpenStreetMap Karten als Datenquelle

OpenStreetMap (OSM - <http://www.openstreetmap.org>) ist eines der bekanntesten freien Geodaten-Projekte, in dem seit Jahren von mittlerweile mehr als 100.000 Nutzern Geodaten generiert, integriert und gewartet werden. Unter der Lizenz „Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0“ können diese OSM-Daten beliebig weiterverwendet werden, einzige Auflage ist die Nennung der Originalquelle. Die Datenerfassung erfolgt in erster Linie über hand-held GPS-Receiver, die mittlerweile eine absolute Positionierungsgenauigkeit zwischen 1m und 5m erreichen. Die semantische Qualität (Bezeichnungen, Zusatzinformationen für Feature-Klassen) der OSM-Daten unterliegt einer laufenden Kontrolle und Verbesserung seitens der OSM-User, für stark frequentierte Gebiete ist diese sehr gut. OpenStreetMap stellt für viele Länder täglich aktualisierte Daten auf einer Download-Site zur Verfügung, die Österreich-Daten können über <http://download.geofabrik.de/osm/europe/> bezogen werden.

3.1.1.2. Aufbereitung der Straßendaten

Durch die zentrale Rolle der Straßendaten in der Modellbildung werden in diesem Abschnitt nur dazu genaue Angaben betreffend Datenformat, Projektion, Attributauswahl etc. gegeben. Als vorbereitende Arbeiten wären unter anderem die ArcGIS-Funktion 'Repair Geometry' zu nennen, die - oft erst nach iterativer Anwendung - schadhafte Polyline (z.B. Selbstüberschneidung) oder schadhafte Polygone (z.B. falsche Ring-Orientierung) repariert. Die Aufbereitung der übrigen Geodaten unterliegen den allgemeinen Kriterien von GIS-Standardverarbeitungsschritten und soll hier nicht extra genannt werden.

Bezeichnung	Wert
False Easting	500000 [m]
False Northing	0 [m]
Scale Factor	0.9996
Central Meridian	15°

Tabelle 3.1.: Parameter für UTM 33T

Projektion: OpenStreetMap-Daten stammen zumeist aus GPS-Messungen, liegen also in geographischen Koordinaten (Länge, Breite) vor, die sich auf geodätische Referenzsystem World Geodetic System 1984 (WGS 84) beziehen (EPSG-Code: 4326). Die vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) für Österreich definierte amtliche Kartenprojektion ist in Einklang mit internationalen Standards die UTM-Projektion. Diese winkeltreue (konforme), transversale, zylindrische Abbildung verwendet ebenfalls das WGS84-Bezugsellipsoid und definiert Meridianstreifensysteme in 6° Abständen. Für diese Master Thesis wird die für den Bereich Salzburg definierte UTM-Zone 33T (EPSG-Code: 32633) als Projektion verwendet. Die dafür wesentlichen Parameter sind in Tabelle 3.1 angeführt. Bei gegebenen Projektionsinformationen von Geodaten (z.B. *.prj-Files bei Shape-Files) werden Transformationen zwischen Projektionen, welche dem selben Kartendatum (Referenzellipsoid) angehören, heute von den meisten GIS-Programmen und Geodatenbanken 'on the fly' erledigt.

File-Format: Für die Verspeicherung von Vektorgeometrien wird als 'Quasi - Standard' das ESRI-Shapefile-Format verwendet, das nicht nur in den gängigen GIS-Produkten verwendet wird, sondern für das auch zahlreiche Importroutinen für Geo-Datenbanken-Import existieren (z.B.: Shell-Skript shp2pgsql als Importer in eine Postgres/PostGIS-Geodatenbank).

Straßenbezogene Modellgrößen: Die Gliederung einer Autobahn teilt sich pro Fahrtrichtung in Mautstreckenabschnitte, die zwischen zwei Exits (hier: Exit 1 und Exit 2) liegen. Dieser Mautstreckenabschnitt wiederum wird hinsichtlich der folgenden Größen semantisch und geometrisch gegliedert (vgl. Abb. 3.1):

- Baustelle / keine Baustelle
- Längsneigung
- Anzahl nutzbarer Fahrspuren
- erlaubte Höchstgeschwindigkeit
- Tunnel / kein Tunnel

Diese fünf Modellgrößen werden als Eingangsparameter für eine Emissionsberechnung benötigt. Für den ersten und den letzten Unter-Abschnitt sind die Werte der fünf Größen in Abbildung 3.1 angeführt. Bei jeder semantischen Änderung von mindestens einer dieser fünf Variablen wird entlang der Geometrie des Mautstreckenabschnitts eine Markierung gesetzt (entspricht in der Abbildung der Projektion der Punktposition auf die unterste Gerade). Vom topologischen Standpunkt aus haben wir es hier mit einer klassischen Knoten - Kanten (- Zwischenpunkte) - Struktur zu tun (engl.: node-edge-vertex-structure). Die Knoten sind Autobahn-Exits, Kanten

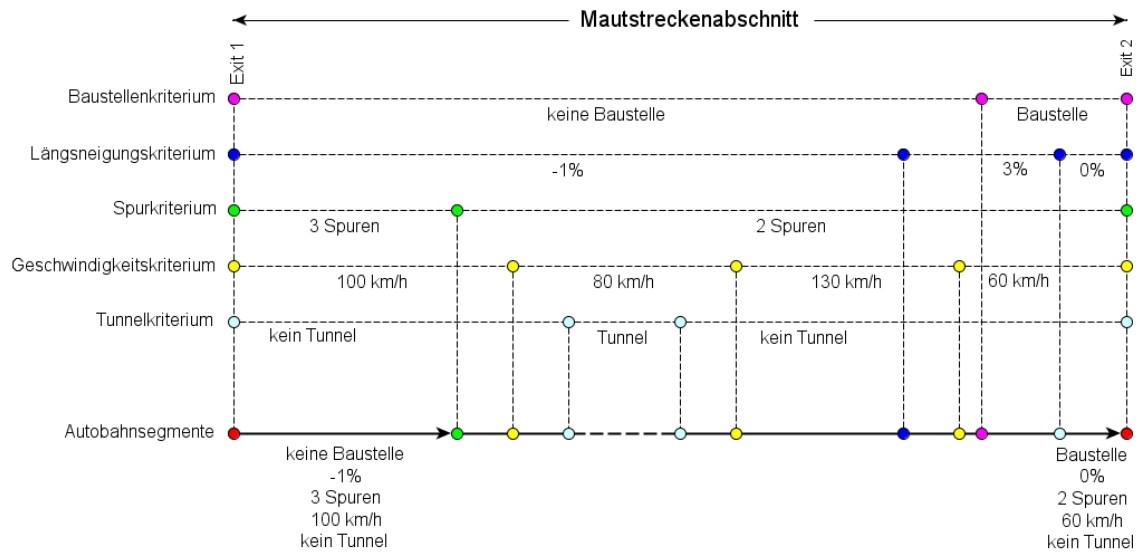


Abbildung 3.1.: Unterteilung eines Mautstreckenabschnitts

definieren die Mautstreckenabschnitte, Zwischenpunkte entsprechen den Änderungen der oben angesprochenen Variablen. Eine eindeutige Identifizierung ist über die Knoten-Id, Kanten-Id bzw. Vertex-Id gegeben. Weitere Attribute für Kanten auf globaler Ebene wären Autobahnbezeichnung, Fahrtrichtung, Bezeichnung des Mautstreckenabschnitts, Angabe über eine globale Geschwindigkeitsbeschränkung in der Nacht, Betreiberbezeichnung o.ä.. Knoten könnten durch die zusätzlichen Attribute Exitname, Kilometrierung, Anschlußstraße etc. beschrieben werden. Zudem macht es Sinn, die aus der Objektgeometrie (Punkt, Linie) abgeleiteten Werte ebenfalls in die Attributtabelle zu schreiben (Bsp.: Segmentlänge, Position x,y). Das strikte topologische Konzept muss hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit untersucht werden. Alternative Szenarien einer Modellierung wären (vgl. [BARTELME N., 2005, S.195]):

1. Für jede Thematik (Tunnel, Fahrspuren, etc.) wird eine gesonderte Struktur aufgebaut. Als Problem ergibt sich aber eine hohe Redundanz sowie die Gefahr von Inkonsistenzen bei geometrischen und/oder topologischen Änderungen
2. Erzeugen einer atomaren Struktur, also einer 'Zerschneidung' des Mautstreckenabschnitts nach der oben beschriebenen Methode. Hier wird eine saubere Topologie erzeugt. Nachteilig ist jedoch, dass sich daraus ein unter gewissen Umständen langsamerer Datenzugriff ergibt. So ist die Objektanfrage nach einem einzigen Kriterium - z.B. zeige mir den Abschnitt zwischen Exit 1 und Exit 2, wo keine Baustelle besteht - aufwändiger. Hier sind 8 Teilsegmente (siehe Abb. 3.1) zu suchen und darzustellen, die Zwischenpunkte machen hier keinen (topologischen) Sinn. Eine Möglichkeit wäre die zusätzliche Erzeugung von thematischen Linienobjekten, für die häufige Abfragen 'außerhalb' des Emissionsmodells geplant sind.)

Von den oben genannten Umsetzungsmöglichkeiten wurde Variante 2 gewählt, folgende Bearbeitungsschritte wurden in ArcGIS (für jede Fahrtrichtung getrennt) durchgeführt:

- Festlegung der Mautstreckenabschnitte: Exit Hallein bis Exit Werfen
- Route erzeugen (Arc Tool Box / Linear Referencing Tool / Create Routes): Routen-Identifikationsfeld = Autobahnname, aus der A10 Fahrtrichtung Villach wird eine Route erzeugt (Measure Offset = für Exit Hallein (16000¹) entsprechend der Kilometrierungsangaben der A10 wählen)
- Erzeugen einer Routenereignistabelle (dBase-Table in ArcCatalog) mit den folgenden Attributfeldern:

Attributname	Datentyp	Beispiel
von	Long Integer	24390
bis	Long Integer	25040
steigung	Double	1.7
tunnel	Integer	0
tunnelbez	Text	
baustelle	Text	0
kmh	Short Integer	130
spuren	Short Integer	2
autobahn	Text	a10v

Tabelle 3.2.: Datenstruktur für Routenevents

In diese Tabelle werden gemäß Abbildung 3.1 alle Events entlang der Mautstreckenabschnitte eingetragen.² Die vollständig Event-Tabellen sind in Anhang A.2 zusammengestellt.

- Einfügen von n linearen Routenereignissen pro Mautstreckenabschnitt (Ergebnis: atomare Struktur der Route s.o.)
- Einen 'Exit' Point-Layers anlegen: die Punkte werden 'generalisiert' auf der Polyline zwischen der Ab- und der Auffahrt desselben Exits (sofern vorhanden) angelegt und dienen der Begrenzung der einzelnen Autobahnsegmente. Für die Knoten kann eine von drei Eigenschaften definiert werden:
I ... Autobahn-Auffahrt
O ... Autobahn-Abfahrt
IO ... Autobahn-Auf- und Abfahrt
- Route an den 'Exit'-Points splitten

¹Angabe in [m]

²Für die Erfassung der geometrischen Daten wurden entlang der A10 in beiden Richtungen GPS-Tracks gemessen (vgl. Abschnitt 4.1).

Attributname	Datentyp	Beispiel
OBJECTID	Object ID	9
Shape	Polyline M	*
von	Long Integer	24390
bis	Long Integer	25040
steigung	Double	1.7
tunnel	Integer	0
tunnelbez	Text	
baustelle	Text	0
kmh	Short Integer	130
spuren	Short Integer	2
autobahn	Text	a10v
abschnitt	Text	Kuchl - Golling / Abtenau
abschnitt_id	Integer	291
segment_id	Short Integer	5

Tabelle 3.3.: Routenevents entlang der A10

Die Tabellen der fertig bearbeiteten Straßendaten haben die in Tabelle 3.3 beschriebene Struktur.

3.1.2. ASFINAG Verkehrszählraten

Seit 1.1.2004 ist die ASFINAG als Betreiber von Autobahnen und Schnellstraßen laut Bundesstraßen-Mautgesetz 2002 (BStMG), BGBl. I Nr. 109/2002 zur Einhebung von fahrleistungsabhängigen Mautgebühren bei Bussen und Lkw über 3,5t berechtigt. Die automatische kontinuierliche Datenerfassung erfolgt über Mautportale, die zwischen Exits liegen (vgl. Abschnitt 2.2.1). Derzeit erfolgt die Berechnung der Mauthöhe nach der Anzahl der Achsen (2 Achsen, 3 Achsen, 4+ Achsen). Ab 2010 soll jedoch die EURO-Norm in die Preisbildung einfließen. Da das derzeitige Road-Pricing nur auf die Kostendeckung für Betrieb und Ausbau der Verkehrsanlage ausgelegt ist, spielen Tarifschemen für die Road-Pricing-Berechnung und den Vergleich mit externen Kosten in dieser Master Thesis keine Rolle.

3.1.2.1. ASFINAG-Datenstruktur

Für die Master Thesis wurde seitens der ASFINAG ein partieller, anonymisierter Auszug ihrer Verkehrszählratenbank zur Verfügung gestellt. Dieser umfasst Messwerte des Road-Pricing-Segments (Lkw, Busse) auf stündlicher Basis entlang der Tauernautobahn (A10) für die beiden Wochen KW29/2008 (14.07.2008 - 20.07.2008) und KW38/2008 (15.09.2008 - 21.09.2008). Die Datenstruktur ist in Tabelle 3.4 beschrieben.

Attributname	Beipielswert	Bemerkung
Station [km]	19.35	Kilometrierung
Abschnitt (von-bis)	Hallein - Kuchl	Bezeichnung der Exits
Kalendertag	14.07.2008	
Stunde	11	
2 Achsen	28	Lkw mit 2 Achsen
3 Achsen	28	Lkw mit 3 Achsen
4+ Achsen	136	Lkw mit 4 oder mehr Achsen

Tabelle 3.4.: Tabellenstruktur der ASFINAG-Messdaten

Attributname	Beipielswert	Bemerkung
Autobahn	A10	Bezeichnung
Station [km]	4,925	Kilometrierungsangabe
Zählstellenname	Anif	
Zählstellen-Nummer	625	interne ASFINAG-Nr.
Abschnitt (von-bis)	KN Salzburg - Salzburg Süd / Anif	Bezeichnung der Exits
Richtung	Villach	Fahrtrichtung
Fahrzeugklasse	Kfz <= 3,5t hzG	s.o.
DTVMS (Mo-So) Kfz/24h	33851	Durchschn. tägl. Verkehr (Mo - So)
DTVMF (Mo-Fr) Kfz/24h	33069	Durchschn. tägl. Verkehr (Mo - Fr)
DTVMO (Mo) Kfz/24h	31988	Durchschn. tägl. Verkehr (Mo)
DTVDD (Di-Do) Kfz/24h	31264	Durchschn. tägl. Verkehr (Di - Do)
DTVFR (Fr) Kfz/24h	40913	Durchschn. tägl. Verkehr (Fr)
DTVSA (Sa) Kfz/24h	41912	Durchschn. tägl. Verkehr (Sa)
DTVSO (So) Kfz/24h	30290	Durchschn. tägl. Verkehr (So)
Datengüte	Messung	s.o.

Tabelle 3.5.: Tabellenstruktur der aggregierten ASFINAG-Daten

Die ASFINAG stellt in Kooperation mit dem BMVIT und den Bundesländern auf ihrer Homepage ausgewertete Zählstellendaten der Dauerzählstellen zur Verfügung (siehe <http://www.asfinag.at/index.php?idtopic=20>). Diese Daten beinhalten 2 Fahrzeugklassen (Fahrzeuge des Leichtverkehrs mit einem höchst zulässigen Gesamtgewicht $\leq 3,5t$ und Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit einem höchst zulässigen Gesamtgewicht $> 3,5t$) und sind auf Monats- bzw. Jahresbasis aggregiert. Die Zähl-daten der Klasse Kfz $> 3,5t$ sind aus Messungen der Mautportale abgeleitet, die Zähl-daten der Klasse $\leq 3,5t$ sind teilweise aus Stichprobenmessungen extrapoliert (Struktur der Tabelle vgl. Tab. 3.5)

Diese beiden einander ergänzenden Datenquellen sollen in die Modellbildung einfließen. Während die öffentlich verfügbaren ASFINAG-Daten zusätzliche Angaben zur Pkw-Verkehrsstatik enthalten, bieten die internen ASFINAG-Verkehrszähl-daten eine hohe zeitliche Auflösung und einen Split in Lkw-Achsklassen. Daraus ergeben sich interessante Fragestellungen:

- räumliche Analyse von Kapazitätsauslastungen je Autobahnabschnitt und Fahrzeugklasse (Pkw, Lkw (2-Achsen), Lkw (3-Achsen),...)
- zeitliche Analyse von Kapazitätsauslastungen je Autobahnabschnitt und Fahrzeugklasse (Tagesgänge, Wochengänge, ...)
- Möglichkeit, aus externen statistischen Daten über den Anteil der EURO-Klassen pro Lkw-Kategorie sowie weiterer Parameter (Gewicht, Motorleistung) auf durchschnittliche Emissionswerte rückzuschließen
- Extrapolation/Prädiktion von Emissionswerten
- ...

3.1.2.2. Statistische Untersuchung der ASFINAG-Daten

In diesem Abschnitt wird zunächst die prozentuelle Verteilung der Achsklassen aus den ASFINAG-Messdaten für die zwei Wochen (KW29, KW38) untersucht. Erkenntnisse daraus sollen dann Rückschlüsse auf die aggregierten ASFINAG-Daten (Monats- und Jahresdaten) ermöglichen. Es stellen sich zunächst folgende Fragen:

- **Definition eines räumlichen Aggregationsniveaus:** Beide Datenquellen haben den selben räumlichen Erfassungsmaßstab (Mautabschnitt pro Fahrtrichtung zwischen 2 Exits). Für die Berechnung der Achs-Fraktionen der gesamten A10 Tauernautobahn (globale Verteilung der Lkw-Achsklassen) wurden nun folgende Schritte unternommen:
 1. Berechnung der Verteilung pro Mautabschnitt, Fahrtrichtung und Woche durch Mittelwertbildung
 2. Aus dieser Tabelle Berechnung einer, mit der Anzahl der Fahrzeuge gewichteten Mittelwertbildung (Gewichtung: Anzahl der Kfz pro Abschnitt : Anzahl der Kfz gesamt) für die gesamte A10 pro Woche (Zusammenfassung der A10 zu einem Segment pro Fahrtrichtung, vgl. Tabelle 3.6, Anhang B)

Fahrtrichtung	Woche	2-Achsen	3-Achsen	4+-Achsen
Villach	KW 29	16.0 ± 6.6%	7.9 ± 3.0%	76.1 ± 9.2%
	KW 38	16.6 ± 5.7%	8.0 ± 3.5%	75.4 ± 8.8%
Salzburg	KW 29	16.6 ± 6.3%	7.6 ± 3.1%	75.8 ± 9.1%
	KW 38	17.2 ± 6.1%	7.5 ± 3.3%	75.3 ± 9.2%

Tabelle 3.6.: Statistik der Achs-Fraktionen A10 nach Woche, Richtung

Die relativ hohe Standardabweichung lässt sich auf den Mautabschnitt „Seeboden - KN Spittal Millstätter See“ zurückführen, wo die Verteilung (gemittelt über beide Richtungen, Wochen) so aussieht: 2-Achsen: 44%, 3-Achsen: 19%, 2-Achsen: 37%. Ohne Berücksichtigung dieses Abschnitts halbieren sich die

Werte der Standardabweichung. Da die Werte für beide Wochen und Fahrrichtungen nicht signifikant unterschiedlich sind, kann für die gesamte A10 für beide Fahrrichtungen ein globaler Fraktionsanteil angegeben werden (vgl. Tab. 3.7):

Parameter	2-Achsen	3-Achsen	4+-Achsen
Mittelwert/Standardabw.	16.6 ± 0.5%	7.7 ± 0.2 %	75.7 ± 0.4%

Tabelle 3.7.: Statistik der Achs-Fraktionen gesamte A10

- Definition eines zeitlichen Aggregationsniveaus:** Die zeitliche Auflösung der ASFINAG-Zählraten liegt bei einer Stunde, daraus lassen sich Unterschiede im Tagesgang gut darstellen. Die Berechnung der drei Lkw-Achs-Fraktionen aus Stundenwerten wäre möglich, für sieben Mautabschnitte wurden diese auch untersucht (vgl. Abb. 3.2). Es zeigt sich aber, dass auf Grund der starken tageszeitabhängigen Kapazitätsschwankungen die Mittelwerte der Kfz/h eine hohe Standardabweichung aufweisen. Hier zeigen sich also stärkere anteilmäßige Schwankungen, die durch Staus und damit verbundene Blockabfertigungen beim Tauern Tunnel oder andere zufällige Ereignisse hervorgerufen werden können. In Abbildung 3.3 ist der Verlauf für Montag, 14.07.2008 angegeben. Zwischen 6h und 18h (normale Arbeitszeit) zeigen alle 3 Kurven eine starke Verkehrsauslastung mit Spitzenwerten zu unterschiedlichen Zeitpunkten, zwischen 18h und 6h eine geringe Auslastung. Bei Abbildung 3.4 ist die Auswirkung des Lkw-Sonntagsfahrverbots für Lkw > 7,5t gut zu erkennen, das um 22h endet (starker Anstieg).

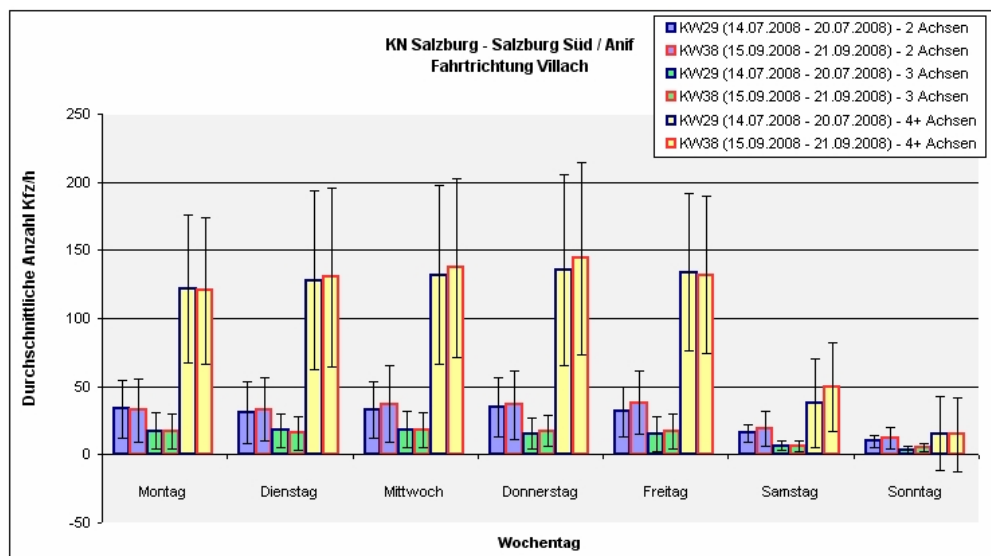


Abbildung 3.2.: Mittelwert/Standardabweichung für Wochengang

3. Emissionsmodell im Straßenverkehr

Fazit: Die globale Verteilung der Achsklassen (also die Mittelwertbildung über alle Abschnitte und beide Wochen) ist über die Mautstreckenabschnitte der A10 (mit Ausnahme des Abschnitts „Seeboden - KN Spittal Millstätter See“) relativ konstant und hat das in Tabelle 3.7 angegebene Verhältnis. Das Verhältnis der 3 Achsklassen gilt es später noch mit Hilfe der INFRAS/IWW-Tabellen in die einzelnen Fahrzeugschichten der Kfz-Kategorien Snf (Schwere Nutzfahrzeuge) und Rbus (Reisebusse) zu aufzuteilen (vgl. Abschn. 3.1.3.2).

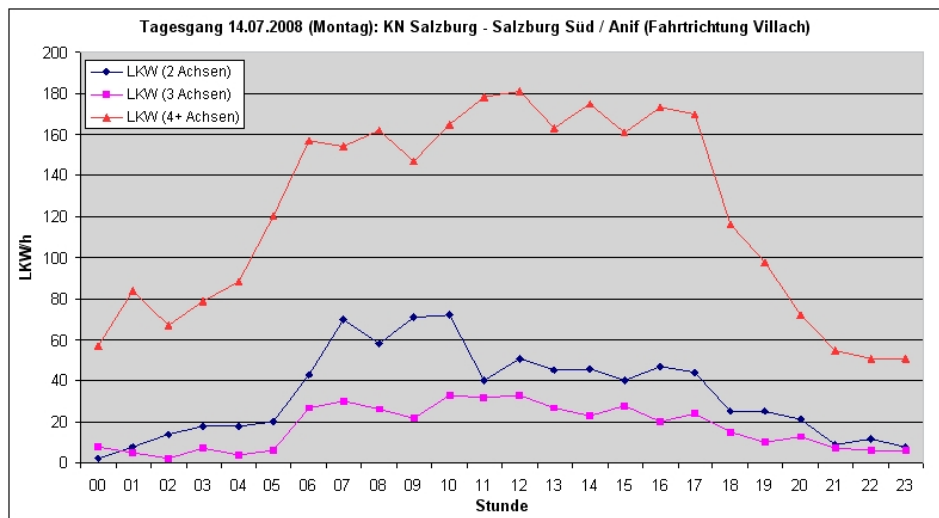


Abbildung 3.3.: Tagesgang Montag

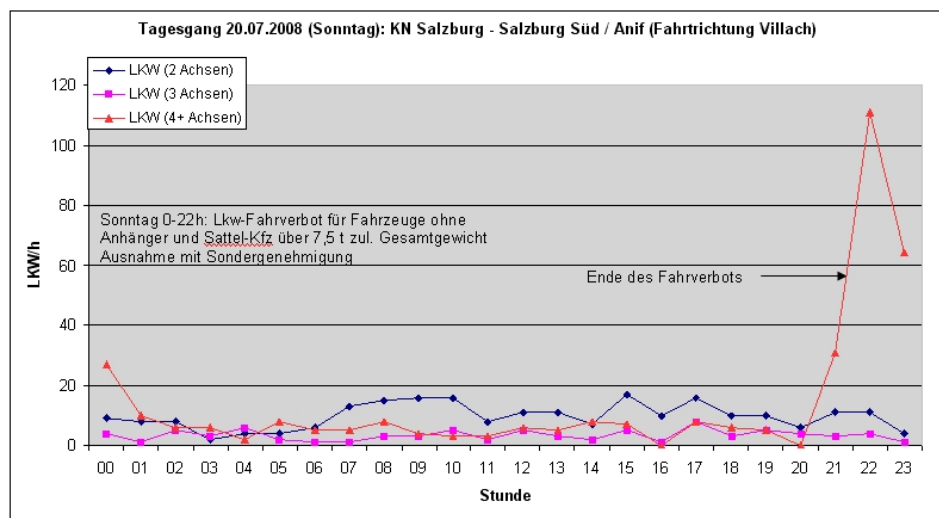


Abbildung 3.4.: Tagesgang Sonntag

3.1.3. Annahmen über die Kfz-Verteilung

Einleitend soll zunächst die Problematik der Zuordnung der erfassten Lkw-Achsklassen (2-, 3-, 4+ -Achsen) zu Gruppen gleicher Größe und gleicher Abgasreinigungstechnologie erläutert werden, wobei hier nur die Emissionsfaktoren im betriebswarmen Zustand interessant sind. Weitere Emissionsarten sind Emissionszuschläge bei Kaltstart oder verschiedene Verdampfungsemissionen. Vom statistischen Blickwinkel erfasst die ASFINAG zwar Daten über die nationale Herkunft des Lastkraftwagens (die jedoch dieser Arbeit nicht zur Verfügung stehen) - Angaben über Alter, EURO-Abgasnorm oder Tonnage des Kfz fehlen aber (derzeit noch). Somit kann eine Verteilung der Kfz nach diesen genannten Parametern nicht bestimmt werden, Angaben über eine mögliche Zuweisung können nur nationalen Studien entnommen werden. Dafür bietet sich das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs der INFRAS-Studie an, die in Kooperation verschiedener deutscher, österreichischer und schweizerischer Forschungsstellen im Jahr 1999 erarbeitet wurde [INFRAS, 1999]. Ergänzend zu dieser Studie wurde die Software HBEFA 2.1 entwickelt (<http://www.hbefa.net/>), die unter anderem detaillierte Untersuchungen über Flottenmix, Verkehrssituationen und Emissionsfaktoren in Form einer Access-Applikation zur Verfügung stellt. Die darin dokumentierten Verteilungen und Emissionsparameter bilden die Basis für die weiteren Überlegungen.

3.1.3.1. Verteilung von Personenkraftwagen (Pkw) und leichten Nutzfahrzeugen (Lnf)

Bei INFRAS erfolgt die Unterteilung der Fahrzeugkategorien (Pkw ... Personenkraftwagen, Lnf ... Leichte Nutzfahrzeuge, Snf ... Schwere Nutzfahrzeuge, Rbus ... Reisebusse) nach Fahrzeugschichten, die Gruppen von Kfz mit vergleichbarem Emissionsverhalten präsentieren. Eine Fahrzeugschicht von Pkw und Lnf wird auf Jahressbasis an Hand von drei Kategorien definiert:

- Motortype: Ottomotor (Benzin) oder Dieselmotor
- Hubraum: < 1.4L / 1.4-2L / > 2L
- EURO-Abgasnorm: EURO-1 bis EURO-4³

³Abgas-Normen vor der Einführung von EURO-1 (ECE 15/00, ECE 15/01-02, ECE 15/03, ECE 15/04, Ungeregelter Katalysator (U-Kat), Geregelter Katalysator bis 1990 (GKat) für Ottomotoren bzw. konventionelle Dieselmotoren vor Baujahr 1988) stellen einen sehr geringen Anteil dar (<3%) und werden für 2008 nicht mehr berücksichtigt

Im Jahr 2008 gibt es 22 (15) Fahrzeugschichten für Pkw (Lnf), die für drei verschiedene Straßenkategorien (Innerorts, Außerorts, Autobahn) in Abhängigkeit ihrer jährlichen Kilometerleistung gewichtet sind. Obwohl die Verteilung des Pkw-Bestands Benzin : Diesel = 45.7 : 54.3 beträgt, (Quelle: Statistik Austria) ist der fahrleistungsgewichtete Anteil Benzin : Diesel \approx 22.7 : 77.3. Für diese Arbeit wurde nur die Straßenkategorie „Autobahn“ für das Jahr 2008 für Pkw und Lnf ausgewertet (vgl. Anhang B.2).

Als nächster Schritt wird eine Zusammenfassung der Fahrzeug-Hauptkategorien Pkw (22 Klassen) und Lnf (15 Klassen) durchgeführt. Das Verhältnis von Lnf zu Pkw wird derzeit von der Statistik Austria bis zum Jahr 2007 angegeben und beträgt für 2007 297888 : 4245853 bzw. 1 : 14.3.

(Quelle: http://www.statistik.at/web_de/dynamic/statistiken/verkehr/030430, Werte aus Tabelle 1, Tabelle 5). Mit diesem Schlüssel ergibt sich die endgültige Verteilung für das Aufsplitten der ASFINAG-Verkehrszählungen für Fahrzeuge unter 3.5t (vgl. Tab. B.1, Spalte gewichteter Anteil, Summe der Anteile = 100%).

3.1.3.2. Verteilung von Lastkraftwagen (Lkw) und Reisebussen (Rbus)

Die Unterteilung der Fahrzeugkategorien für Lkw und Reisebusse über 3.5t gestaltet sich komplexer, da hier die Anzahl der erfassten Achsen (2-,3- oder 4 und mehr Achsen) in Lkw-Gewichtsklassen bzw. Lkw-Leistungsklassen übersetzt werden muss und weiters eine Einteilung nach EURO-Norm zu treffen ist. Insgesamt sind hier 41 (Snf: 27, Rbus: 14) Fahrzeugschichten vorhanden, für die eine Verteilung auf die 3 Achsklassen zu finden ist. Obwohl für manche Kategorien die Bestimmung der Achszahl eindeutig ist (z.B. Lastzüge von 34-40t: 4+ Achsen), kann für andere Kategorien nur eine realistische Abschätzung der Verteilung gegeben werden. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt, um die Hauptkategorien Snf und Rbus sowie deren 41 Fahrzeugschichten in die 3 Achsklassen zu übersetzen:

- Aufsplitten der 41 Fahrzeugschichten durch Vergabe einer hypothetischen Gewichtung für die 3 Achskategorien und Berechnung der gewichteten Anteile am Gesamtanteil
- Annahme einer Verteilung zwischen den beiden Kategorien Snf:Rbus = 9.7:1. Diese Annahme beruht auf Bestanderhebungsdaten der Statistik Austria in Österreich aus dem Jahr 2008 (vgl. http://www.statistik.at/web_de/static/kfz-bestand_2008_035580.pdf). Daraus Berechnung der gemeinsamen Verteilungswerte für die 41 Kategorien von Snf und Rbus⁴

⁴Da die INFRA-Tabelle für beide Hauptkategorien nicht 100 Prozent der Daten liefert (Rbus: 99%, Snf: 94%), wurde bei Berechnung der gemeinsamen Verteilungswerte die jeweilige Kategorie proportional gestreckt (Rbus: $\frac{100}{99}$, Snf: $\frac{100}{94}$).

- Mittels iterativer Anpassung der Gewichtung konnte eine mit den ASFINAG-Messdaten vergleichbare Verteilung der Achsklassen erreicht werden (ASFINAG: 16.6 : 7.7 : 75:7, INFRAS: 21 : 9.7 : 69.3, vgl. Tab. 3.7 und B.3)
- Im letzten Schritt wird jede der 3 Verteilungen auf 100% normiert (vgl. Tab. B.2, B.3).

Fazit: Die Unterteilung und Zuordnung einer Snf-Schicht in eine der drei Achsklassen stellt eine empirisch nicht begründete Annahme dar, die sich nur aus logischen Überlegungen ableitet. Obwohl die Summen über die drei Achsklassen wieder zu dem von den ASFINAG-Verkehrszählern abgeleiteten Verhältnis führt, ist dem Autor klar, dass dieses Splitting eine Schwachstelle der Arbeit darstellt. Mangels verfügbarer Daten konnte jedoch keine alternative Lösung erarbeitet werden.

3.1.4. Modellierung der Emissionswerte mit HBEFA 2.1

EURO-Norm: Für eine exakte Berechnung von Emissionswerten müssen die gängigen Kfz-Abgasnormen verwendet werden, die für den Raum der EU seit 1.7.1992 als Normen EURO-1 bis EURO-6 für Pkw/Lnf und Snf/Rbus getrennt festgelegt sind. Neuwagen aller Kategorien müssen die zum Stichtag gültige Abgasnorm erfüllen. Der Unterschied zwischen Pkw/Lnf und Snf/Rbus liegt in der Berechnung der Emissionswerte. In der Kategorie Pkw/Lnf werden die Schadstoffemissionen in Gewicht pro Streckeneinheit [g/km] angegeben. In der zweiten Kategorie Snf/Rbus werden die Emissionswerte durch

$$\frac{\text{Gewicht}}{\text{Motorleistung} \cdot \text{Zeiteinheit}}$$

(Einheit [g/kWh]) definiert. Ein Überblick über die Standards für Emissionsgrenzwerte befindet sich im Anhang C. Die Emissionswerte von Kraftfahrzeugen werden über verschiedene Testverfahren bestimmt. Bei Snf wird ausgehend von einem Fahrzyklus mit festgelegtem Geschwindigkeitsbereich und Fahrbahnlängsneigung die Motorleistung simuliert und daraus Verbrauchs- und Emissionswerte ermittelt, die dann auf die Motorleistung normiert werden (vgl. [FVT, 2003]).

Mit der oben erwähnten Applikation HBEFA 2.1 aus der INFRAS-Studie (vgl. [INFRAS, 1999]) wurden für den Straßentyp Autobahn detaillierte Emissionsberechnungen durchgeführt. Dabei wird jedoch für die oben angesprochene Motorleistung der jeweiligen Fahrzeugschicht ein Durchschnittswert genommen. Die Software bietet in der Komplexität ihrer Berechnung verschiedene Differenzierungsgrade, deshalb soll hier kurz die verwendete Parametereinstellung erklärt werden.

Für das Berechnungsmodell 'Simple Mode' wurde für alle Fahrzeugkategorien eine Tabelle erzeugt (Tabelle: efa_ave_allcat_ab), folgende Einstellung wurden in HBEFA getroffen:

1. **Wahl von Fahrzeugkategorien:** Pkw, Lnf, Snf, Rbus
2. **Wahl von Schadstoffen:**
 - HC (Kohlenwasserstoffe total)
 - CO (Kohlenmonoxid)
 - NOx (Stickoxide)
 - mKr (Masse Kraftstoff)
 - Part (Partikel/Feinstaub)
 - CO₂ (Kohlendioxid total in f(Treibstoff))
 - CH₄ (Methan)
 - NMHC (Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe)
 - SO₂ (Schwefeldioxid)
 - N₂O (Lachgas)
 - NH₃ (Ammoniak)
 - Benzol
 - Toluol
 - Xylol
3. **Wahl von Bezugsjahren:** 2008, 2009
4. **Wahl Verkehrszusammensetzung:** Basis-Entwicklung
5. **Wahl von Verkehrssituationen:** \emptyset AB
6. **Längsneigungen:** \emptyset
7. **Wahl des Aggregationsniveaus der Ergebnisse:** pro Kfz-Schicht

Für das Berechnungsmodell 'Complex Mode' wurde pro Fahrzeug-Kategorie eine Tabelle erzeugt (Tabellen: efa_pkw, efa_lnf, efa_snf, efa_rbus), die Einstellungen unterscheiden sich von den oben getroffenen in folgenden Punkten:

Ad 1: nach Fahrzeugkategorie getrennte Berechnung

Ad 5: vgl. Tab. 3.8

Ad 6: 0°, ±2°, ±4°, ±6°

Verkehrssituation	Pkw	Lnf	Snf	Rbus
AB>120	x	x	-	-
AB_120	x	x	-	x
AB_100	x	x	x	x
AB_80	x	x	x	x
AB_60	x	x	x	x
AB_120_gebunden	x	x	-	x
AB_100_gebunden	x	x	x	x
AB_80_gebunden	x	x	x	x
AB_60_gebunden	x	x	x	x
AB_Baust1	x	x	x	x
AB_Baust1	x	x	x	x
AB_Stop+Go	x	x	x	x

Tabelle 3.8.: Wahl der Verkehrssituationen

Die Ergebnisse der Schadstoffemissionen liegen für die gewählte Fahrzeugschicht in Abhängigkeit der Verkehrssituation in der Einheit [g/km] vor und können aus HBEFA 2.1 als Excel-Tabelle exportiert werden.

Fazit: In Abschnitt 3.1 wurden folgende Schritte gesetzt:

- Aufbereitung der Polyline-Straßendaten mit Unterteilung der Mautabschnitte in Subsegmente, welche die straßenbezogenen Modellgrößen enthalten
- Statistische Untersuchung der ASFINAG-Verkehrszählraten (Snf, Rbus) hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Variation. Auf Grund einer relativ homogenen Verteilung der Achsklassen wurde ein konstantes Verhältnis der 3 Achsklassen zueinander für die weitere Modellentwicklung definiert
- „Übersetzung“ der 3 Achsklassen mit Hilfe der INFRAS/IWW-Tabellen in Kfz-Schichten für Snf und RBus. Das Verhältnis zwischen Pkw und Lnf wurde aus den Daten der Statistik Austria ermittelt und unter Benutzung der INFRAS/IWW-Tabellen ebenfalls in Kfz-Schichten übertragen.
- Modellierung der Emissionsfaktoren mit HBEFA unter Berücksichtigung der beiden Berechnungsmodi 'Simple Mode' und 'Complex Mode'.

3.2. Konzeptuelle Datenmodellierung in UML

Die Unified Modeling Language (UML) ist ein von der Object Management Group (OMG) spezifizierter Standard. Der derzeit vorliegende Standard UML 2.0 (Version 2.1.2) bietet 13 verschiedene, auch untereinander kombinierbare Diagrammtypen

und erleichtert die Kommunikation zwischen Stakeholder, die an einem Software-Projekt beteiligt sind. Software-unabhängige und standardisierte Diagrammsprachen vermitteln Analysen und Lösungsansätze zwischen den Projektteilnehmern, Spezialisten der einzelnen Disziplinen (Software-Designer, Programmierer, Datenbankentwickler, ...) können über die *lingua franca* UML eine gemeinsame Sprache für problemorientiertes Arbeiten finden, ohne über das jeweilige Expertenwissen der Projektpartner verfügen zu müssen.

In dieser Arbeit wird der UML-Diagrammtyp „Aktivitätsdiagramm“ als Notationsmittel verwendet, um den komplexen Verlauf der Berechnung von Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung alternativer Entscheidungsprozesse darzustellen. Nach einer kurzen Erklärung der benötigten Notationselemente werden die Aktivitätsdiagramme für den Gesamtprozess (vgl. 3.2.2), ein einfaches Berechnungsmodell (‘Simple Mode’, vgl. 3.2.3) und nachfolgend ein komplexeres Berechnungsmodell (‘Complex Mode’, vgl. 3.2.4) vorgestellt.

3.2.1. Notationselemente im Aktivitätsdiagramm

UML 2.0 spezifiziert Aktivitäten als eine zeitlich gerichtete Abfolge von einzelnen Aktionen, die zur Laufzeit eines Programms eintreten (können). Für die Modellierung der Emissionsberechnung wurden folgende Notationselemente verwendet (vgl. [RUPP C., et al. 2007, S.269-297]):

- **Token:** bezeichnet das logische Erklärungskonzept des sequentiellen „Routenverlauf“ durch eine Aktivität in Form eines wandernden Punktes. Um die Parallelität von Abläufen darzustellen, können gleichzeitig beliebig viele Token unterwegs sein. (Token als solche werden jedoch nicht abgebildet)
- **Aktion:** wird ausgelöst, sobald der Token über die eingehende Kante eintrifft, verarbeitet die zugeführten Objekte
- **Aktivität:** bildet die Gesamtheit aller möglichen Abläufe ab, kann auch selbst als Aktion Bestandteil einer Aktivität auf höherem Abstraktionsniveau sein
- **Objektknoten:** können unterschiedliche Ausprägungen repräsentieren (Objekte von Klassen, Wertespeicher, ...), stehen über Kanten mit Aktionen in direkter Verbindung
- **Kanten:** gerichtete Verbindung zweier Objektknoten
- **Kontrollelemente:** dazu zählen Startknoten (markiert einen oder mehrere mögliche Startpunkte in einer Aktivität), Endknoten (kann das Ende einer gesamten Aktivität oder eines Kontrollflusses bezeichnen), Verzweigungs- und Verbindungsknoten (splitten konditionale Bedingungen (wenn.. dann..) auf bzw. verbinden mehrere Kanten) sowie Synchronisations- und Parallelisierungsknoten (führen alle eingehende Daten zusammen bzw. splitten einen Ablauf ohne konditionale Bedingungen auf).

Die Aktivitätsdiagramme wurden mit der Software ArgoUML Version 0.28 umgesetzt.

3.2.2. Überblick über den Gesamtprozess

Die Berechnung der Emissionsfaktoren aus den oben genannten Datenquellen ist als Anwender-gesteuerte Aktivität implementiert (vgl. Abb. 3.5). Eine Eingabemaske bietet dem Nutzer die Auswahl des Berechnungsmodells ('Simple Mode' oder 'Complex Mode') sowie der räumlichen und zeitlichen Parameter und ermöglicht eine Selektion der gewünschten Emissionsfaktoren. Ausgehend von den Eingabeparametern aus den drei Gruppen (Mautstreckenabschnitt, Zeitraum und Fahrzeugtyp) werden in Abhängigkeit des Berechnungsmodus die ASFINAG-Verkehrszählraten abgefragt und aus dem INFRAS-Modell die adäquaten Emissionsfaktoren für die gesuchten Emissionskategorien bereitgestellt. Die Aktionen „Berechne Emissionsfaktoren“ (simple oder complex) werden als eigene Aktivitäten weiter unten beschrieben. Eine passende Präsentation der Ergebnisse in gewünschter Form (Tabelle, Grafik, GIS-Darstellung) bildet den letzten Schritt der Simulation.

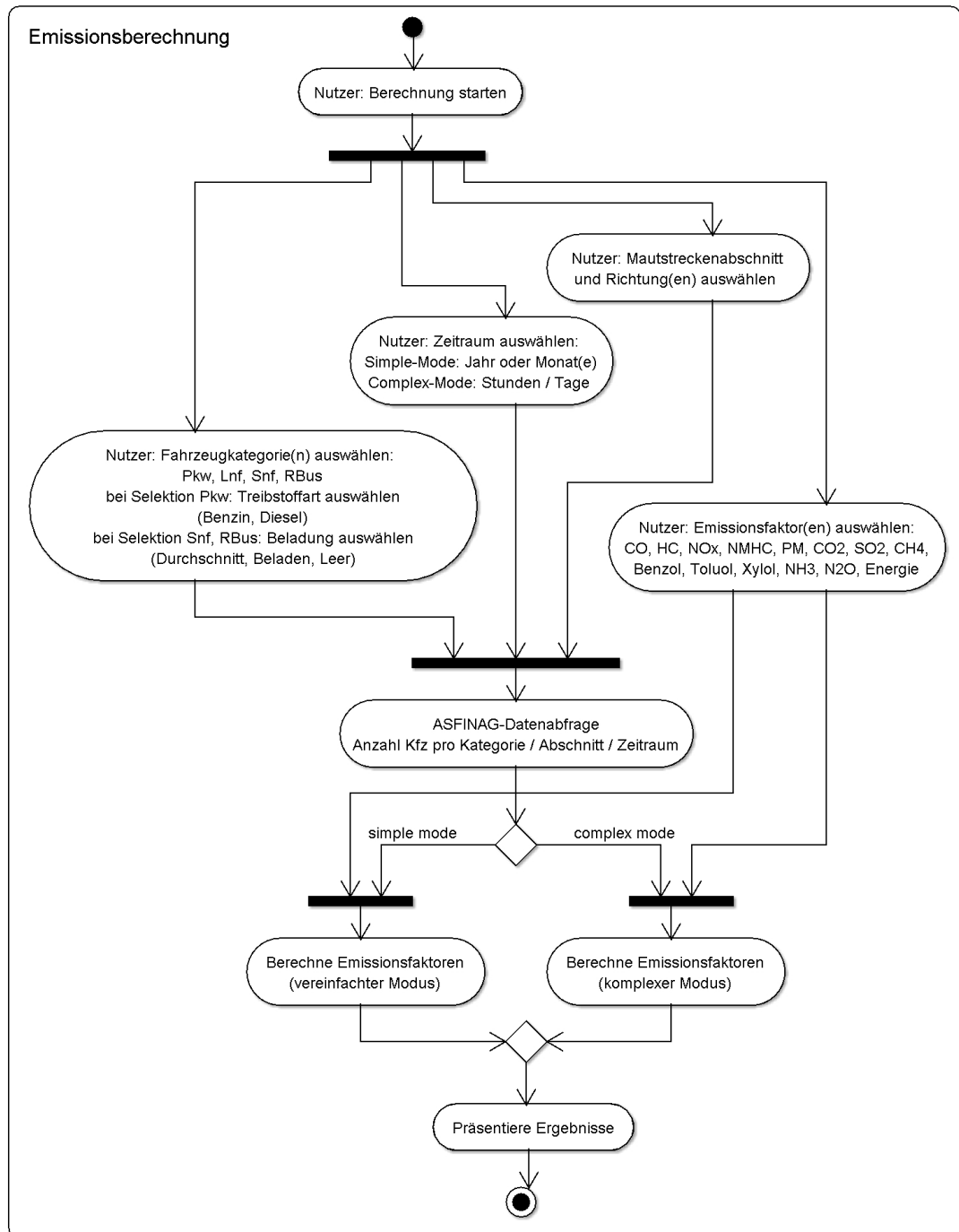


Abbildung 3.5.: Überblick Berechnungsablauf

3.2.3. 'Simple Mode' - Berechnungsmodell

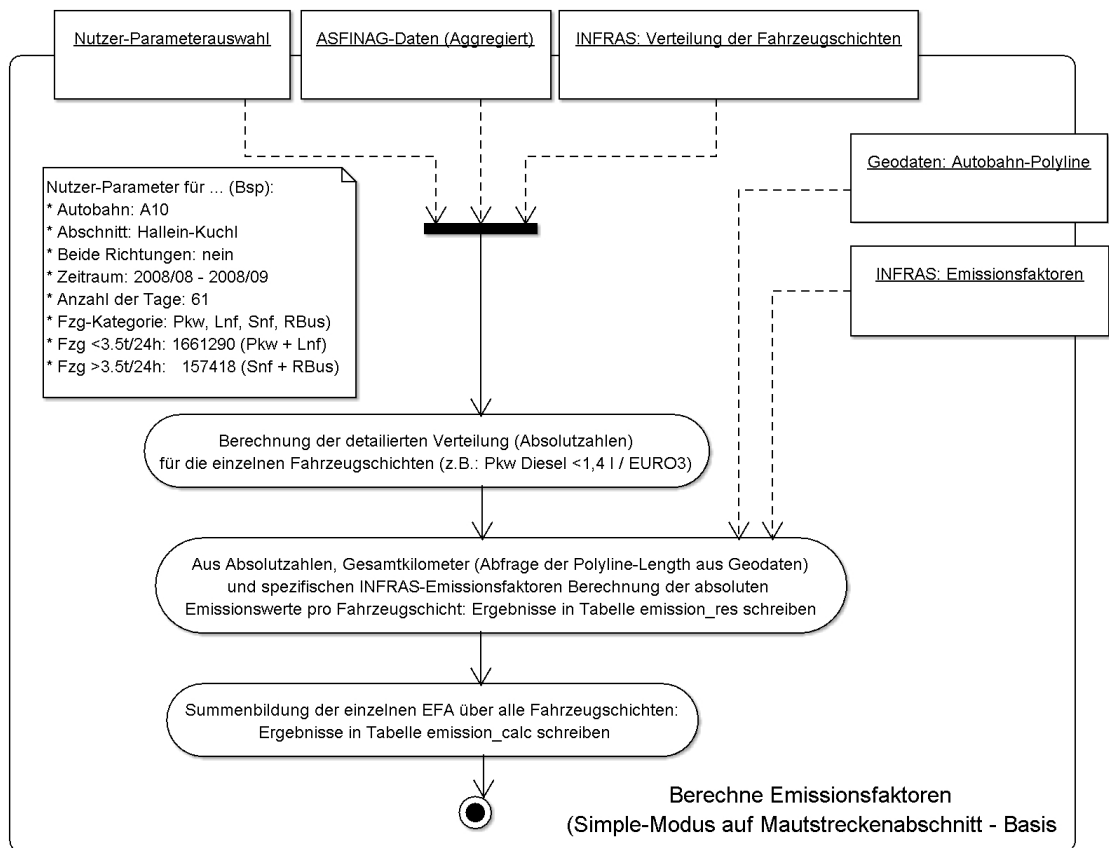


Abbildung 3.6.: 'Simple Mode' - Berechnungsmodell

Die Aufgabenstellung einer schnellen Berechnungsweise von Emissionsfaktoren über einen größeren Zeitraum bildet den Ausgangspunkt der Modellierung für ein 'Simple Mode' Berechnungsmodell. Dieses „Quick-and-Dirty“-Modell liefert schnelle Ergebnisse für Jahres- oder Monatsberechnungen, die Emissionen der Mautstreckenabschnitte können zeitlich und/oder räumlich miteinander verglichen werden. Die INFRAS-Studie bietet für solche generalisierte Schadstoffberechnungen eine Durchschnittstabelle der Emissionswerte pro km Streckenabschnitt, die hinsichtlich Längsneigung, Verkehrssituation und daraus resultierender Geschwindigkeit gemittelte Werte aufweist. Die Geodaten spielen in dieser Berechnung eine untergeordnete Rolle, nur die Länge der einzelnen Mautstreckenabschnitte wird für die Ermittlung der Kilometerleistung pro Streckenabschnitt aus den Polyline-Daten abgefragt.

Die Ergebnisse werden in 3 Tabellen abgespeichert: Die Tabelle `emission_efa` enthält die Berechnungsergebnisse pro Fahrzeugschicht, also die Absolutzahlen der Fahrzeuge, die zurückgelegten Kilometer, die Durchschnittsgeschwindigkeit sowie die absoluten Emissionswerte. Die Tabelle `emission_res` dient der Speicherung typischer

'Simple Mode' spezifischer Parameter. Die Tabelle `emission_calc` beschreibt neben den vom Anwender gewählten Rechenparametern die über alle gewählten Fahrzeugschichten aggregierten Emissionswerte (vgl. Abb. 3.6).

3.2.4. 'Complex Mode' - Berechnungsmodell

Im Unterschied zur vorher beschriebenen Berechnungsmethode werden in diesem Ansatz eine Reihe von Faktoren mitberücksichtigt, die den quantitativen Ausstoß von Schadstoffen beeinflussen. Dieses Modell verwendet beide ASFINAG-Datensätze: die stundengenauen Zählraten der Achsklassen von Snf und Rbus werden zusammen mit aggregierten Daten der Pkw und Lnf kombiniert. Während die erstgenannten Daten direkt in das Modell eingehen, müssen die Pkw-/Lnf-Daten zunächst unter Zuhilfenahme eines `Trafficpattern`-Tables disaggregiert werden. Anders gesagt werden die auf Monatsbasis gemittelten Tagesdurchschnittswerte für diese beiden Kategorien auf 24 Stunden-Werte entsprechend der verwendeten Tagesgang-Kurve (`Trafficpattern`) prozentuell aufgeteilt. Damit stehen für den untersuchten Zeitraum theoretische Stunden-Werte der Kfz-Gesamtkapazität zur Verfügung.

Im nächsten Schritt soll aus den stündlichen Kapazitätsdaten die resultierende Geschwindigkeit der verschiedenen Kfz-Kategorien ermittelt werden. Dafür wird eine Programm-Schleife über den Untersuchungszeitraum T_j ($j = 1..m$) gelegt. Jeder Stundenwert (der sich aus den Einzelwerten für Pkw/Lnf und Snf/Rbus zusammensetzt) wird nun in einer inneren Programm-Schleife über alle Mautstreckensubsegmente M_i ($i = 1..n$) (vgl. Abb. 3.1) des untersuchten Mautstreckenabschnitts iteriert. Anzahl der Spuren und Längsneigung werden aus den Geodaten abgefragt und bilden zusammen mit der Verkehrsauslastung die Eingangsparameter für die Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen (vgl. Anhang D). Der berechnete Geschwindigkeitswert wird noch mit etwaigen Geschwindigkeitsbegrenzungen - die oft mit Baumaßnahmen oder Tunnelbauten gekoppelt sind - abgeglichen. Im allgemeinen differieren die Geschwindigkeiten entlang eines Mautstreckenabschnitts. Für jedes dieser Subsegmente wird für die jeweilige Fahrzeugkategorie eine passende Verkehrssituation gesucht, die der Kapazitätsauslastung und der aktuellen Geschwindigkeit entspricht (Pkw, Lnf: 12 Verkehrssituationen, Rbus: 11 Verkehrssituationen, Snf: 9 Verkehrssituationen). Für diese spezifische Verkehrssituation können nun Emissionsfaktoren aus den INFRAS-Tabellen abgefragt und die Gesamtemission pro Subsegment berechnet werden.

Die Ergebnisse werden zunächst auf Ebene der Mautstreckensubsegmente für alle Fahrzeugschichten der gewählten Kfz-Kategorien in die Tabelle `emission_efa` geschrieben. Die Tabelle `emission_res_complex` dient der Speicherung typischer 'Complex Mode' spezifischer Parameter. Die weitere Vorgehensweise ist wie unter 3.2.3

angedeutet: Aggregation aller Subsegmente zu einem Mautstreckenabschnitt (Tabelle `emission_res`) und daraus Aggregation über alle gewählten Fahrzeugschichten (Tabelle `emission_calc`).

Fazit: Für die Erstellung des konzeptuellen Modells wurde zunächst ein UML-Aktivitätsdiagramm als Gesamtprozess definiert. Eine weitere Spezifizierung ergibt zwei unterschiedliche Berechnungsmodelle. Der 'Simple Mode' bietet eine rasche Berechnung von Emissionswerten, allerdings wird dabei die raum-zeitliche Variation der Berechnungsperiode nicht berücksichtigt. Der 'Complex Mode' ermöglicht durch die Einbeziehung von Geschwindigkeit, Verkehrssituation, Geschwindigkeitbeschränkung und Fahrbahnlängsneigung eine genauere Berechnung von Luftschadstoffen.

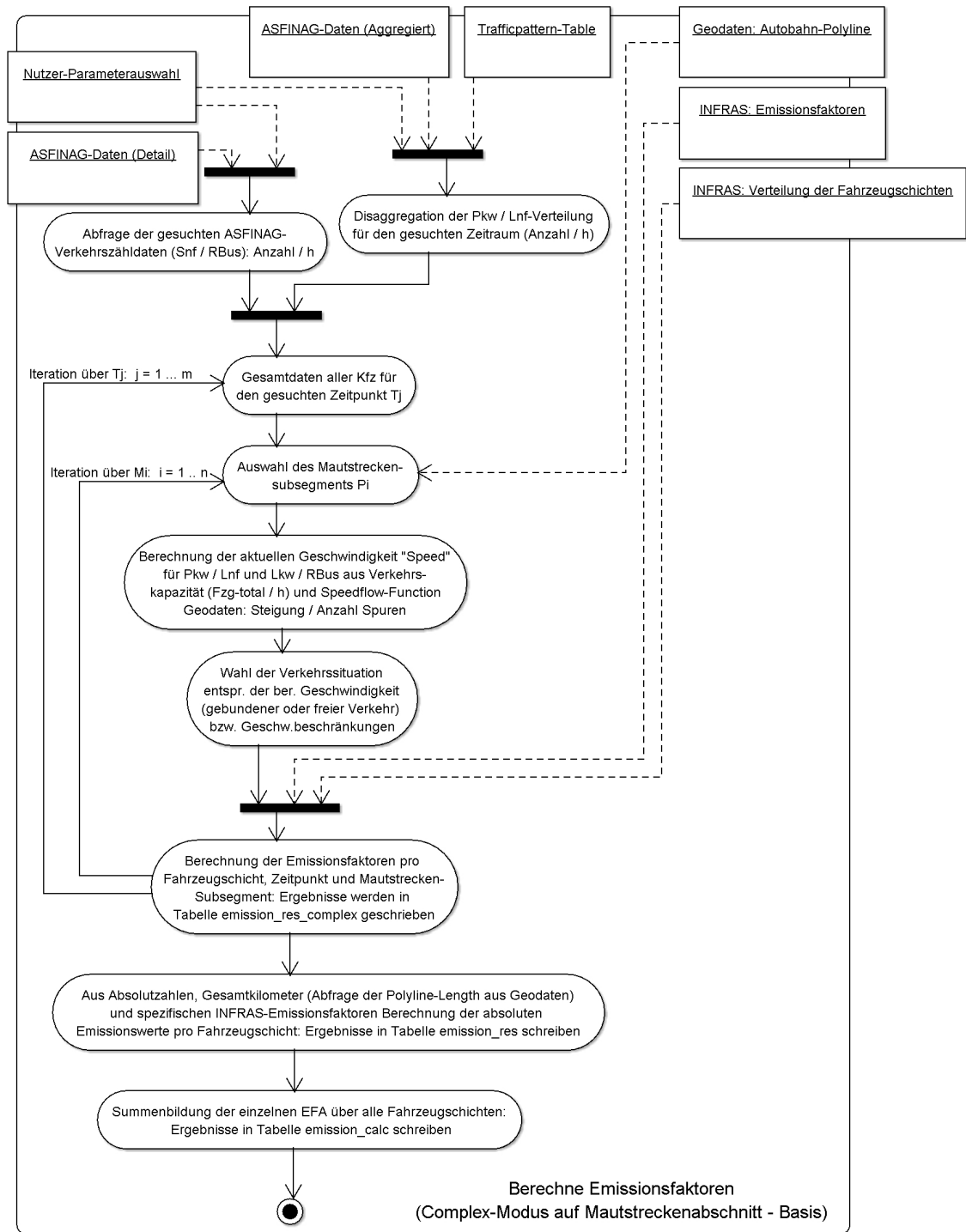


Abbildung 3.7.: 'Complex Mode' - Berechnungsmodell

4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS

In diesem Kapitel wird der Übergang von der konzeptionellen Modellbildung zur praktischen Umsetzung beschrieben. Dies betrifft die Auswahl der Datenstrukturen für Speicherung, Bearbeitung, Analyse und Präsentation als auch die damit verbundene Auswahl der Software-Werkzeuge. Heute stehen dem GIS-Entwickler eine Reihe von Tools und Entwicklungsumgebungen für die Implementierung von GI-Funktionalitäten und Modellen zur Verfügung, die jedoch hinsichtlich ihrer Eignung in Abhängigkeit von der jeweiligen Problemstellung qualitative Unterschiede aufweisen.

Für die Umsetzung der Emissionsberechnung wurde die Software ESRI ArcGIS 9.2 aus folgenden Gründen gewählt:

- weit verbreitetes, kommerzielles GIS
- Datenanbindung aus vielen Quellen möglich
- einfache, aber mächtige Entwicklungsumgebung (VBA und ArcObjects)

4.1. GPS-Datenerfassung

Die (im vorangegangenen Kapitel genannten) OSM-Daten bilden die Geodaten-Quelle der Straßendaten. Für eine lineare Referenzierung fehlten aber noch Angaben hinsichtlich der Attribute Baustelle, Tunnel, Geschwindigkeitsvorgabe, Anzahl der Fahrspuren und Längsneigung der Fahrbahn. Um diese Daten zu erfassen, wurde am 20.06.2009 die A10-Tauernautobahn vom Autobahnknoten A1/A10 nach Werfen und retour abgefahren. Die Höhenprofile wurden aus GPS-Messungen mit einem Garmin eTrex Vista HCx erfasst, die Daten für die lineare Referenzierung wurden protokollarisch von der Beifahrerin durch relative km-Angaben des Kfz-Tageskilometerzählers (Genauigkeit $\pm 50\text{m}$) erfasst. Die Genauigkeit des GPS-Receiver liegt bei guten S/N-Verhältnis bei ca. $\pm 5\text{m}$ in der Lage, die Höhengenaugkeit des GPS-Signals kann auf Basis eines intern eingebauten barometrischen Höhenmessers auf ca. $\pm 3\text{m}$ gesteigert werden. In der aktuellen Arbeit wurden jedoch keine absoluten Höhenmeßwerte, sondern nur Höhendifferenzen benötigt. Dadurch spielt eine unter Umständen



Abbildung 4.1.: A10 - Tauernautobahn Richtung Villach (Bereich Kuchl)

systematische wirkende Höhenverschiebung keine Rolle, da dieser Fehler durch Differenzenbildung herausfällt.

Die Übertragung der GPS-Messungen erfolgte nach Garmin MapSource 6.13.7, von dort wurden die Messdaten-Daten als Tab-delimited Textfile exportiert und für die weitere Auswertung nach MS Excel importiert. In MS-Excel wurden die beiden Datenquellen, das GPS-Profil aus Garmin MapSource (vgl. Abb. 4.2) und die protokollarisch erfassten Daten zu einer linearen Referenzierungstabelle verknüpft, die modellierte Strecke umfasst 4 Mautstreckenabschnitte der A10 zwischen den Exits Hallein und Werfen. Der „Offset“ der linearen Referenzierung wurde beim Startpunkt Exit Hallein auf 16,00 km (die auch in etwa der realen Kilometrierung entspricht) festgelegt. Die Exits bestehen real aus getrennten Ab- und Auffahrten, die im Zuge dieser Modellierung zu einem dazwischen liegenden Exit-Point „generalisiert“ wurden. Für die weitere Bearbeitungsschritte wurde die Excel-Tabelle als dBase-File nach ArcCatalog in eine Personal Geodatabase (PGDB) importiert (vgl. Tab. 3.2).

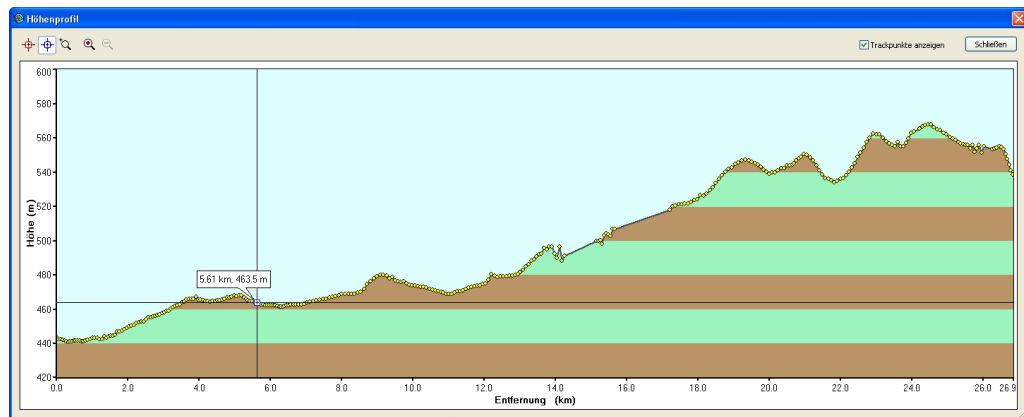


Abbildung 4.2.: A10: GPS-Profil (Hallein-Werfen)

4.2. Verwendete Speicherstrukturen

Für eine gute Wahl der bevorzugten Speichermethode von Daten und insbesondere von Geodaten sind verschiedene Aspekte relevant, die vor allem bei Verwendung zeitlich variabler und/oder anderer „dynamischer“ Daten sorgfältig analysiert werden sollten. In diesem Abschnitt werden zunächst einige generelle Überlegungen hinsichtlich der Datenspeicherung präsentiert, um diese dann für die speziell in dieser Arbeit verwendeten Daten zu konkretisieren.

Zu Beginn stellt sich zunächst die Frage, wie die Realität in ein Modell abstrahiert werden soll. Das umfasst sowohl die Auswahl relevanter Merkmale und Methoden, als auch die Analyse der möglicher grafischer Darstellungsformen in einem GIS. Eine Definition von Datenobjekt-Entitäten, Relationen und benötigten Attribute sollte folgende Punkte berücksichtigen:

- Flexible Modellstruktur mit der Möglichkeit für spätere Erweiterung / Adaption
- Gewährleistung der Datenkonsistenz
- (möglichst) redundanzfreie Datenhaltung
- Offene Schnittstellen und Möglichkeiten für den Austausch standardisierter Datenformate
- Möglichkeit der Metadaten-Abbildung

Die Visualisierung räumlicher Daten kann aus unterschiedlichen konzeptionellen Ansätzen erfolgen. Die Darstellung für ein Objekt (z.B. Straße) kann sowohl als pixelbasiertes Rastermodell oder als linienhaftes Vektormodell erfolgen. Eine weitere Konkretisierung für vektorbasierte Geo-Objekte wäre dann die Festlegung, ob und in welcher Form topologische Eigenschaften verwendet werden sollen. Die Zusammenfassung gleicher Objektstrukturen zu einer Speicher- und Darstellungsebene wird vom sehr weit verbreiteten Layer-basierten Konzept verfolgt, einen alternativen Weg würde ein objektorientiertes Modell anbieten.

Datenquelle	Datentyp	Änderung	Anmerkung
ASFINAG-Daten	Tabelle	sehr häufig - selten	Verkehrszählungen, Sample-Perioden: Tag, Monat, Jahr
INFRAS-Daten	Tabelle	selten	Emissionsfaktoren für Kfz-Schichten (berechnet auf Jahres-Basis)
Straßen-Daten	Vektordaten	gelegentlich	Änderungen von Baustellenbereichen Geschwindigkeitsbeschränkungen geänderte Spurenanzahl
Emissions-Berechnung	Tabelle	häufig	große Datenmengen

Tabelle 4.1.: verwendete Datenquellen

In Tabelle 4.1 sind die hier verwendeten Datenquellen und -typen und deren Änderungsrate angeführt. Charakteristisch ist hier das Vorliegen von tabellarischen Daten mit zum Teil häufiger Erweiterung, für die sich aus den oben genannten Punkten ein Datenbankmanagementsystem (DBMS) anbietet.

4.2.1. Geo-Datenbanken in ArcGIS

Die ESRI-ArcGIS-„Produktfamilie“ ist heute die am weitesten verbreitete, kommerzielle GIS-Software und bietet von mobilen GI-Client ArcPad bis zur Server-Lösung (ArcGIS-Server) eine breite Produktpalette an. Neben dem Shapefile als Quasi-Standard für Vektordaten unterstützen die Produkte ein breites Spektrum an Datenformaten, unter anderem gibt es viele Möglichkeiten der Datenbankanbindungen an die gängigsten Datenbanksysteme.

In dieser Arbeit werden zwei Datenbanksysteme für die Verspeicherung der Geodaten und der Berechnungsergebnisse eingesetzt, die von ESRI entwickelte File Geodatabase (FGDB) sowie die ESRI Personal Geodatabase (PGDB), die auf der Microsoft Access Datenbanktechnologie aufsetzt. Mit beiden Technologien können sowohl geographische Objekte in Form von Feature-Klassen (Punkte, Polylinien, Polygone) und Raster-Daten als auch Tabellen abgespeichert werden.

MS Access ist ein proprietäres DBMS, das ein relationales Datenbankmodell sowie die wichtigsten Bestandteile des SQL-Standards unterstützt. Über die ActiveX Data

Objects - Schnittstelle (ADO) kann mit Visual Basic for Applications (VBA) auf die Objekte der Datenbank (DB) zugegriffen werden. Bei der Einbindung nach ArcGIS bietet diese DB-Technologie einen begrenzten SQL-Syntax. Als weitere Einschränkung der PGDB ist die Größen-Limitierung des Datenbank-Files zu erwähnen, die maximal 2 GigaByte Speicherplatz erreichen darf.

Die FGDB ist eine ESRI-Entwicklung (seit ArcGIS 9.2) mit einer Größen-Limitierung von 1 TeraByte. Die SQL-Query Funktionalität dieser Technologie ist gegenüber der Access-DB eingeschränkt, die Performanz jedoch wesentlich besser.

Die Möglichkeit eines „externen“ Zugangs zu den Ergebnissen von Emissionsberechnungen war die wesentliche Entscheidungsgrundlage dieser Arbeit für den Einsatz der Access-Lösung in Form einer ESRI PGDB. Dadurch wird Anwendern, die entweder keinen ArcGIS-Zugang haben oder die am räumlichen Sachverhalt kein oder nur eingeschränktes Interesse haben, über MS Access der Zugang zu den berechneten Emissionsdaten gewährt. Spezielle Abfragen, Formulare oder Reports sind Standard-Funktionalitäten von MS Access und erweitern die Palette möglicher „nachgelagerter“ Anwendungsgebiete für berechnete Emissionswerte.

4.2.2. Beschreibung des Datenmodells

In der lokalen Filestruktur wurde eine PGDB als EmissionGIS.mdb sowie eine FGDB (Folder EmissionGIS.gdb) angelegt. Auf Grund der begrenzten Speichergröße werden in der Access-Version nur die a-räumlichen Berechnungsdaten, in der FGDB die Geodaten abgelegt.

4.2.2.1. Personal Geodatabase (PGDB)

Abbildung 4.3 zeigt den Inhalt der PGDB und die darin festgelegten Beziehungen. Kernstück der Emissionsberechnung sind die vier rot umrandeten Tabellen im linken oberen Bereich (Beschreibung der Attribute in Anhang A.3):

- **emission_calc:** Speicherung der Nutzer-definierten Berechnungsparameter
PK (Primary Key): calc_id
- **emission_res:** Speicherung typischer 'Simple Mode' spezifischer Parameter
Complex-Mode - Aggregation der Detailergebnisse aus der Tabelle emission_res_complex auf fzgschicht-Ebene (keine Werte für v)
PK: calc_idx, FK (Foreign Key): calc_id
- **emission_res_complex:** Speicherung typischer „Complex-Mode“ spezifischer Parameter
PK: calc_idx, FK (Foreign Key): calc_id

4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS

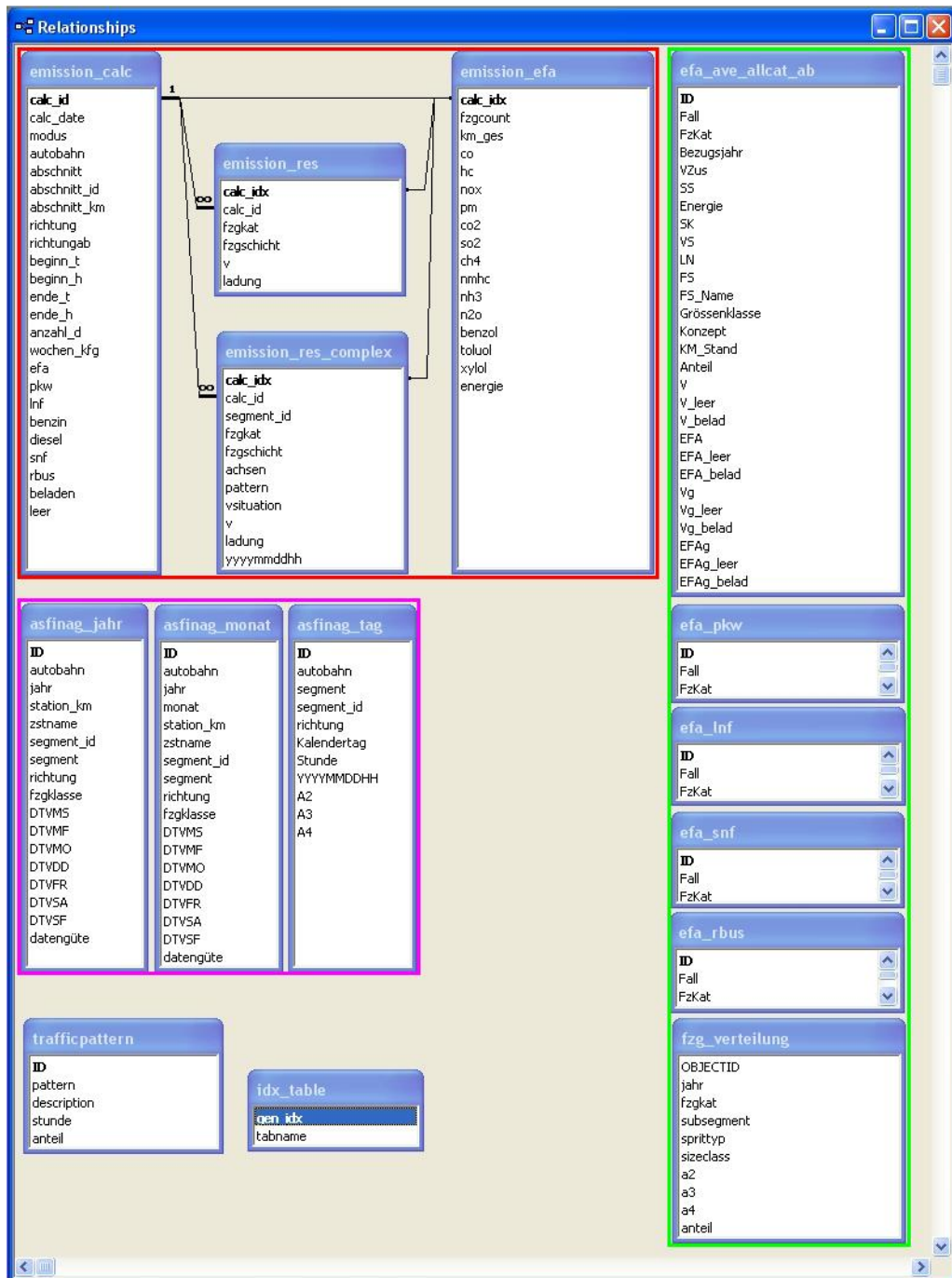


Abbildung 4.3.: EmissionGIS.mdb - Datenmodell

- **emission_efa**: Speicherung der vollständigen Anzahl der Kfz, der Gesamtkilometer sowie der berechneten Emissionswerte für alle 3 Aggregationsebenen (Aggregation auf Mautabschnitt und Kfz-Schicht ('Simple Mode') oder Kfz-Schicht, Mautstrecken-Subabschnitt (Segment) und Zeitintervall ('Complex Mode'))
PK: calc_idx

Tabelle 1	Tabelle 2	Kardinalität
emission_calc	emission_res	1 : 0..n
emission_calc	emission_res_complex	1 : 0..n
emission_calc	emission_efa	1 : 0..1
emission_res	emission_efa	1 : 1
emission_res_complex	emission_efa	1 : 1

Tabelle 4.2.: Kardinalitäten im Berechnungsmodell

Die Kardinalitäten für diese vier Tabellen sind in Tabelle 4.2 angeführt.

Access erlaubt in seinem Datenmodell nur 1:1 oder 1:n - Beziehungstypen (nicht jedoch 1:0..n Relationen), daher konnten die oben beschriebenen Kardinalitäten nicht komplett umgesetzt werden. Für die drei Beziehungen zwischen der Tabelle emission_efa und den drei anderen Tabellen konnte keine referentielle Integrität erzwungen werden, für die beiden übrigen Beziehungen jedoch schon. Die gewählte Modellstruktur erfüllt die 1. Normalform (Atomisierung der Attribute) vollständig, 2. und 3. Normalform sind aus Gründen von Übersichtlichkeit und Performance nur partiell umgesetzt.

Im rechten, grün umrandeten Bereich der Beziehungsabbildung sind die aus der Applikation HBEFA 2.1 exportierten Tabellen der INFRAS-Studie abgebildet, die Tabellenstruktur ist für alle fünf Tabellen gleich. Die Tabelle efa_ave_allcat_ab enthält für den 'Simple-Mode' für eine durchschnittliche Verkehrssituation und eine Durchschnittslängsneigung auf der Autobahn 13 verschiedene Emissionsfaktoren. Die anderen vier Tabellen efa_pkw, efa_lnf, efa_snf, efa_rbus sind zusätzlich nach nach Verkehrssituation und Fahrbahn-Längsneigung diversifiziert. Die Tabelle fzg_verteilung enthält den Prozentanteil der einzelnen Fahrzeugschichten an der übergeordneten Fahrzeugkategorie, die in Abschnitt 3.1.3 hergeleitet wurde. Für Schwere Nutzfahrzeuge und Reisebusse sind die Anteilswerte in drei Achsklassen aufgeteilt.

Die Verkehrszählraten der ASFINAG sind im linken, magenta umrandeten Bereich dargestellt. Die Datenstruktur ist in Abschnitt 3.1.2.1 beschrieben.

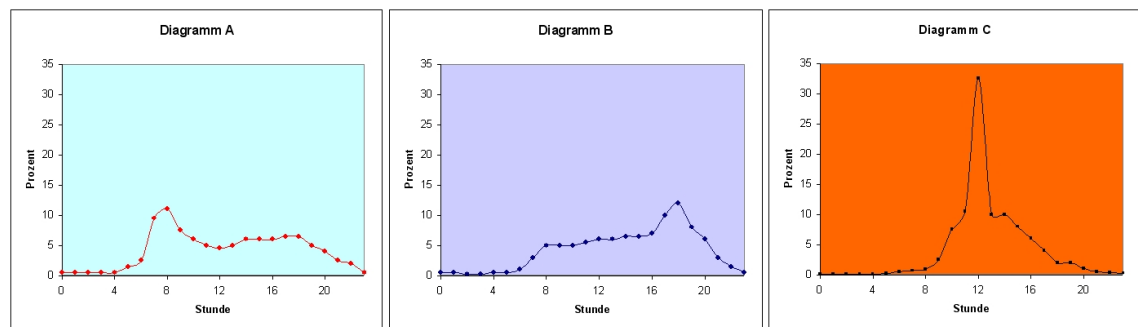


Abbildung 4.4.: Verkehrs-Tagesgang A, B, C

Im 'Complex Mode' wird für die Disaggregation der Tagesmittelwerte auf Stundenwerte die Tabelle `trafficpattern` verwendet. Darin können verschiedene Verkehrs-Tagesgänge der Verkehrsauslastung für Pkw und Lnf auf stündlicher Basis abgespeichert werden. Derzeit sind drei Verkehrsmuster (A, B, C) zu Testzwecken implementiert, die Tabelle ist jedoch beliebig erweiterbar. Die drei Muster sind (vgl. Abb. 4.4, Abb. 2.3):

- A: Morgenspitze (distinct morning peak)
- B: erster Anstieg am Morgen, weiterer Anstieg mit Spitze am Nachmittag
- C: flache Verteilung mit Stau zu Mittag

Die Hilfstabelle `idx_table` wird ausschließlich für die Erzeugung von Unique Identifiers in den vier Tabellen des Berechnungsmodells verwendet (Attribute: `calc_id`, `calc_idx`), sie verspeichert einen zufallsgenerierten Index und den Tabellennamen.

4.2.2.2. File Geodatabase (FGDB)

Der Speicherplatzbedarf räumlicher Daten steigt vor allem bei Verwendung hochauflösender Rasterdaten schnell an. Um etwa für flächendeckende Orthophotos oder hochauflösende, multispektrale Satelliten-Scans akzeptable Abfrage- und Darstellungszeiten zu erhalten, werden meist zusätzlich zu den Originaldaten weitere Bildpyramiden in unterschiedlicher räumlicher Auflösung gerechnet. Aber auch für Berechnungsergebnisse räumlicher Simulationen, die etwa bei Netzabdeckungsrechnungen in der Mobilfunkplanung oder bei Ausbreitungsrechnungen für Luftschadstoffe anfallen, fällt ein hoher Speicherbedarf an.

In der hier verwendeten FGDB sind derzeit nur wenige Straßendaten, deren Attribute und die für eine lineare Referenzierung benötigten Event-Tabellen (vgl. Abb. A.1) abgelegt. Die zusammengehörigen Polylines `a10_salzburg`, `a10_villach`, `exit_salzburg` und `exit_villach` sind in einem eigenen Feature Dataset 'motorway'

4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS

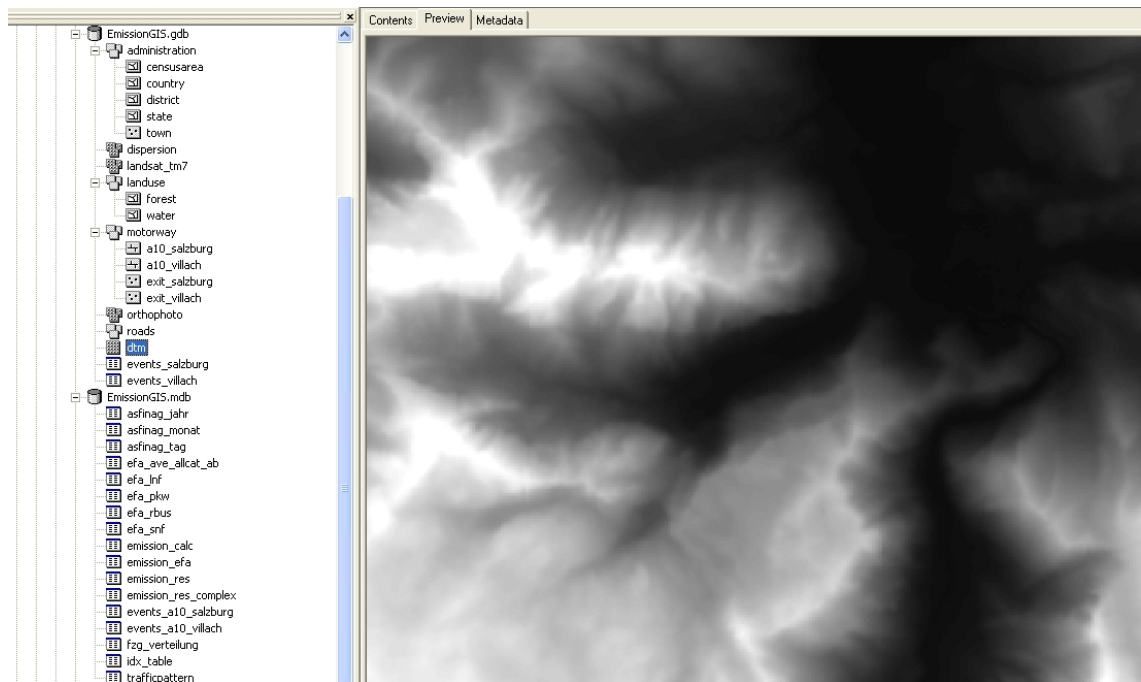


Abbildung 4.5.: Überblick FGDB, PGDB

zusammengefasst, die Event-Tabellen liegen direkt im Root-Verzeichnis der EmissionGIS.gdb. In Abbildung 4.5 zeigt die Baumstruktur einen möglichen Aufbau einer FGDB mit der Unterteilung in verschiedene Feature Datasets und Raster Catalogs, darunter ist die Umsetzung der PGDB angegeben.

4.3. Programmierung mit VBA und ArcObjects

Die Erfordernisse an eine individuelle Anpassung und Erweiterung der Funktionalitäten eines GI-Systems haben in den vergangenen Jahren zu einer raschen Entwicklung von Objektmodellen und Programmiersprachen geführt. Seit der Version ArcGIS 8.x stellt ESRI GI-Entwicklern das in C++ programmierte Objektmodell ArcObjects zur Verfügung. Dieser wichtige Grundbaustein für die Softwareentwicklung wurde mit COM Technologie entwickelt. Das Component Object Model (COM) von Microsoft stellt eine komponentenbasierte, objektorientierte Client-Server Technologie dar, die mittlerweile in vielen Anwendungen verwendet wird. Im wesentlichen werden dabei Klassen sowie deren Eigenschaften und Methoden in binären Dateien zusammengefasst und als DLL, EXE oder Library gespeichert. Bei Verwendung im Programmcode erfolgt der Zugriff nicht direkt auf die Klasse, sondern wird über sogenannte Interfaces (Schnittstellen) implementiert. Die wesentlichen Grundzüge von COM sind die Wiederverwendbarkeit von Klassen, die einfache Wartungsfähigkeit sowie die Erweiterungsfähigkeit des Objektmodells (vgl. [HÖCK M., MANEGOLD J., 2006]).

Visual Basic for Applications (VBA) ist eine interpretierte Skriptsprache und wurde zusammen mit den Microsoft Office Programmen entwickelt. In erster Linie ist VBA für prozedurale Programmierung gedacht, es sind aber auch Teile einer objektorientierten Programmiersprache (Datenkapselung, Interface-Vererbung, Laufzeitpolymorphie) umgesetzt. Die VBA Entwicklungsumgebung implementiert somit über die COM-Architektur einen vereinfachten Zugriff auf das ArcObjects Objektmodell, zusätzliche Menüs, Tools oder andere Funktionalitäten können in ArcMap oder ArcCatalog programmiert werden.

Die folgenden Unterabschnitte beschreiben die wichtigsten Elemente der Umsetzung der beiden Berechnungsmodelle mit VBA und ArcObjects, der VBA-Programmcode ist in Anhang E aufgelistet.

4.3.1. Implementierung des 'Simple Mode'

Die Parameter des Nutzers werden in einer Forms-Maske gesetzt. In dieser Maske kann zwischen den beiden Berechnungsarten 'Simple Mode' und 'Complex Mode' gewechselt werden - entweder im Frame „Berechnung“ über die OptionsButtons oder im Frame „zeitliche Parameter“ über die Tabs. Der Aufbau beider Masken ist bis auf die Auswahl der zeitlichen Parameter identisch, daher werden die einzelnen Parameter-Settings im Detail nur für den Simple-Mode beschrieben (vgl. Abb. 4.6).

Berechnung: Wahl zwischen den beiden Berechnungsarten.

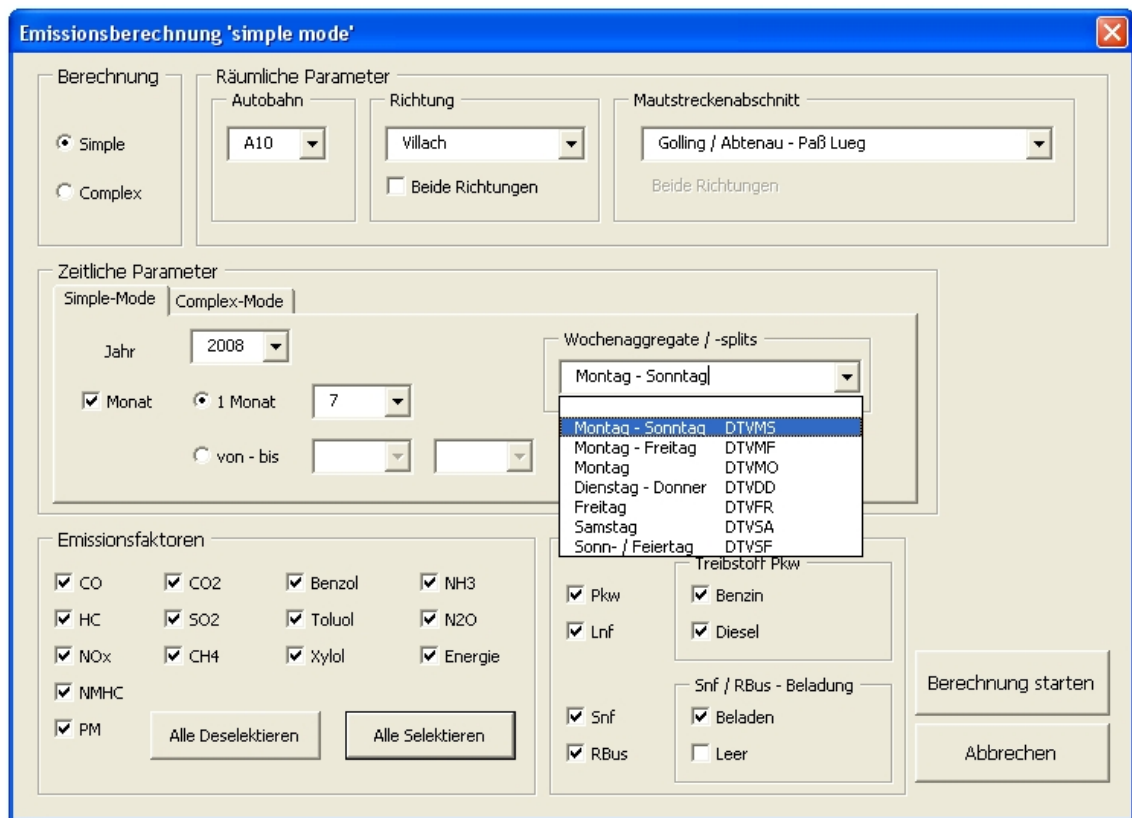


Abbildung 4.6.: Forms-Maske 'Simple Mode'

Räumliche Parameter: Selektion von Autobahn, Fahrtrichtung und Mautstreckenabschnitt. Die Standard-Berechnung erfolgt für eine Fahrtrichtung, im Simple-Mode können beide Fahrtrichtungen des Mautabschnitts gleichzeitig berechnet werden.

Zeitliche Parameter: Auswahl der Rechenperiode: hier kann entweder ein ganzes Jahr (Daten aus ASFINAG-Tabelle asfinag_jahr) oder ein oder mehrere aufeinanderfolgende Monate eines Jahres berechnet werden (Daten aus ASFINAG-Tabelle asfinag_monat). Die Wochenaggregate beziehen sich auf die Mittelungsperioden der ASFINAG-Zählzeiten (vgl. Tab. 3.5).

Emissionsfaktoren: Enthält Checkboxes zur Auswahl von 13 Emissionsfaktoren der INFRAS-Studie sowie den Energieverbrauch (in Liter Treibstoff) der Kfz (die 1. Spalte enthält die Emissionsfaktoren der EURO-Abgasnorm).

Fzg-Kategorien: Auswahl der gewünschten Fahrzeug-Kategorien (Pkw, Lnf, Snf, Rbus). Für die Kategorie Pkw kann die in der Berechnung gewünschte(n) Treibstoffarten selektiert werden. Bei Berechnung der Kategorien Snf und Rbus kann zusätzlich zu einer Standard-Berechnung mit durchschnittlicher Ladung auch die Berechnungsart „Leer“ und „Beladen“ inkludiert werden, für die in HBEFA verschiedene Emissionsfaktoren verwendet werden.

Nach Drücken des Button „Berechnung starten“ erfolgt eine Kontrolle der Eingabefelder, bei gültigem Prüfergebnis wird die Emissionsberechnung im 'Simple Mode' gestartet. Es folgt nun eine Ablaufbeschreibung, die folgende (willkürlich gewählte) Eingabeparameter hat:

Eingabeparameter	Setting
Streckenabschnitt	'Golling / Abtenau - Paß Lueg'
Fahrtrichtung	Villach
Berechnungsmodus	'Simple Mode'
Zeitraum	07/2008
Wochenkonfiguration	'Montag - Sonntag'
Emissionsfaktoren	Alle
sonstiges	Diesel, Benzin, Beladen, Leer

Tabelle 4.3.: Setting für 'Simple Mode'- Berechnung

```
cmdOk_Click()           'Ebene 0
  writeCalcPar(...)     'Ebene 1
    getKm(...)          'Ebene 2
  calcAbsDistribution() 'Ebene 1
    calcAbsolutzahlen(...) 'Ebene 2
      writeResults(...) 'Ebene 3
        getV(...)       'Ebene 4
          getEFA(...)   'Ebene 4
    sumResults()        'Ebene 1
```

Auf Grund der komplexen Berechnungsabfolge beinhaltet die hierarchische gegliederte Programmabfolge die folgenden Sub-Procedures, diese werden nachfolgend kurz erklärt.

writeCalcPar(...): Speicherung der Berechnungsparameter in die Tabelle `emission_calc`, innerhalb dieser wird die Sub-Procedure ...

getKm(...): ... aufgerufen, in der die Polyline-Length des gesamten Maustreckenabschnitts abgefragt wird

calcAbsDistribution(): Erzeugung einer SQL-Query auf die gewünschte ASFINAG-Tabelle (`asfinag_jahr` oder `asfinag_monat`). Im Anwendungsbeispiel lautet die Query für Pkw/Lnf und Snf/Rbus:

```
select sum(DTVMS) as SummeKfz from asfinag_monat where autobahn = 'A10'
and segment = 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' and jahr = 2008 and monat = 7
and (fzgklasse = 'Kfz <= 3,5t hzG' or fzgklasse = 'Kfz > 3,5t hzG')
group by fzgklasse;
```

Ergebnis der Abfrage ist der Tagesdurchschnitt von Kfz $\leq 3.5t$ (Pkw, Lnf: 22736) und Kfz $> 3.5t$ (Snf, Rbus: 2583).

Danach wird der Multiplikationsfaktor für die Anzahl der Berechnungstage in Abhängigkeit vom gewählten Wochenaggregat bestimmt, hier für den Monat Juli: Wochenaggregat: Mo - So \rightarrow Anzahl der Tage = $7/7 \cdot 31 = 31$ ¹

calcAbsolutzahlen(...): Aufruf mit den Parameterwerten (Beispielswerte in Klammern) Fahrzeugkategorie (“pkw“), Tagesdurchschnittswert (22736) und Anzahl der Berechnungstage (31). Da die ASFINAG-Monatsdaten nur in den beiden Kategorien ($\leq 3.5t$, $> 3.5t$) erfasst sind, erfolgt der Split jeder dieser Kategorien in die Fahrzeugschichten mit Hilfe der INFRAS-Tabelle fzg_ verteilung. Die SQL-Query für Pkw lautet:

```
select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_ verteilung
where jahr = 2008 and fzgkat = 'pkw';
```

Das Ergebnis-Recordset (vgl. Abb. 4.7) wird an die Sub-Procedure ...

writeResults(...): ...übergeben. In einer Schleife über die einzelnen Records werden mit Hilfe der Sub-Procedure „getV“ die durchschnittliche Geschwindigkeit, mittels der Sub-Procedure „getEFA“ der jeweilige absolute Emissionswert pro Fahrzeugschicht berechnet. Die Ergebnisse werden in die Tabellen emission_res und emission_efa geschrieben.

getV(...): Ermittlung der durchschnittliche Geschwindigkeit pro Fzg-Schicht

getEFA(...): Berechnung des absoluten Emissionswertes (EW), z.B. für CO₂:

$$EW_{CO_2} = d \cdot Fzg_{tot} \cdot Fzg[\%] \cdot EFA_{CO_2}$$

EW_{CO_2} ... Emissionswert [g]

d ... Mautstreckenabschnitt [km]

Fzg_{tot} ... Absolutzahl der jeweiligen Kfz-Kategorie

$Fzg[\%]$... Schichtanteil in Prozent

EFA_{CO_2} ... spezifischer CO₂ Emissionsfaktor für die jeweilige Fahrzeugschicht [g/km]

sumResults(): Aggregation der oben berechneten Emissionswerte über alle Kfz-Kategorien (bzw. Fahrzeugschichten), die Ergebnisse werden in die Tabelle emission_efa geschrieben

Die Dauer einer Berechnung hängt vom Parameter-Setting ab. Für aktuelle PC's mit Quadcore-Prozessoren und 4GB RAM beträgt sie ca. 20 - 40 Sekunden.

¹Bei einem Wochenaggregat Di - Do wäre die Anzahl der Berechnungstage: $3/7 \cdot 31 \cong 13.29$

	fzgat	subsegment	sprittyp	sizeclass	anteil
	pkw	Pkw Benzin <1,4 l / EURO1	B-4T	<1,4L	0,96
	pkw	Pkw Benzin <1,4 l / EURO2	B-4T	<1,4L	0,96
	pkw	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	B-4T	<1,4L	0,96
	pkw	Pkw Benzin <1,4 l / EURO4	B-4T	<1,4L	3,85
	pkw	Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO1	B-4T	1,4-2L	1,93
	pkw	Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO2	B-4T	1,4-2L	1,93
	pkw	Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO3	B-4T	1,4-2L	1,93
	pkw	Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO4	B-4T	1,4-2L	4,82
	pkw	Pkw Benzin >2 l / EURO2	B-4T	>2L	0,96
	pkw	Pkw Benzin >2 l / EURO3	B-4T	>2L	0,96
	pkw	Pkw Benzin >2 l / EURO4	B-4T	>2L	1,93
	pkw	Pkw Diesel <1,4 l / EURO2	Diesel	<1,4L	0,96
	pkw	Pkw Diesel <1,4 l / EURO3	Diesel	<1,4L	1,93
	pkw	Pkw Diesel <1,4 l / EURO4	Diesel	<1,4L	1,93
	pkw	Pkw Diesel 1,4-2 l / EURO1=XXIII/ EEA1	Diesel	1,4-2L	4,82
	pkw	Pkw Diesel 1,4-2 l / EURO2	Diesel	1,4-2L	8,67
	pkw	Pkw Diesel 1,4-2 l / EURO3	Diesel	1,4-2L	13,49
	pkw	Pkw Diesel 1,4-2 l / EURO4	Diesel	1,4-2L	20,23
	pkw	Pkw Diesel >2 l / EURO1=XXIII/ EEA1	Diesel	>2L	1,93
	pkw	Pkw Diesel >2 l / EURO2	Diesel	>2L	3,85
	pkw	Pkw Diesel >2 l / EURO3	Diesel	>2L	5,78
	pkw	Pkw Diesel >2 l / EURO4	Diesel	>2L	8,67
	▶				100

Abbildung 4.7.: Schichtaufteilung für Pkw

4.3.2. Implementierung des 'Complex Mode'

Während im 'Simple Mode' nur die Polyline-Länge des Mautstreckenabschnitts als Information aus Geodaten einfließt, so werden im 'Complex Mode' zusätzliche räumliche Informationen (Spuranzahl, Geschwindigkeitsbeschränkung, Fahrbahn-Längsneigung) in die Berechnung einbezogen. Aus Anzahl der Kfz und der vorhandenen Spuren ergibt sich die mögliche Höchstgeschwindigkeit pro Kfz-Kategorie und daraus dann die Verkehrssituation (vgl. Tab. 3.8). Für jede Verkehrssituation sind pro Kfz-Kategorie in den entsprechenden HBEFA-Tabellen die Emissionsfaktoren (Schadstoffausstoß [g/km]) angegeben.

Auch in diesem Abschnitt wird auf Grund des Umfangs des VBA-Programmcodes dieser nicht wiedergegeben, sondern nur dessen strukturelle Abfolge erläutert (der gesamte Code ist im Anhang E angefügt). Im 'Complex Mode' sind die möglichen Parameter-Settings für zeitliche Parameter:

Zeitliche Parameter: Definition des des Berechnungszeitraums über Start- und Endzeitpunkt (jeweils Eingabe von Datum und Uhrzeit). Für den betrachteten Zeitraum kann ein gewünschter Verkehrs-Tagesgang (traffic pattern) gewählt werden (vgl. Abb. 4.4).

Das gewählte Parameter-Setting für den Berechnungslauf im 'Complex Mode' ist:

4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS

Abbildung 4.8.: Forms-Maske 'Complex Mode'

Eingabeparameter	Setting
Streckenabschnitt	'Hallein - Kuchl'
Fahrtrichtung	Villach
Berechnungsmodus	'Complex Mode'
Zeitraum	14.07.2008 / 0:00 - 23:00
Wochenkonfiguration	'Montag - Sonntag'
Emissionsfaktoren	Alle
sonstiges	Diesel, Benzin, Beladen, Leer

Tabelle 4.4.: Setting für 'Complex Mode'- Berechnung

```

cmdOk_Click()           'Ebene 0
  writeCalcPar(...)     'Ebene 1
    getKm(...)          'Ebene 2
  calcAbsDistribution() 'Ebene 1
    writeEmRes1(...)    'Ebene 2
    Schleife über Ti
      Schleife über Pj
        writeEmResCom(...) 'Ebene 3
  sumResultsCom(...)    'Ebene 1
  sumResults()          'Ebene 1
  
```


Die Berechnung läuft zunächst gleich wie im 'Simple Mode' ab, deshalb wird im Folgenden die Struktur des Programmcodes erst ab dem alternativen Ablauf in der Sub-Procedure „calcAbsDistribution“ beschrieben.

calcAbsDistribution(...): Aufruf der Sub-Procedure „writeEmRes1“ (s. unten). Zunächst wird ein SQL-Query(1) auf die ASFINAG-Tabelle asfinag_tag erstellt, welche die stündlichen erfassten Messdaten für Snf und Rbus beinhaltet, im konkreten Anwendungsbeispiel lautet diese (Ergebnis siehe Abb. 4.9 - links):

```
select kalendertag, stunde, yyyyymmddhh, a2, a3, a4 from asfinag_tag
where autobahn = 'A10' and segment = 'Hallein - Kuchl' and yyyyymmddhh
between 2008071400 and 2008071423 order by yyyyymmddhh;
```

Nun wird eine 2. Abfrage(2) erzeugt, die den durchschnittlichen Stundenwert für diesen Tag für z.B. Pkw/Lnf aus den Tabellen asfinag_monat und trafficpattern berechnet (entsprechend der oben erwähnten Disaggregation, vgl. Abb. 4.9 - rechts):

```
select t.stunde, t.anteil/100*a.DTVMS AS absolutanteil
from trafficpattern t, asfinag_monat a where a.autobahn = 'A10'
and a.jahr = 2008 and a.monat = 7 and a.segment = 'Hallein - Kuchl'
and a.fzgklasse = 'Kfz <= 3,5t hzG' and t.stunde between 0 and 23
and t.pattern = 'A';
```

Schleife über Ti: „Äußere“ Schleife Ti über alle Records von SQL-Query (1) sowie den zeitlich zugehörigen Wert aus SQL-Query (2). Anderes gesagt wird nun jeweils der Stundenwert der Verkehrsgesamtkapazität (Pkw, Lnf, Snf, Rbus) genommen und über eine ...

Schleife über Pj: ... „innere“ Schleife Pj, also über alle Mautstrecken-Subabschnitte iteriert. Hier erfolgt zunächst eine Berechnung der aktuellen Geschwindigkeit für jede Fahrzeugkategorie entsprechend den in Anhang D beschriebenen Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen. Daraus wird dann eine entsprechende Verkehrssituation abgeleitet (vgl. Tab. 3.8). Im nächsten Schritt wird für jede Kfz-Kategorie der Absolutanteil der Fahrzeugschichten zur jeweiligen Stunde berechnet. Hier sind unterschiedliche Abfragen für Pkw/Lnf und Snf/Rbus notwendig. Die SQL-Query für Pkw/Lnf greift auf die Tabelle fzg_verteilung zu, splittet die Fzg-Kategorie in die entsprechenden Fzg-Schichten auf und berechnet Stundenwert für alle Pkw/Lnf und dem Anteil der jeweiligen Fahrzeugschicht deren Absolutanteil 'AbsFzg' (vgl. Abb. 4.10 - links, Query für Lnf analog):

```
select f.subsegment, f.anteil/100*s.absolutanteil as AbsFzg
from fzg_verteilung f, SQLQuery2 s where s.stunde = 7
and f.jahr = 2008 and f.fzkat='pkw';
```

Für Snf und RBus sind die Anteile pro Fahrzeugschicht in bis zu drei Sub-Anteile (z.B. gibt es für die Fahrzeugschicht 'SoloLkw 14-20t EURO3' Anteile bei 2-, 3- und 4+ Achsen) gesplittet. Hier muss also bei Berechnung des Absolutanteil der jeweiligen Fahrzeugschicht der konkrete Messwert (z.B. 59 Snf/Rbus) mit dem Anteil der Fahrzeugschicht der jeweiligen Achsklasse multipliziert (z.B. bei der oben erwähnten Schicht - Anteil für 2-Achsen: $\cdot 0.2893$) werden und durch die Summe aller Anteile aller 2-achsigen Kfz (Snf und RBus) dividiert werden ($/21.019$), das ergäbe in diesem Fall 0.812 Einheiten der genannten Fahrzeugschicht 'SoloLkw 14-20t EURO3'. Die SQL-Query(3) selbst sieht für den konkreten Fall so aus:

```
select subsegment, a2*0.289/21.019 as AbsFzgA2, a3*0.096/9.543 as AbsFzgA3,
a4*0.579/69.438 as AbsFzgA4 from fzg_verteilung where jahr = 2008
and fzg_verteilung.fzggat='snf'
```

Die Werte im Divisor entsprechen den globalen Achs-Anteilen (2-,3-,4+ - Achsen) und ergeben zusammen 100[%]. In einer Iteration über die Records der SQL-Query (3) wird nun die Sub-Procedure ...

writeEmResCom(...): ... aufgerufen. In dieser wird die SQL-Query (4) auf die entsprechende INFRAS-Tabelle erzeugt, in der die absoluten Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von Bezugsjahr, Verkehrssituation, Längsneigung und Fzg-Schichtname berechnet werden (vgl. Abb. 4.10 - rechts):

```
select ss, vs, ln, fs_name, v, (efa*2.320*24.453) as EmFa
from efa_pkw where bezugsjahr = 2008 and ss in ('CO', 'HC',
'NOx', 'NMHC', 'Part', 'CO2', 'SO2', 'CH4', 'Benzol', 'Toluol',
'Xylol', 'NH3', 'N2O', 'mKr') and vs = 'AB_Baust1' and
ln = '+/-0%' and fs_name = 'Pkw Benzin <1,4 l / EURO3';
```

Diese Werte werden in die Tabelle emission_efa geschrieben. Im Complex - Berechnungsmodus werden somit die Emissionswerte für jede Fzg-Schicht pro Mautstrecken-Subabschnitt und pro Zeiteinheit berechnet.

sumResultsCom(...): Diese Sub-Procedure aggregiert die oben berechneten Werte auf Fzg-Schichtebene und schreibt (unter Berücksichtigung der in „writeEm-Res1“ angelegten Indizes) die Ergebnisse in die Tabelle emission_efa.

sumResults(): gleiche Funktionalität wie im 'Simple Mode'

kalendertag	stunde	yyyymmddhh	a2	a3	a4	stunde	absolutanteil
14.07.2008	16	2008071416	35	14	145	16	1602,84
14.07.2008	17	2008071417	30	20	161	17	1736,41
14.07.2008	18	2008071418	22	16	113	18	1736,41
14.07.2008	19	2008071419	24	8	75	19	1335,7
14.07.2008	20	2008071420	13	7	65	20	1068,56

Abbildung 4.9.: Ausschnitt der SQL-Querys (1) - links / (2) - rechts

4. Umsetzung des Emissionsmodells in ArcGIS

subsegment	AbsFzg	ss	vs	ln	fs_name	v	EmFa
Pkw Benzin <1,4 l / EURO1	24,4531830739169	HC	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	1,1441607395
Pkw Benzin <1,4 l / EURO2	24,4531830739169	CO	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	77,564794344
Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	24,4531830739169	NOx	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	5,8714490615
Pkw Benzin <1,4 l / EURO4	97,8127322956674	mKr	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	2532,2606898
Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO1	48,9063661478337	Part	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0
Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO2	48,9063661478337	CO2	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	7976,6218329
Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO3	48,9063661478337	CH4	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,0961095038
Pkw Benzin 1,4-2 l / EURO4	122,265915369584	NMHC	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	1,0480512556
Pkw Benzin >2 l / EURO2	24,4531830739169	SO2	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,0557097332
Pkw Benzin >2 l / EURO3	24,4531830739169	N2O	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,0567313880
Pkw Benzin >2 l / EURO4	48,9063661478337	NH3	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	2,2692553616
Pkw Diesel <1,4 l / EURO2	24,4531830739169	Benzol	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,1479399760
Pkw Diesel <1,4 l / EURO3	48,9063661478337	Toluol	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,1064069494
Pkw Diesel <1,4 l / EURO4	48,9063661478337	Xylol	AB_Baust1	+/-0%	Pkw Benzin <1,4 l / EURO3	95	0,0881003779

Abbildung 4.10.: Ausschnitt der SQL-Query (3) - links / SQL-Query (4) - rechts

Die Emissionsberechnung ist im 'Complex Mode' wesentlich aufwändiger und beträgt für das oben genannte Beispiel rund 45 Minuten. Dabei werden im Table emission_efa ca. 20000 Datensätze berechnet.

4.4. Diffusionsberechnung mit AUSTAL2000

Die Resultate der Emissionsberechnungen aus den oben beschriebenen Schritten sind in ihrer räumlichen Ausprägung zunächst nur auf die linienförmige Struktur der Autobahn beschränkt. Hier wäre zwar eine Darstellung über die Variation von Linienbreite, -farbe oder -typ möglich (vgl. Abschn. 2.2.1), inhaltliche Aussage und weitergehende räumliche Analysemöglichkeiten sind aber begrenzt. Da die Ausbreitung von Luftschadstoffen unabhängig von der räumlichen Ausprägung der Emissionsquelle eine dreidimensionale Charakteristik aufweist, ist hinsichtlich einer direkten Beeinflussung von Menschen und Umwelt die Berechnung von bodennahen Immissionen wichtig.

Für die weitere Vorgehensweise der Diffusionsberechnung wird nun die unter Abschnitt 2.1.1.2 erwähnte Software AUSTAL2000 (A2K) verwendet. Als vorbereitende Schritte sind die Datenquellen (meteorologische Daten, Geodaten, Sachdaten) für die Verwendung aufzubereiten (Abschn. 4.4.1), danach wird ein Projektordner mit Text-Datei `austal2000.txt` (enthält das Parameter-Setting) definiert (Abschn. 4.4.2) und eine Ausbreitungsberechnung durchgeführt (Abschn. 4.4.3).

4.4.1. Aufbereitung der Datenquellen für A2K

Die Simulation in A2K berücksichtigt eine Menge verschiedener Aspekte und ermöglicht damit dem Anwender eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Wahl von Eingabeparameter und Berechnungsmodus (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.1-2]). Für die Ausbreitungsrechnung der Luftschadstoffe wurde in dieser Arbeit für A2K die folgende Programmeinstellung vorgenommen:

- Verwendung eines DHM (Auflösung 50m), vorab Berechnung einer Windfeldbibliothek mit dem A2K-Zusatzprogramm TALdia
- punktförmige, gleichabständige (50m) Schadstoffquellen entlang der A10
- keine Berücksichtigung eines Rauigkeitskatasters², als Standard-Wert wird $z_0 = 0.5$ verwendet.
- Rechnung mit einer meteorologischen Zeitreihe im Format AKTerm

²Dieser beschreibt (eine gemittelte) Oberflächenrauigkeit, die sich aus DHM und einem Landnutzungskataster (z.B. aus der CORINE-Landnutzungs-klassifizierung) ergibt

DHM / Windfeldbibliothek: In A2K können digitale Höhendaten (sowie Gebäudedaten) in das diagnostische Windfeldmodell TALdia einfließen, um Windfeld-Bibliotheken für potentielle Windrichtungen anzulegen. Diese werden bei der Ausbreitungsrechnung hinzugezogen, um durch Überlagerung die vorgegebene Windrichtung und -stärke optimal anzunähern (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.34-37]). Eine Vorab-Berechnung dieser Windfeld-Bibliotheken ist mit dem Command-Line Tool taldia.exe möglich, das ein im Parameter-File angegebenes DHM als ArcGIS ASCII-Grid einliest. Das Ergebnis von taldia.exe sind ein auf den Gitterpunkten des gesuchten Rechenraster interpoliertes Höhenmodell (Datei: zg0l.dmna) sowie 12 iterativ berechnete, divergenzfreie Windfelder in der Windfeldbibliothek. Die Divergenz eines Windfeldes quantifiziert das Zusammen- (Konvergenz = negative Divergenz) oder Auseinanderströmen (Divergenz) von Luft.

Als Einschränkung des Simulationsprogramms TALdia muss allerdings erwähnt werden, dass bei einer stark bewegten Topographie (wie etwa im Salzachtal entlang der A10) große Höhenunterschiede zu numerischen Instabilitäten und unter Umständen zu einer Unlösbarkeit der Simulationsgleichungen führen (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.90, Fußnote 49]). Eine Alternative bestünde in der Simulationsberechnung ohne Höhenmodell. Um die numerische Instabilität zu umgehen ohne auf den Einfluss eines Höhenmodells in der Berechnung zu verzichten, wurde das DHM nicht-linear gestaucht:

$$DHM_{neu} = \frac{DHM_{alt}}{\ln(DHM_{alt})}$$

Der Stauchungs-Faktor liegt zwischen 1:5 und 1:8, das DHM wird dadurch vom Bereich 431-2832m auf den Bereich 71-356m transformiert. Obwohl diese Verzerrung der realen Höhendaten einen theoretisch nicht begründbaren 'Kunstgriff' bedeutet, ist dadurch die Steilheit des Geländes geringer und die numerische Instabilität gelöst, die Ausbreitungsrechnung findet in einem realen Raum statt. Eine Alternative wäre die Berechnung ohne DHM.

Aufbereitung der Emissionsquellen: Die A2K-Berechnung für einen Mautstreckenabschnitt soll entlang der Autobahn erfolgen. Hier bieten sich zwei Möglichkeiten der Emissionsquellenmodellierung an:

1. Modellierung der Schadstoffquellen als Linien
2. Modellierung der Schadstoffquellen als äquidistante Punkte entlang der Straße

Lösung 1 ist vom Aufwand der Datenaufbereitung wesentlich aufwändiger. Hierbei sollte die Linienquelle möglichst exakt dem Straßenverlauf folgen, was bei kurvenreichen Abschnitten zu vielen, kurzen Liniensegmenten führt. Für jedes dieser Segmente

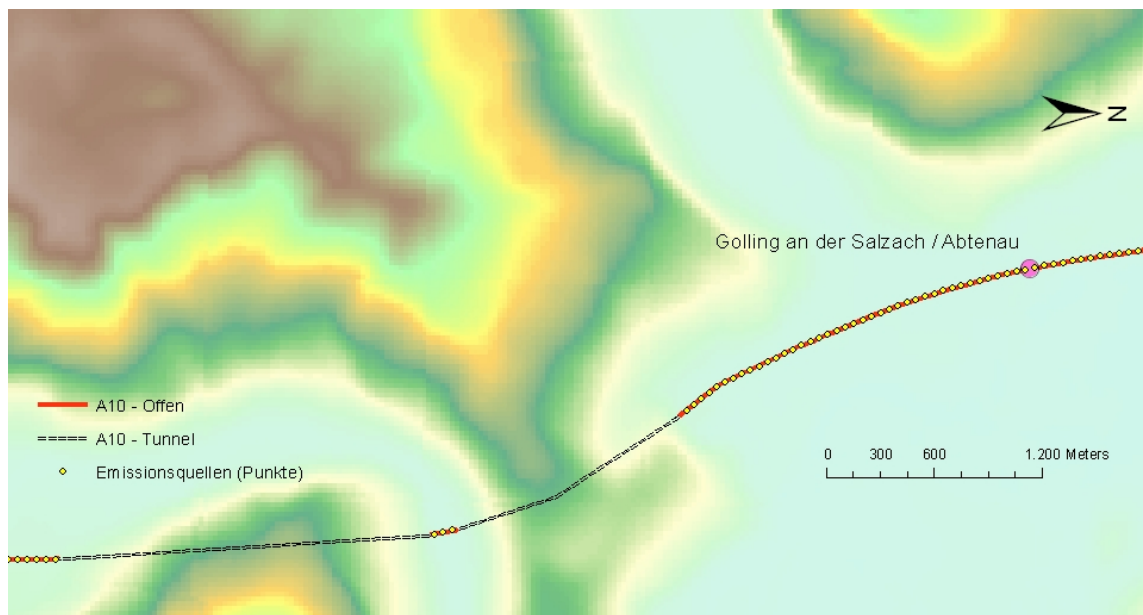


Abbildung 4.11.: Emissionspunkte entlang der A10

muss sowohl Länge, Verdrehung als auch Anteil der Schadstoffemissionen vom Gesamtanteil des Mautstreckenabschnitts (oder des Mautstrecken-Subabschnitts) berechnet werden.

Für Lösung 2 spricht die einfache und flexible Handhabung. Hier wurde eine Event-Tabelle angelegt, die, beginnend bei der Kilometrierungsangabe 16000 [m] alle 50m einen Emissions-Punkt enthält. Dieser wird dann über die ArcGIS-Funktion „Add Route Events“ als Point Event importiert. Ein räumlicher Join zwischen dem Point-Event und der Autobahn ergänzt die Zugehörigkeit der Punkte zu den Mautstrecken(-sub)abschnitten. Da Luftschadstoffe in den Tunnels durch die Tunnelportale abgeführt werden, sind im letzten Schritt noch die Emissionspunkte in den Tunnels zu entfernen (vgl. Abb. 4.11).

AKTerm Zeitreihe: Die A2K-Diffusionsberechnung kann als meteorologischen Input entweder das sogenannte AKTerm-Datenformat verwenden, das auch als explizite Zeitreihe angegeben werden kann (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.23-29]). Eine AKTerm-Zeitreihe enthält pro Messstation aus einem gesamten Jahr (oder aus Teilen davon) stündliche Werte der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit und der Ausbreitungsklasse. Das zweite, daraus abgeleitet Datenformat ist das AKS-Format, das eine Häufigkeitsstatistik von meteorologischen Ausbreitungssituationen beschreibt.

4.4.2. Erstellen eines Parameterfiles

Alle wichtigen Eingabedaten werden vor Simulationsbeginn im Parameterfile austal2000.txt (vgl. Abb. 4.12) gesetzt. Die Parameter können in beliebiger Reihenfolge angegeben werden (für eine Beschreibung aller möglichen Parameter vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.10-16]). Die eingefügten Kommentare (gekennzeichnet durch „-“ bei Zeilenbeginn bzw. „'“ in der Zeile) beschreiben die Semantik der hier gewählten Parameter.

```

1 - TEST
2 ti "a10" 'Projektbezeichnung
3 az "../../../anno20080714.akterm" 'Pfad zum AKTerm-File
4 gh "../../../dtm_a10_ln2.asc" 'Pfad zum ASCII-Grid DHM
5 --- Koordinaten des Nullpunktes = Anfang der Strecke
6 ux 361095 'Rechtswert des Koordinaten-Nullpunktes in UTM
7 uy 5272665 'Hochwert des Koordinaten-Nullpunktes in UTM
8 zo 0.5 'Rauhigkeitslänge
9 --- Koordinate des Quellbeginns
10 xq 0 9 19 32 45 59 72 86 99 112 127 141 157 175 192 210 228 246 265 285 304
11 yq 0 -49 -98 -147 -195 -243 -291 -339 -388 -436 -483 -531
12 hq 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
13 --- Definition des Rechengitters
14 xa 0 'Anemometerpos. x
15 ya 0 'Anemometerpos. y
16 ha 11 'Anemometerhöhe
17 x0 -3000 'westlicher Rand des Rechengebietes
18 y0 -6500 'südlicher Rand des Rechengebietes
19 dd 50 'Horizontale Maschenweite des Rechengitters
20 nx 150 'Anzahl der Gittermaschen in x-Richtung
21 ny 140 'Anzahl der Gittermaschen in y-Richtung
22 qs 0 'Qualitätsstufe
23 -----
24 nox 0.014 0.014 0.014 0.014 0.014 0.014 0.014 0.014 0.027 0.027 0.027 0.027
25 pm-1 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001
26 pm-2 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001
27 xx 3.117 3.117 3.117 3.117 3.117 3.117 3.117 3.117 5.671 5.671 5.671 5.671
28 *
```

Abbildung 4.12.: Setting im Parameterfile austal2000.txt

Eine absolute Koordinatenangabe (hier in UTM-Koordinaten) erfolgt nur für den sog. Nullpunkt (der hier an den Beginn der Berechnungsstrecke gelegt wurde), alle übrigen Angaben beziehen sich relativ auf diesen Punkt. Die Koordinaten der Quellen (Zeile in der Abbildung abgeschnitten) werden Tabulator-separiert für jede Achsrichtung eingetragen, ebenso die Zeilen der Emissionswerte NO_x (nox), PM_{10} (pm-1, pm-2) und xx (xx steht hier für die Berechnung eines in A2K unbekanntes Gases, in diesem Fall wird CO_2 berechnet). Dabei ist zu beachten, dass der Emissionswert in die Einheit [g/s] umzurechnen und auf die einzelnen Emissionspunkte aufzuteilen ist. Hier sind zwei unterschiedliche Aufteilungen möglich:

Emissionswert aus 'Simple Mode'- Berechnung: hier muss pro Mautstreckenabschnitt durch den Faktor $86400 \cdot T \cdot P_a$ dividiert werden um den Sekunden-Emissionswert pro Emissionspunkt zu erhalten (T: entspricht der Anzahl der

Tage, die der 'Simple Mode'-Berechnung zugrunde liegen, P_a : Anzahl der Emissionspunkte pro Mautstreckenabschnitt)

Emissionswert aus 'Complex Mode'- Berechnung: hier muss pro Mautstrecken-Subabschnitt durch den Faktor $86400 \cdot T \cdot P_s$ dividiert werden um den Sekunden-Emissionswert pro Emissionspunkt zu erhalten (T: entspricht der Anzahl der Tage, die der 'Complex Mode'-Berechnung zugrunde liegen, P_s : Anzahl der Emissionspunkte pro Mautstrecken-Subabschnitt)

Die Höhe der Emissionsquelle wurde konstant mit 1m (Auspuffhöhe) definiert. Ein „*“ kennzeichnet das Ende des Parameter-Files.

4.4.3. Simulationslauf und Ergebnisse

Die Ausbreitungsrechnung wird über die Command-Line entweder zweistufig (taldia.exe und austal2000.exe getrennt) oder einstufig gestartet. Im einstufigen Ablauf wird gegebenenfalls ein Windfeldmodell über den programminternen Aufruf von taldia gerechnet. Der Syntax für den zweistufigen Ablauf lautet:

taldia *Projektordner*: Berechnung des Geländeprofiles zg0l.dmna im Projektordner und einer Windfeldbibliothek im Unterverzeichnis lib.

austal2000 [-D] *Projektordner* [*Option*]: Ausbreitungsrechnung unter Verwendung der oben berechneten Turbulenzfelder.

In Abhängigkeit von räumlicher Auflösung und Ausdehnung des DHM, der Einbeziehung von Gebäuden und der berechneten Zeitperiode kann die Rechendauer schnell die Zeitdauer von mehreren Stunden erreichen. Über die Auswahl der Qualitätsstufe der Berechnung q_s (Wertebereich -4 bis +4) wird die Freisetzungsrates der Partikel gesteuert, eine Verringerung beschleunigt die Berechnung.

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung werden in ASCII-Grids mit detailliertem Header abgespeichert und umfassen den Jahresmittelwert von Konzentration (und eventuell Deposition, z.B. bei Feinstaub) in einer Messhöhe von 1.5m. Ist zudem die Schätzung der modellbedingten statistischen Unsicherheiten möglich, wird ein weiteres Grid-File mit den geschätzten relativen statistischen Unsicherheiten angelegt (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.19-20]).

4.5. Abfragen und Visualisierungen

Eines der wichtigsten Ziele der Aufbereitung und Darstellung wissenschaftlicher Ergebnissen liegt darin, dem Leser Mittel in die Hand zu geben, um selbst quantitative und qualitative Schlüsse zu ziehen. Im geoinformatischen Sinne sollten Analysen und logische Schlussfolgerungen noch durch den räumlichen Kontext erweitert werden, die Fragen „Wer“, „Was“, „Warum“ werden um die explizit räumlichen Aspekte „Wo“, „Wohin“ und eventuell um eine zeitliche Komponente ergänzt. In den nun folgenden Unterabschnitten werden Möglichkeiten der Datenanalyse in MS-Access und ArcGIS kurz angerissen.

4.5.1. Datenanalyse in Access

In MS-Access bieten sich zahlreiche Möglichkeiten für weitergehende Analysen, die sich aus den Emissionsberechnungen ergeben, wobei hier nur zwei Möglichkeiten angedeutet werden sollen. Der eindeutige Vorteil von Datenbanken liegt in der Möglichkeit der extensiven Datenexploration. Mit wenigen SQL-Kommandos können Tabellen verknüpft, Datensätze aggregiert und/oder gruppiert oder Sichten ('Views') auf den Datenbestand erzeugt werden.

Das folgenden Beispiel zeigt die Abfrage der CO₂-Emission (Einheit [kg]) von 3-achsigen Lkws aller Fahrzeugschichten mit einem Gesamtgewicht unter 7.5t und einer EURO-Abgasnorm unter EURO-2, die am 14.07.2008 zwischen 10:00 und 18:00 im Zustand 'Beladen' den Mautstreckenabschnitt 'Hallein-Kuchl' befahren haben. Die entsprechende SQL-Query dazu lautet:

```
SELECT t1.fzgschicht, round(sum(t2.fzgcount)/5,2) AS Anzahl,  
round(sum(t2.km_ges),2) AS km_total, round(sum(t2.co2)/1000,2) AS CO2_total  
FROM emission_res_complex t1, emission_efa t2 WHERE t2.calc_idx = t1.calc_idx  
and t1.calc_id = -1810415102 and t1.achsen='3-Achsen' and t1.yyyymmddhh  
between 2008071410 and 2008071418 and t1.ladung='Beladen' and t1.fzgschicht in  
(select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='snf' and sizeclass = '<7,5t'  
and (subsegment in ('SoloLkw <7,5t 80erJahre', 'SoloLkw <7,5t EURO1')))  
group by fzgschicht;
```

Der Divisor „/5“ im Aggregat der Fahrzeugsumme ist für eine korrekte Berechnung der Fahrzeugsumme notwendig, da jeder Mautstrecken-Subabschnitt (hier 'Hallein-Kuchl': 5 Subabschnitte) die volle Anzahl der ihn durchfahrenden Kfz beinhaltet.

fzgschicht	Anzahl	km_total	CO2_total
SoloLkw <7,5t 8DerJahre	6,63	37,09	14,53
SoloLkw <7,5t EURO1	6,63	37,09	12,44

Abbildung 4.13.: Ergebnis der SQL-Query

Da die Berechnungen auf Mautstreckenabschnitte begrenzt sind, ist hier für den korrekten Abschnitt dem Table emission_calc nur die entsprechende calc_id für den Abschnitt 'Hallein-Kuchl' zu entnehmen. Eine Verfeinerung der Abfrage auf Mautstrecken-Subabschnitt(e) ist jedoch auch möglich (vgl. Abb. 4.13).

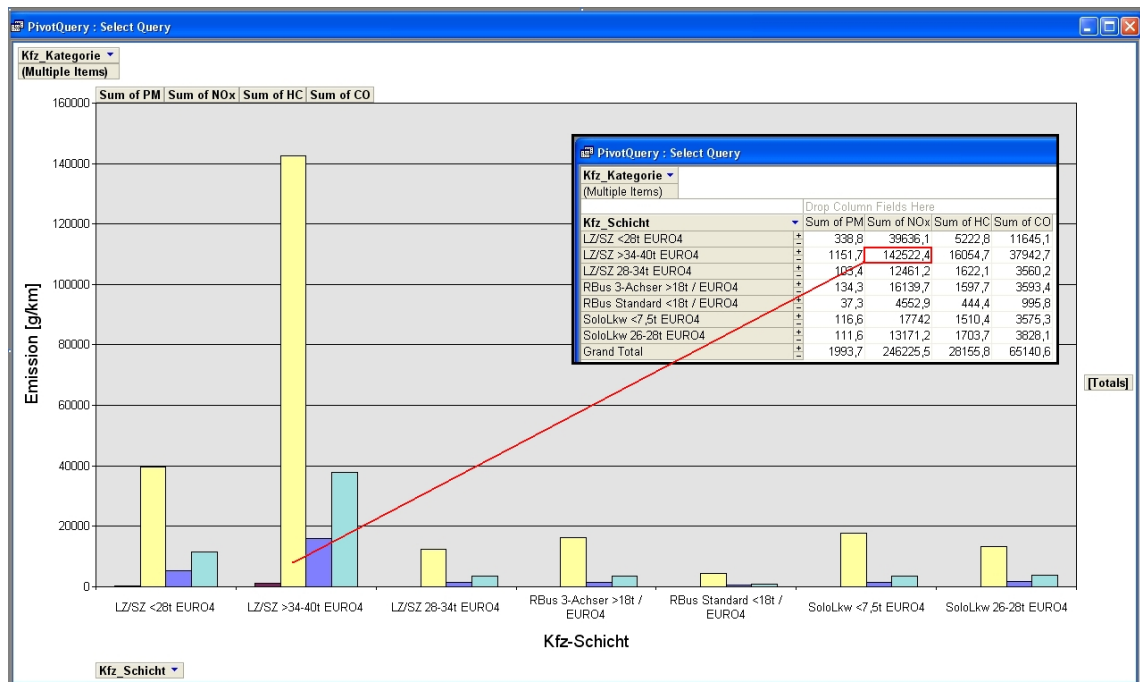


Abbildung 4.14.: Beispiel einer Pivot-Tabelle mit Chart

Eine mögliche grafische Ausgabeform in MS-Access ist die Darstellung als Pivot-Tabellen-Chart. Eine Pivot-Tabelle ermöglicht die Darstellung gleichartiger Datensätze in Gruppen, das Pivot-Tabellen-Chart ist das Pendant mit grafischer Benutzeroberfläche. In Abbildung 4.14 ist als Beispiel ein Pivot-Chart mit Kategorisierung aller EURO4 Abgas-Technologien, gefiltert nach Kfz-Kategorie (hier nur: Snf, RBus) und Summenbildung über die Emissionsfaktoren PM, NO_x, HC und CO für den gleichen Abschnitt wie oben und den kompletten Tag (14.07.2008) dargestellt.

4.5.2. Räumliche Datenanalyse in ArcGIS

Werden räumliche Dimensionen in die Analyse mit einbezogen, ergeben sich völlig neue Fragestellungen. In Bezug auf den Straßenverkehr wären zum Beispiel folgende Analysen von besonderem Interesse:

- Wie hoch ist der in Folge eines Unfalls mit einem zweistündigen Stau entstandene zusätzliche CO₂-Ausstoß?
- Wie hoch sind Tages-Konzentrationswerte für die Ozon-Vorläufersubstanzen Stickoxid (NO_x) und Kohlenwasserstoff (HC), die vor allem an Sommertagen mit starker Sonneneinstrahlung photolytisch umgesetzt werden? Welche Teile der Bevölkerung sind hiervon betroffen?
- Wie ist die Deposition von Feinstaub der Partikelgrößen PM₁₀ und PM_{2.5} in Abhängigkeit von Windrichtung und Windstärke, wurden Grenzwerte überschritten, sind öffentliche Einrichtungen (z.B. Schulen, Kindergärten, Spitäler, ...) von einer erhöhten Belastung betroffen?
- Besteht eine räumliche Korrelation für die erhöhte Konzentration aromatischer Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol) und den Missbildungen bestimmter Tierarten?
- Wieviele Tonnen CO₂-Einsparung bringt eine dauerhafte Geschwindigkeitsreduktion für Kfz entlang eines Streckenabschnitts? Wie sieht eine Wochen-, Monats- oder Jahresbilanz des Probeversuchs im Vergleich zum Status Quo aus?
- Wo sind Naturreserve, Gewässer oder andere Schutzzonen einer erhöhten Schadstoffbelastung ausgesetzt?
- Wohin verlagert sich eine Emissionswolke bei Änderung der vorherrschenden Windrichtung?
- ...

Bei diesen Fragestellungen wird die Bedeutung einer explizit räumlichen Modellbildung klar. Sowohl topologische Fragestellungen - also die Frage nach den räumlichen Beziehungen - als auch geometrische und attributive Analysemöglichkeiten sind heute methodisch gut entwickelt und in vielen GI-Applikationen umgesetzt. Exemplarisch soll hier der Prozess einer Standortfindung für einen Kindergarten stichwortartig aufgezeigt werden:

Ausgehend von einem Flächenwidmungsplan der Gemeinde werden potentielle Bauflächen herausgefiltert. Da in der Nähe der Gemeinde eine stark befahrene Autobahn liegt, werden aus exakten Meßdaten aller Kfz-Kategorien eines Jahres Emissionswerte gerechnet, die dann Eingangsdaten für eine gekoppelte Diffusionsberechnung sind. Die Werte für lungengängigen Feinstaub (PM_{2.5}) und Ozon-Vorläufersubstanzen sind

von besonderem Interesse. Da in den Monaten April bis September auch die Grünflächen des Kindergarten genutzt werden sollen, werden die Emissionswerte dieser Monate stärker gewichtet, als die restlichen Monate. Damit ergibt sich eine Reihung von verschieden stark belasteten potentiellen Bauflächen, für die dann auch noch eine Reihe weiterer Kriterien (z.B. Lärmbelastung, Einzugsgebiet, Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln, etc.) in der Entscheidungsbildung mitspielen.

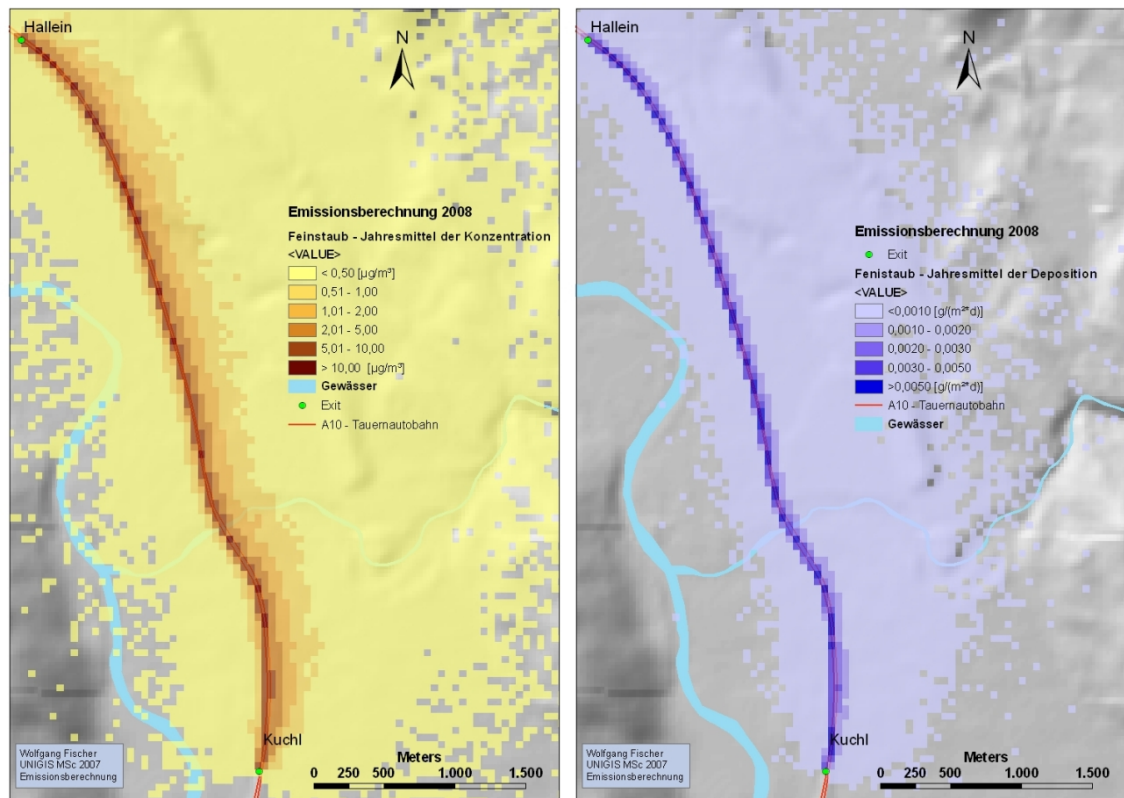


Abbildung 4.15.: PM_{10} -Konzentration/-Deposition im Jahresmittel ('Hallein - Kuchl')

Abbildung 4.15 zeigt zwei Visualisierungen der Ergebnisse für Emissionsberechnungen für Feinstaub, die für den Mautstreckenabschnitt 'Hallein - Kuchl' für beide Fahrtrichtungen für den Zeitraum 2008 im 'Simple Mode' berechnet wurden. Für die Ausbreitungsrechnung wurde (mangels der Verfügbarkeit realer Messdaten für Windstärke und -richtung) eine fiktive meteorologische Zeitreihe genommen. Die Haupt-Windrichtung liegt auf Südwest (218°), die mittlere Windstärke beträgt 4.6 m/s. Die Zeitdauer der Diffusionsberechnung für eine Fläche mit einer Ausdehnung von 8000m in Richtung Ost-West und 6100m in Richtung Nord-Süd mit 50m Pixelgröße liegt bei ca. 15 Stunden (QuadCore PC, 4 GB RAM). Die linke Abbildung zeigt das Jahresmittel der Feinstaubkonzentration (Einheit: $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$), rechts ist die Feinstaubdeposition (Einheit: $[\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$) dargestellt. Hier zeigt sich vor allem in un-

mittelbarer beidseitiger Nähe der Autobahn von $\pm 150\text{m}$ eine erhöhte Belastung. Das Jahresmittel der Emissionsberechnung bezieht sich auf das Mittel über den von der meteorologischen Zeitreihe abgedeckten Zeitraum in ganzen Tagen, Vorbelastungen werden hier nicht in die Berechnung mit einbezogen. Auf Grund der relativ homogenen Geländehöhen im Bereich der Simulation weisen die Ergebnisse nur einen geringen Einfluss der Topographie auf.

Die Ergebnisse der A2K-Ausbreitungsrechnung entsprechen dem in Anhang 3 der TA-Luft geforderten Richtlinien (vgl. [BMU, 2002]). Abhängig vom Emissionsfaktor werden Konzentrationen (und teilweise Depositionen) berechnet, die unterschiedliche Mittelungszeiten (Jahr, Tag, Stunde) aufweisen können. Bei PM-Berechnungen wird zusätzlich zu den beiden oben beschriebenen Ergebnissen ein maximales Tagesmittel mit 35 Überschreitungen berechnet (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.18-22]).

Die weitere Aufbereitung dieser kontinuierlichen Rasterdaten hängt direkt von der Fragestellung im Sinne der oben angedeuteten Analysen ab. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel eine Einteilung der Messwerte in n Klassenintervalle mit nachfolgender Vektorisierung, um daraus Feinstaub-Polygone für räumliche Operationen mit anderen Geo-Objekten zur Verfügung zu haben.

5. Analyse der Modellierung

Der Schwerpunkt im folgenden Kapitel liegt auf einer kritischen Analyse der in dieser Master Thesis durchgeführten Arbeiten. Nach generellen Überlegungen zu Emissionsberechnungen werden in einem Vergleich der beiden Modellansätze ('Simple Mode', 'Complex Mode') Vor- und Nachteile bilanziert und mögliche Einsatzgebiete erörtert. Danach werden anhand konkreter Fragestellungen zwei Anwendungsbeispiele aufgezeigt, der letzte Abschnitt befasst sich mit einer monetären Übersetzung der Luftschadstoffe (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008]).

5.1. Annahmen bei Emissionsmodellen

Allgemeine Aussagen über die Qualität von Emissionsmodellen können nur nach Analyse der einzelnen Modellbestandteile und Eingangsparametern getroffen werden.

Zu den Eingangsdaten auf der emissionserzeugenden Seite zählen zunächst statistische Untersuchungen zu Verkehrszusammensetzung sowie in weiterer Folge die Kennzahlen für Emissionswerte von Motoren unter verschiedenen Lastverhältnissen. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Emissionskurve von Kfz wären unterschiedliche klimatische Bedingungen, die sich auf den Treibstoffverbrauch auswirken (Klimaanlage, Heizung). Auch unterschiedliche individuelle Fahrstile (gleichmäßiges und vorausschauendes Fahren oder aggressive Fahrweise, nieder- oder hochtourige Fahrweise, etc.) verursachen unterschiedliche Emissionswerte, sind jedoch statistisch schwer zu erfassen.

Die emissionsverteilende Wirkung entsteht (neben der Bewegung des Fahrzeuges selbst) hauptsächlich durch kleinräumige, klimatische Einflüsse. Hier stellt sich die Frage nach der Existenz lokal verteilter, kontinuierlicher Daten aus Messstationen. Geostatistische Ansätze (Krigging etc.) bieten eine Möglichkeit, möglichst genaue Werte für die unmittelbare Nähe der Autobahn zu interpolieren. Wird dieser kleinräumige Ansatz noch weiter verfeinert, so müsste auch Verwirbelung und vertikaler Transport der Abgasfahne durch die Fahrzeuge selbst berücksichtigt werden.

Emissionsberechnungen für den Straßenverkehr liegen somit komplexe (Teil-)Modelle zugrunde, die einen hohen Grad an Abstraktion aufweisen und gewisse Annahmen treffen. Im Folgenden wird nun der Ansatz dieser Arbeit hinsichtlich der oben genannten Faktoren untersucht:

Einfluss der Emissionsquellen: Hier werden ausschließlich Kfz-bedingte Emissionen mit folgenden Einschränkungen in die Untersuchung einbezogen:

- Keine Berücksichtigung von Kaltstart- und Verdampfungsemissionen
- Keine Berücksichtigung von Klimaanlage: HBEFA bietet als Option eine Berücksichtigung von Klimaanlage auf die Erhöhung des Treibstoffverbrauchs an (beträgt bis zu 1.5l/100km). Da der Einsatz von Klimaanlage stark mit der aktuellen Außentemperatur korreliert, jedoch meteorologische Daten für dieses Modell nicht verfügbar waren, wird dieser Korrekturfaktor nicht berücksichtigt
- Keine Berücksichtigung einer Partikelfilterkorrektur: obwohl eine steigende Anzahl an Fahrzeugherstellern ihre Diesel-Modelle mittlerweile mit Partikelfilter anbieten, sind genaue Zahlen für im Einsatz befindliche Diesel-Motoren mit Partikelfilter nur schwer zu modellieren (HBEFA bietet jedoch eine solche Option für die Berechnung an)
- Keine Berücksichtigung von Feinstaub-Emissionen, die nicht mit dem Verbrennungsvorgang zusammenhängen (Abrieb von Reifen, Bremsbelägen, Straßenbelag, ...)
- Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emission (aber keine Berücksichtigung individueller Fahrstile)
- Annahme einer ordnungsgemäß gewarteten Abgas-Reinigungstechnologie (Katalysator, Partikelfilter) des Kfz
- Keine Berechnung für Motorräder (fehlende Daten)
- Basis der Berechnung ist die Statistik des nationalen Kfz-Bestands für Österreich aus den Daten der INFRAS-Studie und der Statistik Austria. Da die A10 Tauernautobahn jedoch besonders zur Hauptreisezeiten (Winter- und Sommerferien) eine starke Durchmischung der nationalen Zugehörigkeiten von Kfz aufweist, für die keine Statistiken vorhanden sind, wird in die Emissionsberechnung eine gewisse 'Unschärfe' übertragen.
- Annahme eines korrekten Splitting der Snf-Fahrzeugschichten in Anteile von 2-,3- und 4+ -Achsen (vgl. Abschn. 3.1.3.2, Tab. B.3)
- Die Motorleistungen von Snf (Rbus) haben innerhalb einer Kfz-Schicht eine gewisse Bandbreite (z.B.: LZ/SZ >34-40t EURO5: Leistungsbereich von 350-600 kW). Da die Emissionswerte von Snf (Rbus) in Abhängigkeit der Motorleistung angegeben werden, kann hier nur ein Durchschnittswert der Motorleistung in die Berechnung eingehen

Einfluss der Geodaten: Emissionsberechnung und Ausbreitungsrechnung hängen von Auswahl und Qualität der Geodaten ab:

- Bei gegebener Verkehrsauslastung bestimmen Anzahl der Fahrspuren und Steigung die Verkehrszusammensetzung (freier Verkehr, gebundener Verkehr, Stau) und daraus die mögliche Geschwindigkeit für die jeweilige Kfz-Kategorie. Diese wird unter Umständen von einer Geschwindigkeitsbeschränkung weiter begrenzt. Diese Faktoren werden in der Modellierung berücksichtigt.
- Die Kurveneigenschaften der Straße beeinflussen ebenfalls die Geschwindigkeitswahl der Kfz. Für Autobahnen wurde jedoch die Annahme getroffen, dass keine enge Kurvenradien vorkommen.
- Keine Berücksichtigung von Overhead-Displays für eine situationsabhängige und/oder zeitabhängige Geschwindigkeitsbeschränkung. Diese 'flexiblen' Geschwindigkeitsvorschriften werden seit wenigen Jahren zunehmend dort eingesetzt, wo klimatische Gegebenheiten (z.B. häufiges Auftreten von Bodennebel zu gewissen Jahreszeiten) oder die Ausprägung von Wohngebieten in unmittelbarer Nähe (z.B. Lärmreduktion durch Geschwindigkeitsbeschränkung von 22-6h) dies erforderlich machen.
- Wahl eines modifizierten DHM: zur Lösung numerischer Instabilitäten bei der Ausbreitungsrechnung wurde das Original-DHM modifiziert (vgl. 4.4.1)
- Keine Berücksichtigung von Kunstbauten (Lärmschutzwände, Gebäude) für die Ausbreitungsrechnung
- Generalisierung der Autobahn Ab- und Auffahrten eines Exits zu einem Punkt. Diese Vereinfachung führt zu einer Verkürzung/Verlängerung der jeweiligen Mautstreckenabschnitte, die Streckensumme aller Mautstreckenabschnitte bleibt jedoch gleich

Einfluss der Meteorologie: Wie bereits erwähnt sollten lokale meteorologische Messdaten über Windrichtung und Windstärke im AKTerm Format (beinhaltet stündliche Messwerte) verwendet werden. Eine andere Möglichkeit in AK-Term ist der Einsatz von expliziten Zeitreihen im *zeitreihen.dmna* Format (vgl. [AUSTAL2000, 2009, S.26-28]), in dem zeitabhängige Emissionsparameter verwendet werden können.

Fazit: Die hier angeführten Modellbestandteile beeinflussen die Berechnung der Luftschadstoffe, eine qualitative Aussage über die Genauigkeit der Simulation ist daraus nicht direkt abzuleiten. Weitere schwer erfassbare Einflussgrößen sind etwa die durch den Urlauberverkehr ausgelösten Verkehrsüberlastung und der stundenlange Stillstand der Kraftfahrzeuge auf der Autobahn. Auf der A10 kommt es vor dem Tauerntunnel dann zu kilometerlangen Staus und Blockabfertigung der Fahrzeuge. Hier würden Verkehrszählraten mangels fehlendem Input an den Mautportalen keine oder falsche Messwerte liefern.

Als wichtiger Vorteil dieser Modellbildung gegenüber auf simpler Zähldatenauswertung basierenden Emissionsberechnungen wird jedoch die Berücksichtigung der Kfz-Geschwindigkeit und der oben erwähnten topographischen und attributiven Faktoren (Steigung, Geschwindigkeitbschränkung) gesehen. Auch wenn von dieser Masterthesis eine 'globale' Eignung des Modellansatzes für Autobahnen und Schnellstraßen postuliert wird, so ist eine Eichung des Modells nur mit Hilfe von flächig verteilten Luftschadstoff-Messstellen möglich.

5.2. Vergleich 'Simple Mode' - 'Complex Mode'

Eingabeparameter	Setting
Streckenabschnitt	'Golling / Abtenau - Paß Lueg'
Fahrtrichtung	Villach
Berechnungsmodus	'Complex Mode'
Zeitraum	14.07.2008 - 20.07.2008 / 0:00-23:00
Wochenkonfiguration	'Montag - Sonntag'
Trafficpattern	'A'
Emissionsfaktoren	Alle
sonstiges	Diesel, Benzin, Beladen, Leer

Tabelle 5.1.: Vergleichsrechnung 'Complex Mode'- Setting

In diesem Abschnitt sollen die beiden entwickelten Berechnungsmodelle anhand des Mautabschnitt 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' (Fahrtrichtung Villach) quantitativ verglichen werden. Da die internen ASFINAG-Verkehrszählraten nur für zwei Wochen (KW29/2008 und KW38/2008, vgl. 3.1.2.1) zur Verfügung stehen, werden die für die Juli-Woche (KW29) im 'Complex Mode' berechneten Emissionsfaktoren auf Monatswerte extrapoliert (Faktor: *31/7) und dann mit den im 'Simple Mode' berechneten Monatswerten (07/2008) paarweise verglichen. Als Verkehrs-Tagesgang für den 'Complex Mode' wurde das Muster 'A' verwendet (vgl. Tab. 5.1). Die Tabelle 5.2 enthält die Emissionsfaktoren der verschiedenen Berechnungsmodi sowie die Prozent-Werte, mit der die 'Simple-Mode' Ergebnisse über jenen der 'Complex-Mode' liegen. Zur vereinfachten Nachvollziehbarkeit wurden die Zahlen (in dieser und den folgenden Tabellen) nicht auf signifikante Stellen gerundet.

Die Extrapolation der Anzahl der Kfz vom Wochenwert ('Complex Mode' Berechnung) auf den Monatswert ('Simple Mode' Berechnung) passt gut zusammen. Der Vergleich der einzelnen Emissionswerte beider Modelle zeigt, dass diese in den Tabellen von HBEFA gut aufeinander abgestimmt sind. Im Detail sind die Werte für NO_x, CO₂, SO₂, NH₃, N₂O und Treibstoffverbrauch in beiden Modellen nahezu gleich. Die Werte für PM₁₀, HC, NMHC und CH₄ sind im 'Simple Mode' ca. 10% überschätzt, jene für Benzol, Toluol, Xylol und CO um ca. 20% (Maximum: CO:

Messwert	Simple-Mode	Complex-Mode	Differenz [%]
Anzahl Kfz	784882	783410	0.2
Gesamt-km	5040777	5031285	0.2
Emissionsfaktor	Simple-Mode [kg]	Complex-Mode [kg]	Differenz [%]
CO	3128.319	2479.897	26.1
HC	306.624	271.786	12.8
NO _x	5310.826	5231.660	1.5
PM ₁₀	230.386	215.221	7.0
CO ₂	1227224.474	1230790.230	-0.3
SO ₂	29.090	29.271	-0.6
CH ₄	10.057	8.734	15.2
NMHC	296.566	263.052	12.7
NH ₃	41.030	40.983	0.1
N ₂ O	19.577	19.503	0.4
Benzol	10.185	8.688	17.2
Toluol	5.020	4.179	20.1
Xylol	5.556	4.717	17.8
Kraftstoff	389595.059	390727.045	-0.3

Tabelle 5.2.: Quantitativer Vergleich 'Simple-Mode' und 'Complex-Mode'

+26%). In der INFRAS-Studie variieren die Kohlenmonoxid-Werte in Abhängigkeit von Verkehrssituation und Fahrbahn-Längsneigung relativ stark. Während im 'Simple Mode' nur ein Durchschnittswert pro Kfz-Schicht genommen wird, zeigt der 'Complex Mode' eine große Bandbreite bei CO-Emissionsfaktoren, worin auch der Grund für die hier vorgefundene Abweichung liegen könnte. Obwohl der Vergleich der beiden Berechnungen eine grobe Modellverifikation darstellt, wurde für beide Modelle auszugsweise der Berechnungsablauf auch manuell nachgerechnet und verifiziert.

Der größte Vorteil des 'Simple Mode' liegt eindeutig in der Schnelligkeit der Berechnungsmethode, die zudem die Berechnung für beide Fahrtrichtungen in einem Durchlauf ermöglicht. Diese Funktionalität wäre für den 'Complex Mode' nur mit erheblichem Mehraufwand zu realisieren. Da die 'Simple Mode' Berechnung bei einer Jahresberechnung nur auf einen (Jahresdurchschnitts-)Tageswert zugreift und diesen auf das Jahr extrapoliert, dauert diese Berechnung nur etwa 45 Sekunden. Im Gegensatz dazu greift die 'Complex Mode' Berechnung auf stündliche Messwerte zu und würde somit über $24 \cdot 365 = 8760$ Stunden iterieren. Da die Berechnung an sich noch wesentlich aufwändiger ist (Iteration über die Mautstrecken-Subabschnitte, vgl. Abschn. 4.3.2) würde eine komplette Jahresberechnung für den Abschnitt 'Hallein - Kuchl' in etwa 11 - 12 Tage dauern. Dieser Wert ergibt sich aus der Dauer einer Tagesberechnung (45 Minuten) und gilt für einen aktuellen PC mit QuadCore Prozessor und 4GB RAM.

Ein weiterer Vorteil der 'Simple Mode' Berechnung liegt in der schnellen Aufbereitung der notwendigen Geodaten. Bei der Aufbereitung der Autobahn-Polylines bedarf es keiner Unterteilung der Mautstreckenabschnitte in Unterabschnitte. Das

Setzen von Exit-Points als Basis für eine abschnittsweise Segmentierung und Attributierung reicht für die Modellrechnung aus, da im 'Simple Mode' nur die Länge des Mautstreckenabschnitts in der Berechnung abgefragt wird. Die Aufbereitung der Geodaten für den 'Complex Mode' erfordert einen ungleich höheren Erfassungs- und Bearbeitungsaufwand (vgl. Abschn. 4.1).

Als Vorteil der 'Complex Mode' Emissionsberechnung kann hingegen die explizite Berücksichtigung verkehrs- und emissionsrelevanter Parameter (Anzahl Spuren, Längsneigung, Geschwindigkeitsbeschränkung, Tunnel) genannt werden. Zudem erlaubt der Einsatz unterschiedlicher Verkehrs-Tagesgänge eine Anpassung an die jeweils relevanten Auslastungen und somit eine bessere Annäherung an die reale Verkehrssituation.

Fazit: Während der 'Simple Mode' primär für eine schnelle Emissionsberechnung größerer Streckenabschnitte gedacht ist, eignet sich der 'Complex Mode' hingegen für kleinräumige Untersuchungen.

5.3. Visualisierung von Modellparametern

Im Folgenden werden anhand konkreter Fragestellungen mögliche Visualisierung von Modellparametern untersucht. Der Fokus liegt hierbei weniger auf der Erarbeitung komplexer Forschungsfragen, vielmehr sollen Anregungen für Möglichkeiten im Bereich der räumlichen (zeitlichen) Analyse gegeben werden.

5.3.1. Räumliche Ausbreitung der Emissionen

Im Abschnitt 4.5.2 wurden bereits zwei Visualisierungen der Ergebnisse für Emissionsberechnungen gezeigt. Der Einfluss von stark gegliederter Topographie und Tunnelröhren wird nun im Folgenden anhand des Mautstreckenabschnitts 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' gezeigt, der von den nördlichen Ausläufern der Gebirgsstöcke Hagengebirge im Westen und Tennengebirge im Osten begrenzt wird und auf einer Distanz von 6.42km zwei Tunnelröhren aufweist. Für die Emissionsberechnung wurden die in Tabelle 5.3 angeführten Eingangswerte gewählt. Die Emissionswerte werden dabei für 10 Mautstrecken-Subabschnitte separat berechnet, die Subabschnitte 6 und 8 sind die Tunnelröhren (Ofenauer Tunnel, Hiefler Tunnel).

Im zweiten Schritt wurde in A2K die räumlichen Ausbreitung mit einem fiktiven AKTerm-File eines Tages gerechnet (Hauptwindrichtung: 257°, durchschnittliche Windgeschwindigkeit: 4.6 m/s). Die in der Tunnelröhre emittierten Schadstoffe wurden in diesem Fall nicht auf die Emissionspunkte entlang der gesamten Strecke

gleichverteilt, sondern es erfolgte eine gewichtete Aufteilung auf jeweils zwei Emissionspunkte vor und nach dem Tunnel (15%, 35%, 35%, 15%). Anders gesagt erhalten je zwei Emissionspunkte vor und nach dem Tunnel zusätzlich zu ihrem 'eigenen' Emissionswert 15% bzw. 35% der Tunnelemissionen dazu. Für diese Berechnung zeigt Tabelle 5.4 eine Auflistung der Emissionswerte [g/s] pro Emissionspunkt des Subabschnitts, die Subabschnitte 6 und 8 (0 Emissionspunkte) weisen den gesamten Emissionswert [g/s] der Tunnelröhre auf, werden bei der Berechnung aber auf eben die 2 Punkte davor/danach aufgeteilt (vgl. Tab. 5.5). Da zwischen den beiden Tunnels (Segment 7) nur 3 Emissionspunkte liegen, erhält der mittlere Punkt jeweils 15% von beiden Tunnelröhren. Die CO₂-Berechnung für diesen Punkt (Segment: 7, Emissionspunkt 2) lautet (vgl. Tab. 5.5 - rot hervorgehoben):

$$EFA_{CO_2} = 5.374 + 0.15 \cdot 141.864 + 0.15 \cdot 210.646 = 58.250$$

Attribut	Setting
Streckenabschnitt	'Golling / Abtenau - Paß Lueg'
Fahrtrichtung	Villach
Berechnungsmodus	'Complex Mode'
Zeitraum	14.07.2008 / 0:00-23:00
Wochenkonfiguration	'Montag - Sonntag'
Trafficpattern	'A'
Emissionsfaktoren	NO _x , PM, CO ₂

Tabelle 5.3.: Emissionsberechnung mit Tunnel

Segment-ID	Emissionspunkte	NO _x [g/s]	PM [g/s]	CO ₂ [g/s]
1	7	0.029	0.001	4.922
2	4	0.060	0.001	9.940
3	3	0.011	0.001	2.742
4	9	0.031	0.001	5.254
5	17	0.062	0.001	10.290
6	0	0.829	0.025	141.864
7	3	0.031	0.001	5.374
8	0	1.230	0.037	210.646
9	7	0.029	0.001	4.931
10	13	0.032	0.001	5.500

Tabelle 5.4.: Emissionswerte pro Emissionspunkt NO_x, PM₁₀, CO₂

In Abbildung 5.1 ist die räumliche Ausbreitung von Stickoxiden dargestellt. Die Einflüsse der gebirgigen Topographie und der Windrichtung zeigen sich hier anhand der Schadstoffausbreitung an den westlichen Gebirgshängen sowie entlang des Salzachtals nördlich von Paß Lueg. Die erhöhten Schadstoffkonzentrationen im Bereich der Tunnelportale sind ebenfalls ersichtlich. Abbildung 5.2 zeigt die räumliche Verteilung der Jahresmittel von PM₁₀-Feinstaubdeposition (Einheit [g/(m²·d)]).

Segment-ID	Emissionspunkt-Nr.	NO _x [g/s]	PM [g/s]	CO ₂ [g/s]
5	16	0.186	0.005	31.570
5	17	0.352	0.010	59.943
7	1	0.321	0.010	55.026
7	2	0.340	0.010	58.250
7	3	0.462	0.014	79.100
9	1	0.459	0.014	78.639
9	2	0.213	0.006	36.510

Tabelle 5.5.: Emissionswerte vor/nach den Tunnelröhren

In Abbildung 5.3 wird die räumliche Verteilung der Jahresmittelwertes der PM₁₀-Feinstaubkonzentration (Einheit [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]) dargestellt, die (zusätzliche) CO₂ - Anreicherung der Luft zeigt Abbildung 5.4 (Einheit [g/m^3]). Die Berechnung gilt nur für eine bodennahe Luftschicht in 1.5m Höhe. Als Einschränkung sei nochmals erwähnt, dass die Emissionswerte nur für die Fahrtrichtung 'Villach' berechnet wurde.

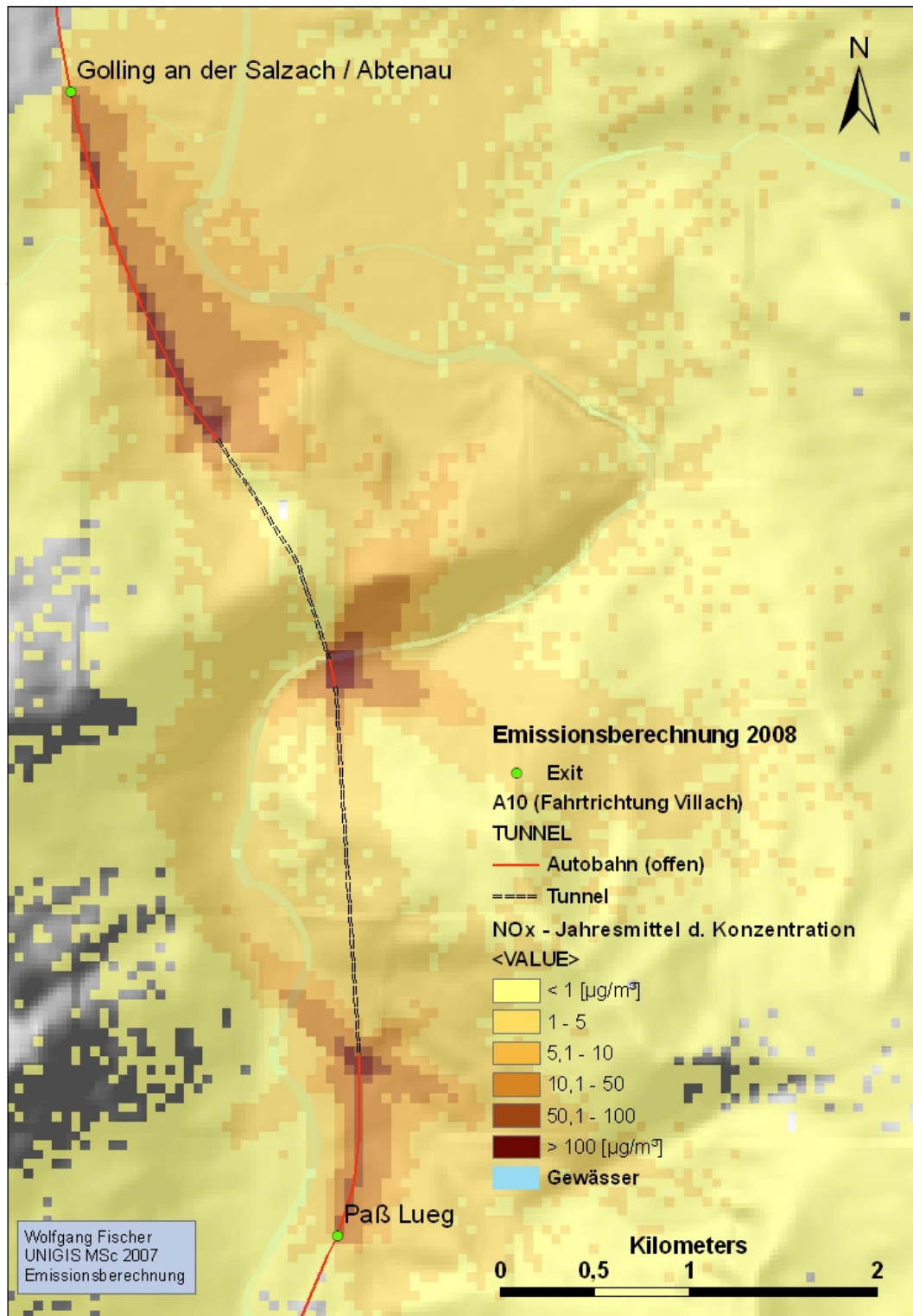


Abbildung 5.1.: Räumliche NO_x-Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels

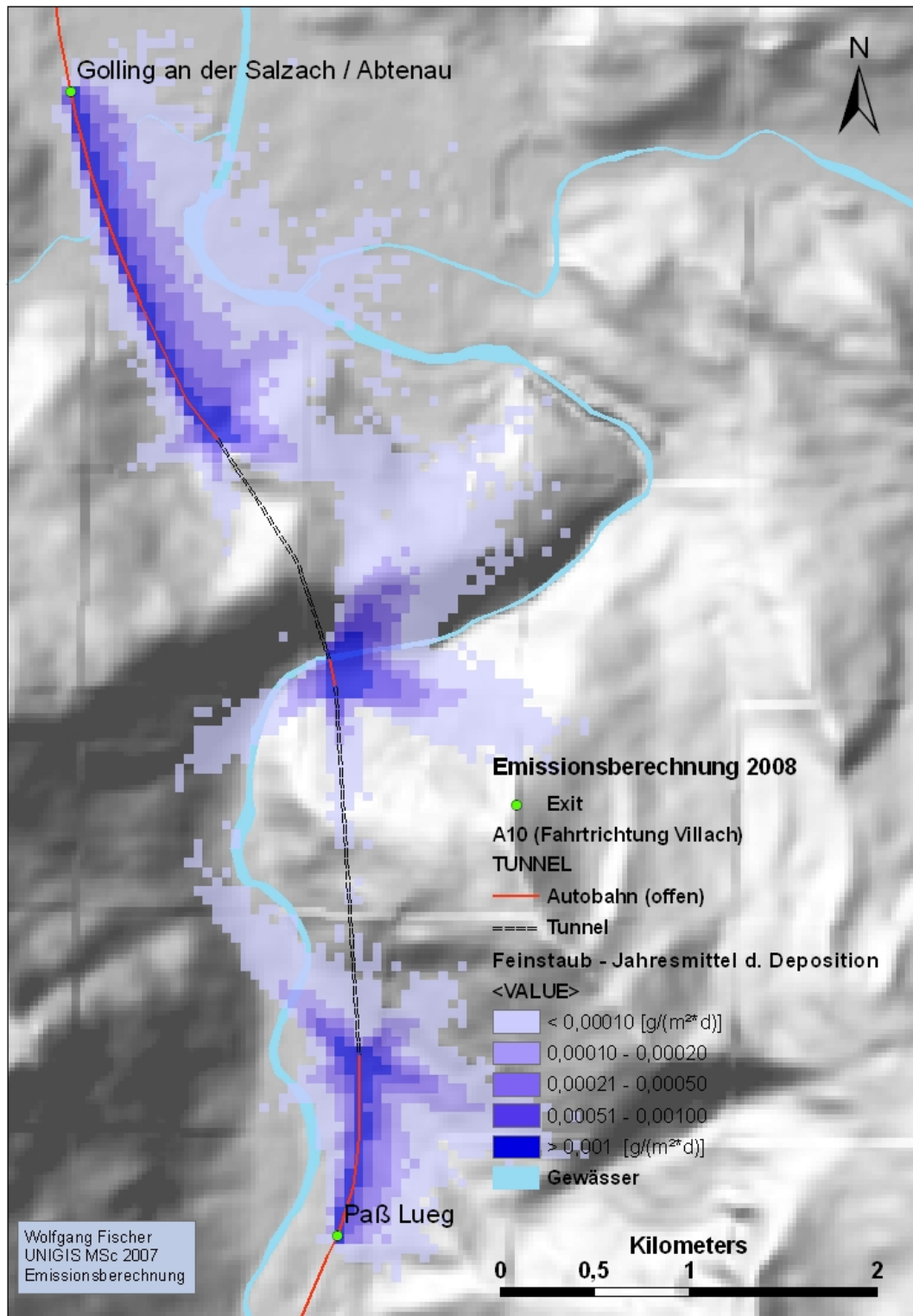


Abbildung 5.2.: Räumliche PM₁₀-Deposition mit Berücksichtigung von Tunnels

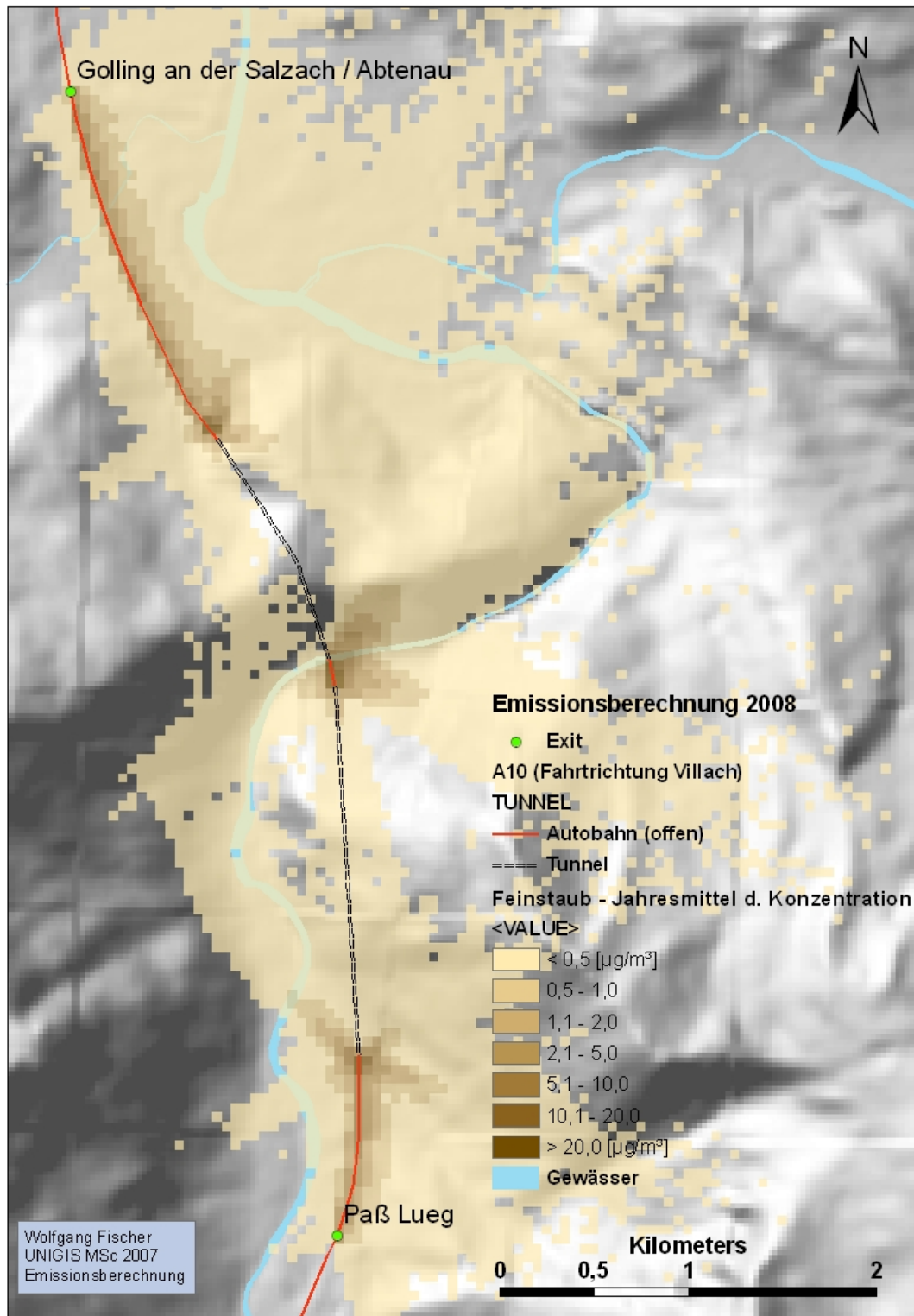


Abbildung 5.3.: Räumliche PM₁₀-Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels

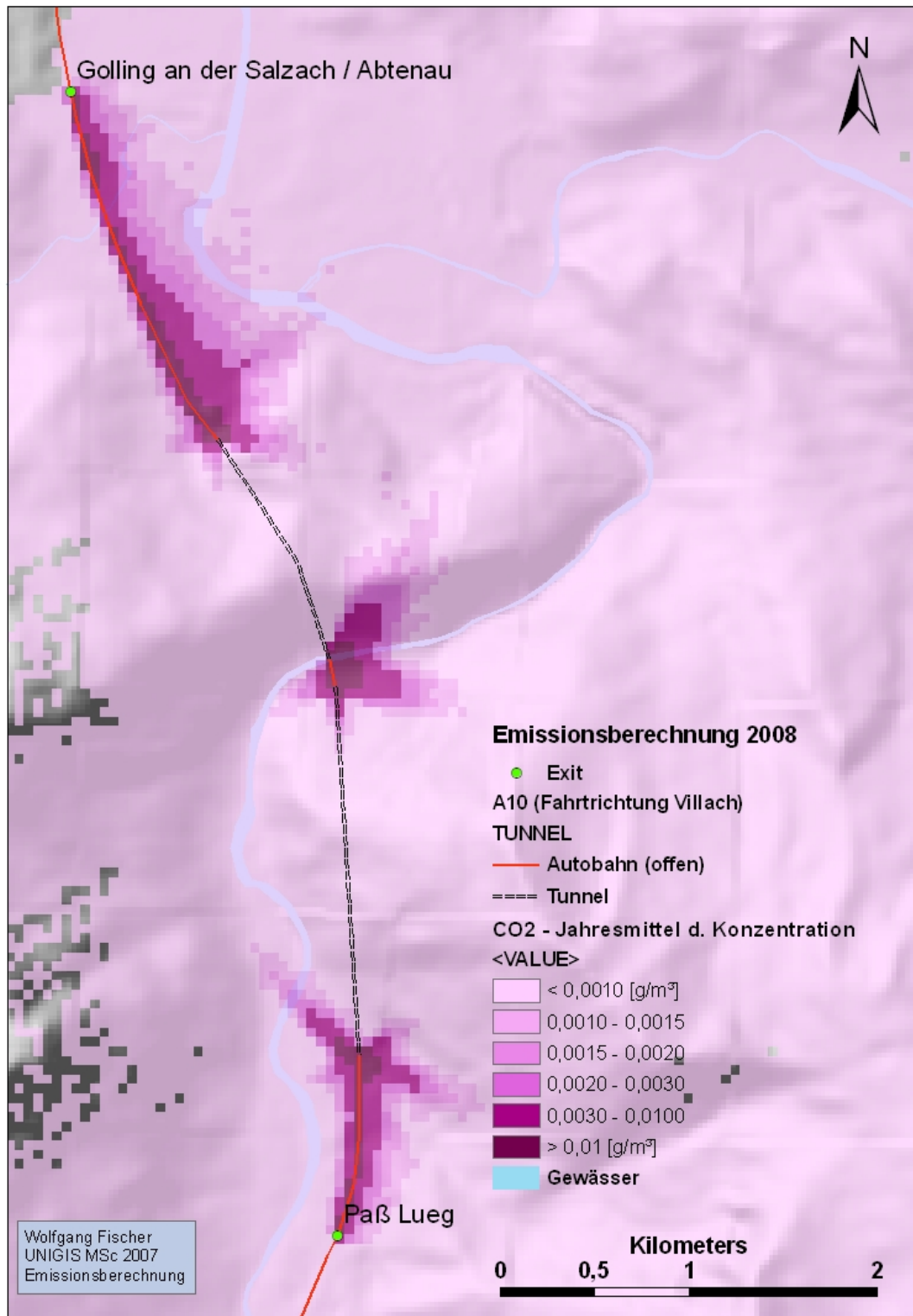


Abbildung 5.4.: Räumliche CO₂-Konzentration mit Berücksichtigung von Tunnels

5.3.2. Zeitlicher Verlauf von Emissionen

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die räumliche Variation von Emissionsfaktoren im Vordergrund der Betrachtungen stand, soll hier der zeitliche Verlauf von Emissionen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Verkehrsauslastungen untersucht werden. Dazu wird im 'Complex Mode' der Mautstreckenabschnitt 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' in Fahrtrichtung Villach für den 18.09.2008 in der Zeit von 00:00-23:00 untersucht, zweimal mit dem Verkehrstagesgang 'A' ('Complex Mode'/'A₁', 'Complex Mode'/'A₂'). Bei der zweiten Berechnung ('Complex Mode'/'A₂') wird jedoch der VBA-Code für die beiden Zeitpunkte 12:00 und 13:00 mit der Verkehrssituation „AB_Stop+Go“ fix definiert. Bei beiden Berechnungen passieren also gleich viele Kfz den selben Mautabschnitt, in der zweiten Berechnung löst aber zum Beispiel ein Unfall einen zweistündigen Stau aus.

Emission	'Complex Mode'/'A ₁ ' [kg]	'Complex Mode'/'A ₂ ' [kg]	Diff. [%]
CO	66.376	82.987	25.0
HC	9.359	15.228	62.7
NO _x	181.132	214.599	18.5
PM ₁₀	5.958	7.253	21.7
CO ₂	35178.874	38914.629	10.6
SO ₂	0.860	0.950	10.5
CH ₄	0.273	0.417	52.4
NMHC	9.085	14.811	63.0
NH ₃	0.960	0.960	0.0
N ₂ O	0.505	0.505	0.0
Benzol	0.248	0.351	41.5
Toluol	0.103	0.126	21.9
Xylol	0.131	0.181	38.1

Tabelle 5.6.: Vergleich der Tages-Emissionswerte ohne Stau / mit Stau

In Tabelle 5.6 sind die auf Gesamt-Emissionswerte gegenübergestellt. Die Spalte Diff. zeigt den Anstieg aus der Berechnung 'Complex Mode'/'A₂' (Tagesgang 'A' mit Stau 12:00, 13:00) gegenüber dem Tagesgang 'Complex Mode'/'A₁'.

Anhand von diesem Beispiel zeigt sich deutlich das starke Anwachsen der Emissionswerte als Folge von Verkehrsstaus auf. In Abbildung 5.5 ist der Tagesgang für den gesamten Mautstreckenabschnitt (Segmente 1-10) für Stickoxide der beiden unterschiedlichen Auslastungskurven dargestellt. Die Sql-Query pro Abfrage lautet:

```
select yyyyymmddhh, sum(nox) from emission_res_complex, emission_efa
where emission_efa.calc_idx = emission_res_complex.calc_idx
group by yyyyymmddhh order by yyyyymmddhh;
```

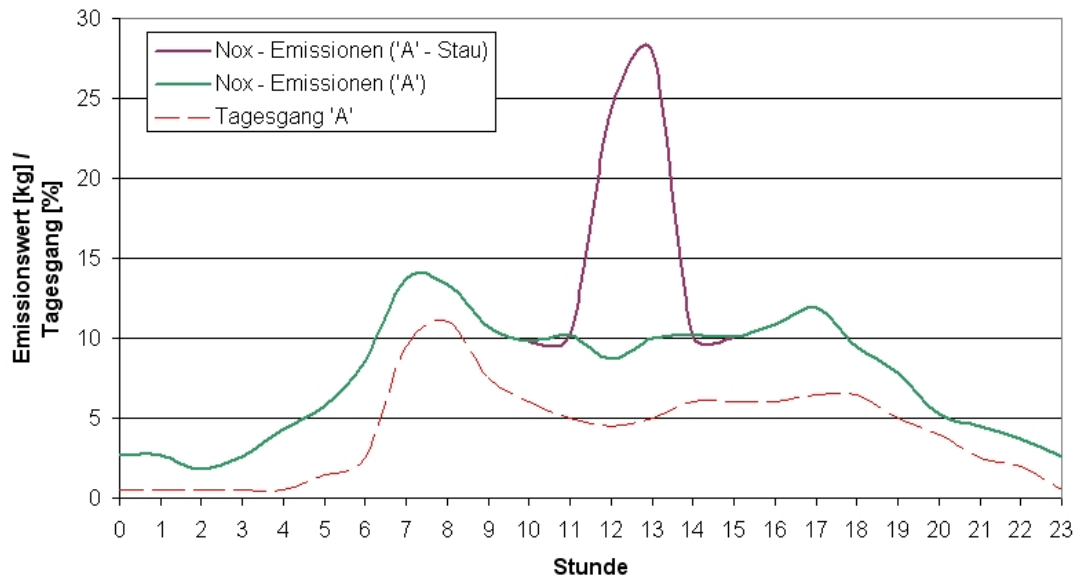
Abbildung 5.5.: NO_x-Emissionen in Abhängigkeit vom Verkehrs-Tagesgang

Abbildung 5.6 zeigt den nördlichen Teil des Mautabschnitts 'Golling / Abtenau - Paß Lueg'. Zur besseren Unterscheidung der Mautstrecken-Subabschnitte (Segmente) sind diese bunt eingefärbt, das Label bezieht sich auf die Längsneigung der Fahrbahn. Zusätzlich sind die NO_x-Emissionswerte des Verkehrstagesgangs 'A' (0:00 - 23:00) normiert auf die Länge des Segments als Columns dargestellt. Hier zeigt sich deutlich der Einfluss der Steigung auf den NO_x-Ausstoß. Abbildung 5.7 zeigt den gleichen Sachverhalt, die Spitzen zu den Mess-Zeitpunkten 12:00 und 13:00 zeigen die Auswirkungen des Staus.

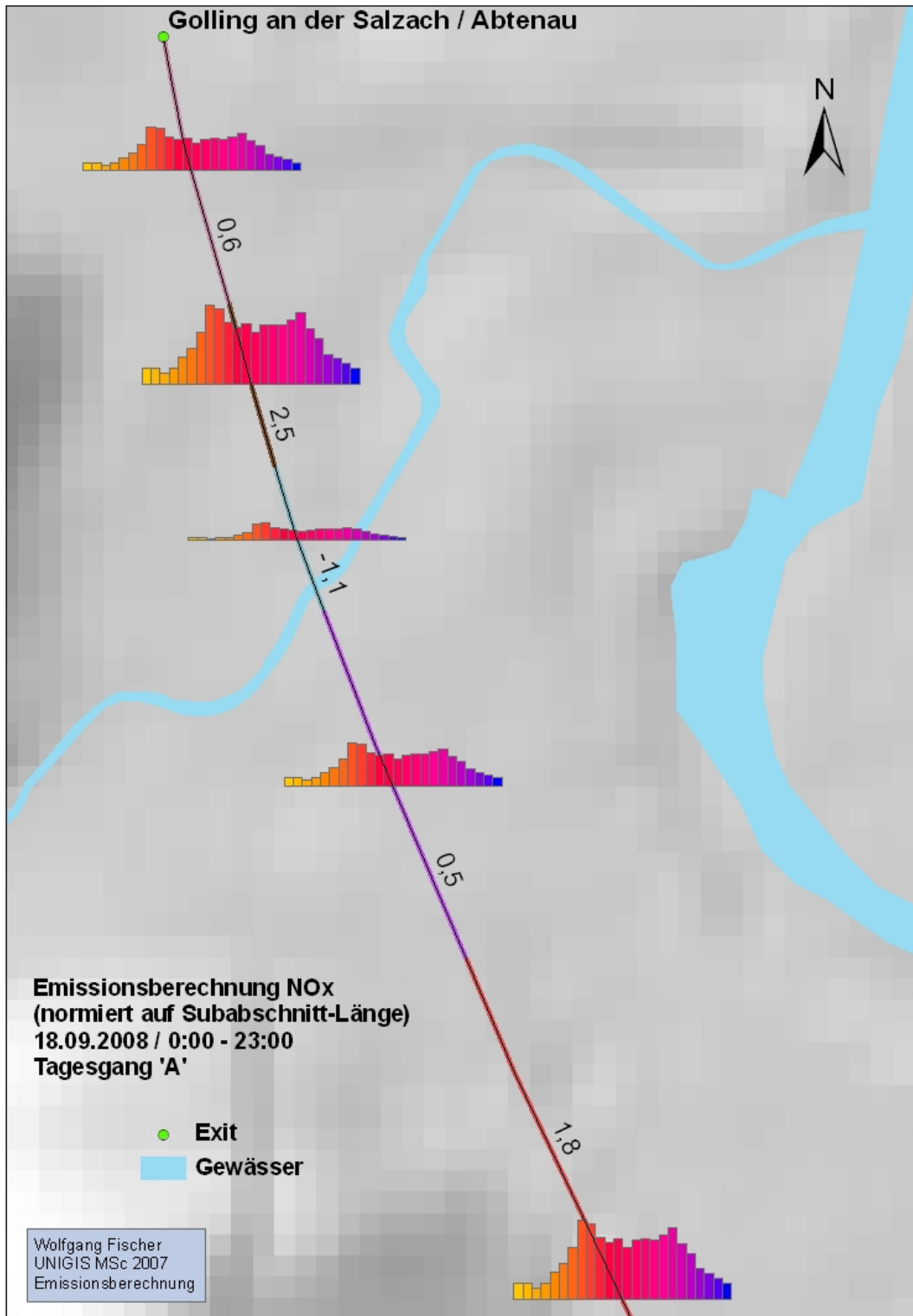


Abbildung 5.6.: NO_x-Emissionen (Verkehrstagesgang 'A')

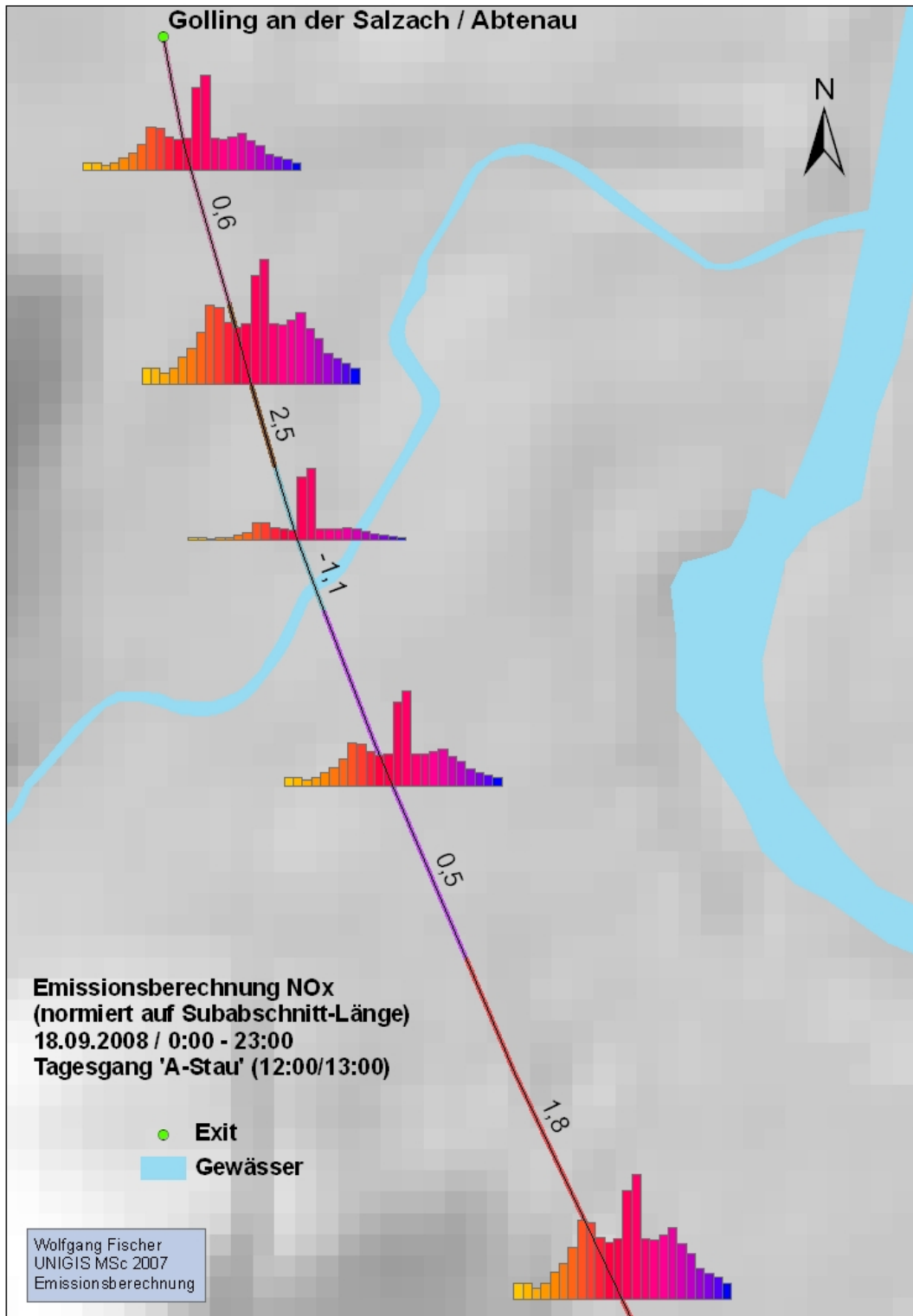


Abbildung 5.7.: NO_x-Emissionen (Verkehrstagesgang 'A-Stau' 12:00, 13:00)

5.4. Kostenberechnung aus Emissionen

Bereits zu Beginn dieser Arbeit wurde die Möglichkeit einer monetären Berechnung der externen Kosten von Emissionen erwähnt, die unter anderem in den Forschungsarbeiten der IMPACT-Studie zusammengefasst sind (vgl. Abschn. 2.1.1). In [MAIBACH M., et al. 2008, S.54, Tab.13] sind Luftverschmutzungskosten auf nationaler Basis für das Jahr 2000 angegeben, die auf einer Reihe vorausgehender Untersuchungen basieren (vgl. ebendort). Diese Tabelle beinhaltet für die Emissionsfaktoren NO_x , NMHC, SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10} Kostenangaben pro Gewichtseinheit (Einheit: [€/t]).

Zu den Luftverschmutzungskosten kommen die Kosten des Klimawandels (Ausstoß von Treibhausgasen in die Atmosphäre) dazu. Die IMPACT-Studie folgt in ihrer Modellbildung dem Schadenskostenansatz (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.71-86]), der eine gewisse Bandbreite dieser schwer abzuschätzenden Kosten vorschlägt. In die Berechnung fließen neben CO_2 auch weitere Treibhausgase mit einem Treibhauspotenzial (engl.: Global Warming Potential, Greenhouse Warming Potential oder GWP) ein, die in Kohlendioxid-Äquivalente umgerechnet werden. Die in dieser Arbeit abgebildeten Treibhausgase sind (neben CO_2) CH_4 (GWP = 23) und N_2O (GWP=296), als Kostenfaktor wurde mit €45 der obere Wert für das Jahr 2010 verwendet (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.80, Tab. 27]).

Emissionsfaktor	Kostenfaktor [€/t]	Emission [t]	Kosten [€]
NO_x	8700	52.0	452400
NMHC	1700	2.9	4930
SO_2	8300	0.3	2490
PM_{10}	27800	2.2	61160
$\text{CO}_2+\text{CH}_4+\text{N}_2\text{O}$	45	11745.7	528557
		Summe:	1049537

Tabelle 5.7.: Externe Kosten 2008 - Mautabschnitt 'Hallein - Kuchl'

Die Berechnung der externen Kosten im Jahr 2008 für den Abschnitt 'Hallein - Kuchl' (Fahrtrichtung Villach) ist in Tabelle 5.7 zusammengefasst. Eine Umrechnung der Preisbasis aus dem Jahr 2000 wurde nicht vorgenommen.

Bei einer Summe von ca. 8410000 Fahrzeugen auf diesem Mautabschnitt der Länge 5590m ergibt das einen durchschnittliche externen Kostenfaktor von 2.2 €/ct pro Kfz-Kilometer, was auch in der Größenordnung der Tabelle 15 der IMPACT-Studie liegt (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.57, Tab. 15]. Tabelle 15 berücksichtigt allerdings keine Treibhausgase, diese sind extra angeführt.

6. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Dieses Kapitel fasst zunächst die einzelnen Arbeitsschritte dieser Master Thesis zusammen. Es folgt ein kurzes Resümee, Vor- und Nachteile der Lösung sowie Argumente für mögliche alternative Ansätze werden angeführt. Abschließend werden Denkanstöße für weiterführende Arbeiten und Querverknüpfungen zu benachbarten Themenkomplexen skizziert.

6.1. Rückblick auf diese Arbeit

Da die ursprüngliche Intention dieser Master Thesis in der räumlichen Untersuchung externer Kosten im Straßenverkehr lag, war der Startpunkt eine Literaturrecherche zu diesem Themenkomplex. Eine der zur Zeit wichtigsten Studien dazu ist die sog. 'IMPACT-Studie' (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008]), in der mehrere Studienergebnisse zu den wichtigsten Hauptgruppen externer Kostenfaktoren zusammengefasst sind. Weitere Recherchen im Bereich der externen Kosten aus Luftverschmutzung und hier vor allem des Datenmaterials der INFRAS/IWW-Studie (vgl. [INFRAS, 1999]) führten zur 'thematischen Schwerpunktverlagerung' dieser Master Thesis. Unter Verwendung von zeitlich hochauflösenden Verkehrszählungen, die seitens der ASFINAG zur Verfügung gestellt wurden, sollte nun eine 'Emissionsmodellierung für den Straßenverkehr mit Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Faktoren' im Vordergrund stehen.

Nach Sichtung der notwendigen (Geo)-Datenquellen und eigenen statistischen Untersuchungen zu Verteilungen verschiedener Kfz-Kategorien und -Schichten entlang der A10-Tauernautobahn wurde mit Hilfe der Software HBEFA 2.1 Emissionswerte für unterschiedliche Bezugsjahre, Verkehrssituationen und Längsneigungen gerechnet. Im folgenden Schritt wurden mittels UML-Notation Aktivitätsdiagramme für die Abbildung der Berechnungsprozesse ('Simple Mode', 'Complex Mode') erstellt. Entscheidend für die Implementierung der Emissionsberechnung in ArcGIS war einerseits die 'leichtfüßige' Programmiersprache VBA, die in Verbindung mit ArcObjects ein mächtiges Objektmodell zur Verfügung hat, andererseits kann ArcGIS auch eine große Zahl unterschiedlicher Datenquellen einbinden.

Im letzten Schritt wurden die unter der GNU PUBLIC LICENCE verfügbare Software AUSTAL2000 für die Simulation der räumlichen Ausbreitung der Schadstoffe verwendet. Als Testgebiet wurde der Abschnitt zwischen Hallein und Werfen der A10 - Tauernautobahn verwendet. Die Verifikation des Berechnungsmodells sowie eine Ideensammlung möglicher Anwendungen beschließen den praktischen Teil dieser Master Thesis.

Fazit: Die starken Zuwachsraten des Güterverkehrs auf der Straße haben auch zu einer verstärkten Belastung von Mensch und Umwelt geführt. Steigende Emissionen im Straßenverkehr rückten die Debatten rund um die Feinstaub-Problematik oder des bodennahen Ozons ebenso wie die globale Klimaerwärmung in den Mittelpunkt der gesellschaftlichen Debatte. Das Ziel dieser Master Thesis lag in der Erstellung eines Emissionsmodells für die Autobahn, das aus genauen Verkehrszählraten und straßenbezogenen Parametern (Anzahl Spuren, Längsneigung, Geschwindigkeitsbeschränkung, Baustelle, Tunnel) Emissionswerte ableitet, die für eine räumliche Ausbreitungsrechnung verwendet werden können. Es konnte gezeigt werden, dass der implementierte Ansatz mit ArcGIS, VBA und ArcObjects eine flexible und dynamische Lösung darstellt, die auch offen für Adaptionen und/oder Erweiterungen des Modells ist.

6.2. Pro- und Kontra

Das Kernstück dieser Arbeit liegt in der konzeptuellen Erstellung eines Emissionsmodells. Der Konfiguration der Eingangsparameter durch den Anwender steht am Beginn dieses Modells, die Berechnung selbst läuft aber in einem iterativen Modus ohne weiteres User-Input ab. Für eine Umsetzung in ArcGIS und VBA sprechen die vielfältigen Möglichkeiten einer schnellen GUI-Entwicklung (z.B. mit Forms-Objekten) sowie die modularisierte Entwicklungsumgebung. Zudem bietet ArcGIS über die Toolbox eine Reihe nützlicher Funktionen (z.B. lineare Referenzierung, Konvertierung zwischen ASCII und Raster Grid, etc.), die in Zuge dieser Arbeit verwendet wurden.

Aus technischem Blickwinkel ist ein Nachteil des hier eingeschlagenen Lösungswegs die Verwendung der großemäßig stark limitierten Personal Geodatabase (maximale Größe: 2GB). Schon eine Berechnung einer Woche im 'Complex Mode' erzeugt (in Abhängigkeit der Mautstrecken-Subabschnitte) 200000-300000 Datensätze, Performancegrenzen und Kapazitätslimits sind schnell erreicht. Da eine File Geodatabase nur einen stark begrenzten SQL-Syntax unterstützt und somit ausscheidet, könnte eine Lösung dafür über die ODBC-Anbindung einer 'echten' (geo-)relationalen Datenbank an die (Access) Personal Geodatabase laufen.

Aus konzeptueller Sicht wurden bereits in Abschnitt 5.1 die dem Modell zugrunde liegenden Annahmen und Einschränkungen erörtert. Neben einer gewissen statistischen 'Unschärfe', die durch die alleinige Verfügbarkeit eines nationalen Kfz-Bestand entsteht, gibt es natürlich auch gewisse Abstraktionen im Bereich des Fahrverhaltens. Der veränderte Emissionswert bei Brems- oder Beschleunigungsphasen (z.B. vor/nach Baustellen) kann ebensowenig abgebildet werden, wie die Fahrweise an sich. Weiters würde die exakte (stündliche) Erfassung von Kfz unter 3.5t eine Verbesserung des Berechnungsmodells bringen.

Ein alternativer Ansatz wäre die Umsetzung des Emissionsmodells in einer räumlichen Datenbank. Das Berechnungsmodell könnte intern über eine prozedurale Datenbanksprache implementiert werden, die User-Interaktion liefere z.B. über ein Web-Interface. Als Beispiel dafür wäre eine Entwicklung mit ORACLE Spatial als Geo-Datenbank mit Programmierung in Java, prozeduraler Datenbank-Entwicklung in PL/SQL und einer GUI-Definition über ORACLE APEX denkbar. Diese Lösung ist zwar in der Entwicklung wesentlich aufwändiger, hätte aber neben einer zentralen Datenhaltung den Vorteil einer gewissen Unabhängigkeit von der GIS - Applikationsebene. Eine Anbindung via ODBC an räumliche Datenbanken ist heute in vielen GIS-Produkten möglich.

6.3. Möglichkeiten der Weiterführung

Die Emissionsmodellierung für den Straßenverkehr bietet eine weitläufige und spannende Thematik, deren Relevanz in Zusammenhang mit der Erwärmung der Erdatmosphäre auch zu einer Politik ökologisch nachhaltiger Entscheidungen beitragen sollte. Diese Arbeit stellt nur einen möglichen Ansatz für eine Emissionsmodellierung dar. Die Ausweitung dieses Modells auf innerstädtische und ländliche Gebiete ist auf Grund der wesentlich stärker vernetzten Straßenstruktur eine große Herausforderung, die Verfügbarkeit aktueller Verkehrszählungen bildet eine der wesentlichen Voraussetzungen dafür. Da ab dem Jahr 2010 die ASFINAG neben der Achszahl für Snf und Rbus auch die eingebaute Abgasreinigungstechnologie (EURO-Norm) erfasst, würde dieses Modell dadurch eine qualitative Verbesserung erfahren.

Ein weiterer, relativ leicht zu implementierender Ansatz wäre die Nutzer-gesteuerte Definition von Staus. Hier könnte in der Berechnungsmaske der Zeitrahmen für einen Stau definiert werden, der zum Beispiel infolge eines Unfalls entstanden ist. Solche realen Stau-Informationen würden die Genauigkeit der Berechnung noch erheblich steigern.

Fazit: Die Emissionsmodellierung im Straßenverkehr sollte im Zusammenhang von umweltrelevanten Studien und Untersuchungen gesehen werden, sie bietet eine Menge an (Teil-)Ergebnissen, die in den darauf aufbauenden Prozessen weiterverwendet werden können. Die Analyse und Präsentation geometrischer und topologischer Sachverhalte in interdisziplinären Themenkomplexen ist dabei eine zentrale Aufgabe der Geowissenschaften. Dieses, sich verändernde 'Rollenverständnis' der Geoinformatik zeigt sich auch darin, dass 'klassische' (oft auch proprietäre) GIS-Applikationen in den Hintergrund rücken, hingegen methodisch-theoretische Ansätze und deren praktische Umsetzung in viele Bereiche der Informationswissenschaften 'diffundieren'.

A. Datenbeschreibung

A.1. Verwendete Geodaten

Die Struktur der in dieser Arbeit verwendeten Geodaten wurde bereits in den entsprechenden Abschnitten beschrieben. Diese sind:

- Straßendaten: Quelle OSM, Beschreibung Abschnitt 3.1.1, Tabelle 3.3
- Anschlußstellen (Exit-Points): manuell digitalisiert
- Gewässer: Quelle OSM (nur zur Hinterlegung der Karten verwendet)

A.2. Event-Tabellen für die A10

OBJECTID	VOH	BIS	STEIGUNG	TUNNEL	TUNNELBEZ	BAUSTELLE	KMH	SPUREN	autobahn
1	16000	17250	0	0		1	80	2	A10v
2	17250	19570	0,9	0		1	80	2	A10v
3	19570	20440	0	0		1	80	2	A10v
4	20440	21040	0,5	0		1	80	2	A10v
5	21040	21730	-0,9	0		1	80	2	A10v
6	21730	22700	0,3	0		1	80	2	A10v
7	22700	23950	0,3	0		0	130	2	A10v
8	23950	24390	0	0		0	130	2	A10v
9	24390	25040	1,7	0		0	130	2	A10v
10	25040	25700	-0,6	0		0	130	2	A10v
11	25700	26920	-0,6	0		0	100	2	A10v
12	26920	27950	0,6	0		0	100	2	A10v
13	27950	28150	2,5	0		0	100	2	A10v
14	28150	28330	-1,1	0		0	100	2	A10v
15	28330	28770	0,5	0		0	100	2	A10v
16	28770	29650	1,8	0		0	100	2	A10v
17	29650	30970	0,3	1	Ofenauertunnel	0	100	2	A10v
18	30970	31120	0	0		0	100	2	A10v
19	31120	33080	0,9	1	Hieflertunnel	0	100	2	A10v
20	33080	33400	0,8	0		0	100	2	A10v
21	33400	34170	0,8	0		0	130	2	A10v
22	34170	35330	1,8	0		0	130	2	A10v
23	35330	35930	-1,3	0		0	130	2	A10v
24	35930	36420	0,9	1	Brentenbergtunnel	0	100	2	A10v
25	36420	36830	0,9	0		0	100	2	A10v
26	36830	37000	0,9	0		0	130	2	A10v
27	37000	37600	-2,5	0		0	130	2	A10v
28	37600	39000	2	0		0	130	2	A10v
29	39000	39410	-2	0		0	130	2	A10v
30	39410	39600	1,4	0		0	130	2	A10v
31	39600	39960	1,4	0		0	100	2	A10v
32	39960	40300	1,4	1	Zetzenbergtunnel	0	100	2	A10v
33	40300	40400	-0,9	0		0	100	2	A10v
34	40400	41400	-0,9	0		0	130	2	A10v
35	41400	41970	-0,9	0		0	100	2	A10v
36	41970	42100	-0,9	1	Helbersbergtunnel	0	100	2	A10v
37	42100	42543	-0,5	0		0	100	2	A10v

Abbildung A.1.: A10 Event-Tabelle (Fahrtrichtung Villach)

A. Datenbeschreibung

OBJECTID	VON	BIS	STEIGUNG	TUNNEL	TUNNELBEZ	BAUSTELLE	KMH	SPUREN	autobahn
1	16000	17250	0	0		1	80	2	A10s
2	17250	19570	-0,9	0		1	80	2	A10s
3	19570	20440	0	0		1	80	2	A10s
4	20440	21040	-0,5	0		1	80	2	A10s
5	21040	21730	0,9	0		1	80	2	A10s
6	21730	23040	-0,3	0		1	80	2	A10s
7	23040	23950	-0,3	0		0	120	2	A10s
8	23950	24390	0	0		0	120	2	A10s
9	24390	25040	-1,7	0		0	120	2	A10s
10	25040	25640	0,6	0		0	120	2	A10s
11	25640	26920	0,6	0		0	130	2	A10s
12	26920	27440	-0,6	0		0	130	2	A10s
13	27440	27950	-0,6	0		0	100	2	A10s
14	27950	28150	-2,5	0		0	100	2	A10s
15	28150	28330	1,1	0		0	100	2	A10s
16	28330	28770	-0,5	0		0	100	2	A10s
17	28770	29650	-1,8	0		0	100	2	A10s
18	29650	30970	-0,3	1	Ofenauertunnel	0	100	2	A10s
19	30970	31120	0	0		0	100	2	A10s
20	31120	33080	-0,9	1	Hietfertunnel	0	100	2	A10s
21	33080	33740	-0,8	0		0	100	2	A10s
22	33740	34170	-0,8	0		0	130	2	A10s
23	34170	35330	-1,8	0		0	130	2	A10s
24	35330	35930	1,3	0		0	130	2	A10s
25	35930	36420	-0,9	1	Brentenbergtunnel	1	80	2	A10s
26	36420	37000	-0,9	0		1	80	2	A10s
27	37000	37340	2,5	0		1	80	2	A10s
28	37340	37600	2,5	0		0	130	2	A10s
29	37600	39000	-2	0		0	130	2	A10s
30	39000	39350	2	0		0	130	2	A10s
31	39350	39410	-1,4	0		0	130	2	A10s
32	39410	39960	-1,4	1	Zetzenbergtunnel	0	100	2	A10s
33	39960	40300	-1,4	0		0	100	2	A10s
34	40300	40340	0,9	0		0	100	2	A10s
35	40340	41210	0,9	0		0	130	2	A10s
36	41210	41970	0,9	1	Helbersbergtunnel	0	100	2	A10s
37	41970	42100	0,9	0		0	100	2	A10s
38	42100	42543	0,5	0		0	100	2	A10s

Abbildung A.2.: A10 Event-Tabelle (Fahrtrichtung Salzburg)

Dieser Abschnitt enthält die für die Erzeugung der Routenevents entlang der A10 benötigten Event-Tabellen (Abschnitt zwischen den Exits Hallein und Werfen, beide Fahrtrichtungen).

A.3. Relationales Datenmodell

Hier werden sämtliche Tabellen und Attribute beschrieben, die als relationales Datenmodell in einer PGDB umgesetzt wurden.

A.3.1. Datenstruktur der HBEFA - Tabellen

Aus der Software HBEFA wurden 6 Tabellen verwendet. Für 5 Tabellen ist die Datenstruktur identisch, deshalb ist diese in Abbildung A.3 nur einmal abgebildet (die 3. Spalte enthält mögliche Werte sowie eine durch „<“ und „>“ begrenzte, kurze Beschreibung). Die Tabellen sind:

- efa_ave_allcat_ab: Emissionsfaktoren aller Fahrzeugkategorien / -schichten für Berechnungen im 'Simple Mode'
- efa_pkw: Emissionsfaktoren aller Pkw-Fahrzeugschichten für Berechnungen im 'Complex Mode'
- efa_lnf: Emissionsfaktoren aller Lnf-Fahrzeugschichten für Berechnungen im 'Complex Mode'
- efa_snf: Emissionsfaktoren aller Snf-Fahrzeugschichten für Berechnungen im 'Complex Mode'
- efa_rbus: Emissionsfaktoren aller Rbus-Fahrzeugschichten für Berechnungen im 'Complex Mode'

Die Tabelle fzg_verteilung in Abbildung A.4 enthält die statistischen Verteilungswerte für alle Fahrzeugkategorien (pkw, lnf, snf, rbus) die untergeordneten Fahrzeugschichten. Für Snf und Rbus sind die statistischen Verteilungen in 3 Achsklassen aufgeteilt.

A. Datenbeschreibung

	Field Name	Data Type	
?	ID	AutoNumber	1
	Fall	Text	pkw_ab_g[2.1] <interne Bezeichnung für Berechnung in HBEFA>
	FzKat	Text	PKW/PW
	Bezugsjahr	Number	2008
	VZus	Text	A Basis <Bezugsbasis A ... Austria>
	SS	Text	CO <Schadstoff>
	Energie	Text	D
	SK	Text	AB <Autobahn>
	V5	Text	AB_Stop+Go <Verkehrssituation>
	LN	Text	-2% <Längsneigung>
	FS	Text	121110 <Id der Fahrzeugschicht>
	FS_Name	Text	Pkw Diesel <1,4 l / EURO1=XXIII/ EEA1 <Name der Fahrzeugschicht>
	Größenklasse	Text	< 1,4L <Hubraum>
	Konzept	Text	PKW/D/XXIII/FAV1 <Abgasreinigungstechnologie>
	KM_Stand	Number	240585,53125 <akkumulierte Kilometer für Bezugsjahr>
	Anteil	Number	Anteil
	v	Number	9,5 <Geschwindigkeit i.A. von V5>
	v_leer	Text	<nur Snf/Rbus: Geschwindigkeit i.A. von V5 "Leer">
	v_belad	Text	<nur Snf/Rbus: Geschwindigkeit i.A. von V5 "Beladen">
	EFA	Number	0,803031742572784 <Emissionsfaktor [g/km]>
	EFA_leer	Text	<nur Snf/Rbus>
	EFA_belad	Text	<nur Snf/Rbus>
	Vg	Number	9,5 <gewichtete Geschwindigkeit>
	Vg_leer	Text	<nur Snf/Rbus>
	Vg_belad	Text	<nur Snf/Rbus>
	EFAg	Number	1,36572599411011 <gewichteter Emissionsfaktor [g/km]>
	EFAg_leer	Text	<nur Snf/Rbus>
	EFAg_belad	Text	<nur Snf/Rbus>

Abbildung A.3.: Datenstruktur der Emissionsfaktoren-Tabellen

	Field Name	Data Type	
	OBJECTID	AutoNumber	95
	jahr	Number	2008
	fzkat	Text	snf <Fahrzeugkategorie>
	subsegment	Text	SoloLkw 7,5-12t EURO2 <Fahrzeugschicht>
	sprittyp	Text	Diesel
	sizeclass	Text	7,5-12t <Gewichtsklasse>
	a2	Number	0,28932193279 <Prozentanteil für 2-Achsen>
	a3	Number	0,096440644263 <Prozentanteil für 3-Achsen>
	a4	Number	0,57864386558 <Prozentanteil für 4+-Achsen>
	anteil	Number	0,96440644263273 <Prozentanteil über alle Achsklassen>

Abbildung A.4.: Datenstruktur der Fahrzeugverteilung

A.3.2. Datenstruktur ASFINAG-Verkehrszähldaten

Die Struktur der in dieser Arbeit verwendeten ASFINAG-Verkehrszähldaten wurde bereits in Abschnitt 3.1.2 in den Tabellen 3.5 (aggregierte ASFINAG-Verkehrszähldaten) und 3.4 (ASFINAG-Daten mit stündlichen Messwerten) beschrieben.

A.3.3. Datenstruktur des Berechnungsmodells

Nachfolgend wird die Struktur der in der Emissionsberechnung zur Datenverspeicherung verwendeten 4 Tabellen beschrieben. Nur diese Tabellen sind im Sinne eines relationalen Datenmodells verknüpft, die Kardinalitäten wurden bereits in Tabelle 4.2 beschrieben.

	Field Name	Data Type	
🔑	calc_id	Number	1249484924 <unique ID>
	calc_date	Date/Time	05.08.2009 17:08:44 <Beginn der Berechnung>
	modus	Text	complex-mode <Berechnungsart>
	autobahn	Text	A10
	abschnitt	Text	Golling / Abtenau - Paß Lueg
	abschnitt_id	Number	297
	abschnitt_km	Number	6,422
	richtung	Text	Villach
	richtungab	Yes/No	No
	beginn_t	Date/Time	14.07.2008 <Beginn des Berechnungszeitraum / Tag>
	beginn_h	Number	0 <Beginn des Berechnungszeitraum / Stunde>
	ende_t	Date/Time	14.07.2008 <Ende des Berechnungszeitraum / Tag>
	ende_h	Number	23 <Ende des Berechnungszeitraum / Stunde>
	anzahl_d	Number	1 <Anzahl der berechneten Tage>
	wochen_kfg	Text	- <wird nur im 'Simple Mode' gesetzt>
	efa	Text	'CO', 'HC', 'NOx', 'Part', 'CO2', 'SO2' <ausgewählte Emissionsfaktoren>
	pkw	Yes/No	1 <Angabe, ob berechnet>
	lnf	Yes/No	1
	benzin	Yes/No	1
	diesel	Yes/No	1
	snf	Yes/No	1
	rbus	Yes/No	1
	beladen	Yes/No	0
	leer	Yes/No	0

Abbildung A.5.: Datenstruktur der Tabelle emission_calc

	Field Name	Data Type	
🔑	calc_idx	Number	812354604
	calc_id	Number	1249484924
	fzgschicht	Text	pkw
	fzgschicht	Text	Pkw Diesel 1,4-2 l / EURO2
	v	Number	0 <Durchschnittsgeschwindigkeit - wird nur im 'Simple Mode' gesetzt>
	ladung	Text	Durchschnitt <für Snf, Rbus auch möglich: "Leer", "Beladen">

Abbildung A.6.: Datenstruktur der Tabelle emission_res

	Field Name	Data Type	
🔑	calc_idx	Number	-2145298282
	calc_id	Number	1249484924
	segment_id	Number	10 <ID des Mautstrecken-Subabschnitts>
	fzggkat	Text	snf <Kfz-Kategorie>
	fzgschicht	Text	SoloLkw <7,5t 80erJahre <Kfz-Schicht>
	achsen	Text	3-Achsen
	pattern	Text	A <gewählter Verkehrs-Tagesgang (traffic-pattern)>
	vsituation	Text	AB_80 <Verkehrssituation>
	v	Number	82,72 <Geschwindigkeit>
	ladung	Text	Beladen
	yyyymmddhh	Number	2008071404 <JahrMonatTagStunde>

Abbildung A.7.: Datenstruktur der Tabelle emission_res_complex

	Field Name	Data Type	
🔑	calc_idx	Number	-2146362784
	fzggcount	Number	0,32337331267855
	km_ges	Number	0,103671366355105
	co	Number	3,52394501672259E-02
	hc	Number	9,92904872174411E-03
	nox	Number	0,376510967551435
	pm	Number	5,66667146844725E-03
	co2	Number	30,5676358821214
	so2	Number	8,15136867730541E-04
	ch4	Number	2,38297172411506E-04
	nmhc	Number	9,69075193553854E-03
	nh3	Number	5,18356820189347E-04
	n2o	Number	9,12308018981488E-04
	benzol	Number	1,65815104538667E-04
	toluol	Number	3,1772954108896E-05
	xylol	Number	7,94323928153246E-05
	energie	Number	9,70401068808322

Abbildung A.8.: Datenstruktur der Tabelle emission_efa

Abbildung A.5 zeigt die Struktur der Tabelle emission_calc, in der die Eingabeparameter der Berechnung abgespeichert werden. Abbildung A.6 zeigt die Struktur der Tabelle emission_res. Diese Tabelle dient der Verknüpfung zwischen emission_calc und emission_efa, im 'Simple Mode' entspricht die Anzahl der Datensätze den durchgeführten Berechnungen, im 'Complex Mode' werden hier die auf Kfz-Schichtebene aggregierten Daten abgelegt. In Abbildung A.7 ist die Struktur der Tabelle emission_res_complex dargestellt. Diese Tabelle dient der Verknüpfung zwischen emission_calc und emission_efa, im 'Complex Mode' entspricht die Anzahl der Datensätze den durchgeführten Berechnungen. Die Tabelle emission_efa (Abb. A.8) enthält die berechneten Emissions-Einzelwerte aus beiden Berechnungsarten sowie die aggregierten Emissionswerte (pro Kfz-Schicht und Gesamt).

A.3.4. Sonstige Tabellen

Zwei weitere Tabellen werden in der Berechnung benötigt:

- Tabelle trafficpattern: enthält pro Verkehrstagesgang 24 Werte (vgl. Abb A.9)
- Tabelle idx_table: dient der Generierung von unique ID's (für die Attribute calc_id, calc_idx) in unter A.3.3 erwähnten Tabellen der Datenbank, enthält die beiden Spalten gen_idx (unique ID) und tablename (Primary Key in welcher Tabelle)

	Field Name	Data Type	
PK	ID	AutoNumber	11
	pattern	Text	A <Verkehrstagesgang>
	description	Text	Verteilung mit Morgenspitze
	stunde	Number	10 <Stunde>
	anteil	Number	7,5 <Anteil in %>

Abbildung A.9.: Datenstruktur der Tabelle trafficpattern

B. Statistische Untersuchungen

B.1. Zeitliche Kfz-Verteilung entlang der A10

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die unter 3.1.2.2 beschriebene Untersuchung der stündlichen ASFINAG-Verkehrszählraten der gesamten A10 in den Wochen KW29 und KW38 (2008). Auf Grund des großen Datenvolumens der Originaldaten können jedoch nur die grafischen Ergebnisse der Auswertung gebracht werden.

In Abbildung B.1 ist gewichtete Wochenverteilung für den Mautabschnitt 'Golling/Abtenau - Paß Lueg' in Fahrtrichtungen 'Villach' bzw. 'Salzburg' Abbildung B.2 angegeben. Zum Beispiel wird der in Tabelle B.1 grün hinterlegten Wert wie folgt berechnet:

$$P_{4-Achsen} = \frac{77.97[\%] \cdot (20.5 + 11.1 + 109.0)}{129.4 + 64.1 + 567.7} = 14.4[\%]$$

KW29 (14.07.2008 - 20.07.2008)								
mittlere Stundenwerte/Tag für Achsklassen [in % und absolut]								
Mautabschnitt	Tag	2-A (%)	MW 2-A	3-A (%)	MW 3-A	4+-A (%)	MW 4+-A	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	14.07.2008	12,05%	20,8	6,90%	11,9	81,05%	139,6	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	15.07.2008	14,60%	21,2	7,49%	10,9	77,91%	113,2	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	16.07.2008	14,07%	20,5	7,96%	11,1	77,97%	109,0	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	17.07.2008	18,67%	22,8	8,59%	10,4	72,74%	88,2	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	18.07.2008	18,10%	19,4	8,88%	9,5	73,02%	78,2	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	19.07.2008	24,31%	11,1	11,70%	5,3	63,99%	29,2	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	20.07.2008	48,05%	13,8	17,37%	5,0	34,59%	10,4	
gewichtete, prozentuelle Aufteilung bezogen auf die gesamte Woche (=100%)								
Paß Lueg - Golling / Abtenau	14.07.2008	2,7%		1,6%		18,3%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	15.07.2008	2,8%		1,4%		14,9%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	16.07.2008	2,6%		1,5%		14,4%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	17.07.2008	3,0%		1,4%		11,6%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	18.07.2008	2,5%		1,2%		10,3%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	19.07.2008	1,5%		0,7%		3,8%		
Paß Lueg - Golling / Abtenau	20.07.2008	1,8%		0,7%		1,3%		
		16,9%		8,4%		74,6%		

Abbildung B.1.: Gewichtete Wochenverteilung KW29 Mautabschnitt 'Paß Lueg - Golling / Abtenau' Fahrtrichtung 'Villach'

B. Statistische Untersuchungen

KW38 (15.09.2008 - 21.09.2008)							
mittlere Stundenwerte/Tag für Achsklassen [in % und absolut]							
Mautabschnitt	Tag	2-A (%)	MW 2-A	3-A (%)	MW 3-A	4+-A(%)	MW 4+-A
Paß Lueg - Golling / Abtenau	15.09.2008	12,07%	20,9	6,82%	11,8	81,11%	140,3
Paß Lueg - Golling / Abtenau	16.09.2008	15,06%	22,1	6,49%	9,5	78,45%	115,3
Paß Lueg - Golling / Abtenau	17.09.2008	15,30%	21,4	7,32%	10,3	77,37%	108,3
Paß Lueg - Golling / Abtenau	18.09.2008	17,70%	22,0	8,27%	10,7	74,03%	92,2
Paß Lueg - Golling / Abtenau	19.09.2008	18,91%	20,9	9,16%	10,8	71,93%	79,5
Paß Lueg - Golling / Abtenau	20.09.2008	27,61%	13,9	8,04%	4,2	64,34%	32,3
Paß Lueg - Golling / Abtenau	21.09.2008	49,16%	15,8	17,25%	5,5	33,59%	10,8
gewichtete, prozentuelle Aufteilung bezogen auf die gesamte Woche (=100%)							
Paß Lueg - Golling / Abtenau	15.09.2008	2,68%		1,52%		18,02%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	16.09.2008	2,84%		1,23%		14,81%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	17.09.2008	2,75%		1,32%		13,91%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	18.09.2008	2,84%		1,33%		11,88%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	19.09.2008	2,70%		1,31%		10,26%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	20.09.2008	1,79%		0,52%		4,17%	
Paß Lueg - Golling / Abtenau	21.09.2008	2,03%		0,71%		1,39%	
		17,6%		7,9%		74,4%	

Abbildung B.2.: Gewichtete Wochenverteilung KW38 Mautabschnitt 'Golling / Abtenau - Paß Lueg' Fahrtrichtung 'Salzburg'

Die 3 Werte im Nenner ergeben sich aus den Summen über die Spalten „MW 2-Achsen“, „MW 3-Achsen“, „MW 4+-Achsen“. Die 3 rot hinterlegten Werte am Ende der Spalten entsprechen der Summe über diese Prozentwerte, deren Quersumme ergibt 100[%]. Die Mittelbildung über die Wochenverteilungen aller Mautstreckenabschnitte in beide Fahrtrichtungen und über beide Messdatenzeitpunkte (KW29, KW38) ergibt die in Tabelle 3.7 angegebene 'globale' Verteilung der Achsklassen.

B.2. Verteilung von Pkw/Lnf

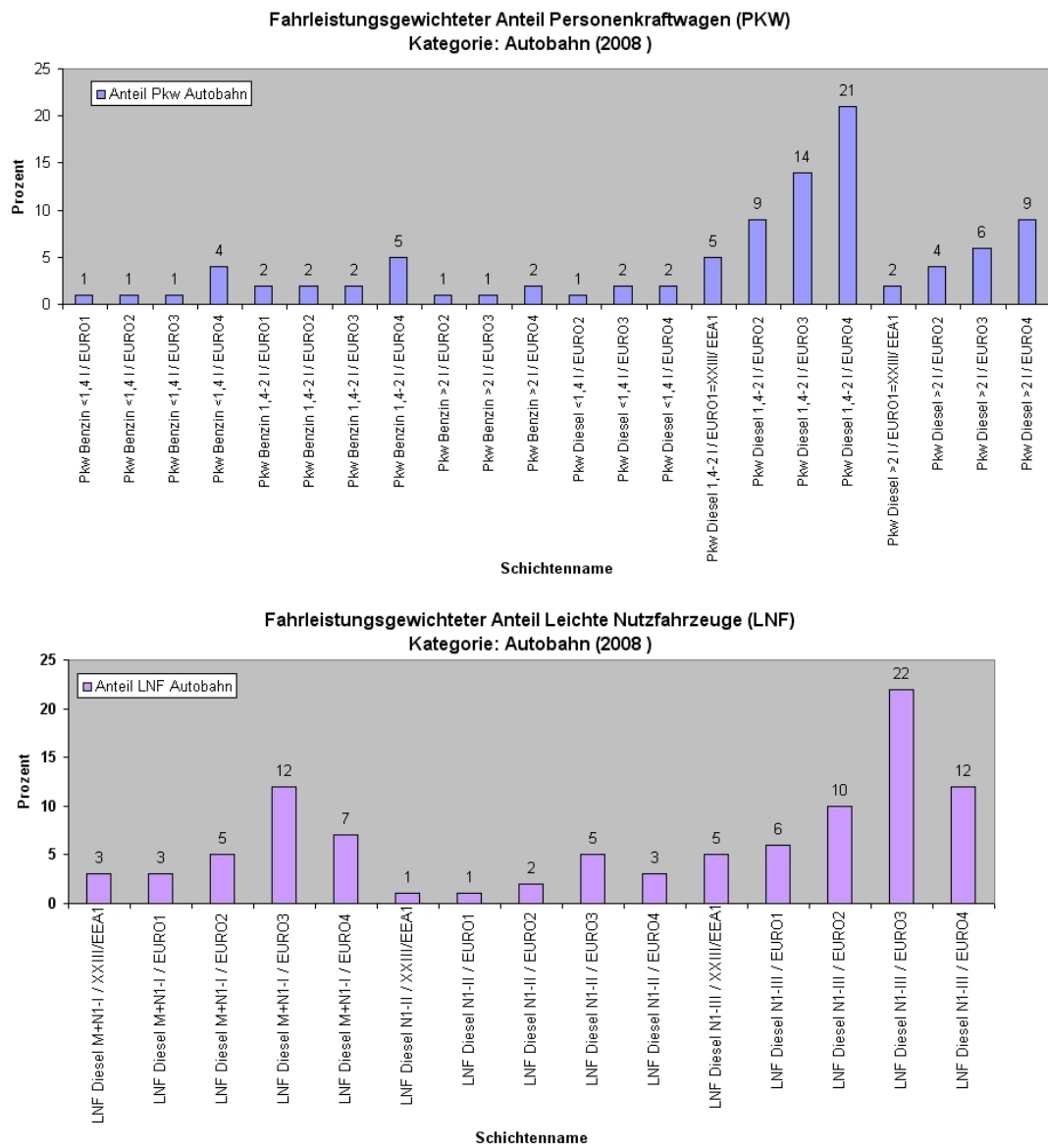


Abbildung B.3.: Anteil Pkw/Lnf auf Autobahnen (2008)

Die Werte für die Hauptkategorien Pkw und Lnf in Tabelle B.1 sind aus [INFRAS, 1999] (Software HBEFA 2.1) entnommen. Das Gewichtungsverhältnis Lnf:Pkw beträgt 1:14.3, die Spalte gewichteter Anteil enthält den gemeinsamen gewichteten Anteil, bei Berechnung der gemeinsamen Verteilungswerte wurde die jeweilige Kategorie (Pkw, Lnf) proportional gestreckt (Pkw: $\frac{100}{97}$, LNF: $\frac{100}{97}$).

Fahrzeugschicht	Anteil [%]	gewichteter Anteil [%]
Pkw Benzin <1.4 l / EURO1	1	0.96
Pkw Benzin <1.4 l / EURO2	1	0.96
Pkw Benzin <1.4 l / EURO3	1	0.96
Pkw Benzin <1.4 l / EURO4	4	3.85
Pkw Benzin 1.4-2 l / EURO1	2	1.93
Pkw Benzin 1.4-2 l / EURO2	2	1.93
Pkw Benzin 1.4-2 l / EURO3	2	1.93
Pkw Benzin 1.4-2 l / EURO4	5	4.82
Pkw Benzin >2 l / EURO2	1	0.96
Pkw Benzin >2 l / EURO3	1	0.96
Pkw Benzin >2 l / EURO4	2	1.93
Pkw Diesel <1.4 l / EURO2	1	0.96
Pkw Diesel <1.4 l / EURO3	2	1.93
Pkw Diesel <1.4 l / EURO4	2	1.93
Pkw Diesel 1.4-2 l / EURO1=XXIII/ EEA1	5	4.82
Pkw Diesel 1.4-2 l / EURO2	9	8.67
Pkw Diesel 1.4-2 l / EURO3	14	13.49
Pkw Diesel 1.4-2 l / EURO4	21	20.23
Pkw Diesel >2 l / EURO1=XXIII/ EEA1	2	1.93
Pkw Diesel >2 l / EURO2	4	3.85
Pkw Diesel >2 l / EURO3	6	5.78
Pkw Diesel >2 l / EURO4	9	8.67
LNF Diesel M+N1-I / XXIII/EEA1	3	0.2
LNF Diesel M+N1-I / EURO1	3	0.2
LNF Diesel M+N1-I / EURO2	5	0.34
LNF Diesel M+N1-I / EURO3	12	0.81
LNF Diesel M+N1-I / EURO4	7	0.47
LNF Diesel N1-II / XXIII/EEA1	1	0.07
LNF Diesel N1-II / EURO1	1	0.07
LNF Diesel N1-II / EURO2	2	0.13
LNF Diesel N1-II / EURO3	5	0.34
LNF Diesel N1-II / EURO4	3	0.2
LNF Diesel N1-III / XXIII/EEA1	5	0.34
LNF Diesel N1-III / EURO1	6	0.4
LNF Diesel N1-III / EURO2	10	0.67
LNF Diesel N1-III / EURO3	22	1.48
LNF Diesel N1-III / EURO4	12	0.81
Summe		100.00

Tabelle B.1.: Verteilung von Pkw und Lnf auf Autobahnen

B.3. Verteilung von Snf/Rbus

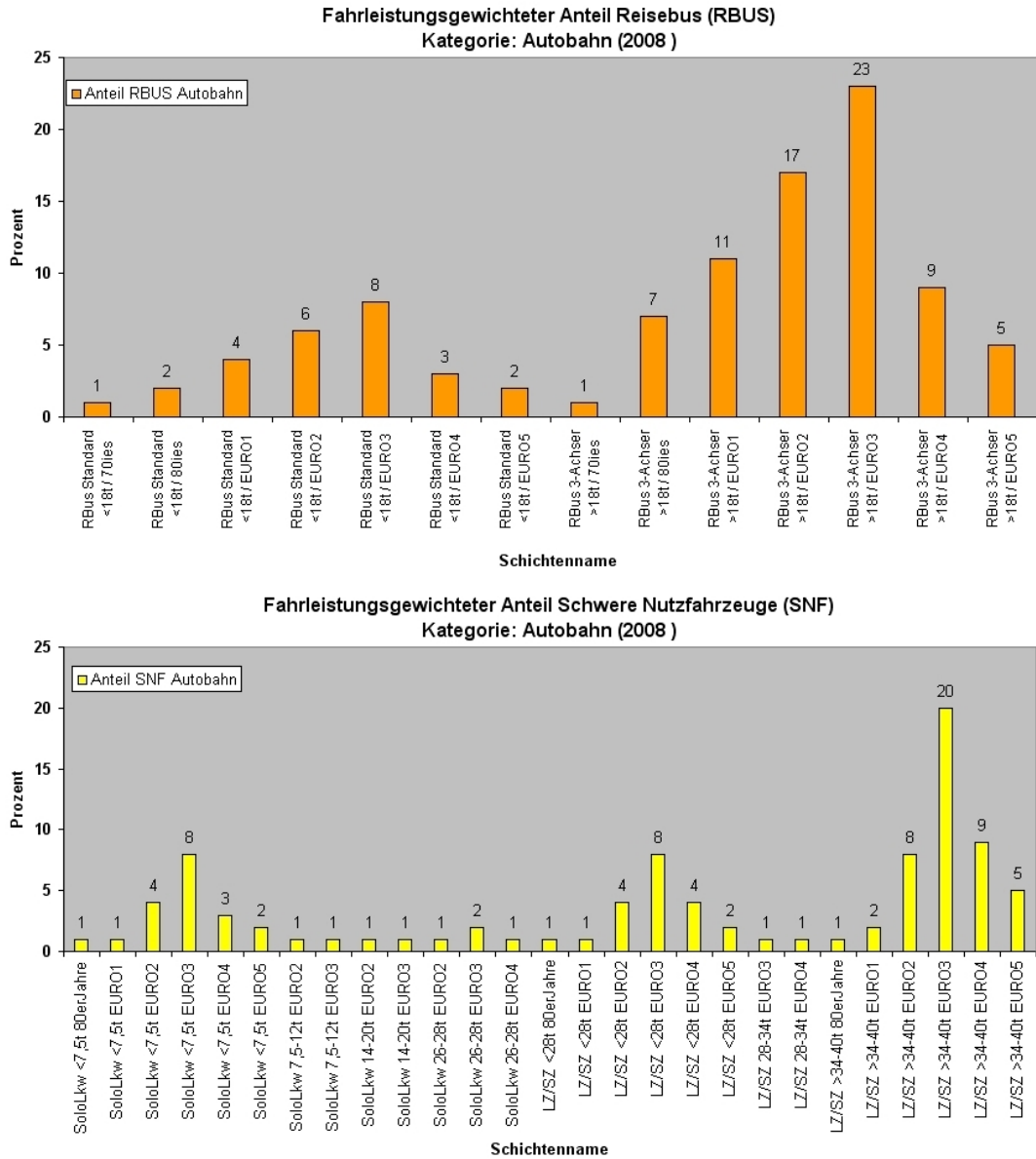


Abbildung B.4.: Anteil Snf auf Autobahnen (2008)

Abbildung B.4 zeigt die fahrleistungsgewichtete Verteilung der Fahrzeugschichten für Lkw und Reisebusse für Autobahnen im Jahr 2008. Die Werte für die Hauptkategorien RBus und Snf in den Tabellen B.2 und B.3 sind aus [INFRAS, 1999] (Software HBEFA 2.1) entnommen. Das Gewichtungsverhältnis RBus:Snf beträgt 1:9,7, die Spalte gewichteter Anteil enthält den gemeinsamen gewichteten Anteil, bei Berechnung der gemeinsamen Verteilungswerte wurde die jeweilige Kategorie (RBus, Snf) proportional gestreckt (RBus: $\frac{100}{99}$, SNF: $\frac{100}{94}$).

Fzg-Schicht	INFRAS %v.km	Gewichtung [%]			gew. Verteilung [%]			gem. Verteilung RBUS + SNF [%]		
		2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A
RBus Standard <18t / 70ies	1	100	-	-	1,00	-	-	0,10	-	-
RBus Standard <18t / 80ies	2	100	-	-	2,00	-	-	0,19	-	-
RBus Standard <18t / EURO1	4	100	-	-	4,00	-	-	0,39	-	-
RBus Standard <18t / EURO2	6	100	-	-	6,00	-	-	0,58	-	-
RBus Standard <18t / EURO3	8	100	-	-	8,00	-	-	0,78	-	-
RBus Standard <18t / EURO4	3	100	-	-	3,00	-	-	0,29	-	-
RBus Standard <18t / EURO5	2	100	-	-	2,00	-	-	0,19	-	-
RBus 3-Achser >18t / 70ies	1	-	100	-	-	1,00	-	-	0,10	-
RBus 3-Achser >18t / 80ies	7	-	100	-	-	7,00	-	-	0,68	-
RBus 3-Achser >18t / EURO1	11	-	100	-	-	11,00	-	-	1,07	-
RBus 3-Achser >18t / EURO2	17	-	100	-	-	17,00	-	-	1,65	-
RBus 3-Achser >18t / EURO3	23	-	100	-	-	23,00	-	-	2,23	-
RBus 3-Achser >18t / EURO4	9	-	100	-	-	9,00	-	-	0,87	-
RBus 3-Achser >18t / EURO5	5	-	100	-	-	5,00	-	-	0,49	-

Tabelle B.2.: Verteilung von RBus auf Autobahnen

B. Statistische Untersuchungen

Fzg-Schicht	INFRA %v.km	Gewichtung [%]			gew. Verteilung [%]			gem. Verteilung RBUS + SNF [%]		
		2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A
SoloLkw <7,5t 80erJahre	1	95	5	-	0,95	0,05	-	0,91	0,05	-
SoloLkw <7,5t EU- RO1	1	95	5	-	0,95	0,05	-	0,91	0,05	-
SoloLkw <7,5t EU- RO2	4	95	5	-	3,80	0,20	-	3,65	0,19	-
SoloLkw <7,5t EU- RO3	8	95	5	-	7,60	0,40	-	7,31	0,38	-
SoloLkw <7,5t EU- RO4	3	95	5	-	2,85	0,15	-	2,74	0,14	-
SoloLkw <7,5t EU- RO5	2	95	5	-	1,90	0,10	-	1,83	0,10	-
SoloLkw 7,5-12t EURO2	1	30	10	60	0,30	0,10	0,60	0,29	0,10	0,58
SoloLkw 7,5-12t EURO3	1	30	10	60	0,30	0,10	0,60	0,29	0,10	0,58
SoloLkw 14-20t EURO2	1	30	10	60	0,30	0,10	0,60	0,29	0,10	0,58
SoloLkw 14-20t EURO3	1	30	10	60	0,30	0,10	0,60	0,29	0,10	0,58
SoloLkw 26-28t EURO2	1	-	10	90	-	0,10	0,90	-	0,10	0,87
SoloLkw 26-28t EURO3	2	-	10	90	-	0,20	1,80	-	0,19	1,73
SoloLkw 26-28t EURO4	1	-	10	90	-	0,10	0,90	-	0,10	0,87
LZ/SZ <28t 80er- Jahre	1	-	5	95	-	0,05	0,95	-	0,05	0,91
LZ/SZ <28t EU- RO1	1	-	5	95	-	0,05	0,95	-	0,05	0,91
LZ/SZ <28t EU- RO2	4	-	5	95	-	0,20	3,80	-	0,19	3,65
LZ/SZ <28t EU- RO3	8	-	5	95	-	0,40	7,60	-	0,38	7,31
LZ/SZ <28t EU- RO4	4	-	5	95	-	0,20	3,80	-	0,19	3,65
LZ/SZ <28t EU- RO5	2	-	5	95	-	0,10	1,90	-	0,10	1,83
LZ/SZ 28-34t EU- RO3	1	-	-	100	-	-	1,00	-	-	0,96
LZ/SZ 28-34t EU- RO4	1	-	-	100	-	-	1,00	-	-	0,96
LZ/SZ >34-40t 80erJahre	1	-	-	100	-	-	1,00	-	-	0,96
LZ/SZ >34-40t EURO1	2	-	-	100	-	-	2,00	-	-	1,92
LZ/SZ >34-40t EURO2	8	-	-	100	-	-	8,00	-	-	7,69
LZ/SZ >34-40t EURO3	20	-	-	100	-	-	20,00	-	-	19,23
LZ/SZ >34-40t EURO4	9	-	-	100	-	-	9,00	-	-	8,65
LZ/SZ >34-40t EURO5	5	-	-	100	-	-	5,00	-	-	4,81
Summe								21,03	9,73	69,23

Tabelle B.3.: Verteilung von Snf auf Autobahnen

C. Emissionsgrenzwerte

Standard	Datum	CO	(T)HC	NMHC	NO _x	(T)HC+NO _x	PM
Diesel							
EURO-1	07/1992	3.16	-	-	-	1.13	0.180
EURO-2	01/1996	1.00	-	-	-	0.70	0.080
EURO-3	01/2000	0.64	-	-	0.50	0.56	0.050
EURO-4	01/2005	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025
EURO-5	09/2009	0.50	-	-	0.18	0.23	0.005
EURO-6	09/2014	0.50	-	-	0.08	0.17	0.005
Benzin							
EURO-1	07/1992	3.16	-	-	-	1.13	-
EURO-2	01/1996	2.20	-	-	-	0.50	-
EURO-3	01/2000	2.30	0.20	-	0.15	-	-
EURO-4	01/2005	1.00	0.10	-	0.08	-	-
EURO-5	09/2009	1.00	0.10	0.068	0.06	-	0.005
EURO-6	09/2014	1.00	0.10	0.068	0.06	-	0.005

Tabelle C.1.: Emissionsgrenzwerte für Pkw, [g/km]

Standard	Datum	CO	(T)HC	NMHC	NO _x	(T)HC+NO _x	PM
Diesel							
EURO-1	08/1994	2.72	-	-	-	0.97	0.140
EURO-2	01/1998	1.00	-	-	-	0.70	0.080
EURO-3	01/2000	0.64	-	-	0.50	0.56	0.050
EURO-4	01/2005	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025
EURO-5	09/2009	0.50	-	-	0.18	0.23	0.005
EURO-6	09/2014	0.50	-	-	0.08	0.17	0.005
Benzin							
EURO-1	08/1994	2.72	-	-	-	0.97	-
EURO-2	01/1998	2.20	-	-	-	0.50	-
EURO-3	01/2000	2.30	0.20	-	0.15	-	-
EURO-4	01/2005	1.00	0.10	-	0.08	-	-
EURO-5	09/2009	1.00	0.10	0.068	0.06	-	0.005
EURO-6	09/2014	1.00	0.10	0.068	0.06	-	0.005

Tabelle C.2.: Emissionsgrenzwerte für Lnf ≤ 1305 kg (Kat. N1 I), [g/km]

Die Tabellen für die Abgasgrenzwerte wurden von der Webseite des Deutschen Umweltbundesamt übernommen (<http://www.umweltbundesamt.de/>).

C. Emissionsgrenzwerte

Standard	Datum	CO	(T)HC	NMHC	NO_x	(T)HC+NO_x	PM
Diesel							
EURO-1	08/1994	5.17	-	-	-	1.400	0.190
EURO-2	01/1998	1.25	-	-	-	1.000	0.120
EURO-3	01/2000	0.80	-	-	0.650	0.720	0.070
EURO-4	01/2005	0.63	-	-	0.330	0.390	0.040
EURO-5	09/2009	0.63	-	-	0.235	0.295	0.005
EURO-6	09/2014	0.63	-	-	0.105	0.195	0.005
Benzin							
EURO-1	08/1994	5.17	-	-	-	1.400	-
EURO-2	01/1998	4.00	-	-	-	0.650	-
EURO-3	01/2000	4.17	0.25	-	0.180	-	-
EURO-4	01/2005	1.81	0.13	-	0.100	-	-
EURO-5	09/2009	1.81	0.13	0.090	0.075	-	0.005
EURO-6	09/2014	1.81	0.13	0.090	0.075	-	0.005

Tabelle C.3.: Emissionsgrenzwerte für Lnf 1305-1760kg (Kat. N1 II), [g/km]

Für die Grenzwertbestimmung von Nutzfahrzeug-Motoren, die nur Dieselmotoren betreffen, sind hier für ältere Standards (EURO 0 bis EURO II) die Werte des 13-Stufen-Test angegeben, für neue Standards (EURO IV bis EURO VI) die Werte des dynamischen Testverfahrens ECT (European Transient Cycle).

C. Emissionsgrenzwerte

Standard	Datum	CO	(T)HC	NMHC	NO _x	(T)HC+NO _x	PM
Diesel							
EURO-1	08/1994	6.90	-	-	-	4.900	0.250
EURO-2	01/1998	1.50	-	-	-	0.960	0.170
EURO-3	01/2000	0.95	-	-	0.780	0.860	0.100
EURO-4	01/2005	0.95	-	-	0.390	0.460	0.060
EURO-5	09/2009	0.74	-	-	0.280	0.350	0.005
EURO-6	09/2014	0.74	-	-	0.125	0.215	0.005
Benzin							
EURO-1	08/1994	6.90	-	-	-	1.7	-
EURO-2	01/1998	5.00	-	-	-	0.8	-
EURO-3	01/2000	5.22	0.29	-	0.210	-	-
EURO-4	01/2005	2.27	0.16	-	0.110	-	-
EURO-5	09/2009	2.27	0.16	0.108	0.082	-	0.005
EURO-6	09/2014	2.27	0.16	0.108	0.082	-	0.005

Tabelle C.4.: Emissionsgrenzwerte für Lnf >1760kg (max. 3500kg) (Kat. N1 III), [g/km]

Standard	Datum	CO	THC	NMHC	CH ₄	NO _x	PM
Diesel							
EURO 0	1988/90	12.30	2.60	-	-	15.8	-
EURO I	1992/93	4.90	1.23	-	-	9.0	0.4
EURO II	1995/96	4.00	1.10	-	-	7.0	0.15
EURO III	2000	5.45	-	0.78	1.6	5.0	0.16
EURO IV	2005/06	4.00	-	0.55	1.1	3.5	0.03
EURO V	2008/09	4.00	-	0.55	1.1	2.0	0.03
EURO VI	2013/14	4.00	0.16	0.16	0.5	0.4	0.01

Tabelle C.5.: Emissionsgrenzwerte für Snf (Kat. N2 - N3), [g/kWh]

D. Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen

Für die Ermittlung von Geschwindigkeits-Strömungs-Funktionen gibt es in der Literatur verschiedene Modellansätze. In dieser Arbeit wurde das seitens der IMPACT-Studie empfohlene Modell der deutschen „Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen“ implementiert, welches auf Basis zahlreicher empirischer Messwerte kalibriert wurde. Im Folgenden sind nur die für die zweispurige A10-Tauernautobahn benötigten mathematischen Formeln angeführt (vgl. [MAIBACH M., et al. 2008, S.155-160]).

D.1. Berechnung für Pkw/Lnf

Die hier angegebenen Funktionen berechnet die Geschwindigkeiten [km/h] für Pkw und Lnf, sie beziehen sich auf zweispurige Autobahnen mit Pannestreifen, die Eingangsparameter sind:

- Q_P ... Anzahl der Pkw, Lnf
- Q_{GV} ... Anzahl der Snf, RBus
- s ... Längsneigung der Fahrbahn

Verkehrsvolumen ≤ 3900 (Kfz pro Stunde):

$$v_P = 138.6 - 8 \cdot e^{(0.235 \cdot s)} - 0.1 \cdot e^{(1.643 \cdot 10^{-3} \cdot (Q_P + 2 \cdot Q_{GV}))}$$

3900 < Verkehrsvolumen ≤ 4875 :

$$v_P = \coth(((Q_P + 2 \cdot Q_{GV}) - 3880.52) \cdot 10^{-3}) + 18.86$$

Verkehrsvolumen > 4875:

$$v_P = 20$$

D.2. Berechnung für Snf/Rbus

Die hier angegebenen Funktionen berechnet die Geschwindigkeiten für Snf und RBus, sie beziehen sich auf zweispurige Autobahnen mit Pannestreifen, die Eingangsparmeter sind dieselben wie oben (vgl. Anhang D.1)

Verkehrsvolumen ≤ 650 (Kfz pro Stunde):

$$v_{GV} = 86.1 - 6 \cdot e^{(0.248 \cdot s)} - 0.1 \cdot e^{(9.218 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{GV})}$$

650 < Verkehrsvolumen ≤ 815 :

$$v_{GV} = \coth((Q_{GV} - 1256.18) \cdot 10^{-3}) + 17.17$$

Verkehrsvolumen > 815 :

$$v_{GV} = 20$$

E. VBA-Code

```
Option Explicit

Public cnnACC As ADODB.Connection
Public rst As ADODB.RecordSet
Public adoCat As ADOX.Catalog
Public adoTbl As ADOX.Table
Public sMode As String
Public iRand As Long
Public iAnzahlTage, iAnzMess, iAnzSeg As Integer
Public sArt As String
Dim dLength_abschnitt As Double

Private Sub cmbTraffic_Change()

    Select Case cmbTraffic.Value
        Case "A":
            Image1.Picture = LoadPicture _
                ("C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\PatternAs.bmp")
        Case "B":
            Image1.Picture = LoadPicture _
                ("C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\PatternBs.bmp")
        Case "C":
            Image1.Picture = LoadPicture _
                ("C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\PatternCs.bmp")
    End Select

End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()

    Dim weekArray(7, 2)

    connectDB

    weekArray(1, 0) = "Montag - Sonntag"
    weekArray(1, 1) = "DTVMS"
    weekArray(2, 0) = "Montag - Freitag"
    weekArray(2, 1) = "DTVMF"
    weekArray(3, 0) = "Montag"
    weekArray(3, 1) = "DTVMO"
    weekArray(4, 0) = "Dienstag - Donnerstag"
    weekArray(4, 1) = "DTVDD"
    weekArray(5, 0) = "Freitag"
    weekArray(5, 1) = "DTVFR"
    weekArray(6, 0) = "Samstag"
    weekArray(6, 1) = "DTVSA"
    weekArray(7, 0) = "Sonn- / Feiertag"
    weekArray(7, 1) = "DTVSF"

    Dim hourArr(24)
    Dim i As Integer
    For i = 0 To 23
```

```
hourArr(i) = i
Next

cmbStunde1.List() = hourArr
cmbStunde3.List() = hourArr

cmbWoche.ColumnCount = 2
cmbWoche.List() = weekArray
cmbWoche.ListIndex = 1

'set default values
chkMonat1.Value = False
obtnEinMonat1.Value = True
obtnEinMonat1.Enabled = False
obtnVonBis1.Enabled = False
cmbMonat1.Enabled = False
cmbMonat2.Enabled = False
cmbMonat3.Enabled = False
lblBeideRichtungen2.Enabled = False
chkCo.Value = True
chkHc.Value = True
chkNox.Value = True
chkPm.Value = True
chkNmhc.Value = True
chkPkw.Value = True
chkLnf.Value = True
chkSnf.Value = True
chkRbus.Value = True
chkBenzin1.Value = True
chkdiesel1.Value = True
chkBeladen.Value = True
obtnSimple.Value = True
MultiPage1.Value = 0

If MultiPage1.Value = 0 Then
    populateListBox1WithAutobahnNames "asfinag_monat"
Else
    populateListBox1WithAutobahnNames "asfinag_tag"
    populateListBox8WithTrafficNames
End If

End Sub

Private Sub cmdCancel_Click()

    UserForm1.Hide

End Sub

Private Sub cmdOk_Click()

    'Formular auf Vollständigkeit prüfen
    If Not checkCompleteness() Then
        MsgBox "Angaben unvollständig." & Chr(13) & "Bitte fehlende Parameter setzen."
        Exit Sub
    End If

    'Checken, ob bei Jahresberechnung (simple mode) überhaupt Werte existieren
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        If chkMonat1.Value = False Then
            If Not checkJahrExists() Then
                MsgBox "Noch keine Werte für Gesamtjahr " & cmbJahr1.Value & " vorhanden." _
                    & Chr(13) & "Ein anderes Jahr auswählen!"
                Exit Sub
            End If
        End If
    End If

End Sub
```

```
End If

UserForm1.Hide

'Berechnungsparameter werden in die Ergebnistabelle geschrieben
If MultiPage1.Value = 0 Then
    sMode = "simple-mode"
    writeCalcPar "asfinag_monat"
Else
    sMode = "complex-mode"
    writeCalcPar "asfinag_tag"
End If

'Berechnung der Werte für die Fahrzeugschichten
calcAbsDistribution

'Summenbildung für Tabelle emission_res_complex --> emission_res
If MultiPage1.Value = 1 Then
    sumResultsCom ("Durchschnitt")
    If chkBeladen.Value = True Then
        sumResultsCom ("Beladen")
    End If
    If chkleer.Value = True Then
        sumResultsCom ("Leer")
    End If
End If

'Summenbildung für Tabelle emission_calc --> emission_calc
sumResults

killConnection

End Sub

Private Function checkCompleteness() As Boolean

    checkCompleteness = True

    'Check räumliche Parameter
    If ((cmbAutobahn1.Value = "") Or (cmbRichtung1.Value = "") Or (cmbSegment1.Value = "")) Then
        checkCompleteness = False
        Exit Function
    End If

    'Check zeitliche Parameter - simple mode / complex-mode
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        If (Val(cmbJahr1.Value) < 1900) Then
            checkCompleteness = False
            Exit Function
        End If
        If chkMonat1.Value = True Then
            If obtnEinMonat1.Value = True Then
                If Val(cmbMonat1.Value) < 1 Then
                    checkCompleteness = False
                    Exit Function
                End If
            Else
                If ((Val(cmbMonat2.Value) < 1) Or (Val(cmbMonat3.Value) < 1)) Then
                    checkCompleteness = False
                    Exit Function
                End If
            End If
        End If
        If cmbWoche.ListIndex = 0 Then
            checkCompleteness = False
            Exit Function
        End If
    End If
End Function
```



```

    End If
Else
    If cmbStunde1.Value = "" Then
        checkCompleteness = False
        Exit Function
    End If
    If cmbStunde3.Value = "" Then
        checkCompleteness = False
        Exit Function
    End If
    If cmbTraffic.Value = "" Then
        checkCompleteness = False
        Exit Function
    End If
End If

'Check ob mind. 1 Emissionsparameter gesetzt
If ((chkCo.Value = False) And (chkHc.Value = False) And _
(chkNox.Value = False) And (chkPm.Value = False) And (chkCo2.Value = False) _
And (chkSo2.Value = False) And (chkCh4.Value = False) And (chkNmhc.Value = _
False) And (chkBenzol.Value = False) And (chkNh3.Value = False) And _
(chkN2o.Value = False) And (chkToluol.Value = False) And (chkXylol.Value = _
False) And (chkEnergie.Value = False)) Then
    checkCompleteness = False
    Exit Function
End If

'Check ob, falls Pkw gewählt, Diesel und/oder Benzin gewählt
If chkPkw.Value = True Then
    If (chkBenzin1.Value = False And chkdiesel1.Value = False) Then
        checkCompleteness = False
        Exit Function
    End If
End If

If ((chkSnf.Value = False) And (chkRbus.Value = False)) And ((chkleer.Value = _
True) Or (chkBeladen.Value = True)) Then
    chkleer.Value = False
    chkBeladen.Value = False
    checkCompleteness = True
    Exit Function
End If

'Check ob Fzg-Kategorien gesetzt
If ((chkPkw.Value = False) And (chkInf.Value = False) And (chkSnf.Value = _
False) And (chkRbus.Value = False)) Then
    checkCompleteness = False
    Exit Function
End If

End Function

Private Function checkJahrExists() As Boolean
'Function checkt, ob gewähltes Jahr in der Datenbasis vorhanden ist
    Dim rst As ADODB.RecordSet

    checkJahrExists = True
    'connectdb
    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select count(*) as cntJahr from asfinag_jahr where segment = '" _
    & cmbSegment1.Value & "' and jahr = " & Val(cmbJahr1.Value), cnnACC, _
    adOpenKeyset, adLockOptimistic
    If rst.Fields("cntJahr").Value = 0 Then
        checkJahrExists = False
    End If
End If

```

```

End Function

Private Sub writeCalcPar(ByVal sAsfinag As String)
'Sub-Procedure zum Eintragen der Berechnungsparameter in die Tabelle emission_calc

    Dim rst As ADODB.RecordSet
    Dim iAbsch As Integer

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct segment_id from " & sAsfinag & " where segment = '" _
    & cmbSegment1.Value & "'", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    iAbsch = Val(rst.Fields("segment_id").Value)
    rst.Close

    Randomize 'Random-Funktion zur Bestimmung einer unique calc_id
    iRand = writeIdxTable(1)

    rst.Open "emission_calc", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    With rst
        If .Supports(adAddNew) Then
            .AddNew
            !calc_id = iRand
            !calc_date = Now
            !modus = sMode
            !autobahn = cmbAutobahn1.Value
            !abschnitt = cmbSegment1.Value
            !abschnitt_id = iAbsch
            !abschnitt_km = getKm(LCase$(cmbAutobahn1.Value) & "-" _
            & LCase$(cmbRichtung1.Value), cmbSegment1.Value)
            !richtung = cmbRichtung1.Value
            !richtungab = checkRichtung()
            If MultiPage1.Value = 0 Then
                !beginn_t = checkBeginn(Val(cmbJahr1.Value), chkMonat1.Value)
                !ende_t = checkEnde(Val(cmbJahr1.Value), chkMonat1.Value)
                !anzahl_d = DateDiff("d", checkBeginn(Val(cmbJahr1.Value), _
                chkMonat1.Value), checkEnde(Val(cmbJahr1.Value), chkMonat1.Value)) + 1
                !wochen_kfg = cmbWoche.Value
            Else
                !beginn_t = DTPicker1.Value
                !beginn_h = cmbStunde1.Value
                !ende_t = DTPicker2.Value
                !ende_h = cmbStunde3.Value
                !anzahl_d = DateDiff("d", DTPicker1.Value, DTPicker2.Value) + 1
                !wochen_kfg = "-"
            End If
            !EFA = checkEfa()
            !pkw = checkPkw()
            !lnf = checkLnf()
            !benzin = checkBenzin()
            !diesel = checkDiesel()
            !snf = checkSnf()
            !rbus = checkRbus()
            !beladen = checkBeladen()
            !leer = checkLeer()
            .Update
        End If
    End With

    iAnzahlTage = rst.Fields("anzahl_d").Value

    rst.Close

End Sub

```

```

Private Sub calcAbsDistribution()

    Dim rst, rst1, rst2 As ADODB.RecordSet
    Dim sAtt1, sAtt2, sAtt3 As String
    Dim iAtt4 As Double
    Dim sQuery1, sQuery2, sQuery3, sQuery4, sQuery5, sQuery6 As String
    Dim sZeit As String
    Dim iIndex As Integer
    Dim sField As String
    Dim iPkwLnf, iSnfRbus As Long
    Dim dTage As Double

    Dim sDate1, sDate2, sDatetmp As String
    Dim iDate1, iDate2 As Long

    Dim iHour, iYear As Integer
    Dim lYyyymmddhh As Long
    Dim dPkwLnf, dKmh, dAnzahl As Double

    Dim iSpuren, iKmh As Integer
    Dim dSteigung, dSpeedPkw, dSpeedLkw, dLength, dLengthTot As Double
    Dim vBaustelle As Variant
    Dim bBound As Boolean
    Dim sVSPkw As String
    Dim sVSLkw As String

    Dim pGDB As String
    Dim pGDBFact As IWorkspaceFactory
    Dim pGDBWsp As IFeatureWorkspace
    Dim pFeatClass As IFeatureClass

    Dim pQueryFilter As IQueryFilter
    Dim pSelection As ISelectionSet
    Dim pCursorF As IFeatureCursor
    Dim pCursorT As ICursor

    Dim pFeat As IFeature
    Dim pPolyline As IPolyline
    Dim pTable As ITable
    Dim pRow As IRow

    Dim iAbsch_id, iSeg_id, iDiv As Integer
    Dim sAbsanteil As String
    Dim dA2s, dA3s, dA4s, dA2, dA3, dA4 As Double

    sQuery1 = ""
    sQuery2 = ""
    sQuery3 = ""
    sQuery4 = ""
    sQuery5 = ""
    sQuery6 = ""

    Set rst = New ADODB.RecordSet
    Set rst1 = New ADODB.RecordSet
    Set rst2 = New ADODB.RecordSet

    iIndex = cmbWoche.ListIndex
    sField = cmbWoche.List(iIndex, 1)

    iYear = Val(Right(DTPicker1.Value, 4))

    'Abfrage der Asfinag-Daten
    '*****
    '1. Welche Kategorien werden benötigt?
    If (chkPkw.Value = True Or chkLnf.Value = True) Then
        sQuery1 = " and (fzgklasse = 'Kfz <= 3,5t hzG'"
    
```

```

End If
If (chkSnf.Value = True Or chkRbus.Value = True) Then
    sQuery2 = " fzgklasse = 'Kfz > 3,5t hzG'"
    If (chkPkw.Value = True Or chkLnf.Value = True) And (chkSnf.Value = True _
    Or chkRbus.Value = True) Then
        sQuery2 = " or " & sQuery2 & ")"
    Else
        sQuery2 = " and " & sQuery2 & ")"
    End If
Else
    sQuery1 = sQuery1 & ")"
End If

'2.Tages-, Monats- oder Jahresberechnung
If MultiPage1.Value = 0 Then 'SIMPLE MODE

    If chkMonat1.Value = False Then
        sZeit = "asfinag_jahr"
        sQuery3 = " and jahr = " & Val(cmbJahr1.Value)
        iDiv = 1
    Else
        sZeit = "asfinag_monat"
        If obtnEinMonat1.Value = True Then
            sQuery3 = " and jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and monat = " _
            & Val(cmbMonat1)
            iDiv = 1
        Else
            sQuery3 = " and jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and monat between " _
            & Val(cmbMonat2.Value) & " and " & Val(cmbMonat3.Value)
            iDiv = (Val(cmbMonat3.Value) + 1 - Val(cmbMonat2.Value))
        End If
    End If

Else 'COMPLEX MODE

    sDate1 = DTPicker1.Value 'zb: 14.07.2008
    sDatetmp = Right(sDate1, 4) & Mid(sDate1, 4, 2) & Left(sDate1, 2) 'zb: 20080714
    iDate1 = checkTimeBelow10(sDatetmp, "1") 'zb: 2008071409
    sDate2 = DTPicker2.Value 'zb: 15.07.2008
    sDatetmp = Right(sDate2, 4) & Mid(sDate2, 4, 2) & Left(sDate2, 2) 'zb: 20080715
    iDate2 = checkTimeBelow10(sDatetmp, "3") 'zb: 2008071503
    sQuery3 = " and yyyyymmddhh between " & iDate1 & " and " & iDate2

End If

'3. Checken, ob Mautabschnitt in eine oder beide Richtungen
If chkBeideRichtungen1.Value = True Then
    rst1.Open "select distinct segment_id from " & sZeit & " where segment = '" _
    & cmbSegment1.Value & "'", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    sQuery4 = " and segment_id = " & Val(rst1.Fields("segment_id").Value) & " and _
    segment = 'gesamt'"
    rst1.Close
Else
    sQuery4 = " and segment = '" & cmbSegment1.Value & "'"
End If
'Hier fehlt noch beide Richtungen complex-Mode

'4. SQL-Abfrage, Unterscheidung, welches Wochensample (z.B. Mo-So)
If MultiPage1.Value = 0 Then 'SIMPLE MODE

    rst.Open "select fzgklasse, sum(" & sField & ")/ " & iDiv & " as SummeKfz from " _
    & sZeit & " where autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value & "'" _
    & sQuery4 & sQuery3 & sQuery1 & sQuery2 & " group by fzgklasse", cnnACC, _
    adOpenKeyset, adLockOptimistic

    dTage = checkAnzahlTage(sField) * iAnzahlTage

```

```

If (chkPkw.Value = True Or chkLnf.Value = True) Then
    iPkwLnf = Val(rst.Fields("SummeKfz"))
End If
If (chkSnf.Value = True Or chkRbus.Value = True) Then
    rst.MoveLast
    iSnfRbus = Val(rst.Fields("SummeKfz"))
End If
rst.Close

'Hier beginnt die Verteilungsberechnung 'simple-mode'
'*****

If (chkPkw.Value = True) Then
    calcAbsolutzahlen "pkw", iPkwLnf, dTage
End If
If (chkLnf.Value = True) Then
    calcAbsolutzahlen "lnf", iPkwLnf, dTage
End If
If (chkSnf.Value = True) Then
    calcAbsolutzahlen "snf", iSnfRbus, dTage
End If
If (chkRbus.Value = True) Then
    calcAbsolutzahlen "rbus", iSnfRbus, dTage
End If

Else 'COMPLEX MODE
'1. Eintrag in emission_res: calc_id, fzgkat, fzgschicht und beladen (oder nicht)

If chkPkw = True Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='pkw' and jahr = " & iYear
    sQuery6 = sQuery6 & checkSprittyp()
    writeEmRes1 sQuery6, "pkw", "Durchschnitt"
End If

If chkLnf = True Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='lnf' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "lnf", "Durchschnitt"
End If

If chkSnf = True Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='snf' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "snf", "Durchschnitt"
End If

If (chkSnf = True And chkBeladen.Value = True) Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='snf' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "snf", "Beladen"
End If

If (chkSnf = True And chkleer.Value = True) Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='snf' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "snf", "Leer"
End If

If chkRbus = True Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='rbus' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "rbus", "Durchschnitt"
End If

If (chkRbus = True And chkBeladen.Value = True) Then
    sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='rbus' and jahr = " & iYear
    writeEmRes1 sQuery6, "rbus", "Beladen"
End If

If (chkRbus = True And chkleer.Value = True) Then

```

```

        sQuery6 = "Select subsegment from fzg_verteilung where fzgkat='rbus' and jahr = " & iYear
        writeEmRes1 sQuery6, "rbus", "Leer"
    End If

'**** 1. Eintrag fertig, Rest nach Berechnung

'Abfrage aller Messdaten aus asfinag_tag für den gewählten Zeitraum
sQuery6 = "select kalendertag, stunde, yyyyymmddhh, a2, a3, a4 from asfinag_tag where _
autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value & "' _
& sQuery4 & sQuery3 & " order by yyyyymmddhh"
rst.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
iAnzMess = rst.RecordCount
rst.MoveFirst

rst1.Open "select sum(a2) as a2_s, sum(a3) as a3_s, sum(a4) as a4_s from fzg_verteilung _
where jahr = " & iYear, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst1.MoveFirst
dA2s = rst1.Fields("a2_s").Value
dA3s = rst1.Fields("a3_s").Value
dA4s = rst1.Fields("a4_s").Value
rst1.Close

'Abfrage des durchschnittlichen Stundenwertes für diesen Tag für Pkw/Lnf aus
'asfinag_monat und trafficpattern
sQuery5 = "select trafficpattern.stunde, trafficpattern.anteil / 100 * asfinag_monat.DTVMS _
AS absolutanteil from trafficpattern, asfinag_monat " _
& " where asfinag_monat.autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value & "' and asfinag_monat.jahr = " _
& Val(Left(iDate1, 4)) & " and asfinag_monat.monat = " & Val(Mid(iDate1, 5, 2)) & sQuery4 _
& " and asfinag_monat.fzgklasse = 'Kfz <= 3,5t hzG'" & " and trafficpattern.stunde between '" _
& cmbStunde1.Value & "' and '" & cmbStunde3.Value & "' and trafficpattern.pattern = '" _
& cmbTraffic.Value & "'"

rst1.Open sQuery5, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

'*** SCHLEIFE ÜBER RST der Meßwerte für 2,3,4-Achsen
With rst
    Do While Not rst.EOF

        iHour = !stunde
        lYyyymmddhh = !yyyyymmddhh

        dA2 = !a2
        dA3 = !a3
        dA4 = !a4
        iSnfRbus = dA2 + dA3 + dA4
        rst1.Filter = "stunde = " & iHour
        dPkwLnf = rst1.Fields("absolutanteil").Value
        sAbsanteil = Replace(rst1.Fields("absolutanteil").Value, ",", ".")

        'Jetzt muss für jedes Teil-Segment des Mautabschnitts die aktuelle Geschwindigkeit
        'aus SFF bestimmt werden
        'Öffnen der File-GDB
        pGDB = "C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\EmissionGIS.gdb"
        Set pGDBFact = New esriDataSourcesGDB.FileGDBWorkspaceFactory
        Set pGDBWsp = pGDBFact.OpenFromFile(pGDB, 0)

        'Öffnen der Feature-Class / Table / Field
        Set pFeatClass = pGDBWsp.OpenFeatureClass(cmbAutobahn1.Value & "_ " _
        & cmbRichtung1.Value)
        Set pTable = pGDBWsp.OpenFeatureClass(cmbAutobahn1.Value & "_ " & cmbRichtung1.Value)

        'Query-Filter setzen
        Set pQueryFilter = New QueryFilter
        pQueryFilter.WhereClause = "ABSCHNITT = '" & cmbSegment1.Value & "'"

        'Feature-Cursor an den Anfang setzen

```

```
Set pCursorF = pFeatClass.Search(pQueryFilter, True)
Set pFeat = pCursorF.NextFeature

'Table-Cursor an den Anfang setzen
Set pCursorT = pTable.Search(pQueryFilter, True)
Set pRow = pCursorT.NextRow

dLength = 0#
dLengthTot = 0#

'*** Bestimmen der Gesamtlänge des Abschnitts
'Anzahl der Segmente im Mautstreckenabschnitt, wichtig für spätere Division
'der fzgcount/iAnzSeg
iAnzSeg = 0
Do While Not pFeat Is Nothing
    If pFeat.Shape.GeometryType = esriGeometryPolyline Then
        Set pPolyline = pFeat.Shape
    End If
    dLengthTot = dLengthTot + pPolyline.Length
    iAnzSeg = iAnzSeg + 1
    Set pFeat = pCursorF.NextFeature
Loop

Set pCursorF = pFeatClass.Search(pQueryFilter, True)
Set pFeat = pCursorF.NextFeature

'*** SCHLEIFE ÜBER SEGMENTE EINES MAUTSTRECKENABSCHNITTS
Do While Not pFeat Is Nothing

    If pFeat.Shape.GeometryType = esriGeometryPolyline Then
        Set pPolyline = pFeat.Shape
    End If

    dLength = pPolyline.Length
    dSteigung = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("STEIGUNG"))
    iKmh = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("KMH"))
    iAbsch_id = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("absch_id"))
    iSeg_id = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("seg_id"))
    iSpuren = pRow.Value(pRow.Fields.FindField("SPUREN"))
    vBaustelle = Int(pRow.Value(pRow.Fields.FindField("BAUSTELLE")))

    'Speedflow-Funktion für Pkw/Lnf
    dSpeedPkw = speedFlowFunctionPkw(dPkwLnf, iSnfRBus, iSpuren, dSteigung)

    If dSpeedPkw > iKmh Then 'mögliche V größer als erlaubte ?
        dSpeedPkw = iKmh
    End If
    sVSPkw = getVerkehrssit("pkw", dSpeedPkw, sArt, vBaustelle, iSpuren)

    'Speedflow-Funktion für Snf/RBus
    dSpeedLkw = speedFlowFunctionLkw(iSnfRBus, iSpuren, dSteigung)

    If dSpeedLkw > dSpeedPkw Then
        dSpeedLkw = dSpeedPkw
    End If

    If dSpeedLkw > 100 Then
        dSpeedLkw = 100
    End If
    If dSpeedLkw > iKmh Then
        dSpeedLkw = iKmh
    End If
    'Wahl der Verkehrssituation für die Geschwindigkeit
    sVSLkw = getVerkehrssit("snf", dSpeedLkw, sArt, vBaustelle, iSpuren)
```

```
'Ab hier Berechnung der
'1. Absolutzahlen für Fzg-schichten
sQuery6 = ""

If chkPkw = True Then
    sQuery6 = "select fzg_verteilung.subsegment, fzg_verteilung.anteil/100*" _
    & sAbsanteil & " as AbsFzg" & " from fzg_verteilung where _
    fzg_verteilung.jahr = " & iYear & " and fzg_verteilung.fzgat='pkw' "
    sQuery6 = sQuery6 + checkSprittyp()
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            writeEmResCom "efa_pkw", "", "", !absfzg, "Durchschnitt", iYear, "(" _
            & checkEfa() & ")"", sVSPkw, FNeigung(dSteigung), !subsegment, _
            dLength / 1000, iAbsch_id, iSeg_id, lYyyymmddhh
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With
    rst2.Close
End If

If chkLnf = True Then
    sQuery6 = "select fzg_verteilung.subsegment, fzg_verteilung.anteil/100*" _
    & sAbsanteil & " as AbsFzg" & " from fzg_verteilung where _
    fzg_verteilung.jahr = " & iYear & " and fzg_verteilung.fzgat='lnf' "
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            writeEmResCom "efa_lnf", "", "", !absfzg, "Durchschnitt", iYear, "(" _
            & checkEfa() & ")"", sVSPkw, FNeigung(dSteigung), !subsegment, _
            dLength / 1000, iAbsch_id, iSeg_id, lYyyymmddhh
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With
    rst2.Close
End If

sQuery6 = "select fzg_verteilung.subsegment, fzg_verteilung.a2*" & _
Replace(dA2, ",", ".") & "/" & Replace(dA2s, ",", ".") & " as AbsFzgA2, " _
& "fzg_verteilung.a3*" & Replace(dA3, ",", ".") & "/" & Replace(dA3s, ",", ".") _
& " as AbsFzgA3, fzg_verteilung.a4*" & Replace(dA4, ",", ".") & "/" _
& Replace(dA4s, ",", ".") & " as AbsFzgA4" & " from fzg_verteilung where _
fzg_verteilung.jahr = " & iYear & " and fzg_verteilung.fzgat='snf' "

If chkSnf = True Then
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            If !AbsFzgA2 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")"", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA3 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")"", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA4 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
```



```

        "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
        FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
        iSeg_id, lYyyymmddhh
    End If
    rst2.MoveNext
Loop
End With
rst2.Close
End If

If (chkSnf = True And chkBeladen.Value = True) Then
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            If !AbsFzgA2 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_belad", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA3 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_belad", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA4 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_belad", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
                "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With
    rst2.Close
End If

If (chkSnf = True And chkLeer.Value = True) Then
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            If !AbsFzgA2 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_leer", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA3 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_leer", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA4 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_snf", "_leer", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
                "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With
    rst2.Close
End If

```

```

End If

sQuery6 = "select fzg_verteilung.subsegment, fzg_verteilung.a2*" & _
Replace(dA2, ",", ".") & "/" & Replace(dA2s, ",", ".") & " as AbsFzgA2, " _
& "fzg_verteilung.a3*" & Replace(dA3, ",", ".") & "/" & _
Replace(dA3s, ",", ".") & " as AbsFzgA3, fzg_verteilung.a4*" _
& Replace(dA4, ",", ".") & "/" & Replace(dA4s, ",", ".") & " as AbsFzgA4" _
& " from fzg_verteilung where fzg_verteilung.jahr = " & iYear _
& " and fzg_verteilung.fzggat='rbus' "

If chkRbus = True Then
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            If !AbsFzgA2 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                    "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA3 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                    "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA4 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
                    "Durchschnitt", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With
    rst2.Close
End If

If (chkRbus = True And chkBeladen.Value = True) Then
    rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst2.MoveFirst
    With rst2
        Do While Not rst2.EOF
            If !AbsFzgA2 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "_belad", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                    "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA3 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "_belad", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                    "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            If !AbsFzgA4 > 0 Then
                writeEmResCom "efa_rbus", "_belad", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
                    "Beladen", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
            End If
            rst2.MoveNext
        Loop
    End With

```

```

        rst2.Close
    End If

    If (chkRbus = True And chkleer.Value = True) Then
        rst2.Open sQuery6, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
        rst2.MoveFirst
        With rst2
            Do While Not rst2.EOF
                If !AbsFzgA2 > 0 Then
                    writeEmResCom "efa_rbus", "_leer", "2-Achsen", !AbsFzgA2, _
                    "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
                End If
                If !AbsFzgA3 > 0 Then
                    writeEmResCom "efa_rbus", "_leer", "3-Achsen", !AbsFzgA3, _
                    "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
                End If
                If !AbsFzgA4 > 0 Then
                    writeEmResCom "efa_rbus", "_leer", "4+-Achsen", !AbsFzgA4, _
                    "Leer", iYear, "(" & checkEfa() & ")", sVSLkw, _
                    FNeigung(dSteigung), !subsegment, dLength / 1000, iAbsch_id, _
                    iSeg_id, lYyyymmddhh
                End If
                rst2.MoveNext
            Loop
        End With
        rst2.Close
    End If

    '2. Beginn der Summation der EFA

    Set pFeat = pCursorF.NextFeature
    Set pRow = pCursorT.NextRow

    Loop
'*** ENDE SCHLEIFE SEGMENTE

    Set pGDBWsp = Nothing
    rst.MoveNext
    Loop
End With
rst.Close
End If

End Sub

Private Sub calcAbsolutzahlen(ByVal sType As String, ByVal dFzg As Double, _
Optional ByVal dDays As Double, Optional ByVal dSpeed As Double, Optional iBaust As Variant, _
Optional ByVal bGebFrei As Boolean, Optional ByVal sVSFzg As String, _
Optional ByVal dSteigung As Double)

    Dim bBel, bLeer As Boolean
    Dim sQefa, sQuery1, sQuerystr As String
    Dim sBeladen As String
    Dim sV As String
    Dim iYear As Integer

    sQuery1 = ""
    iYear = cmbJahr1.Value

    If sType = "pkw" Then
        If (chkBenzin1.Value = True And chkdiesel1.Value = True) Then
            Else

```

```

        If chkdiesel1.Value = True Then
            sQuery1 = " and sprittyp = 'Diesel'"
        Else
            sQuery1 = " and sprittyp = 'B-4T'"
        End If
    End If
End If

sQuerystr = "select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_verteilung where _
jahr = " & iYear & " and fzgkat = '" & sType & "' & sQuery1
sQefa = "EFA"
sBeladen = "Durchschnitt"
sV = ""
writeResults sQuerystr, sQefa, sBeladen, sV, sType, dFzg, dDays, iBaust, sVSFzg, dSteigung

If sType = "snf" And (chkBeladen.Value = True Or chkleer.Value = True) Then
    If chkBeladen.Value = True Then
        sQuerystr = "select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_verteilung _
        where jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and fzgkat = 'snf'" & sQuery1
        sQefa = "EFA_belad"
        sBeladen = "Beladen"
        sV = "_belad"
        writeResults sQuerystr, sQefa, sBeladen, sV, sType, dFzg, dDays
    End If
    If chkleer.Value = True Then
        sQuerystr = "select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_verteilung _
        where jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and fzgkat = 'snf'" & sQuery1
        sQefa = "EFA_Leer"
        sBeladen = "Leer"
        sV = "_leer"
        writeResults sQuerystr, sQefa, sBeladen, sV, sType, dFzg, dDays
    End If
End If

If sType = "rbus" And (chkBeladen.Value = True Or chkleer.Value = True) Then
    If chkBeladen.Value = True Then
        sQuerystr = "select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_verteilung _
        where jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and fzgkat = 'rbus'" & sQuery1
        sQefa = "EFA_belad"
        sBeladen = "Beladen"
        sV = "_belad"
        writeResults sQuerystr, sQefa, sBeladen, sV, sType, dFzg, dDays
    End If
    If chkleer.Value = True Then
        sQuerystr = "select fzgkat, subsegment, sprittyp, sizeclass, anteil from fzg_verteilung _
        where jahr = " & Val(cmbJahr1.Value) & " and fzgkat = 'rbus'" & sQuery1
        sQefa = "EFA_Leer"
        sBeladen = "Leer"
        sV = "_leer"
        writeResults sQuerystr, sQefa, sBeladen, sV, sType, dFzg, dDays
    End If
End If

End Sub

'Schreibt die Berechnungsergebnisse in die Result-Tables
Private Sub writeResults(ByVal sQuery As String, ByVal sQ_efa As String, ByVal sBel As String, _
ByVal sSpeed As String, ByVal sTyp As String, ByVal dFzgzahl As Double, ByVal dTage As Double, _
Optional ByVal iBaustelle As Variant, Optional ByVal sVSFzg As String, Optional ByVal _
dSteigung As Double)

    Dim rst1, rst2, rst3 As ADODB.RecordSet
    Dim dKm_tot As Double
    Dim iRand2 As Long

```

```

Set rst1 = New ADODB.RecordSet
Set rst2 = New ADODB.RecordSet
Set rst3 = New ADODB.RecordSet

rst1.Open sQuery, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst1.MoveFirst

If sMode = "simple-mode" Then
    rst2.Open "emission_res", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst3.Open "emission_efa", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    Do While Not rst1.EOF
        With rst2
            If .Supports(adAddNew) Then
                .AddNew
                !calc_id = iRand
                iRand2 = writeIdxTable(2)
                !calc_idx = iRand2
                !FzgKat = sTyp
                !fzgschicht = rst1.Fields("subsegment").Value
                !v = getV("V" & sSpeed, "CO", rst1.Fields("subsegment").Value, cmbJahr1.Value)
                !ladung = sBel
                .Update
            With rst3
                If .Supports(adAddNew) Then
                    .AddNew
                    !calc_idx = iRand2
                    !fzgschicht = Round(rst1.Fields("anteil").Value * dFzgzahl * dTage / 100, 0)
                    dKm_tot = Round(dLength_abschnitt * rst1.Fields("anteil").Value * _
                        dFzgzahl * dTage / 100, 0)
                    !km_ges = dKm_tot
                    If chkCo.Value = True Then
                        !co = getEFA(sQ_efa, "CO", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkHc.Value = True Then
                        !hc = getEFA(sQ_efa, "HC", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkNox.Value = True Then
                        !nox = getEFA(sQ_efa, "NOx", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkNmhc.Value = True Then
                        !nmhc = getEFA(sQ_efa, "NMHC", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkPm.Value = True Then
                        !pm = getEFA(sQ_efa, "Part", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkCo2.Value = True Then
                        !co2 = getEFA(sQ_efa, "CO2", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkSo2.Value = True Then
                        !so2 = getEFA(sQ_efa, "SO2", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkCh4.Value = True Then
                        !ch4 = getEFA(sQ_efa, "CH4", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                    If chkBenzol.Value = True Then
                        !benzol = getEFA(sQ_efa, "Benzol", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                            cmbJahr1.Value, dKm_tot)
                    End If
                End If
            End With
        End With
    End Do
End If

```

```

        If chkToluol.Value = True Then
            !toluol = getEFA(sQ_efa, "Toluol", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                cmbJahr1.Value, dKm_tot)
        End If
        If chkXylol.Value = True Then
            !xylol = getEFA(sQ_efa, "Xylol", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                cmbJahr1.Value, dKm_tot)
        End If
        If chkNh3.Value = True Then
            !nh3 = getEFA(sQ_efa, "NH3", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                cmbJahr1.Value, dKm_tot)
        End If
        If chkN2o.Value = True Then
            !n2o = getEFA(sQ_efa, "N2O", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                cmbJahr1.Value, dKm_tot)
        End If
        If chkEnergie.Value = True Then
            !energie = getEFA(sQ_efa, "mKr", rst1.Fields("subsegment").Value, _
                cmbJahr1.Value, dKm_tot)
        End If
        .Update
    End If
End With
End If
End With
rst1.MoveNext
Loop

Else

    rst2.Open "emission_res", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    Do While Not rst1.EOF
        With rst2
            If .Supports(adAddNew) Then
                .AddNew
                !calc_id = iRand
                !FzgKat = sTyp
                !fzgschicht = rst1.Fields("subsegment").Value
                !fzgcoun = dFzgzahl
                dKm_tot = dFzgzahl * dTage 'dTage entspricht hier dLengthTot ("Überladen")
                !km_ges = dKm_tot
                !ladung = sBel
                .Update
            End If
        End With
        rst1.MoveNext
    Loop
End If

rst1.Close
rst2.Close

End Sub

Private Sub sumResults()

    Dim rst, rst1 As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet
    Set rst1 = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "Select sum(co), sum(hc), sum(nox), sum(nmhc), sum(pm), sum(co2), sum(so2), sum(ch4), _
        sum(benzol), sum(toluo1), sum(xylol), sum(nh3), sum(n2o), sum(energie), " & _
        "sum(fzgcoun), sum(km_ges) from emission_efa where calc_idx in (select calc_idx from _
        emission_res where ladung = 'Durchschnitt' and calc_id = " & iRand & ")", cnnACC, adOpenKeyset, _
        adLockOptimistic

```

```

rst1.Open "emission_efa", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst1.MoveLast

With rst1
  If .Supports(adAddNew) Then
    .AddNew
    !calc_idx = iRand
    !fzgcount = rst.Fields(14).Value
    !km_ges = rst.Fields(15).Value
    !co = rst.Fields(0).Value
    !hc = rst.Fields(1).Value
    !nox = rst.Fields(2).Value
    !nmhc = rst.Fields(3).Value
    !pm = rst.Fields(4).Value
    !co2 = rst.Fields(5).Value
    !so2 = rst.Fields(6).Value
    !ch4 = rst.Fields(7).Value
    !benzol = rst.Fields(8).Value
    !toluol = rst.Fields(9).Value
    !xylol = rst.Fields(10).Value
    !nh3 = rst.Fields(11).Value
    !n2o = rst.Fields(12).Value
    !energie = rst.Fields(13).Value
    .Update
  End If
End With

rst.Close
rst1.Close

End Sub

Private Sub sumResultsCom(ByVal sBelad As String)

  Dim rst, rst1, rst2 As ADODB.RecordSet
  Dim sSchicht As String
  Dim sSuche As String
  Dim Idx As Long

  Set rst = New ADODB.RecordSet
  Set rst1 = New ADODB.RecordSet
  Set rst2 = New ADODB.RecordSet

  rst.Open "Select e1.fzgschicht, sum(e2.fzgcount)/" & iAnzSeg & " as fzgcount_s, sum(e2.km_ges) _
as km_ges_s, sum(e2.co) as co_s, sum(e2.hc) as hc_s, sum(e2.nox) as nox_s, sum(e2.nmhc) _
as nmhc_s," & "sum(e2.pm) as pm_s, sum(e2.co2) as co2_s, sum(e2.so2) as so2_s, sum(e2.ch4) _
as ch4_s, sum(e2.benzol) as benzol_s, sum(e2.toluol) as toluol_s, sum(e2.xylol) as xylol_s, _
sum(e2.nh3) as nh3_s, " & "sum(e2.n2o) as n2o_s, sum(e2.energie) as energie_s from _
emission_res_complex e1, emission_efa e2 where e2.calc_idx = e1.calc_idx and e1.calc_id = " _
& iRand & " and " & " e1.ladung = '" & sBelad & "' group by e1.fzgschicht order by _
e1.fzgschicht", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst.MoveFirst

rst1.Open "select * from emission_res where calc_id = " & iRand & " and ladung = '" & sBelad _
& "' order by fzgschicht", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst2.Open "emission_efa", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

Do While Not rst.EOF
  sSchicht = rst.Fields("fzgschicht").Value
  With rst1
    If .Supports(adFind) Then
      sSuche = " fzgschicht = '" & sSchicht & "'"
      .Find sSuche
      If Not (.BOF = True) Or (.EOF = True) Then
        Idx = rst1.Fields("calc_idx").Value
      End If
    End If
  End With
End Do

```

```

        With rst2
            If .Supports(adAddNew) Then
                .AddNew
                !calc_idx = Idx
                !fzgcount = rst.Fields("fzgcount_s").Value
                !km_ges = rst.Fields("km_ges_s").Value
                !co = rst.Fields("co_s").Value
                !hc = rst.Fields("hc_s").Value
                !nox = rst.Fields("nox_s").Value
                !nmhc = rst.Fields("nmhc_s").Value
                !pm = rst.Fields("pm_s").Value
                !co2 = rst.Fields("co2_s").Value
                !so2 = rst.Fields("so2_s").Value
                !ch4 = rst.Fields("ch4_s").Value
                !benzol = rst.Fields("benzol_s").Value
                !toluol = rst.Fields("toluol_s").Value
                !xylol = rst.Fields("xylol_s").Value
                !nh3 = rst.Fields("nh3_s").Value
                !n2o = rst.Fields("n2o_s").Value
                !energie = rst.Fields("energie_s").Value
                .Update
            End If
        End With
    End If
End With
rst.MoveNext
Loop

rst.Close
rst1.Close
rst2.Close

End Sub

Private Function checkRichtung() As Boolean

    checkRichtung = False
    If chkBeideRichtungen1.Value = True Then
        checkRichtung = True
    End If

End Function

'buttons / controls / ...
Private Sub DTPicker1_change()

    If DTPicker1.Value > DTPicker2.Value Then
        DTPicker2.Value = DTPicker1.Value
    End If
    cmbStunde1_Change

End Sub

Private Sub DTPicker2_change()

    If DTPicker2.Value < DTPicker1.Value Then
        DTPicker1.Value = DTPicker2.Value
    End If
    cmbStunde1_Change

End Sub

Private Sub MultiPage1_Change()
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        obtnSimple.Value = 1
    End If
End Sub

```



```
        obtnComplex.Value = 0
    Else
        obtnSimple.Value = 0
        obtnComplex.Value = 1
    End If
End Sub

Private Sub cmbStunde1_Change()

    If Val(cmbStunde1.Value) > Val(cmbStunde3.Value) Then
        cmbStunde3.Value = cmbStunde1.Value
    End If

End Sub

Private Sub cmbStunde3_Change()

    If DTPicker1.Value = DTPicker2.Value Then
        If Val(cmbStunde3.Value) < Val(cmbStunde1.Value) Then
            cmbStunde1.Value = cmbStunde3.Value
        End If
    End If

End Sub

Private Sub chkMonat1_Change()

    If chkMonat1.Value = True Then
        obtnEinMonat1.Enabled = True
        obtnVonBis1.Enabled = True
        If obtnEinMonat1.Value = True Then
            cmbMonat1.Enabled = True
            cmbMonat2.Enabled = False
            cmbMonat3.Enabled = False
            populateListBox5WithMonatNames
        Else
            cmbMonat1.Enabled = False
            cmbMonat2.Enabled = True
            cmbMonat3.Enabled = True
            populateListBox6WithMonatNames
        End If
    Else
        obtnEinMonat1.Enabled = False
        obtnVonBis1.Enabled = False
        cmbMonat1.Enabled = False
        cmbMonat2.Enabled = False
        cmbMonat3.Enabled = False
    End If

End Sub

Private Sub cmbMonat2_Change()

    populateListBox7WithMonatNames

End Sub

Private Sub cmdSelall_Click()

    chkCo.Value = True
    chkHc.Value = True
    chkNox.Value = True
    chkPm.Value = True
    chkNmhc.Value = True
    chkCo2.Value = True
    chkCh4.Value = True

End Sub
```

```
chkSo2.Value = True
chkBenzol.Value = True
chkToluol.Value = True
chkXylol.Value = True
chkEnergie.Value = True
chkN2o.Value = True
chkNh3.Value = True

End Sub

Private Sub cmdUnselAll_Click()

    chkCo.Value = False
    chkHc.Value = False
    chkNox.Value = False
    chkPm.Value = False
    chkNmhc.Value = False
    chkCo2.Value = False
    chkCh4.Value = False
    chkSo2.Value = False
    chkBenzol.Value = False
    chkToluol.Value = False
    chkXylol.Value = False
    chkEnergie.Value = False
    chkN2o.Value = False
    chkNh3.Value = False

End Sub

Private Sub obtnComplex_Click()

    MultiPage1.Value = 1
    UserForm1.Caption = "Emissionsberechnung 'complex mode'"
    populateListBox1WithAutobahnNames "asfinag_tag"
    populateListBox8WithTrafficNames

    If MultiPage1.Value = 1 Then
        DTPicker1.Value = "14.07.2008"
        DTPicker2.Value = "14.07.2008"
    End If

    cmbStunde1.ListIndex = 7
    cmbStunde3.ListIndex = 9
    chkBeideRichtungen1.Value = False
    chkBeideRichtungen1.Visible = False

End Sub

Private Sub obtnSimple_Click()

    MultiPage1.Value = 0
    UserForm1.Caption = "Emissionsberechnung 'simple mode'"
    populateListBox1WithAutobahnNames "asfinag_monat"
    chkBeideRichtungen1.Visible = True

End Sub

Private Sub obtnEinMonat1_Change()

    If obtnEinMonat1.Value = True Then
        populateListBox5WithMonatNames
    Else
        populateListBox6WithMonatNames
    End If

End Sub
```

```
Private Sub obtnEinMonat1_Click()

    If obtnEinMonat1.Value = True Then
        cmbMonat1.Enabled = True
        cmbMonat2.Enabled = False
        cmbMonat3.Enabled = False
        populateListBox5WithMonatNames
    Else
        cmbMonat1.Enabled = False
        cmbMonat2.Enabled = True
        cmbMonat3.Enabled = True
        populateListBox6WithMonatNames
    End If

End Sub

Private Sub obtnVonBis1_Change()

    If obtnVonBis1.Value = True Then
        populateListBox6WithMonatNames
    Else
        populateListBox5WithMonatNames
    End If

End Sub

Private Sub obtnVonBis1_Click()

    If obtnVonBis1.Value = True Then
        cmbMonat1.Enabled = False
        cmbMonat2.Enabled = True
        cmbMonat3.Enabled = True
        populateListBox5WithMonatNames
    Else
        cmbMonat1.Enabled = True
        cmbMonat2.Enabled = False
        cmbMonat3.Enabled = False
        populateListBox6WithMonatNames
    End If

End Sub

Private Sub chkBeideRichtungen1_Click()

    If chkBeideRichtungen1.Value = True Then
        lblBeideRichtungen2.Enabled = True
    Else
        lblBeideRichtungen2.Enabled = False
    End If

End Sub

Private Sub cmbAutobahn1_Change()

    cmbMonat1.Clear
    cmbJahr1.Clear
    cmbSegment1.Clear
    cmbRichtung1.Clear
    cmbMonat1.Clear
    cmbMonat2.Clear
    cmbMonat3.Clear
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        populateListBox2WithRichtungNames "asfinag_monat"
    Else
        populateListBox2WithRichtungNames "asfinag_tag"
    End If

End Sub
```

```
End If
End Sub
Private Sub cmbRichtung1_Change()
    cmbMonat1.Clear
    cmbJahr1.Clear
    cmbSegment1.Clear
    cmbMonat1.Clear
    cmbMonat2.Clear
    cmbMonat3.Clear
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        populateListBox3WithSegmentNames "asfinag_monat"
    Else
        populateListBox3WithSegmentNames "asfinag_tag"
    End If
End Sub
End Sub
Private Sub cmbSegment1_Change()
    cmbMonat1.Clear
    cmbJahr1.Clear
    cmbMonat1.Clear
    cmbMonat2.Clear
    cmbMonat3.Clear
    If MultiPage1.Value = 0 Then
        populateListBox4WithJahrNames "asfinag_monat"
    End If
End Sub
End Sub
Private Sub cmbJahr1_Change()
    cmbMonat1.Clear
    cmbMonat2.Clear
    cmbMonat3.Clear
    If chkMonat1.Value = True Then
        If obtnEinMonat1.Value = True Then
            populateListBox5WithMonatNames
        Else
            populateListBox6WithMonatNames
        End If
    Else
        cmbMonat1.Clear
        cmbMonat2.Clear
        cmbMonat3.Clear
    End If
End Sub
End Sub
Private Function checkBeginn(ByVal iJahr As Integer, ByVal bQest As Boolean) As Date
    Select Case bQest
    Case False
        checkBeginn = DateValue("01.01." & cmbJahr1)
    Case True
        If obtnEinMonat1.Value = True Then
            checkBeginn = DateValue("01." & cmbMonat1.Value & "." & cmbJahr1)
        Else
            checkBeginn = DateValue("01." & cmbMonat2.Value & "." & cmbJahr1)
        End If
    End Select
End Function
End Function
```

```
Private Function checkEnde(ByVal iJahr As Integer, ByVal bQest As Boolean) As Date

    Select Case bQest
    Case False
        checkEnde = DateValue("31.12." & cmbJahr1)
    Case True
        If obtnEinMonat1.Value = True Then
            checkEnde = DateValue(getAnzahlTage(Val(cmbMonat1.Value)) & "." & cmbMonat1.Value & _
                & "." & cmbJahr1)
        Else
            checkEnde = DateValue(getAnzahlTage(Val(cmbMonat3.Value)) & "." & cmbMonat3.Value & _
                & "." & cmbJahr1)
        End If
    End Select
End Function

Private Function getAnzahlTage(ByVal iMonat As Integer) As String

    Select Case iMonat
    Case 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12
        getAnzahlTage = "31"
    Case 4, 6, 9, 11
        getAnzahlTage = "30"
    Case 2
        If schaltjahr(Val(cmbJahr1.Value)) Then
            getAnzahlTage = "29"
        Else
            getAnzahlTage = "28"
        End If
    End Select
End Function

Private Function schaltjahr(ByVal iJahr As Integer) As Boolean

    If iJahr Mod 4 = 0 Then
        schaltjahr = True
    Else
        schaltjahr = False
        Exit Function
    End If

    If iJahr Mod 400 = 0 Then
        schaltjahr = True
        Exit Function
    End If

    If iJahr Mod 100 = 0 Then
        schaltjahr = False
    End If
End Function

Private Function checkEfa() As String

    checkEfa = ""
    If chkCo.Value = True Then
        checkEfa = checkEfa & "'CO'"
    End If
    If chkHc.Value = True Then
        checkEfa = checkEfa & ", 'HC'"
    End If
    If chkNox.Value = True Then
        checkEfa = checkEfa & ", 'NOx'"
    End If
End Function
```

```
End If
If chkNmhc.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'NMHC'"
End If
If chkPm.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'Part'"
End If
If chkCo2.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'CO2'"
End If
If chkSo2.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'SO2'"
End If
If chkCh4.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'CH4'"
End If
If chkBenzol.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'Benzol'"
End If
If chkToluol.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'Toluol'"
End If
If chkXylol.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'Xylol'"
End If
If chkNh3.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'NH3'"
End If
If chkN2o.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'N2O'"
End If
If chkEnergie.Value = True Then
    checkEfa = checkEfa & ", 'mKr'"
End If
If Left(checkEfa, 1) = "," Then
    checkEfa = Mid(checkEfa, 2, Len(checkEfa) - 1)
End If

End Function

Private Function checkPkw() As Boolean

    checkPkw = chkPkw.Value

End Function

Private Function checkLnf() As Boolean

    checkLnf = chkLnf.Value

End Function

Private Function checkBenzin() As Boolean

    checkBenzin = chkBenzin1.Value

End Function

Private Function checkDiesel() As Boolean

    checkDiesel = chkdiesel1.Value

End Function

Private Function checkSnf() As Boolean
```

```
        checkSnf = chkSnf.Value
End Function

Private Function checkRbus() As Boolean

    checkRbus = chkRbus.Value

End Function

Private Function checkBeladen() As Boolean

    checkBeladen = chkBeladen.Value

End Function

Private Function checkLeer() As Boolean

    checkLeer = chkLeer.Value

End Function

Public Sub populateListBox1WithAutobahnNames(ByVal sAsfinag As String)

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct autobahn from " & sAsfinag & " order by " & sAsfinag & ".autobahn", _
    cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    cmbAutobahn1.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbAutobahn1.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Public Sub populateListBox2WithRichtungNames(ByVal sAsfinag As String)

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct richtung from " & sAsfinag & " where autobahn = '" _
    & cmbAutobahn1.Value & "' and richtung <> 'gesamt' order by " & sAsfinag & ".richtung", cnnACC, _
    adOpenKeyset, adLockOptimistic

    cmbRichtung1.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbRichtung1.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Public Sub populateListBox3WithSegmentNames(ByVal sAsfinag As String)

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct segment from " & sAsfinag & " where autobahn = '" _
    & cmbAutobahn1.Value & "' and richtung ='" & cmbRichtung1.Value & "
```

```
"" order by " & sAsfinag & ".segment", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

cmbSegment1.Clear

Do While Not rst.EOF
    cmbSegment1.AddItem rst.Fields(0)
    rst.MoveNext
Loop

End Sub

Public Sub populateListBox4WithJahrNames(ByVal sAsfinag As String)

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct jahr from " & sAsfinag & " where autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value _
    & "' and richtung ='" & cmbRichtung1.Value & "' and segment = '" & cmbSegment1.Value _
    & "' order by " & sAsfinag & ".jahr", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

    cmbJahr1.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbJahr1.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Public Sub populateListBox5WithMonatNames()

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    If Not IsNumeric(cmbJahr1.Value) Then
        Exit Sub
    End If

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct monat from asfinag_monat where autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value _
    & "' and richtung ='" & cmbRichtung1.Value & "' and segment = '" & cmbSegment1.Value _
    & "' and jahr = " & cmbJahr1.Value & " order by asfinag_monat.monat", cnnACC, adOpenKeyset, _
    adLockOptimistic

    cmbMonat1.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbMonat1.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Public Sub populateListBox6WithMonatNames()

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    If Not IsNumeric(cmbJahr1.Value) Then
        Exit Sub
    End If

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct monat from asfinag_monat where autobahn = '" & cmbAutobahn1.Value _
```



```
& "" and richtung =" & cmbRichtung1.Value & "" and segment = "" & cmbSegment1.Value _
& "" and jahr = "" & cmbJahr1.Value & " order by asfinag_monat.monat", cnnACC, adOpenKeyset, _
adLockOptimistic

cmbMonat2.Clear
cmbMonat3.Clear

Do While Not rst.EOF
    cmbMonat2.AddItem rst.Fields(0)
    rst.MoveNext
Loop

End Sub

Public Sub populateListBox7WithMonatNames()

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    If Not IsNumeric(cmbMonat2.Value) Then
        Exit Sub
    End If

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct monat from asfinag_monat where autobahn = "" & cmbAutobahn1.Value _
& "" and richtung =" & cmbRichtung1.Value & "" and segment = "" & cmbSegment1.Value _
& "" and jahr = "" & cmbJahr1.Value & " and monat >= "" & cmbMonat2.Value & " order by _
asfinag_monat.monat", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

    cmbMonat3.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbMonat3.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Public Sub populateListBox8WithTrafficNames()

    Dim rst As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select distinct pattern from trafficpattern order by pattern", cnnACC, _
adOpenKeyset, adLockOptimistic
    cmbTraffic.Clear

    Do While Not rst.EOF
        cmbTraffic.AddItem rst.Fields(0)
        rst.MoveNext
    Loop

End Sub

Private Sub connectDB()

    Dim strDB, strConn As String

    'Set New connection
    Set cnnACC = New ADODB.Connection
    'String Database Path
    strDB = "C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\EmissionGIS.mdb"

    strConn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" & strDB _
& ";Persist Security Info=False"
```

```
'Open the connection
cnnACC.Open strConn

'Set new ADOX Catalog
Set adoCat = New ADOX.Catalog
'Allow active connection to the opened connection to enable use of the catalog
adoCat.ActiveConnection = cnnACC

End Sub

Private Sub killConnection()

'Clear Memory
Set cnnACC = Nothing: Set adoCat = Nothing

End Sub

Private Function checkAnzahlTage(ByVal sWoche As String) As Double

Select Case sWoche
Case "DTVMO", "DTVFR", "DTVSA", "DTVSO"
checkAnzahlTage = 1 / 7
Case "DTVDD"
checkAnzahlTage = 3 / 7
Case "DTVMF"
checkAnzahlTage = 5 / 7
Case "DTVMS"
checkAnzahlTage = 7 / 7
End Select

End Function

Private Function checkTimeBelow10(ByVal sDate As String, ByVal sField As String) As Long

Dim sTime As String

If sField = "1" Then
sTime = cmbStunde1.Value
Else
sTime = cmbStunde3.Value
End If

If Val(sTime) < 10 Then
sTime = "0" & sTime
End If
checkTimeBelow10 = Val(sDate & sTime)

End Function

'Abfrage der Länge des gesamten Mautstreckenabschnitts
Private Function getKm(ByVal sAutobahn As String, ByVal sBez As String) As Double

Dim pGDB As String
Dim pGDBFact As IWorkspaceFactory
Dim pGDBWsp As IFeatureWorkspace
Dim pFeatClass As IFeatureClass

Dim pQueryFilter As IQueryFilter
Dim pSelection As ISelectionSet
Dim pCursor As IFeatureCursor
Dim pDataStat As IDataStatistics

Dim dtotLength As Double
Dim pFeat As IFeature
Dim pPolyline As IPolyline
```

```
'Öffnen der File-GDB
pGDB = "C:\Master Thesis\Externe Kosten im Transport\Daten\geodaten\EmissionGIS.gdb"
Set pGDBFact = New esriDataSourcesGDB.FileGDBWorkspaceFactory
Set pGDBWsp = pGDBFact.OpenFromFile(pGDB, 0)

'Öffnen der Feature-Class
Set pFeatClass = pGDBWsp.OpenFeatureClass(sAutobahn)

'Query ausführen
Set pQueryFilter = New QueryFilter
pQueryFilter.WhereClause = "ABSCHNITT = '" & sBez & "'"
Set pSelection = pFeatClass.Select(pQueryFilter, esriSelectionTypeSnapshot, _
esriSelectionOptionNormal, Nothing)

'*****

Set pCursor = pFeatClass.Search(pQueryFilter, True)
Set pFeat = pCursor.NextFeature
dtotLength = 0#

Do While Not pFeat Is Nothing
  If pFeat.Shape.GeometryType = esriGeometryPolyline Then
    Set pPolyline = pFeat.Shape
  End If
  dtotLength = dtotLength + pPolyline.Length
  Set pFeat = pCursor.NextFeature
Loop

dLength_abschnitt = dtotLength / 1000
getKm = dtotLength / 1000

Set pGDBWsp = Nothing

End Function

'Rechne Emission-Factoren pro Fahrzeugschicht, Gewichtseinheit: Gramm
Private Function getEFA(ByVal sQstr As String, ByVal sEfa As String, ByVal sSchicht As String, _
ByVal iJahr As Integer, ByVal dkm As Double) As Double

  Dim rst As ADODB.RecordSet

  Set rst = New ADODB.RecordSet

  rst.Open "select " & sQstr & " * " & dkm & " as efa_kmtot from efa_ave_allcat_ab where ss = '" _
& sEfa & "' and fs_name ='" & sSchicht & _
"' and bezugsjahr = " & iJahr, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

  getEFA = rst.Fields("efa_kmtot").Value

End Function

'Query der Geschwindigkeit für V: durchschnitt, leer, beladen
Private Function getV(ByVal sQstr As String, ByVal sEfa As String, ByVal sSchicht As String, _
ByVal iJahr As Integer, Optional ByVal sVSFzg As String, Optional ByVal FzgKat As String, _
Optional ByVal VSit As String, Optional ByVal LNeig As Double) As Double

  Dim rst4 As ADODB.RecordSet

  Set rst4 = New ADODB.RecordSet
  If sMode = "simple-mode" Then
    rst4.Open "select " & sQstr & " from efa_ave_allcat_ab where ss = '" & sEfa _
& "' and fs_name ='" & sSchicht & "' and bezugsjahr = " & iJahr, cnnACC, adOpenKeyset, _
adLockOptimistic
  Else
  End If
```

```
rst4.Open "select " & sQstr & " from efa_" & FzgKat & " where ss = '" & sEfa _
& "' and fs_name ='" & sSchicht & "' and bezugsjahr = " & iJahr & " and vs = '" & VSit _
& "' and ln = '" & FNeigung(LNeig) & "'", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
End If

getV = rst4.Fields(0).Value

End Function

'Berechnung der aktuellen Geschwindigkeit für Pkw/Lnf bei geg. Verkehrsauslastung
Private Function speedFlowFunctionPkw(ByVal dQp As Double, ByVal dQgv As Double, _
ByVal iNoLanes As Integer, ByVal dGradient As Double) As Double

Dim dQtot As Double
Dim dF1, dF2, dF3 As Double

sArt = ""
dQtot = dQp + 2 * dQgv

Select Case iNoLanes
Case 2:
If dQtot <= 3900 Then
dF1 = 138.6
dF2 = 1.643 / 1000
sArt = "free"
End If
If (dQtot > 3900 And dQtot <= 4875) Then
dF1 = 3880.52
dF2 = 18.86
sArt = "bound"
End If
If dQtot > 4875 Then
sArt = "cong"
End If
Case 3:
If dQtot <= 5600 Then
dF1 = 143.1
dF2 = 1.157 / 1000
sArt = "free"
End If
If (dQtot > 5600 And dQtot <= 7000) Then
dF1 = 3880.52
dF2 = 18.86
sArt = "bound"
End If
If dQtot > 7000 Then
sArt = "cong"
End If
Case 4:
If dQtot <= 7500 Then
dF1 = 145.1
dF2 = 8.68 / 10000
sArt = "free"
End If
If (dQtot > 7500 And dQtot <= 9375) Then
dF1 = 3880.52
dF2 = 18.86
sArt = "bound"
End If
If dQtot > 9375 Then
sArt = "cong"
End If
End Select
```

```

Select Case sArt
  Case "free":
    speedFlowFunctionPkw = Round(dF1 - 8 * Exp(0.235 * dGradient) - 0.1 * _
      Exp(dF2 * dQtot), 0)
  Case "bound":
    speedFlowFunctionPkw = (Exp(((dQtot - dF1) / 1000)) + Exp(-((dQtot - dF1) / 1000))) _
      / (Exp(((dQtot - dF1) / 1000)) - Exp(-((dQtot - dF1) / 1000))) + dF2
  Case "cong":
    speedFlowFunctionPkw = 20
End Select

End Function

'Berechnung der aktuellen Geschwindigkeit für Snf/RBus bei geg. Verkehrsauslastung
Private Function speedFlowFunctionLkw(ByVal dQgv As Double, ByVal iNoLanes As Integer, _
  ByVal dGradient As Double) As Double

  Dim dF1, dF2, dF3 As Double
  Dim sArtTmp As String

  Select Case iNoLanes
    Case 2:
      Select Case dQgv:
        Case Is <= 650:
          dF2 = 9.218 / 1000
          sArtTmp = "free"
        Case Is <= 815:
          dF1 = 645.26
          dF2 = 18.93
          sArtTmp = "bound"
        Case Is > 815:
          sArtTmp = "cong"
      End Select
    Case 3:
      Select Case dQgv:
        Case Is <= 1300:
          dF2 = 4.609 / 1000
          sArtTmp = "free"
        Case Is <= 1625:
          dF1 = 1256.18
          dF2 = 17.17
          sArtTmp = "bound"
        Case Is > 1625:
          sArtTmp = "cong"
      End Select
    Case 4:
      Select Case dQgv:
        Case Is <= 1500:
          dF2 = 3.994 / 1000
          sArtTmp = "free"
        Case Is <= 1875:
          dF1 = 1455.58
          dF2 = 17.48
          sArtTmp = "bound"
        Case Is > 1875:
          sArtTmp = "cong"
      End Select
  End Select

  Select Case sArtTmp
    Case "free":
      speedFlowFunctionLkw = Round(86.1 - 6 * Exp(0.248 * dGradient) - 0.1 * Exp(dF2 * dQgv), 0)
    Case "bound":

```

```

        speedFlowFunctionLkw = (Exp(((dQgv - dF1) / 1000)) + Exp(-((dQgv - dF1) / 1000))) / _
        (Exp(((dQgv - dF1) / 1000)) - Exp(-((dQgv - dF1) / 1000))) + dF2
    Case "cong":
        speedFlowFunctionLkw = 20
    End Select

End Function

Private Function getVerkehrersSit(ByVal sType As String, ByVal dSpeed As Double, _
ByVal ssArt As String, ByVal iBaustelle As Integer, ByVal iNoLanes As Integer) As String

    If (sType = "pkw" Or sType = "lnf") Then
        If ssArt = "free" Then 'Frei fließender Verkehr
            If dSpeed <= 69 Then
                getVerkehrersSit = "AB_60"
            End If
            If (dSpeed > 69 And dSpeed <= 89) Then
                getVerkehrersSit = "AB_80"
            End If
            If (dSpeed > 89 And dSpeed <= 109) Then
                getVerkehrersSit = "AB_100"
            End If
            If (dSpeed > 109 And dSpeed <= 120) Then
                getVerkehrersSit = "AB_120"
            End If
            If dSpeed > 120 Then
                getVerkehrersSit = "AB>120"
            End If
            If iBaustelle = 1 Then
                If iNoLanes = 2 Then
                    getVerkehrersSit = "AB_Baust1"
                Else
                    getVerkehrersSit = "AB_Baust2"
                End If
            End If

        Else 'Gebundener Verkehr
            If ssArt = "bound" Then
                If dSpeed <= 40 Then
                    getVerkehrersSit = "AB_Stop+Go"
                End If
                If dSpeed <= 69 Then
                    getVerkehrersSit = "AB_60_gebunden"
                End If
                If (dSpeed > 69 And dSpeed <= 89) Then
                    getVerkehrersSit = "AB_80_gebunden"
                End If
                If (dSpeed > 89 And dSpeed <= 109) Then
                    getVerkehrersSit = "AB_100_gebunden"
                End If
                If (dSpeed > 109 And dSpeed <= 120) Then
                    getVerkehrersSit = "AB_120_gebunden"
                End If
                If iBaustelle = 1 Then
                    If iNoLanes = 2 Then
                        getVerkehrersSit = "AB_Baust1"
                    Else
                        getVerkehrersSit = "AB_Baust2"
                    End If
                End If
            Else 'Stau!!!
                getVerkehrersSit = "AB_Stop+Go"
            End If
        End If
    End If
End Function

```

```
If (sType = "snf" Or sType = "rbus") Then
  If ssArt = "free" Then 'Frei fließender Verkehr
    If dSpeed <= 69 Then
      getVerkehrersSit = "AB_60"
    End If
    If (dSpeed > 69 And dSpeed <= 89) Then
      getVerkehrersSit = "AB_80"
    End If
    If (dSpeed > 89 And dSpeed <= 109) Then
      getVerkehrersSit = "AB_100"
    End If
    If iBaustelle = 1 Then
      If iNoLanes = 2 Then
        getVerkehrersSit = "AB_Baust1"
      Else
        getVerkehrersSit = "AB_Baust2"
      End If
    End If

  Else 'Gebundener Verkehr
    If ssArt = "bound" Then
      If dSpeed <= 40 Then
        getVerkehrersSit = "AB_Stop+Go"
      End If
      If dSpeed <= 69 Then
        getVerkehrersSit = "AB_60_gebunden"
      End If
      If (dSpeed > 69 And dSpeed <= 89) Then
        getVerkehrersSit = "AB_80_gebunden"
      End If
      If (dSpeed > 89 And dSpeed <= 109) Then
        getVerkehrersSit = "AB_100_gebunden"
      End If
      If iBaustelle = 1 Then
        If iNoLanes = 2 Then
          getVerkehrersSit = "AB_Baust1"
        Else
          getVerkehrersSit = "AB_Baust2"
        End If
      End If
    Else 'Stau!!!
      getVerkehrersSit = "AB_Stop+Go"
    End If
  End If
End If

End Function

Private Function FNeigung(ByVal dNeigung As Double) As String

  Select Case dNeigung:
    Case Is <= -3:
      FNeigung = "-4%"
    Case Is < -1:
      FNeigung = "-2%"
    Case Is < 1:
      FNeigung = "+/-0%"
    Case Is < 2.9:
      FNeigung = "+2%"
    Case Else:
      FNeigung = "+4%"
  End Select

End Function
```

```
'Schreibt im Complex-Mode den ersten Teil der Ergebnisse in die Tabelle emission_res
Private Sub writeEmRes1(ByVal sQuery As String, ByVal sFzgtyp As String, ByVal sBel As String)

    Dim rst, rst1 As ADODB.RecordSet

    Set rst = New ADODB.RecordSet
    Set rst1 = New ADODB.RecordSet

    rst.Open sQuery, cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst1.Open "emission_res", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

    Do While Not rst.EOF
        With rst1
            If .Supports(adAddNew) Then
                .AddNew
                !calc_idx = writeIdxTable(2)
                !calc_id = iRand
                !FzgKat = sFzgtyp
                !fzgschicht = rst.Fields("subsegment").Value
                !ladung = sBel
                .Update
            End If
        End With
        rst.MoveNext
    Loop
    rst1.Close
    rst.Close

End Sub

Private Function checkSprittyp() As String

    If (chkBenzin1.Value = True And chkdiesel1.Value = True) Then
        checkSprittyp = ""
    Else
        If chkdiesel1.Value = True Then
            checkSprittyp = " and sprittyp = 'Diesel'"
        Else
            checkSprittyp = " and sprittyp = 'B-4T'"
        End If
    End If

End Function

Private Sub writeEmResCom(ByVal sEfaTab As String, ByVal sQpart As String, ByVal sAchsen As String, _
ByVal dAbsFzg As Double, ByVal sBel As String, ByVal iYear As Integer, ByVal sSS As String, _
ByVal sVs As String, ByVal sLn As String, ByVal sFs_Name As String, ByVal dLength As Double, _
ByVal iAbsch_id As Integer, ByVal iSeg_id As Integer, ByVal lYyyyymmddhh As Long)

    Dim rst, rst1, rst2 As ADODB.RecordSet
    Dim sEfa As String
    Dim iCnt, iCnt2 As Integer
    Dim iRand2 As Long

    Set rst = New ADODB.RecordSet
    Set rst1 = New ADODB.RecordSet
    Set rst2 = New ADODB.RecordSet

    rst.Open "select ss,vs,ln,fs_name,v,(efa" & sQpart & "*" & Replace(dLength, ",", ".") & "*" _
& Replace(dAbsFzg, ",", ".") & ") as EmFa from " & sEfaTab & " where bezugsjahr = " & iYear _
& " and ss in " & sSS & " and vs = '" & sVs & "' and ln = '" & sLn & "' and fs_name = '" _
& sFs_Name & "'", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
    rst.MoveFirst
```



```

rst1.Open "emission_res_complex", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
rst2.Open "emission_efa", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic

iCnt = 0
iCnt2 = 0

With rst1
  If .Supports(adAddNew) Then
    .AddNew
    Do While Not rst.EOF
      sEfa = rst.Fields("ss").Value
      If iCnt = 0 Then
        !calc_id = iRand
        iRand2 = writeIdxTable(3)
        !calc_idx = iRand2
        !segment_id = iSeg_id
        If Not Right(sEfaTab, 4) = "rbus" Then
          !FzgKat = Right(sEfaTab, 3)
        Else
          !FzgKat = Right(sEfaTab, 4)
        End If
        !fzgschicht = sFs_Name
        !Achsen = sAchsen
        !pattern = cmbTraffic.Value
        !vsituation = sVs
        !v = rst.Fields("v").Value
        !ladung = sBel
        !yyyyymmddhh = lYyyymmddhh
        iCnt = 1
      End If
      With rst2
        If iCnt2 = 0 Then
          If .Supports(adAddNew) Then
            .AddNew
            !calc_idx = iRand2
            !fzgcount = dAbsFzg
            !km_ges = dLength * dAbsFzg
            iCnt2 = 1
          End If
        End If
        If (sEfa <> "Part" And sEfa <> "mKr") Then
          .Fields(sEfa) = rst.Fields("EmFa").Value
        Else
          If sEfa = "Part" Then
            !pm = rst.Fields("EmFa").Value
          Else
            !energie = rst.Fields("EmFa").Value
          End If
        End If
        .Update
      End With
      rst.MoveNext
    Loop
    .Update
  End If
End With

rst.Close
rst1.Close
rst2.Close

End Sub

Private Function writeIdxTable(ByVal iNum As Integer) As Long

  Dim rst As ADODB.RecordSet

```

```
Dim sTname As String

Set rst = New ADODB.RecordSet

Select Case iNum
    Case 1:
        sTname = "emission_calc"
    Case 2:
        sTname = "emission_res"
    Case 3:
        sTname = "emission_res_complex"
End Select

rst.Open "idx_table", cnnACC, adOpenKeyset, adLockOptimistic
With rst
    If .Supports(adAddNew) Then
        .AddNew
        !tabname = sTname
        .Update
    End If
End With
rst.MoveLast
writeIdxTable = rst.Fields(0).Value

End Function
```

F. Literaturverzeichnis

- [AFFORD, 2000] MILNE D., NISKANEN E., VERHOEF E. (2000): Operationalisation of Marginal Cost Pricing within Urban Transport, Project AFFORD funded by the EC 4th RTD framework
- [AUSTAL2000, 2009] AUSTAL2000 (2009): Programmbeschreibung zu Version 2.4, Ingenieurbüro Janicke, Dunum,
http://www.austal2000.de/data/2009-02-03/austal2000_de.pdf (Stand 07/2009)
- [BARTELME N., 2005] BARTELME N. (2005): Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen. 4. Auflage, Springer, Berlin - Heidelberg, 2005
- [BRINKHOFF T., 2008] BRINKHOFF T. (2008): Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis, 2. Auflage, Wichmann - Heidelberg
- [BMU, 2002] BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002,
http://www.umweltbundesamt.de/luft/messeinrichtungen/TALuft_020724.pdf,
(Stand 2002, Zugriff: 2009-05-23)
- [EU, 2007] EU (Europäische Union) (2007): Amtsblatt der Europäische Union, VERORDNUNG (EG) Nr. 715/2007 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0016:DE:PDF>
(Stand: 2007, Zugriff: 2009-05-23). program, Deliverable 1, Project co-ordinator: VATT, Helsinki
- [FVT, 2003] EICHLSEDER H., HAUSBERGER S., (2003): Update der Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge nach EURO 3, Bericht Nr. FVT-45/03/Haus Em 6790-30 vom 22.12.2003
- [HÖCK M., MANEGOLD J., 2006] HÖCK M., MANEGOLD J., (2006): ArcMap Programmierung mit VBA, 4. Auflage, Buch mit CD im Eigenverlag

- [INFRAS, 1999] Umweltbundesamt Berlin (1999): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2 / Januar 1999, Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg
- [IPCC, 2007] IPCC, (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report - Summary for Policymakers, An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 12.-17. November 2007,
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- [KOLLARITS S., 1994] KOLLARITS S., (1994): Mobilität und GIS: Probleme der Repräsentation und Analyse., AGIT'94: Beiträge on-line,
<http://www.sbg.ac.at/geo/agit/papers94/skollar.htm> (Stand: 2007) (Zugriff: 2009-05-26)
- [LANGRAN G., CHRISMAN N., 1988] LANGRAN G., CHRISMAN N.R., (1988): A framework for temporal geographic information, CARTOGRAPHICA Vol 25 No 3 1988 pp 1-14
- [MAIBACH M., et al. 2008] MAIBACH M., SCHREYER C., SUTTER D., VAN ESSEN H.P., BOON B.H., SMOKERS R., SCHROTEN A., DOLL C., PAWLOWSKA B., BAK M.(2008): Handbook on the estimation of external costs in the transport sector, (Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT)), Version 1.1
- [NUHN H., HESSE M., 2006] NUHN H., HESSE M. (2006): Verkehrsgeographie, Grundriss Allgemeine Geographie, UTB 2687
- [RUPP C., et al. 2007] RUPP C., QUEINS S., ZENGLER B. (2007): UML 2 glasklar, Praxiswissen für die UML-Modellierung, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien
- [SCHREYER C., et al. 2004a] SCHREYER C., MAIBACH M., ROTHENGATTER W., DOLL C., SCHNEIDER C., SCHMEDDING D. (2004a): INFRAS/IWW, 2004a, External costs of transport: update study, Karlsruhe/-Zürich/Paris : the International Union of Railways (UIC), 2004
- [SINTON D., 1978] SINTON D. (1978) : The inherent structure of information as a constraint to analysis: Mapped thematic data as a case study. Harvard Papers on GIS, vol. 7, G. Dutton, ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley
- [VCÖ, 2008] VCÖ, (2008): Klimaschutz im Verkehr, VCÖ-Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“ 1/2008, Wien 2008, ISBN 3-901204-56