

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Umweltmeteorologie
Kfz-Emissionsbestimmung
Luftbeimengungen
Environmental meteorology
Determination of the emission
from motor vehicles
Air pollution

VDI 3782

Blatt 7 / Part 7

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

The draft of this guideline has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note	3
Glossar	4	Glossary	4
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	14	Symbols and abbreviations.	14
1 Einleitung	18	1 Introduction.	18
1.1 Ziel	18	1.1 Purpose	18
1.2 Methodik	19	1.2 Methods.	19
1.3 Emittenten.	22	1.3 Emitters.	22
1.4 Verkehrs- und Infrastrukturdaten	25	1.4 Traffic and infrastructure data	25
1.5 Ermittlung der Eingabedaten	27	1.5 Collecting the input data	27
1.6 Ergebnisse und Unsicherheiten	27	1.6 Results and uncertainties	27
2 Methodik der Emissionsbestimmung	28	2 Methods for determining the emissions	28
2.1 Verkehrs- und Infrastrukturdaten	29	2.1 Traffic and infrastructure data	29
2.2 Flottenzusammensetzung	47	2.2 Fleet composition.	47
2.3 Emissionsfunktionen und -faktoren.	50	2.3 Emission functions and factors	50
2.4 Startzuschläge.	76	2.4 Start additions.	76
2.5 Verkehrsflussmodellierung und Emissionsberechnung	88	2.5 Modelling the traffic flow and computing the emissions	88
2.6 Verkehrsflussparametrisierung und Emissionsberechnung	91	2.6 Parameterising the traffic flow and computing the emissions	91
2.7 Eingabedaten für die Ausbreitungs- rechnung	103	2.7 Input data for dispersion modelling	103
3 Unsicherheiten	104	3 Uncertainties	104
3.1 Einflussgrößen und Fehlerquellen bei der Emissionsbestimmung	105	3.1 Input data and sources of errors of the determination of emissions	105
3.2 Fehlerarten	108	3.2 Kinds of errors	108
3.3 Fehler der Eingangsgrößen	111	3.3 Errors of the input data	111
3.4 Ermittlung des Gesamtfehlers.	112	3.4 Calculating the total error.	112
3.5 Bewertung des mittleren Gesamtfehlers	113	3.5 Evaluating the mean total error.	113

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Arbeitsgruppe Kfz-Emissionsmodellierung
Ausschuss Luftqualität

	Seite		Page
Anhang A	Beispiel Ermittlung eines auf regionalen Fahrleistungsverteilungen beruhenden Pkw-Emissionsfaktors mit Hilfe des „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2 von 1999“	Annex A	Example for the determination of the emission factor of passenger cars by means of data on the regional distribution of mileages and the "Handbook of Emission Factors in Road Traffic Version 1.2 of 1999". . .
	115		115
Anhang B	Tagesgang der Lufttemperatur für die Bundesrepublik Deutschland zur Berücksichtigung von Kaltstartzuschlägen bei der Emissionsbestimmung von Kraftfahrzeugen	Annex B	Diurnal variation of the air temperature in the Federal Republic of Germany used for determining the cold start additions when computing emissions of motor vehicles
	119		119
Anhang C	Beispielrechnung Fehleranalyse.	Annex C	Example of an error analysis
C1	Stündliche Emissionen eines Autobahnabschnitts	C1	Hourly emissions on a section of motorway.
	122		122
C2	Fehlerbandbreiten der Eingangsdaten.	C2	Error ranges of the input data
	123		123
C3	Fehlerauswirkungen auf die Emissionsdaten	C3	Effects of the errors on the emission data
	126		126
C4	Gesamtfehlerabschätzung	C4	Estimation of the total error
	127		127
Anhang D	Temperatur der Umgebung der Kfz	Annex D	Air temperature in the environment of the motor vehicles
	129		129
Anhang E	Bestimmung der Kalt- bzw. Kühlstartanteile aller Fahrten	Annex E	Determining the cold and cool start portions of all trips.
	130		130
Anhang F	Fahrtweitenverteilung	Annex F	Distribution of travelled distances.
	137		137
Anhang G	Rechenbeispiel zum Kalt-/Kühlstart sowie Auswirkungen von veränderten Eingangsdaten auf das Emissionsergebnis	Annex G	Example of calculating cold and cool start additions and the effects of variations of the input data on the resulting emissions
	143		143
Anhang H	Beispiel Berechnung der Gesamtemission	Annex H	Example of the computation of the total emission
	148		148
Anhang I	Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten	Annex I	Vehicle concepts and vehicle layers
	151		151
Anhang J	Verkehrssituationen und Fahrmuster-mixe nach [16].	Annex J	Traffic situations and driving patterns according to [16].
	159		160
Anhang K	Emissionen in (Tief-)Garagen	Annex K	Emissions in garages and underground car parks
	176		176
Schrifttum	174	Bibliography	174

Vorbemerkung

In der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL – erarbeiten Fachleute aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung in freiwilliger Selbstverantwortung VDI-Richtlinien und DIN-Normen zum Umweltschutz. Diese beschreiben den Stand der Technik bzw. den Stand der Wissenschaft in der Bundesrepublik Deutschland und dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung und Anwendung von Rechts- und Verwaltungsvorschriften. Die Arbeitsergebnisse der KRdL fließen ferner als gemeinsamer deutscher Standpunkt in die europäische technische Regelsetzung bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und in die internationale technische Regelsetzung bei ISO (Internationale Organisation für Normung) ein.

Folgende Themenschwerpunkte werden in vier Fachbereichen behandelt:

Fachbereich I

„Umweltschutztechnik“

Produktionsintegrierter Umweltschutz; Verfahren und Einrichtungen zur Emissionsminderung; ganzheitliche Betrachtung von Emissionsminderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Luft, Wasser und Boden; Emissionswerte für Stäube und Gase; anlagenbezogene messtechnische Anleitungen; Umweltschutzkostenrechnung

Fachbereich II „Umweltmeteorologie“

Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre; störfallbedingte Freisetzungen; mikro- und mesoskalige Windfeldmodelle; Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen; meteorologische Messungen; angewandte Klimatologie; Lufthygienekarten; human-bio-meteorologische Bewertung von Klima und Lufthygiene; Übertragung meteorologischer Daten

Fachbereich III „Umweltqualität“

Wirkung von Luftverunreinigungen auf Mensch, Tier, Pflanze, Boden, Werkstoffe und Atmosphäre; wirkungsbezogene Mess- und Erhebungsverfahren; Erfassung und Wirkung mikrobieller Luftverunreinigungen; Olfaktometrie; Umweltsimulation

Fachbereich IV

„Umweltmesstechnik“

Emissions- und Immissionsmesstechnik für anorganische und organische Gase sowie für Partikel; optische Fernmessverfahren; Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Messen von Bodenluftverunreinigungen; Verfahren zur Herstellung von Referenzmaterialien; Prüfpläne für Messgeräte; Validierungsverfahren; Messplanung; Aus-

Preliminary note

In the Commission on Air Pollution Prevention of VDI and DIN – Standards Committee KRdL – experts from science, industry and administration, acting on their own responsibility, establish VDI guidelines and DIN standards in the field of environmental protection. These describe the state of the art in science and technology in the Federal Republic of Germany and serve as a decision-making aid in the preparatory stages of legislation and application of legal regulations and ordinances. KRdL's working results are also considered as the common German point of view in the establishment of technical rules on the European level by CEN (European Committee for Standardization) and on the international level by ISO (International Organization for Standardization).

The following topics are dealt with in four subdivisions:

Subdivision I

“Environmental Protection Techniques“

Integrated pollution prevention and control for installations; procedures and installations for emission control; overall consideration of measures for emission control with consideration given to the air, water and soil; emission limits for dusts and gases; plant-related measurement instructions; environmental industrial cost accounting

Subdivision II “Environmental Meteorology“

Dispersion of pollutants in the atmosphere; emissions from accidental releases; micro- and meso-scale wind field models; interaction between the atmosphere and surfaces; meteorological measurements; applied climatology; air pollution maps; human-biometeorological evaluation of climate and air hygiene; transfer of meteorological data

Subdivision III “Environmental Quality“

Effects of air pollutants on man, farm animals, vegetation, soil, materials, and the atmosphere; methods for the measurement and evaluation of effects; determination of microbial air pollutants and their effects; olfactometry; environmental simulation

Subdivision IV

“Environmental Measurement Techniques“

Techniques for emission and ambient air measurements of inorganic and organic gases as well as particulate matter; optical open-path measurement methods; measurement of indoor air pollutants; measurement of soil air pollutants; procedures for establishing reference material; test procedures for measurement devices; validation procedures;

werteverfahren; Qualitätssicherung

Die Richtlinien und Normen werden zunächst als Entwurf veröffentlicht. Durch Ankündigung im Bundesanzeiger und in der Fachpresse erhalten alle interessierten Kreise die Möglichkeit, sich an einem öffentlichen Einspruchsverfahren zu beteiligen. Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, dass unterschiedliche Meinungen vor Veröffentlichung der endgültigen Fassung berücksichtigt werden können.

Die Richtlinien und Normen sind in den sechs Bänden des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft zusammengefasst.

Glossar

Abgaskomponenten, limitierte

Bestandteile der → Kfz-Abgase, für die auf Grund von gesetzlichen Richtlinien und Verordnungen Grenzwerte definiert sind

Abgasminderungskonzept

Verfahren zur Verringerung der Schadstoffmenge im → Motorabgas (z.B. → G-Kat)

Abgasminderungskonzepte unterscheiden sich durch die zu Grunde liegenden gesetzlichen Vorschriften bzw. den technischen Entwicklungsstand der Minderungstechnik.

Abminderungsfaktor

Korrekturfaktor für → Kühlstarts bezogen auf den Kaltstartzuschlag. Hier: das Verhältnis aus Kühl- und → Kaltstartfaktor

Belastung einer Straße, zulässige

diejenige Verkehrsmenge in Motorfahrzeugen/h an einem bestimmten Straßenquerschnitt, die sowohl ein zügiges Fahren erlaubt als auch unzumutbare Nachteile für Anlieger und Nachbarn vermeidet

Bemessungsgeschwindigkeit

planerisch angestrebter Mittelwert der Reisegeschwindigkeit aller Pkw

Bemessungsverkehrsstärke

→ Verkehrsstärke, die neben der → Bemessungsgeschwindigkeit als „maßgebliche stündliche Verkehrsstärke“ die 2. Eingangsgröße beim Entwurf der Anlage einer Straße darstellt (siehe [55])

Cetanzahl

Maß für die Zündwilligkeit; Qualitätszeichen des Diesel-Kraftstoffs

measurement planning; evaluation methods; quality assurance

The guidelines and standards are first published as drafts. These are announced in the Bundesanzeiger (Federal Gazette) and in professional publications in order to give all interested parties the opportunity to participate in an official objection procedure. This procedure ensures that differing opinions can be considered before the final version is published.

The guidelines and standards are published in the six-volume VDI/DIN Reinhaltung der Luft (Air Pollution Prevention) manual.

Glossary

emission components, limited

components of the → automotive emissions, for which limit values are defined by ordinances and guidelines

exhaust gas cleaning concept

method for reducing the content of harmful components in → automotive emissions, e.g. → g-cat

Exhaust gas cleaning concepts differ by the legal requirements upon which they are based and by the state of the art of the cleaning technology.

reduction factor

correction factor for → cool starts applied to the cold start correction; here: ratio of cool start factor over → cold start factor

rated road capacity

the volume of traffic expressed as number of motor vehicles per hour at a given road cross section that allows continuous traffic flow and avoids unreasonable disadvantages for the neighbourhood

rated speed

planned average cruising speed of all passenger cars

rated traffic volume

Planned → traffic volume. As the representative number of motor vehicles per hour, it is besides the → rated speed the second input parameter to the design of a road (see [55]).

cetane number

number characterising the ignitability and quality of diesel fuel

Dauerlinie

Sortierung der stündlichen → Verkehrsstärken eines Jahres nach der Größe der Verkehrsstärke

DRIVE

EU-Forschungsprogramm über Telematik-Systeme im Verkehr (1988 bis 1994)

Emission

von einem → Kfz pro Meter Fahrstrecke bzw. pro Sekunde freigesetzte → Luftverunreinigung (Schadstoff) angegeben in Schadstoffmasse pro Strecke in g/m bzw. pro Zeit in g/s

Emissionsdichte

auf einer Straße freigesetzter Massenstrom der → Emission, angegeben in Masse der Emission pro Strecke und pro Zeit in g/(m · s)

Emissionsfaktor (Emittentengruppe Verkehr)

das auf ein → Kfz normierte Verhältnis der emittierten Masse M_e eines Stoffes zu einer Wegstrecke, einer Anzahl oder einer Zeiteinheit jeweils für einen spezifischen Vorgang:

- Kfz in Fahrt/im Betrieb: M_e /gefahrte Strecke
Angaben in g/(Fahrzeug · km)
- Kfz in der Startphase: M_e /Startvorgang
Angaben in g/(Fahrzeug · Startvorgang)
- Kfz in der Abstellphase (Heiß-/Warm-Abstellen, Tankatmung)
siehe → Verdampfungsemissionen

Emissionsfunktion

schichtspezifische → Emissionen in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v und dem Produkt aus Fahrzeuggeschwindigkeit und -beschleunigung $v \cdot b$

Emissionskataster

Zusammenstellung über Art, Menge, räumliche und zeitliche Verteilung (meist bezogen auf eine quadratische Fläche von der Größe 1 km² und 1 Jahr) von emittierten → Luftverunreinigungen

Die Emissionsdaten werden üblicherweise aufgeschlüsselt nach Emittentengruppen (z.B. Verkehr, Industrie und Gewerbe, Haus- und Kleinfeuerungen etc.).

EU-Richtlinie

vom Europäischen Parlament, vom Rat der Europäischen Union bzw. vom Rat der Europäischen Gemeinschaften behandelte bzw. verabschiedete Richtlinie

continuous line

hourly → traffic volumes in a year sorted by their magnitude

DRIVE

EU research program for telematic systems concerning road traffic (1988 through 1994)

emission

mass of → air pollutant emitted by a → motor vehicle per travelled meter or per second, expressed as g/m or g/s

emission density

mass flow of the → emission generated on a road, expressed as mass per distance and time, g/(m · s)

emission factor (emissions by traffic)

the ratio of the emitted mass M_e of a substance over a distance or over a number or over a unit time, specific to a mode of operation and related to one → motor vehicle:

- motor vehicle in motion or operating: M_e /travelled distance; expressed as g/(vehicle · km)
- motor vehicle in the starting phase: M_e /starting process; expressed as g/(vehicle · starting event)
- motor vehicle in shutting-down phase (hot or warm shutting down, tank respiration)
see → emissions by evaporation

emission function

→ emissions by a vehicle layer as functions of the vehicle speed v and of the product of vehicle speed times acceleration $v \cdot b$

emission inventory

collection of data about the type, amount, spatial and temporal distribution of → air pollution; usually referred to a square area of 1 km² and 1 year

The emission data are usually grouped according the emitter groups, e.g. traffic, industry and commerce, domestic heating etc.

EU directive

EU directive formulated or issued by the European Parliament, the Council of the European Union or the Council of the European Communities

Fahrleistung

Summe der von den Fahrzeugen auf einer bestimmten Straße bzw. Straßennetz innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z.B. ein Jahr) zurückgelegten Wegstrecken in Fahrzeugkilometer

Fahrmuster

charakteristisches → Fahrverhalten, beschrieben durch aufeinanderfolgende definierte Fahrzustände (z.B. Beschleunigung, Verzögerung, Konstantfahrt, Halt)

Fahrstreifen

für den fließenden → Verkehr in eine Fahrtrichtung bestimmter Teil einer Straße, der durch Fahrbahnmarkierungen oder Fahrbahnrand abgegrenzt ist
Die Anzahl der Fahrstreifen je Fahrtrichtung hat maßgeblichen Einfluss auf die → Leistungsfähigkeit einer Straße.

Fahrtketten

Eine Fahrtkette enthält alle Fahrten eines Fahrzeugs an einem bestimmten Tag mit den Angaben von Abfahrtsort, Abfahrtszeit und Zielbezirk. Die Fahrtkette setzt sich dabei aus mehreren → Quelle/Ziel-Beziehungen zusammen. Die Quelle steht hierbei für den Startpunkt einer Fahrt und führt zum Ziel der betrachteten Aktivität.

Fahrtweite

Entfernung, die ein → Kfz seit Beginn einer Fahrt bis zum Untersuchungszeitpunkt oder -ort zurückgelegt hat

Fahrverhalten

Variation der Geschwindigkeit über der Zeit (Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm) der Fahrzeug-Bewegungen auf einem typisierten Straßenstück während definierter → Verkehrszustände

Fahrwiderstand

Summe aller die Bewegung eines Fahrzeugs hemmenden Kräfte (z.B. Roll- und Luftströmungswiderstände)

Fahrzeugart

eine durch Differenzierung des Fahrzeugbestandes gebildete Klasse wie Pkw, leichte ($\leq 3,5$ t zulässige Gesamtmasse) und schwere → Nutzfahrzeuge ($> 3,5$ t zulässige Gesamtmasse), motorisierte Zweiräder

Fahrzeugkategorie

eine weitere Differenzierung der → Fahrzeugarten in Klassen wie z.B. Pkw in Personenwagen und Kombi-

mileage

sum of the distances travelled by all vehicles on a given road or road net in a given interval, e.g. one year; expressed as vehicle kilometres

driving pattern

characteristic → driving behaviour described by consecutive defined modes of driving such as acceleration, deceleration, constant speed, stop

traffic lane

part of a road designated for the flowing → traffic in one direction defined by markings on the pavement or by the edge of the road
The number of traffic lanes per direction has a significant bearing on the → capacity of a road.

trip chain

A trip chain contains all trips of a vehicle on a given day listing the point and time of departure and the destination area. The trip chain consists of several → origin/destination relations, the origin being the point of departure.

travelled distance

distance travelled by a → motor vehicle from the origin of the trip to the time or location of the investigation

driving behaviour

variation of the speed vs. time (graph of speed vs. time) of the vehicle movements on a given road section during defined → traffic situations

driving resistance

sum of all forces opposing the motion of a vehicle, e.g. rolling friction and aerodynamic resistance

vehicle type

group of vehicles with common characteristics such as passenger cars, light (max. total mass ≤ 3.5 t) and heavy → commercial vehicles (max. total mass > 3.5 t), motor bicycles

vehicle category

a subdivision of → vehicle type, e.g. passenger cars divided into limousines and station wagons or heavy

wagen oder schwere → Nutzfahrzeuge in Lastkraftwagen (= Solo-Lkw), Lastzüge und Sattelzüge, Linien- und Reisebusse (siehe Abschnitt 2.1.2.2 Tabelle 3)

Fahrzeugkonzept

Zusammenfassung von → Fahrzeugschichten zu Klassen mit gleichen → Motor- und → Abgasminde-
rungskonzepten

Fahrzeugschicht

eine durch Differenzierung der Kraftfahrzeugflotte gebildete Klasse von Fahrzeugen, die einer bestimmten → Fahrzeugkategorie, einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich der Abgasemission angehören und die damit aus technischer Sicht vergleichbar sind und ähnliches Emissionsverhalten zeigen

Fehler, systematischer

Fehler, der innerhalb des vorgegebenen Systems konstant ist bzw. sich nach bestimm-
baren Gesetzmäßigkeiten verändert; beschreibt die Genauigkeit bzw. Richtigkeit eines Modells oder Messsystems

Fehler, zufälliger

Fehler, der durch die Streuung von Einzelwerten um den arithmetischen Mittelwert bedingt ist; beschreibt die Präzision eines Modells oder Messsystems (auch: statistischer Fehler)

Flottenzusammensetzung

a) statisch

Zusammensetzung des gesamten Fahrzeugbestandes nach → Fahrzeugschichten

b) dynamisch

fahrleistungsgewichtete Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach → Fahrzeugschichten

G-Kat

in Abhängigkeit von der anteilmäßigen Zusammensetzung der Abgaskomponenten geregelter Katalysator

Ganglinie

grafische Darstellung der (absoluten oder relativen) → Verkehrsstärke (Gesamt-Kfz-Flotte oder Teilflotte) über der Zeit (z.B. Tagesstunden, Wochentage, Wochen oder Monate des Jahres)

Gesamtfehler, maximaler

Fehler aus Addition der Beträge aller Einzelfehler; auch als Größtfehler bezeichnet

→ commercial vehicles into lorries, lorries with trailers, tractor-trailers, public transport buses and tourist coaches (see Section 2.1.2.2, Table 3)

vehicle concept

assembly of → vehicle layers into a group with the same → motor concepts and the same → emission abatement concepts

vehicle layer

A subdivision of the motor vehicle fleet comprising vehicles of a given → vehicle category, a given weight class or piston displacement class, and of the same state-of-the-art of emission abatement; these vehicles are technically comparable and feature a similar emission behaviour.

error, systematic

error that stays constant within a given system or changes in a predictable way; it characterises the accuracy or correctness of a model or a measuring system

error, random

error caused by the deviation of the measurement data from their arithmetic mean; it characterises the precision of a model or measurement system (also called statistical error)

fleet composition

a) static

composition of the total vehicle fleet by → vehicle layers

b) dynamic

composition of the total vehicle fleet by → vehicle layers, weighted by → mileage

g-cat

exhaust gas catalytic converter controlled by the composition of the exhaust gas

function vs. time curve

curve representing a variable as a function of time, e.g. the absolute or relative → traffic volume (total or part of the motor vehicle fleet) vs. time (e.g. hours of the day, days of the week, weeks or months of the year)

maximum total error

error obtained by adding the absolute values of all individual errors; also called maximum error

Gesamtfehler, mittlerer

Fehler aus Kombination aller Einzelfehler nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz

Gesamtfehler, relativer

mittlerer → Gesamtfehler dividiert durch den Wert der betrachteten Größe (z.B. Gesamtemission *E*)

Kaltstart

Start eines → Kfz nach einer Abstelldauer länger als acht Stunden

Kaltstartanteil

Anteil der Kfz auf der Straße oder in einem Untersuchungsgebiet, die eine kaltstartbedingte Emissionsüberhöhung aufweisen

Kaltstartfaktor

das Verhältnis zwischen Kaltstartüberhöhung und Gesamtemission bei betriebswarmem Motor

Kaltstarttemperatur

Temperatur des → Kfz nach einer → Standzeit von mindestens acht Stunden. Es wird vereinfacht angenommen, dass dann die Temperatur des Kfz gleich der Umgebungstemperatur des Kfz ist.

Kapazität

siehe → Leistungsfähigkeit einer Straße bzw. zulässige → Belastung einer Straße und → Bemessungsverkehrsstärke

KONTIV

vom Bundesministerium für Verkehr in Auftrag gegebene kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten

Kraftfahrzeug (Kfz)

Sammelbegriff für alle Landfahrzeuge, die durch Motorkraft angetrieben werden und die nicht an Schienen gebunden sind

- Dazu zählen Automobile (Autos) und Kraft- bzw. Motorräder mit Verbrennungsmotor, batteriegetriebene und leitungsgebundene Elektrofahrzeuge sowie Zugmaschinen aller Art.
- Kraftfahrzeuge dienen zur Personenbeförderung und zum Gütertransport sowie als Sonderfahrzeuge (z.B. Arbeitsmaschinen, Feuerwehr, Militär).

Kühlstart

Start eines → Kfz nach einer Abstelldauer von 0,5 bis 8 Stunden

mean total error

error obtained by combining all errors according to the error propagation law

relative total error

mean → total error divided by the value of the measured quantity, e.g. total emission *E*

cold start

start of a motor vehicle after a parking time of more than eight hours

cold start portion

portion of the motor vehicles on the road or in an area of investigation that produce elevated emission levels due to cold starts

cold start factor

ratio of the emissions at cold start over the total emissions of the engine at operating temperature

cold start temperature

temperature of a → motor vehicle after a → parking time of at least eight hours. As a simplification it is assumed that the temperature of the motor vehicle equals the temperature of the ambient air.

capacity

see → road capacity; rated → rated road capacity and → rated traffic volume

KONTIV

continuous survey of traffic behaviour commissioned by the Federal Ministry of Transport

motor vehicle

designation for all terrestrial vehicles with motor propulsion that are not bound to tracks

- Motor vehicles comprise automobiles and motor bicycles with combustion engines, electric vehicles powered by batteries or power lines, and tractors of all kinds.
- Motor vehicles transport people and goods and serve as special vehicles for fire fighting, the military and as working machines.

cool start

start of a → motor vehicle after a parking time between 0.5 and 8 hours

Kühlstartfaktor

das Verhältnis zwischen Kühlstartüberhöhung und Gesamtemission bei betriebswarmem Motor

cool start factor

ratio of the emissions at cool start over the total emissions of the engine at operating temperature

Laufleistung

Summe der von einem Fahrzeug seit Inbetriebnahme bis dato zurückgelegten Wegstrecken in km

vehicle mileage

sum of all distances driven by a vehicle since its commissioning until now

Leistungsfähigkeit einer Straße

größtmögliche Verkehrsmenge an Motorfahrzeugen, die einen bestimmten Straßenquerschnitt in einer Stunde durchfahren kann

road capacity

largest possible number of vehicles that can pass a certain cross section of a road in one hour

Luftschadstoff

Beimengung der Luft, die die menschliche Gesundheit und Biosphäre gefährden kann

air pollutant

substance in the air that may be harmful for the human health and the biosphere

Luftverunreinigung

Beimengung der Luft, die die natürliche Zusammensetzung verändert

air pollution

substance in the air that changes its natural composition

makroskalig

übliche räumliche und zeitliche Einteilung bei atmosphärischen Strömungs- und Ausbreitungsmodellierungen von globalen Phänomenen mit einer Längenskala von ca. 1000 km bis größer 10 000 km und einer Zeitskala von Tagen bis Jahren; Beispiele: Ausbreitung radioaktiver Wolken bei Reaktorunfällen (Tschernobyl), Ausbreitung von Aschewolken bei Vulkanausbrüchen, Wetter- und Klimavorhersage

macroscopic

Customary designation of a spatial or temporal scale used in atmospheric convection and dispersion modelling of global phenomena. The scales range from approx. 1,000 km to greater than 10,000 km and from days to years. Examples are the dispersion of radioactive clouds released by nuclear accidents (Chernobyl), the convection of clouds of ash from volcanic eruptions, weather and climate forecasting.

Im Bereich der Verkehrssimulation wird die Endung „-skopisch“ verwendet.

In the field of traffic simulation the suffix ”-scopic“ is used.

makroskopisch

Makroskopische Modelle ermitteln wie → mesoskopische Modelle makroskopisch aggregierte Verkehrskenngrößen, jedoch für einen noch größeren Betrachtungsrahmen, beispielsweise für ein Land; vergleiche auch → mikroskopisch.

macroscopic

Macroscopic models calculate macroscopically aggregated traffic parameters for a larger area of investigation, e.g. a country, than → mesoscopic models; see also → microscopic.

mesoskalig

übliche räumliche und zeitliche Einteilung bei atmosphärischen Strömungs- und Ausbreitungsmodellierungen von regionalen Phänomenen mit einer Längenskala von ca. 1000 m bis 1000 km und einer Zeitskala von Minuten bis zu einem Tag; Corioliskraft ist nicht mehr vernachlässigbar; Beispiele: Schadstoffausbreitung von hohen Quellen (z.B. Kraftwerke), Ozonbildung, Land-Seewind, Flurwind, Berg-Talwind

mesoscalic

Customary designation of a spatial or temporal scale used in atmospheric convection and dispersion modelling of regional phenomena. The scales range from approx. 1,000 m to 1,000 km and from minutes to one day. Coriolis forces are not negligible. Examples are the dispersion of pollutants from tall sources (e.g. power plants); the formation of ozone; land and sea breezes; thermals; anabatic and katabatic winds.

Im Bereich der Verkehrssimulation wird die Endung „-skopisch“ verwendet.

In the field of traffic simulation the suffix ”-scopic“ is used.

mesoskopisch

Mesoskopische Modelle ermitteln aggregierte Verkehrskenngrößen durch ein dynamisches Verkehrsflussmodell ohne Modellierung des Bewegungsablaufes einzelner Fahrzeuge in Stadt- und größeren Schnellstraßennetzen; vergleiche auch → mikroskopisch.

mikroskalig

übliche räumliche und zeitliche Einteilung bei atmosphärischen Strömungs- und Ausbreitungsmodellierungen von lokalen Phänomenen mit einer Längenskala von ca. 10 m bis 1000 m und einer Zeitskala von Sekunden bis Minuten; Beispiele: Gebäudeumströmung, Schadstoffausbreitung bodennaher Quellen (z. B. Straßenverkehr), Deposition von Schadstoffen

Im Bereich der Verkehrssimulation wird die Endung „-skalig“ verwendet

mikroskopisch

Mikroskopische Modelle bilden das → Fahrverhalten und den Fahrtverlauf einzelner Fahrzeuge in einem räumlichen Bereich von einer Straßenkreuzung bis zur Größe einer Stadt ab.

In der Meteorologie wird die Endung „-skalig“ verwendet.

Motorabgas

die bei Verbrennungsmotoren durch den Verbrennungsprozess erzeugten Gase mit Anteilen an festen, flüssigen oder gasförmigen → Luftverunreinigungen

Motorkonzept

Unterscheidung nach dem dem motorischen Antrieb zu Grunde liegenden Wirkprinzip; bei Verbrennungsmotoren meist nur Unterscheidung in Antrieb mit Selbstzündung (Diesel-Motor) oder Fremdzündung (Otto-Motor)

Nutzfahrzeuge, leichte (bis 3,5 t zul. Gesamtmasse)

im Sinne dieser Richtlinie: Fahrzeuge bis 3,5 t zulässiger Gesamtmasse, die in der Pkw-Statistik als Kleinbusse und in der Nutzfahrzeugstatistik als Lkw registriert sind (sofern sie nicht mit Typen von Personen- und Kombinationskraftwagen emissionstechnisch identisch sind, die bereits mit den Pkw-Schichten abgedeckt sind), siehe z. B. [7]

Nutzfahrzeuge, schwere

(über 3,5 t zul. Gesamtmasse)

im Sinne dieser Richtlinie: Fahrzeuge über 3,5 t zulässiger Gesamtmasse zum Transport von Personen und Gütern; siehe auch → Fahrzeugkategorie

mesoscopic

Mesoscopic models determine aggregated traffic parameters by means of the dynamic simulation of the traffic flow on roads nets in towns and larger highway nets while disregarding the movements of individual vehicles; see also → microscopic.

microscalic

Customary designation of a spatial or temporal scale used in atmospheric convection and dispersion modelling of local phenomena. The scales range from approx. 10 m to 1,000 m and from seconds to minutes. Examples are convection flows about buildings; dispersion of pollutants from sources near groundlevel (e. g. road traffic); deposition of pollutants.

In the field of traffic simulation the suffix ”-scopic“ is used.

microscopic

Microscopic models simulate the → driving behaviour and the trips of individual vehicles in areas ranging from a road intersection to a town.

In meteorology the suffix ”-scalic“ is used.

engine exhaust gas

gas produced by the combustion of fuel in internal combustion engines containing solid, liquid and gaseous pollutants

engine concept

principle of operation of the propulsion unit; with internal combustion engines usually only the distinction between self-ignition (Diesel engine) and external ignition (Otto-cycle engine)

light commercial vehicles

(up to 3.5 t maximum total mass)

as used in this guideline: vehicles with a maximum total mass of up to 3.5 t that are listed as small buses in the statistics of passenger cars and as lorries in the statistics of commercial vehicles (unless they have an emission behaviour that is identical with that of passenger cars and station wagons and are therefore included in the class of passenger cars); see e. g. [7]

heavy commercial vehicles

(over 3.5 t maximum total mass)

as used in this guideline: vehicles with a maximum total mass greater than 3.5 t for the transport of people and goods; see also → vehicle category

Oktananzahl

Motoren- (MOZ) und Research-Oktananzahl (ROZ); Maße für die Klopfestigkeit von Treibstoffen

Parkdauer

Abstellzeit des → Kfz zwischen zwei Fahrten

Pkw-Einheit

Einheit, in die die unterschiedliche Höhe des Beitrags verschiedener → Fahrzeugarten und -kategorien zu verkehrlichen Kenngrößen umgerechnet werden kann; z.B. gängige Umrechnungsfaktoren bezüglich der → Verkehrsstärke: 1 Fahrrad = 0,3 Pkw-E, 1 Krad = 0,5 Pkw-E, 1 Pkw = 1 Pkw-E, 1 Lkw = 2 Pkw-E, 1 LZ = 1 SZ = 3,5 Pkw-E, 1 Bus = 2 Pkw-E

Quelle/Ziel

Die Quelle steht hierbei für den Startpunkt einer Fahrt und führt zum Ziel der betrachteten Aktivität.

Querverkehrsstörungen

Störeinflüsse durch Seitenstraßen, Einfahrten usw.

Reifenabrieb

verschleißbedingter Materialabtrag durch den Kontakt des Reifens mit der Fahrbahnoberfläche; Angaben in g/(km·Fahrzeug) bzw. g/(km·Reifen)

Schichtanteil

statistischer Anteil der → Fahrzeugschicht innerhalb einer → Fahrzeugart bzw. -kategorie

Standzeit

→ Parkdauer der → Kfz

Starttemperatur

Temperatur des → Kfz zum Fahrtbeginn

Startzuschlag

Emissionserhöhung des → Kfz in g/Start oder g/km zum Fahrtbeginn. Der Motor bzw. das Abgasreinigungssystem (Katalysator) befindet sich hier noch nicht im betriebswarmen → Zustand.

Straßentyp

Straßenart, die durch Merkmale wie Verbindungstyp (BAB, AO-Straße, IO-Straße), Streckenführung (z.B. gerade oder kurvig), Freizügigkeit (z.B. ohne Tempolimit, Tempolimit 60 oder vorfahrtsberechtigt) sowie Lage und Funktion (z.B. Stadtrand, Ortsteilverbindungsstraße) gekennzeichnet ist und der dadurch eine → Verkehrssituation oder eine Klasse von Ver-

octane rating

motor (MOZ) and research octane number (ROZ); antiknock rating of fuels

parking time

parking time of a → motor vehicle between two trips

passenger car unit

unit for comparing with each other the contributions of different → types and categories of vehicles to a traffic-related parameter; examples of usual conversion factors for the → traffic volume are: 1 bicycle = 0.3 passenger car units; 1 motor bicycle = 0.5 passenger car units; 1 passenger car = 1 passenger car unit; 1 lorry = 2 passenger car units; 1 lorry with trailer = 1 tractor-trailer = 3.5 passenger car units; 1 bus = 2 passenger car units

origin/destination

The current trip started at the origin and will end at the destination.

interference by cross traffic

disturbances due to side streets and driveways

tyre abrasion

abrasion of material due to friction between a tyre and the surface of the pavement; expressed in g/(km · vehicle) or in g/(km · tyre)

class fraction

fraction of the → vehicle type or → vehicle category that forms a → vehicle layer

parking time

→ parking time of → motor vehicles

start temperature

temperature of the → motor vehicle at the begin of the trip

start addition

Increase of the emissions of the → motor vehicle in g/start or g/km at the begin of the trip. The engine and the exhaust gas cleaning system (catalytic converter) have not yet reached their → operating condition.

type of road

Classification of a road by features such as road class (motorway, roads outside built-up areas (rural roads); roads in built-up areas (urban roads)); design (e.g. straight or winding); freedom of movement (e.g. without speed limits; speed limit 60; right-of-way); as well as location and function (e.g. outskirts; connecting town districts). A road can be related to a → traffic

kehrssituationen zugeordnet werden kann (siehe Abschnitt 2.6.1.2.2 Tabelle 18)

submikroskopisch

Submikroskopische Modelle simulieren das dynamische → Fahrverhalten eines Einzelfahrzeugs auf einer Strecke; vergleiche auch → mikroskopisch.

Tankatmung

→ Verdunstungsemission aus dem Tank, die im Wesentlichen von der Änderung der Umgebungstemperatur im Tagesverlauf abhängt; Angaben in g/(Fahrzeug · Tag)

US-FTP-75-Test

spezieller Fahrzyklus mit einem → Kaltstart- und einem Warmstartzyklus

Variationskoeffizient

Standardabweichung geteilt durch arithmetischen Mittelwert

Verdampfungsemission

entstehende → Emissionen durch Verdampfung (Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Aggregatzustand unterhalb des Siedepunktes unter Zuführung von Wärme; der Prozess vollzieht sich im Gegensatz zum Sieden nur an der Oberfläche der verdampfenden Flüssigkeit) wie z. B. beim Heiß-/Warm-Abstellen und bei der Fahrt („running losses“); betrifft hier nur die Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC) bei benzinbetriebenen Fahrzeugen

Verdunstungsemission

entstehende → Emissionen durch Verdunstung (Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Aggregatzustand unter Verbrauch von Wärme, die der Flüssigkeit und der Umgebung entzogen wird; der Prozess vollzieht sich im Gegensatz zum Sieden nur an der Oberfläche der verdunstenden Flüssigkeit) wie z. B. bei der Tankatmung; betrifft hier nur die Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC) bei benzinbetriebenen Fahrzeugen

Im Rahmen der Richtlinie wird Verdunstungsemission gleich Verdampfungsemission gesetzt.

Verkehr, fließend

Bezeichnung für die zu Fahrzwecken auf dem Straßen- und Wegenetz in Benutzung befindlichen → Kfz

Verkehr, ruhend

Bezeichnung für die auf öffentlichen und privaten Flächen abgestellten → Kfz

situation or class of traffic situations by means of its type designation (see Section 2.6.1.2.2, Table 18).

submicroscopic

Submicroscopic models simulate the dynamic → driving behaviour of a single vehicle on the road; see also → microscopic.

tank respiration

→ emission by evaporation from a fuel tank that depends essentially on the diurnal variation of the ambient air temperature; expressed as g/(vehicle · day)

US-FTP-75-test

special driving cycle with a → cold start and a warm start cycle

coefficient of variation

standard deviation divided by the arithmetic mean value

emissions by evaporation

→ Emissions caused by evaporation. (Evaporation is the transition of a liquid below its boiling point into the gaseous state consuming heat. In contrast to boiling, evaporation takes place only on the surface of the liquid.) Emissions by evaporation occur at hot or warm parking and during the trip (running losses); in the present context only emissions of hydrocarbons (HC) by Otto-cycle engines are considered.

emissions by volatilisation

→ Emissions caused by volatilisation. (Volatilisation is the transition of a liquid into the gaseous state consuming heat that is extracted from the environment. In contrast to boiling, volatilisation takes place only on the surface of the liquid.) Emission by volatilisation occurs e.g. with tank respiration. In the present context only emissions of hydrocarbons (HC) by Otto-cycle engines are considered.

In this guideline, the terms evaporation and volatilisation are considered to be synonymous.

flowing traffic

designates the → motor vehicles driving on roads

traffic at standstill

designates the motor vehicles that are parked in public or private spaces

Verkehrsablauf, gebundener (teilgebundener)

Verkehrsablauf, bei dem zu jeder Zeit oder an jeder Stelle sich alle Elemente des im fließenden Verkehr befindlichen Fahrzeug-Ensembles (wenigstens einige Elemente des Fahrzeug-Ensembles) nicht unabhängig voneinander bewegen

Verkehrsbelastung

Synonym für → Verkehrsstärke, wobei dieser Begriff verstärkt zum Ausdruck bringen soll, dass die jeweilige Verkehrsstärke mit einer → Verkehrssituation verknüpft ist, die sich aus dem Verhältnis der aktuellen Verkehrsstärke zur zulässigen → Belastung der Straße ergibt

Verkehrsfluss

Raum-Zeit-Variation der Bewegung einzelner Fahrzeuge (→ mikroskopisch) oder im Mittel von Fahrzeuggruppen (→ makroskopisch) auf einem Straßenabschnitt

Verkehrssituation

verkehrliche Gegebenheit, die durch die infrastrukturellen Parameter eines Straßenabschnittes (wie Funktion, Lage, Ausbaugrad, Kurvigkeit, Tempolimit) und den → Verkehrszustand charakterisiert wird und deren – mit ihr korrelierendes – → Fahrverhalten mit einer Linearkombination von → Fahrmustern wiedergegeben werden kann

Verkehrsstärke

Anzahl der einen Straßenquerschnitt passierenden Fahrzeuge je Zeiteinheit (z.B. DTV in → Kfz/24 h)

Verkehrszusammensetzung

statistische Zusammensetzung des gesamten Fahrzeugbestandes nach → Fahrzeugkategorien

Verkehrszustand

qualitative Beschreibung der Güte des Verkehrsflusses, Einteilung etwa in die Klassen „frei/teilgebunden/gebunden/Stau“ oder „ohne/geringe/mittlere/starke Störungen/Stau“

Warmemission

→ Emission eines → Kfz, dessen Motor die Betriebstemperatur erreicht hat

Wegzweck

Einteilung der Wege entsprechend ihrem Anlass für die Durchführung einer Ortsveränderung

Zustand, betriebswarmer

Der Motor und der Katalysator haben hier ihre Betriebstemperatur erreicht. Der Katalysator ist voll wirksam.

bound (partially bound) traffic

traffic situation in which at any time or at any place all (at least some) of the vehicles participating in the traffic flow cannot move independently of each other

traffic load

Synonymous term for → traffic volume. This term points to a relation between the current traffic volume and the → traffic situation that is characterised by the ratio of the current traffic volume over the → rated road capacity.

traffic flow

spatial and temporal variation of the movements of individual vehicles (→ microscopic) or of the average movement of groups of vehicles (→ macroscopic) on a road section

traffic situation

Traffic situation on a road that is defined by the infrastructure of the road section (e.g. function, location, road quality, windings, speed limit) and by the → traffic condition. The → driving behaviour that is correlated with the traffic situation can be described by a linear combination of → driving patterns.

traffic volume

number of vehicles per unit time passing a road cross section (e.g. DTV in → motor vehicles per 24 hours)

traffic composition

statistical composition of the whole traffic inventory by → vehicle categories

traffic condition

qualitative description of the traffic flow using classifying terms like "unimpeded – partially bound – bound – stop-and-go" or "without – little – medium – strong disturbances – stop-and-go"

warm emissions

→ emission of a → motor vehicle whose engine has reached operating temperature

purpose of a trip

classification of trips according to the purpose of changing the location

operating condition

The engine and the catalytic converter have reached their operating temperature. The catalytic converter is fully effective.

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

a	Laufleistungskorrekturfaktor
AB	Autobahn
AO	außerorts
$Af_{s,p}$	schichtspezifischer Abminderungsfaktor für Startzuschläge in Abhängigkeit von Parkdauer p (siehe Gleichung (7))
b	Fahrzeugbeschleunigung
BAB	Bundes-Autobahn
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des BImSchG
BTX	Benzol, Toluol und Xylole
c	Index Rasterfeld einer Emissionsfunktion
CNG	Compressed Natural Gas (Erdgas)
D	Deutschland
d	Index Rasterfeld einer Emissionsfunktion
DSV	durchschnittliche stündliche Verkehrsstärke
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, auf alle Tage des Jahres bezogener Mittelwert der einen Straßenquerschnitt täglich passierenden Fahrzeuge; in Kfz/24 h
$DTV_{J,k}$	DTV bezogen auf alle Tage des Bezugsjahres J , differenziert nach Fahrzeugkategorien k
DTV_{Mo-Fr}	DTV bezogen auf alle Tage, Montag bis Freitag, des Jahres
DTV_{Sa}	DTV bezogen auf alle Samstage des Jahres
DTV_{So}	DTV bezogen auf alle Sonn- und Feiertage des Jahres
E	Emission; in g/h oder g/km
$E_{c,d}$	schichtspezifische Emission für das Rasterfeld c, d der Emissionsfunktionen
E_{III}	Gesamtemissionen der Phase III des US-FTP-75-Tests bei Außenlufttemperatur 20 °C; in g
$E_{III,S}$	Emissionen in der Phase III des US-FTP-75-Tests bei Außenlufttemperatur 20 °C und zurückgelegter Fahrstrecke S ; in g
$E_{I,S,\vartheta}$	Emissionen in der Phase I des US-FTP-75-Tests bei Außenlufttemperatur ϑ und zurückgelegter Fahrstrecke S ; in g
EF	Emissionsfaktor

Symbols and abbreviations

a	correction factor of the mileage
AB	motorways
AO	outside built-up areas
$Af_{s,p}$	vehicle layer-specific reduction factor for start additions; depends on the parking time p (see Equation (7))
b	vehicle acceleration
BAB	national motorway
BAST	Federal Highway Research Institute
BImSchG	Federal Protection Act for Ambient Air
BImSchV	ordinance on the implementation of the BImSchG
BTX	benzene, toluene and xylenes
c	index of the raster grid of an emission function
CNG	compressed natural gas
D	Germany
d	index of the raster grid of an emission function
DSV	mean hourly traffic volume
DTV	mean daily traffic volume; average over one year of the number of vehicles passing a road cross section in 24 hours; expressed as motor vehicles/24 h
$DTV_{J,k}$	DTV pertaining to all days of the year J and the vehicle category k
DTV_{Mo-Fr}	DTV pertaining to all Mondays through Fridays of a year
DTV_{Sa}	DTV pertaining to all Saturdays of a year
DTV_{So}	DTV pertaining to all Sundays and holidays of a year
E	emission; expressed as g/h or g/km
$E_{c,d}$	vehicle layer specific emission in the raster field c, d of the emission functions
E_{III}	total emissions in phase III of the test US-FTP-75 at 20 °C ambient temperature; expressed as g
$E_{III,S}$	emissions in phase III of the test US-FTP-75 at 20 °C ambient temperature and travelled distance S ; in g
$E_{I,S,\vartheta}$	emissions in phase I of the test US-FTP-75 at ambient temperature ϑ and travelled distance S ; in g
EF	emission factor

EF_{FK}	Emissionsfaktor je Fahrzeugkonzept	EF_{FK}	emission factor per vehicle concept
F	Fahrmuster	F	driving pattern
Fz	Fahrzeug	Fz	vehicle
FK	Index Fahrzeugkonzept	FK	index for vehicle concept
$FL_{F,J}$	schichtspezifische mittlere Fahrleistung für das Fahrmuster F im Bezugsjahr J	$FL_{F,J}$	mean mileage of a vehicle layer pertaining to the driving pattern F and the year J
$FL_{F,MJ}$	schichtspezifische mittlere Fahrleistung für das Messkollektiv im Messjahr MJ	$FL_{F,MJ}$	mean mileage of a vehicle layer pertaining to the year of measurement MJ
$fl_{F,k}$	Anteil der Fahrleistung des Fahrmusters F an der Gesamtfahrleistung der Fahrzeugkategorie k	$fl_{F,k}$	fraction of the total mileage of vehicle category k that pertains to the driving pattern F
$fl_{k,s}$	Anteil der Fahrleistung der Fahrzeugschicht s an der Gesamtfahrleistung der Fahrzeugkategorie k	$fl_{k,s}$	fraction of the total mileage of vehicle category k that pertains to the vehicle layer s
FID	Flammenionisationsdetektor	FID	flame ionisation detector
GC	Gaschromatographie	GC	gas chromatography
GL	geographische Länge	GL	geodetic longitude
G-Kat	geregelter Katalysator	G-Kat	controlled catalytic converter
h	Häufigkeit	h	frequency
$h_{F,c,d}$	Häufigkeit für das Rasterfeld c, d im Fahrmuster F	$h_{F,c,d}$	frequency pertaining to the raster field c, d and the driving pattern F
HC	Summe der Kohlenwasserstoffe gemessen mit Flammenionisationsdetektor	HC	all hydrocarbons measured by flame ionisation detection
h_p	Häufigkeit der Parkzeit mit Dauer von p bis $p + 1$ h	h_p	frequency of parking times lasting between p and $p + 1$ h
h_S	Häufigkeit der Fahrten mit einer Weite von $S - 1$ bis S Kilometern	h_S	frequency of travelled distances between $S - 1$ and S kilometres
HV_J	Hochrechnungsfaktor für die Interpolation der Verkehrsstärke im Bezugsjahr J aus einem anderen Bezugsjahr	HV_J	conversion factor for interpolating the traffic flow in the year J from the traffic flow of another year
IO	innerorts	IO	in built-up areas
j	Index Rasterfeld einer Emissionsfunktion	j	index of a raster field of an emission function
k	Index Fahrzeugkategorie	k	index of a vehicle category
$k_{s,p,\vartheta}$	schichtspezifischer Startzuschlag in g/km bei Parkdauer p und Außenlufttemperatur ϑ	$k_{s,p,\vartheta}$	start addition pertaining to a vehicle layer s , parking time p and ambient air temperature ϑ
Ka	Index Kaltstart	Ka	index for cold start
$KF_{s,\vartheta}$	Kaltstartfaktor in Abhängigkeit von der Fahrzeugschicht s und der Außenlufttemperatur ϑ ; in g	$KF_{s,\vartheta}$	cold start factor pertaining to the vehicle layer s and the ambient air temperature ϑ ; expressed as g
Kfz	Kraftfahrzeug	Kfz	motor vehicle
Kü	Index Kalt- und Kühlstart	Kü	index for cold and cool start
$KüF_{s,p,\vartheta}$	schichtspezifischer Kühlstartfaktor nach Parkdauer p und der Außenlufttemperatur ϑ	$KüF_{s,p,\vartheta}$	cool start factor pertaining to vehicle layer s , parking time p and ambient air temperature ϑ
L	Längsneigungsklasse	L	class of road gradient
l	Länge eines Straßenabschnitts; in km	l	length of a road section; in km
LB	Linienbus	LB	public transport bus
Lkw	Lastkraftwagen	Lkw	lorry

INfz	leichtes Nutzfahrzeug (Fahrzeug-Gesamtmasse $\leq 3,5$ t)	INfz	light commercial vehicle (total mass ≤ 3.5 t)
LSA	Lichtsignalanlage	LSA	traffic light system
LZ	Lastzug	LZ	lorry with trailer(s)
M	Index Monat	M	index for month
MR	Motorrad	MR	motor bicycle
max	Index für mittleres Tagesmaximum der Außenlufttemperatur	max	index for the mean maximum of the diurnal ambient air temperature
min	Index für mittleres Tagesminimum der Außenlufttemperatur	min	index for the mean minimum of the diurnal ambient air temperature
MOZ	a) innerhalb des Richlinientextes: Motorenoktanzahl b) in Anhang B: mittlere Ortszeit	MOZ	a) in the text of this guideline: motor octane number b) in Annex B: mean local time
<i>mKr</i>	Kraftstoffverbrauch, massebezogen	<i>mKr</i>	fuel consumption expressed as mass
N	Anzahl Tage	N	number of days
<i>n</i>	Anzahl der Einzelmesswerte bzw. Stichprobenumfang	<i>n</i>	number of individual measurements; sample size
Nfz	Nutzfahrzeug	Nfz	commercial vehicle
NMHC	Nichtmethankohlenwasserstoffe	NMHC	non-methane hydrocarbons
NN	Normalnull; die für alle deutschen Höhenmessungen verwendete Be- zugsfläche in Höhe des mittleren Was- serstandes des Amsterdamer Pegels	NN	reference sea level; level to which all German altitude measurements are re- ferred; mean sea level in Amsterdam
NO _x	im Sinne der Richtlinie: Summe von NO und NO ₂	NO _x	in this guideline: sum of NO and NO ₂
<i>p</i>	Parkdauer in Stunden	<i>p</i>	parking time in hours
Part	Partikel	Part	particulates
Pkw	Personenkraftwagen	Pkw	passenger car
PM10 bzw. PM2,5	Partikeln, die einen gröbselektieren- den Lufteinlass passieren, der für ein Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm bzw. 2,5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist	PM10 or PM2.5	particles that pass a size-selective ori- fice that retains 50 % of all particles with an aerodynamic diameter of 10 µm or 2.5 µm, respectively
<i>q</i>	Verkehrsstärke in Fz pro Zeiteinheit	<i>q</i>	traffic volume in vehicles per unit time
RB	Reisebus	RB	tourist coach
RME	Rapsölmethylester (auch Bio-Diesel genannt)	RME	rape methyl ester, also called bio-die- sel
ROZ	Research-Oktanzahl, Maß für die Klopffestigkeit von Kraftstoffen	ROZ	research octane number, antiknock rating of motor fuels
<i>S</i>	Fahrstrecke; in km	<i>S</i>	travelled distance; in km
<i>s</i>	Index Fahrzeugschicht	<i>s</i>	index for vehicle layer
<i>S</i> _{III}	Fahrstreckenlänge der Phase III des US-FTP-75-Tests (5,777 km)	<i>S</i> _{III}	travelled distance of phase III of the US-FTP-75-Test (5.777 km)
SZ	Sattelzug	SZ	tractor-trailer
<i>SE</i> _F	schichtspezifischer Emissionsfaktor für das Fahrmuster F; in g/h oder g/km	<i>SE</i> _F	class specific emission factor for the driving pattern F; in g/h or g/km
<i>SE</i> _{F,L}	Schichtspezifischer Emissionsfaktor für das Fahrmuster F und Längs- neigungsklasse L; in g/km	<i>SE</i> _{F,L}	class specific emission factor for the driving pattern F and the gradient class L; in g/km

$SE_{F, LG}$	laufleistungskorrigierter schichtspezifischer Emissionsfaktor für das Fahr- muster F; in g/km	$SE_{F, LG}$	class specific emission factor for the driving pattern F, weighted by mile- age; in g/km
SrV	System repräsentativer Verkehrs- befragungen	SrV	system of representative traffic inter- views
SVZ	Straßenverkehrszählung, siehe [2]	SVZ	traffic counting campaign; see [2]
sNfz	schweres Nutzfahrzeug (Fahrzeug- Gesamtmasse > 3,5 t)	sNfz	heavy commercial vehicles; vehicles with a total mass > 3.5 t
t	Zeit	t	time
t_{Student}	Student-Faktor	t_{Student}	Student's factor
TA	Tankatmung	TA	tank respiration
U-Kat	ungeregelter Katalysator	U-Kat	uncontrolled catalytic converter
v	Fahrzeuggeschwindigkeit	v	vehicle speed
VB	Vertrauensbereich	VB	confidence range
VS	Verkehrssituation	VS	traffic situation
VOC	flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)	VOC	volatile organic compounds
WH	Warm- und Heißabstellen	WH	warm and hot parking
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert	$\bar{x}$	arithmetic mean
x_i	Eingangsgröße	x_i	input variable
Z_h	Anteil der stündlichen Fahrleistung an der Jahresfahrleistung	Z_h	hourly mileage as fraction of the yearly mileage
ΔE	maximaler Gesamtfehler	ΔE	maximum total error
$\overline{\Delta E}$	mittlerer Gesamtfehler	$\overline{\Delta E}$	mean total error
ΔE_i	Fehler der Emission E , verursacht durch den Fehler der Eingangsgröße E_i	ΔE_i	error of the emission due to the input error E_i
$\overline{\Delta E}_{\text{rel}}$	relativer Gesamtfehler	$\overline{\Delta E}_{\text{rel}}$	relative total error
$\Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S}$	kaltstartbedingter Schichtzuschlag; in g (Start bei Außenlufttemperatur ϑ nach Fahrstrecke S)	$\Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S}$	class specific cold start addition in g (start after a travelled distance S at the ambient air temperature ϑ)
$\Delta SE_{\text{Kü}, \vartheta, S, p}$	kalt- und kühlstartbedingter Schicht- zuschlag; in g (Start nach Parkdauer p bei Außenlufttemperatur ϑ nach Fahr- strecke S)	$\Delta SE_{\text{Kü}, \vartheta, S, p}$	class specific cold and cool start addi- tion in g (start after a parking time p at the ambient air temperature ϑ and after the travelled distance S)
Δx_i	Fehlerbandbreite der Einzelwerte der Eingangsgröße i , z.B. Standardabwei- chung	Δx_i	error range of the input values of the input variable x_i ; e. g. standard devia- tion
$\Delta \bar{x}_i$	Fehlerbandbreite des arithmetischen Mittelwerts der Eingangsgröße x_i	$\Delta \bar{x}_i$	error range of the arithmetic mean of the input variable x_i
ϑ	Außenlufttemperatur in °C	ϑ	ambient air temperature in °C

1 Einleitung

1.1 Ziel

In der vorliegenden Richtlinie werden alle Probleme behandelt, die bei der Bestimmung der → Emissionen¹⁾ durch den → Kfz-Verkehr auftreten und die mit einer Belastung der Atmosphäre mit → Luftschadstoffen zu tun haben. Dies betrifft sowohl den fließenden als auch den ruhenden → Verkehr, wie kurzzeitige Fahrtunterbrechungen, Betriebspausen sowie länger ausgedehntes Abstellen. In erster Linie handelt es sich dabei um Abgasemissionen, → Verdampfungsemissionen und → Reifenabrieb. Darüber hinaus lassen sich auch Informationen zum Energie- bzw. Kraftstoffverbrauch gewinnen.

Anwendungsgebiete liegen insbesondere im Vollzug rechtlicher Regelungen und Vorschriften. Dies bezieht sich in erster Linie auf → EU-Richtlinien [G1 bis G5], das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [G6] und das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) [G7]. Beim BImSchG betrifft das vor allem die Umsetzung der 22. und 23. BImSchV [G8; G9] im Verbund mit der zugehörigen „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen bei Überschreiten von Konzentrationswerten nach der 23. BImSchV (VwV-StV-ImSch)“ [G10] und die Erstellung von → Emissionskatastern und Plänen zur Luftreinhaltung. Dazu zählt auch der Einsatz der Richtlinie im Rahmen der Planungsinstrumente im Städtebau (unter anderem Bauleitplan, Verkehrsentwicklungsplan) und bei der Bereitstellung von Eingangsdaten für Modelle zur Berechnung der Ausbreitung und chemischen Umwandlung verkehrsbedingter Schadstoffe in der Atmosphäre.

Eingangsgrößen sind im Wesentlichen die spezifischen Emissionen der Kfz (→ Emissionsfaktoren) und Kenngrößen der Straßeninfrastruktur und des Verkehrs sowie die Zeitdauer der Emission bzw. die Streckenlänge. Als Ergebnis erhält man die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch als zeitliches Mittel in räumlicher und zeitlicher Differenzierung.

Die Richtlinie beschreibt Verfahren zur Bildung von repräsentativen zeitlichen Mittelwerten der Eingangsdaten und zur Bestimmung von Zeitreihen der Emission. Aus diesen Zeitreihen lassen sich die interessierenden statistischen Kenngrößen im Bezugszeitraum, vornehmlich Mittelwerte, Spitzenwerte und Häufigkeitsverteilungen ermitteln.

Die dargestellten Verfahren sind ausgerichtet auf die Ermittlung von Emissionen, die in Zeitintervallen von wenigen Minuten bis zu einer Dauer von einem

1 Introduction

1.1 Purpose

The present guideline deals with all problems that are connected with the determination of the → emissions¹⁾ caused by → motor vehicle traffic and with the contribution to the degradation of atmospheric quality by → air pollutants. Both the flowing and the traffic at standstill → traffic such as short-term driving interruptions, driving breaks and motor vehicles parked for longer intervals are covered. The main objectives are emissions from the tail pipe, → emissions by evaporation and → tyre abrasion. Moreover, it provides information on energy and fuel consumption.

It finds its application in the execution of legal ordinances and regulations. Primarily addressed are EU directives [G1 to G5], the Federal Protection Act for Ambient Air (BImSchG) [G6] and the Act on Environmental Compatibility (UVPG) [G7]. In particular, the 22nd and 23rd BImSchV [G8; G9] are concerned together with the related "General Ordinance on Traffic Control Measures at Concentration Values that Exceed the Limits of 23rd BImSchV" (VwV-StV-ImSch) [G10] and the preparation of → emission inventories and strategies for air quality protection. Other areas of application of the guideline are in urban planning and traffic planning, also in providing input parameters of models for calculating the dispersion and chemical conversion of atmospheric pollutants generated by traffic.

The input parameters are primarily the emissions specific for motor vehicles (→ emission factors), parameters characterising the road and street system and traffic, and the duration of the emission or the lengths of distances covered. As results the temporal averages of the emissions and the fuel consumption and their spatial and temporal distributions are obtained.

The guideline describes methods for forming representative temporal means of the input parameters and for determining time series of the emissions. These time series may be evaluated to obtain statistical parameters of interest for the investigated period, especially mean values, peak values and frequency distributions.

The presented methods focus on determining emissions that arise in time intervals ranging from a few minutes to one year and in areas ranging from a road

¹⁾ Die im laufenden Text mit „→“ markierten Begriffe – nur bei erstmaliger Nennung im Text – sind im Glossar erklärt.

¹⁾ Words marked by "→" (only at their first appearance in the text) are explained in the glossary

Jahr entstehen und räumlich dem Bereich einer Straßenkreuzung bis zur Größe einer Region zugeordnet werden können.

Die zeitliche und räumliche Auflösung der Eingangsdaten bestimmt auch die Untergrenze der räumlichen bzw. zeitlichen Auflösung der Emissionen.

Die hier beschriebenen Verfahren gestatten die Ermittlung der Emission sowohl von einem Einzelfahrzeug als Repräsentanten einer Gruppe von Kfz mit gleichartigem Emissionsverhalten (→ Fahrzeugschicht) wie auch von einer Vielzahl von Kfz aus unterschiedlichen „Kfz-Schichten“.

Die Richtlinie wendet sich an Fachleute mit einschlägiger Ausbildung oder Erfahrung. Anwender sind Immissionsschutzbehörden, Planungsämter, Straßenverkehrs- und Straßenbaubehörden, Ingenieurbüros sowie Fachleute aus dem wissenschaftlichen Bereich.

Bei einer Gesamtschau der Emissionen sind neben dem Straßenverkehr weitere Emissionsquellen wie z.B. Flugzeuge und Schiffe, Kraft- und Heizwerke, Industrieanlagen, gewerbliche und landwirtschaftliche Betriebe, Haus- und Kleinf Feuerungen sowie Quellen im Bereich privater Haushalte zu berücksichtigen.

Die Richtlinie beschränkt sich auf die Kfz-Emissionen aus Diesel- und Otto-Motoren bei der Nutzung mit Diesel- und Otto-Kraftstoff. „Alternative Kraftstoffe“, wie z.B. RME und CNG, werden nicht betrachtet. Alternative Antriebskonzepte wie z.B. der Elektroantrieb mit Brennstoffzelle werden ebenfalls nicht behandelt. Diese Richtlinie behandelt Straßenantrieb und Staubaufwirbelung nicht.

Weitere Informationen zur Richtlinie (z.B. an der Erstellung der Richtlinie beteiligte Mitarbeiter, kurze Darstellungen geeigneter Rechenprogramme usw.) können abgerufen werden unter der URL: <http://www.vdi.de/kfz-emissionsbestimmung>

1.2 Methodik

Die Vorgehensweise bei der Emissionsbestimmung ist grundsätzlich für alle Anwendungsfälle identisch. Die Massen der emittierten Stoffe werden durch eine Summation der fahrzeug-, zeit- und streckenspezifischen Emissionen über alle betrachteten Fahrzeuge sowie über Zeit und Raum bestimmt.

In dieser Richtlinie wird ausschließlich die Berechnung der Abgas- und Verdampfungsemissionen sowie des Reifenabriebs berücksichtigt.

Folgende Parameter bestimmen die spezifischen Abgasemissionen:

intersection to a region.

The temporal and spatial resolution of the input parameters define the lower limits of the temporal and spatial resolution of the emissions.

The methods described here concern the determination of the emission of both an individual vehicle that is representative for a group of motor vehicles with similar emission behaviour (→ vehicle layer) and a multitude of motor vehicles from different motor vehicle layers.

The guideline is intended to be used by professionals with relevant training and experience. Users will be authorities concerned with air quality protection, planning offices, road traffic and road construction authorities, engineering consultants and specialists from the scientific community.

For a comprehensive evaluation of the emissions other sources besides road traffic must be considered, e.g. aircraft and ships, power and heating plants, industrial plants, commercial and agricultural enterprises, domestic heating and small firing places as well as sources in private homes.

The guideline is restricted to emissions from motor vehicles with carburettor and diesel engines burning petrol and diesel fuel. "Alternative fuels" such as RME and CNG are not considered. Alternative propulsion concepts like fuel cell powered electric propulsion are also ignored. This guideline does not deal with road pavement abrasion and re-entrainment of dust.

Further information about the guideline, e.g. authors contributing to the guideline, brief descriptions of useful computer code etc. may be downloaded from the URL:

<http://www.vdi.de/kfz-emissionsbestimmung>

1.2 Methods

The procedure for determining emissions is in principle the same for all applications. The masses of the emitted substances are found by summing the emissions specific for each vehicle, time and road section over all vehicles, times and locations.

This guideline deals exclusively with calculating tail pipe emissions, emissions from evaporation and from tyre abrasion.

The following parameters determine the specific exhaust gas emissions:

- Motorbauart
- Abgasnachbehandlungsverfahren
- thermischer Zustand des Motors und des Abgasnachbehandlungssystems
- aktuelles → Fahrverhalten
- → Fahrwiderstände
- Klima und Orographie
- technischer Zustand des Fahrzeugs
- Kraftstoffart und -zusammensetzung

Die spezifischen Verdampfungsemissionen werden durch die folgenden Parameter festgelegt:

- thermischer Zustand des Kraftfahrzeugs
- Umgebungstemperatur
- Art des Tankentlüftungssystems
- Werkstoffe der kraftstoffführenden Teile
- technischer Zustand des Fahrzeugs

- engine design
- treatment of the exhaust gas
- thermal condition of the engine and of the exhaust gas treatment system
- current → driving behaviour
- → driving resistances
- climate and orography
- technical condition of the vehicle
- type of fuel and its composition

The emissions by evaporation are determined by the following parameters:

- thermal condition of the motor vehicle
- ambient air temperature
- type of tank respiration
- material of fuel conducting parts
- technical condition of the vehicle

Tabelle 1. Einteilung der Methoden zur Kfz-Emissionsbestimmung

Zeitliche und räumliche Auflösung *	Anwendung	Verkehrs- und Infrastruktur (siehe Abschnitt 1.4)		Fahrzeug(schicht)-spezifische Datenbasis	Ergebnis der Emissionsbestimmung
		Datenbasis	Datenherkunft		
→ submikroskopisch	Emissionsmonitoring bei der Bauteiloptimierung in der Fahrzeugentwicklung	exaktes Fahrverhalten des Einzelfahrzeugs	Simulationsmodell oder Aufnahme des Fahrverhaltens im realen Verkehr	Emissionskennfeld für einen Motor; alle Fahrwiderstände und Schaltverhalten, thermischer Zustand des Einzelfahrzeugs	Emissionen eines Einzelfahrzeugs als Funktion des aktuellen Fahrverhaltens
→ mikroskopisch	Emissionsmonitoring von einzelnen Straßenabschnitten, Kreuzungsbereichen und Stadtteilen; Eingangsdaten für → mikroskalige Ausbreitungsmodelle	genaue Infrastrukturabbildung, reales Fahrverhalten, Routen-, Abstell- und Fahrzeugbestandsvorgaben	Simulationsmodell oder Aufnahme des Fahrverhaltens im realen Verkehr	→ Emissionsfunktionen oder Motorkennfelder für Fahrzeugschichten und thermischer Zustand einzelner Fahrzeuge im Netz (schichtspezifische Fahrwiderstände und Schaltverhalten bei Verwendung der Emissionsmotorkennfelder)	Emissionen jedes einzelnen Fahrzeugs einer Fahrzeugschicht als Funktion des aktuellen Fahrverhaltens
→ mesoskopisch	Emissionsmonitoring für gesamtstädtische und regionale Straßennetze; Eingangsdaten für → mesoskalige Ausbreitungsmodelle	charakteristische Infrastruktur- und Verkehrskenngrößen sowie → Flottenzusammensetzung	Verkehrserhebungen oder Simulationsmodell	Emissionsfaktoren nach unterteilten Straßenkategorien und Verkehrszuständen für Fahrzeugschichten sowie Kaltstartzuschläge	Emissionen einer Fahrzeugschicht als Funktion der Straßenkategorie und des durchschnittlichen (nicht aktuellen) → Verkehrszustandes
→ makroskopisch	Emissionsmonitoring auf nationaler und globaler Ebene; Eingangsdaten für → makroskalige Ausbreitungsmodelle	→ Fahrleistungen und deren Aufteilung auf die Straßenkategorien, Flottenzusammensetzung	Verkehrserhebungen oder Simulationsmodell	Emissionsfaktoren nach aggregierten Straßenkategorien für Fahrzeugschichten sowie Kaltstartzuschläge	Emissionen einer Fahrzeugschicht als Funktion der durchschnittlichen (nicht aktuellen) Straßenkategorie

* Die Erläuterung der zeitlichen und räumlichen Differenzierung der verschiedenen Ebenen erfolgt im Text.

Der Reifenabrieb wird bestimmt durch

- Fahrverhalten
- Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn
- Klima und Orographie
- Reifeneigenschaften
- fahrzeugspezifische Einflussgrößen

In Tabelle 1 wird für unterschiedliche zeitliche und räumliche Auflösungen zeilenweise die jeweilige Anwendung sowie die erforderliche Datenbasis für Verkehr, Infrastruktur sowie Fahrzeug beschrieben. Darüber hinaus werden Angaben hinsichtlich der Aggregation der zu erwartenden Ergebnisse gemacht. Der Aggregationsgrad der räumlichen und zeitlichen Auflösung nimmt in Tabelle 1 abwärts in den Spalten zu.

Die Ebenen unterschiedlicher Aggregation werden im Verkehrsbereich und in der Meteorologie unter-

The tyre abrasion depends on

- driving behaviour
- surface condition of the pavement
- climate and orography
- properties of the tyre
- influencing factors specific for the vehicle

Table 1 lists the applications of the methods for measuring the emissions of motor vehicles and the required input data with regard to traffic, infrastructure and vehicle for different temporal and spatial resolutions. Explanations of the aggregation of the expected results are given. The degree of aggregation increases towards the bottom of each column of Table 1.

The levels of aggregation are named differently in the fields of traffic and meteorology. The temporal and

Table 1. Classification of the methods for the determination of car emissions

Spatial and temporal resolution *	Application	Traffic structure and infrastructure (see Section 1.4)		Data base specific for the vehicle (class)	Result of the determination of the emissions
		data base	source of data		
→ submicroscopic	monitoring the emission of parts when the vehicle is designed	exact driving behaviour of the individual vehicle	simulation with a model or recording the driving behaviour in real traffic	characteristic emission parameter field of an engine; all driving resistances, pattern of gear shifting; thermal condition of the individual vehicle	emissions of an individual vehicle as functions of the current driving behaviour
→ microscopic	monitoring the emission in individual road sections, at road intersections, and in urban neighbourhoods; input parameters for → microscalic dispersion models	accurate mapping of the infrastructure; actual driving behaviour; recordings of routes, parking patterns and fleet composition	simulation with a model or recording the driving behaviour in real traffic	→ emission functions or characteristic engine parameter fields for vehicle layers and thermal conditions of the observed vehicles (driving resistances specific for a vehicle layer and gear shifting behaviour using characteristic emission parameter fields of an engine	emissions of each individual vehicle of a vehicle layer in dependence of the current driving behaviour
→ mesoscopic	monitoring the emissions of the total urban or regional road net; input parameters for → mesoscalic dispersion models	characteristic parameters of the infrastructure and the traffic as well as → fleet composition	traffic surveys or simulation models	emission factors of different road categories and traffic conditions; for vehicle layers and correction factors for cold starts	emission of a vehicle layer as a function of the road category and the mean (not current) → traffic condition
→ macroscopic	monitoring the emissions on a national or global level; input parameters for → macroscalic dispersion models	→ mileages and their distribution over the road categories and the fleet composition	traffic surveys or simulation models	emission factors for aggregated road categories for vehicle layers and correction factors for cold starts	emission of a vehicle layer as a function of the mean (not current) road category

* The temporal and spatial differentiation of the various levels is explained in the text.

schiedlich benannt. Die zeitlichen und räumlichen Auflösungen der betrachteten Ebenen sind in etwa vergleichbar, z.B. sind die Emissionsdaten der mikroskopischen Verkehrsmodellierung Eingangsdaten für mikroskalige Ausbreitungsmodelle (siehe Tabelle 1). Beide Bezeichnungen, „-skopisch“ und „-skalig“, sind in den jeweiligen Disziplinen belegte Begriffe und werden in dieser Richtlinie fachspezifisch verwendet.

Generell lässt sich feststellen, dass eine optimale Vorgehensweise dann vorliegt, wenn sich die Anwendung, die zu erhebenden Daten und das erwartete Ergebnis in einer Zeile, also auf einem Aggregationsniveau, befinden. Die Ergebnisse von Emissionsberechnungen können nur für Aussagen entsprechend der Aggregationsebene der erhobenen Daten herangezogen werden. Das heißt, es dürfen von den Ergebnissen keine Aussagen erwartet werden, die über die Erhebungsgenauigkeit der Eingangsdaten hinausgehen.

Die vorliegende Richtlinie beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Bestimmung der Emission in der mikroskopischen und mesoskopischen Aggregationssebene (siehe auch Abschnitt 1.5 und letzte Spalte in Tabelle 1).

Die Einflussgrößen für die Emissionsberechnung sollten möglichst vollständig und genau erfasst werden. Für den Fall, dass nicht alle Eingangsdaten im Detail bekannt sind, können vereinfachte Methoden bzw. Modelle zum Erhalt von Schätzwerten oder Näherungslösungen angegeben werden. Dieses Vorgehen kann jedoch zu Ungenauigkeiten im Ergebnis führen. Vor dem Hintergrund von Tabelle 1 entspricht dies einer zunehmenden Aggregation.

1.3 Emittenten

Bei der Kfz-Nutzung im Straßenverkehr sind

- Motorabgase,
- Verdampfungsemissionen und
- Abrieb

als Emissionen zu berücksichtigen.

1.3.1 Abgasemissionen

1.3.1.1 Entstehung und Zusammensetzung der Abgasemissionen

In Kraftfahrzeugen werden derzeit fast ausschließlich flüssige fossile Brennstoffe als Energieträger verwendet, die aus einem Gemisch von unterschiedlichen Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen. Unter den idealen Bedingungen einer vollständigen Verbrennung würden im Abgas nur die Reaktionsprodukte Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O sowie die

spatial resolutions within one level are fairly comparable; for example, the emission data of a microscopic traffic model are input data for a microscalic dispersion model (see Table 1). The suffixes ”-scopic“ and ”-scalic“ are defined technical terms in the respective fields. They are used accordingly in this guideline.

Generally it can be said that a procedure performs optimally if the application, the data to be recorded, and the expected results occupy the same row, i.e. belong to the same aggregation level. The results of calculations of emissions may be used only for statements concerning the same aggregation level as that of the recorded data. This means that no better accuracy may be expected of the results than that of the input data.

The present guideline focuses on the determination of emissions in the microscopic and mesoscopic level of aggregation (see also Section 1.5 and last column of Table 1).

The input data for the emission calculation should be collected as completely and accurately as possible. In the case that not all input data are known sufficiently well, simplified methods or models may be used to obtain estimated or approximate solutions. Such a procedure may, however, lead to inaccurate results. With respect to Table 1 this corresponds to using an increased degree of aggregation.

1.3 Emitters

Motor vehicles in road traffic produce emissions by

- exhaust gas from the engine (tail pipe)
- evaporation and
- abrasion

1.3.1 Tail pipe emissions

1.3.1.1 Origin and composition of the tail pipe emissions

Motor vehicles today use almost exclusively liquid fossil fuels as their source of energy. These fuels consist of a mixture of different hydrocarbon compounds. Under the ideal conditions of complete combustion the exhaust gas would contain only the reaction products carbon dioxide, CO_2 , and water, H_2O as well as the inert constituents of air, predomi-

Inertgase der Luft, im Wesentlichen also Stickstoff N_2 , auftreten.

Reale Verbrennungsprozesse zeichnen sich jedoch durch nicht vollständige Verbrennung aus. So wird neben diesen Hauptkomponenten im Allgemeinen eine große Anzahl weiterer chemischer Verbindungen gebildet. Diese Produkte der unvollständigen Verbrennung, wie beispielsweise Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe oder Oxidationsprodukte des Stickstoffs sowie auch Umwandlungsprodukte des Verbrennungsvorgangs wie Ruß und in Spuren vorhandene Substanzen, wie z.B. Aldehyde, Phenole, Cyanide usw., treten im Abgas von Verbrennungskraftmaschinen auf.

Neben diesen Abgasbestandteilen gelangen auch Kraftstoffverunreinigungen und Kraftstoffzusätze (Additive) unverbrannt ins Abgas oder nehmen als Reaktanden an der Verbrennung teil (z.B. Schwefel). Der an den Zylinderwänden zum Abdichten des Brennraums erforderliche Ölfilm trägt ebenfalls zur Emission bei.

Ein Teil der im Abgas vorkommenden chemischen Verbindungen kann schädliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben. Daher sind Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxiden ($\rightarrow NO_x$) und Kohlenwasserstoffen ($\rightarrow HC$) sowie bei Diesel-Motorfahrzeugen auch von Partikeln in Deutschland und den meisten Industriestaaten durch gesetzliche Richtlinien und Verordnungen begrenzt.

Während CO und NO_x eindeutig definiert sind, umfasst das üblicherweise als „Kohlenwasserstoffe“ bezeichnete Gemisch eine außerordentlich große Anzahl von Verbindungen. Die in den Kfz-Abgasen limitierte „Summe der Kohlenwasserstoffe (HC)“, die mit FID (Flammen-Ionisations-Detektor) zu messen und als $C_1H_{1,85}$ anzugeben ist, entspricht weder der Summe aller organischen Verbindungen noch der strengen chemischen Definition der Kohlenwasserstoffe.

Die Partikelmasse in den Kfz-Abgasen ist messtechnisch als Summe aller Abgasbestandteile definiert, die mit Ausnahme des kondensierten Wassers bei einer Maximaltemperatur von $51,7^\circ C$ aus dem mit Luft verdünnten Abgas auf einem definierten Filter abgeschieden werden.

1.3.1.2 Beeinflussung der Abgasemissionen

Die Konzentration der Komponenten im Abgas von Verbrennungskraftmaschinen hängt von mehreren Parametern ab. Die Emission der Kraftfahrzeuge wird in erster Linie von der verwendeten Aggregate- und Fahrzeugtechnik, aber auch von der Art der Nutzung und dem Umfeld, in dem sich das Fahrzeug be-

findet, beeinflusst.

Real combustion processes are, however, characterised by incomplete combustion. Besides the main components usually a large number of other chemical compounds are produced. These products of incomplete combustion occur in the exhaust gas of internal combustion engines. Examples are carbon monoxide, incompletely combusted hydrocarbons, oxides of nitrogen, conversion products of the combustion process like soot, and traces of compounds such as aldehydes, phenols, cyanides and others.

Besides these constituents of the exhaust gas also fuel impurities and fuel additives will reach the tail pipe uncombusted or will participate as reactants in the combustion process; sulphur is an example. The oil film on the walls of the cylinders needed for sealing the combustion chamber also contribute to the emission.

Some of the chemical compounds occurring in the exhaust gas may have hazardous effects on humans and the environment. This is the reason why in Germany and most other industrialised nations the emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides ($\rightarrow NO_x$) and hydrocarbons ($\rightarrow HC$) as well as particles in the exhaust gas of diesel engines are limited by legal regulations and directives.

While CO and NO_x are unambiguously defined, the mixture usually called "hydrocarbons" comprises an extremely large number of compounds. The "sum of hydrocarbons (HC)" that must not be exceeded in exhaust gases is measured by FID (flame ionisation detector) and quoted as $C_1H_{1,85}$. It is neither the sum total of all organic compounds nor does it represent the hydrocarbons by their correct chemical definition.

The particle mass in motor vehicle exhaust gas is measured as the sum of all constituents of the exhaust gas except condensed water which are deposited on a defined filter at a maximum temperature of $51.7^\circ C$ from the exhaust gas diluted with air.

1.3.1.2 Influences on emissions in exhaust gas

The concentrations of the components of the exhaust gas of internal combustion engines depend on several parameters. The emission by the motor vehicles is determined predominantly by the technology employed for the vehicle and its equipment, but also decisively by the mode of operation and the environment in

wegt, in entscheidendem Maße beeinflusst. Dazu zählen insbesondere die klimatischen und orographischen Bedingungen, die Verkehrstechnik, wie Linieneinführung, Fahrstreifenanzahl, Regelung der Kreuzungsbereiche, Telematik usw.

Die Fahrzeugtechnik beeinflusst das Abgasemissionsverhalten im Wesentlichen durch:

- Motorbauart
- Abgasnachbehandlungsverfahren
- Getriebeauslegung
- Kraftstoffart und -zusammensetzung
- Fahrwiderstände des Fahrzeugs
- technischen Zustand des Fahrzeuges

In Abschnitt 2.3 wird auf die einzelnen Aspekte näher eingegangen.

Die Verkehrsleittechnik und der Fahrzeugnutzer beeinflussen im Wesentlichen das Fahr- und damit auch das Abgasemissionsverhalten. Verbesserte Verkehrsleittechnik, die zur Verflüssigung des → Verkehrsablaufs führt, kann genauso einen Beitrag zur Emissionsreduzierung leisten wie eine vorausschauende und gleichmäßige Fahrweise.

1.3.2 Verdampfungsemissionen

Im Straßenverkehr kommt es zu einer Verdampfung von geringen Kraftstoffmengen. Diese Verdampfungsemission wird durch die Verdampfungswärme und den Dampfdruck des eingesetzten Kraftstoffes bestimmt. Da Otto-Kraftstoff bei gleichem Temperaturniveau einen höheren Dampfdruck aufweist als Diesel-Kraftstoff, ist der überwiegende Teil der Verdampfungsemissionen auf Fahrzeuge mit Otto-Motoren zurückzuführen.

Sie treten auf als:

- Tankentlüftungsverluste
- Diffusionsverluste
- Verluste durch offene Stellen im Kraftstoffsystem
- Heiß- und Warmabstellverluste
- Verluste durch Verdampfungsemissionen während des Fahrzeugbetriebs (running losses)

Zu einer Tankentlüftung kann es infolge von → Tankatmung kommen, hervorgerufen durch den Tagesgang der Temperatur oder infolge der Kraftstoffwärmerückführung, z.B. durch den Kraftstoffrücklauf des Gemischbildners. Geschlossene Entlüftungssysteme sowie die Verwendung diffusionsarmer Werkstoffe vermeiden bzw. reduzieren weitgehend die Verdampfungsemissionen der modernen Kraftfahrzeuge. In Abschnitt 2.3.9 dieser Richtlinie wird auf die einzelnen Aspekte näher eingegangen.

which the vehicle moves. The latter is shaped by the climate and the orography, the traffic control technology comprising routing, the number of traffic lanes, traffic control at intersections, telematics and the like.

The vehicle technology influences the exhaust gas emissions primarily by:

- engine design
- exhaust gas treatment
- gearing design
- type and composition of the fuel
- driving resistance of the vehicle
- technical condition of the vehicle

These topics will be discussed in greater detail in Section 2.3.

Traffic control technology and the vehicle operator influence mainly the driving behaviour and hence the exhaust gas emissions. Improved traffic control technology leading to a smoother → traffic flow will contribute to a reduction of emissions as will a steady and attentive driving mode.

1.3.2 Emissions from evaporations

In road traffic, relatively small amounts of fuel evaporate. These emissions by evaporation are determined by the specific heat of evaporation and the vapour pressure of the fuel. Because petrol for Otto-cycle engines has a higher vapour pressure than Diesel fuel at equal temperatures, vehicles with Otto-cycle engines are the predominant sources of emissions by evaporation.

These emissions stem from:

- losses through the tank vents
- losses by diffusion
- losses through leaks in the fuel conducting system
- losses by parking hot or warm vehicles
- running losses while driving

Losses through tank vents may be caused by → tank respiration which is a consequence of the diurnal variations of the ambient air temperature or of warming of the fuel due to fuel recycled from the carburettor. Closed tank vent systems and the use of low-diffusion materials eliminate or greatly reduce emissions by evaporation from modern motor vehicles. Individual aspects will be discussed in Section 2.3.9 of this guideline.

Zusätzlich können so genannte Betankungsemissionen durch die Verdrängung der im Kraftstofftank enthaltenen Gasphase, Überlaufen des Kraftstofftanks oder Abtropfen des Zapfventils entstehen und werden seitens der Tankstelleneinrichtungen reduziert. Die Berechnung dieser Emissionen ist nicht der Gegenstand der vorliegenden Richtlinie.

1.3.3 Abrieb

Der Abrieb bzw. die Abrasion von Reifen, Kupplung, Bremsen und abgasführenden Teilen sowie der Straßenabrieb und Staubaufwirbelung tragen ebenfalls zur → Luftverunreinigung durch die Kfz-Nutzung bei. Auf Grund der derzeit unzureichenden Datenlage wird in Abschnitt 2.3.13 nur der Reifenabrieb behandelt.

1.4 Verkehrs- und Infrastrukturdaten

Zur Ermittlung der straßenverkehrsbedingten Emissionen sind neben der Beschreibung des spezifischen Emissionsverhaltens der Fahrzeuge die Angaben über das aktuelle Fahrverhalten einzelner Fahrzeuge (→ mikroskopische Betrachtungsebene) oder detaillierte Informationen zum Verkehrsgeschehen und zur Charakterisierung der Verkehrsinfrastruktur in einer bestimmten Aggregationsstufe (→ mesoskopische Betrachtungsebene) eine notwendige Voraussetzung (siehe auch Tabelle 1).

In der mesoskopischen Betrachtungsebene werden als kleinste räumliche Einheit ein Straßenabschnitt und als kleinste zeitliche Einheit $\frac{1}{2}$ h definiert. Für den Straßenabschnitt werden hinsichtlich der → Verkehrsstärken, des Verkehrsablaufs als auch der verkehrsinfrastrukturellen Merkmale (z.B. Ortslage, Ausbaugrad, Bebauungssituation, Knotenusbildung) weitestgehend „emissionshomogene“ Verhältnisse unterstellt. Die detaillierte Beschreibung der Verkehrsstärken schließt eine Differenzierung nach → Fahrzeugkategorien ein.

In der mikroskopischen Betrachtung wird das Fahrverhalten jedes einzelnen Fahrzeugs behandelt. Die zeitliche und räumliche Auflösung ist beträchtlich feiner als bei der mesoskopischen und liegt im Bereich von einer Sekunde und einigen Metern. Infrastrukturelle Merkmale der mikroskopischen Betrachtungsebene sind z.B. die genaue Abbildung des Straßennetzes sowie verkehrssteuernde Einrichtungen wie Ampelanlagen. Eine Differenzierung der Fahrzeugkategorien nach emissionshomogenen Gruppen in verschiedene Schichten wird wie bei der mesoskopischen Betrachtungsebene vorgenommen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass die Emissionen in Abhängigkeit von dem jeweiligen

In addition, emissions may be generated at filling stations when the gaseous phase inside the tank is displaced by fuel. Spills and dripping nozzles may also cause emissions. They can be reduced by using adequate equipment at the filling stations. The calculation of these emissions is not a topic of this guideline.

1.3.3 Abrasion

The abrasion of tyres, clutches, brakes and exhaust gas carrying parts as well as the abrasion of the road pavement and re-entrained dust also contribute to the emissions caused by motor vehicles. Because at the present time only insufficient data are available, Section 2.3.13 is restricted to the discussion of tyre abrasion.

1.4 Traffic and infrastructure data

For determining the emissions caused by road traffic not only the specific emission behaviour of the vehicles must be described but also the actual driving behaviour of individual vehicles (→ microscopic investigation level) and detailed information about the traffic situation and the traffic infrastructure are required at a certain aggregation level (→ mesoscopic investigation level); see Table 1.

At the mesoscopic investigation level the smallest spatial unit is a section of a road and the smallest temporal unit is $\frac{1}{2}$ h. As regards → traffic volume, traffic development and infrastructure relevant for traffic (location of the area of investigation in the region, road classification, urban development), conditions of homogeneous emissions are assumed as far as possible. The detailed description of the traffic volume includes the differentiation according to → vehicle category.

The microscopic investigation deals with the driving behaviour of each individual vehicle. The spatial and temporal resolution is considerably finer than with the mesoscopic investigation; it is of the order of one second and a few meters. Features of the infrastructure at the microscopic aggregation level are the precise representation of the road net and of traffic controls like traffic lights. As at the mesoscopic level of investigation, the vehicle categories are subdivided into vehicle layers of like emission behaviour. An important difference, however, is the requirement that the emissions are determined as functions of the actual driving mode, i.e. speed and acceleration.

Fahrverhalten (Geschwindigkeit und Beschleunigung) detaillierter ermittelt werden können.

Verkehrsdaten werden zur Darstellung eines Ist-Zustandes benötigt. Sie können auch als Eingangsdaten für Verkehrsmodelle und für deren Kalibrierung eingesetzt werden. Die Ermittlung aktueller Verkehrsdaten erfolgt im Allgemeinen durch Erhebungen (manuelle Kurzzeitzählungen, automatische Dauerzählungen), wobei die Zählergebnisse häufig zu Halbstundenwerten aggregiert werden. Aus den Daten automatischer Dauerzählungen lassen sich Zeitreihen des Verkehrsaufkommens ableiten (Tagesgang, Wochengang, Jahresgang). Diese können auch zur Bestimmung der Stunden des maximalen Verkehrsaufkommens pro Jahr herangezogen werden.

Oft liegen zur Beschreibung des Verkehrsaufkommens eines Straßenabschnitts nur Angaben zur „Durchschnittlichen Täglichen Verkehrsstärke“ ($\rightarrow DTV$) vor, z.B. ermittelt über die Hochrechnung von Kurzzeitzählungen. Angaben zur DTV allein reichen nicht aus, um differenzierte Emissionsberechnungen durchzuführen.

Neben der Erhebung der Verkehrsstärken pro Zeiteinheit ist die Ermittlung des aktuellen zeitlich differenzierten Verkehrsablaufs für die Bestimmung der Abgasemissionen von Bedeutung. Der Verkehrsablauf stellt die Beschreibung des mittleren Fahrverhaltens aller Fahrzeuge auf dem betrachteten Straßenabschnitt in der betrachteten Zeiteinheit dar und ist vor allem innerorts neben der Verkehrsstärke selbst von einer Reihe weiterer straßen- und verkehrstechnischer Einflussgrößen (z.B. Knotenausbildung, Lichtsignalanlagen (LSA) und deren Steuerung/Koordinierung, Bebauung, Ausbaugrad, zulässige Höchstgeschwindigkeit) abhängig. Diese überwiegend statischen Verkehrsinfrastrukturdaten bestimmen maßgebend die maximale $\rightarrow$ Leistungsfähigkeit eines Straßenabschnitts und damit den Verkehrsablauf in Abhängigkeit von der aktuellen Verkehrsstärke.

Mit Hilfe von Verkehrsmodellen versucht man, das Verkehrsgeschehen realitätsnah abzubilden. Auf dieser Basis bieten sie darüber hinaus auch die Möglichkeit, verschiedene Szenarien zu untersuchen.

Für die Berechnung der während des $\rightarrow$ Kaltstarts und Warmlaufs erhöhten Abgasemissionen sind besonders detaillierte Verkehrsdaten erforderlich. Dies sind die mittlere Fahrtweitenverteilung der Fahrzeuge auf einem Straßenabschnitt und die mittlere Verteilung der Abstelldauer dieser Fahrzeuge vor dem Start.

Für die Ermittlung der Verdampfungsemissionen müssen Daten zur Anzahl der abgestellten Fahrzeuge in der betrachteten Raumeinheit (z.B. an einem Stra-

Traffic data are needed to describe the actual situation. They are also used as input data for traffic models and their calibration. Current traffic data are usually collected by surveys (manual counting over short periods, automatic counting over longer periods). They are often condensed to half-hourly values. Data from automatic counting may be used to establish the functional dependence of traffic on time (diurnal, weekly, annual variations). The hours of the maximum traffic volume in a year may be determined from these graphs.

Often the only data available for describing the traffic volume on a section of a road is the "average diurnal traffic volume" ($\rightarrow DTV$), for instance calculated by extrapolating short-term counts. These data alone are insufficient for detailed emission computations.

Besides determining the traffic volume per unit of time, measuring the instantaneous traffic situation as a function of time is important for assessing the exhaust gas emissions. The traffic situation describes the mean driving behaviour of all vehicles on the observed road section in the observed period. It depends, foremost in built-up areas, aside from the traffic volume on a number of other traffic-influencing factors, e.g. road intersections, traffic lights (LSA) and their co-ordination, the urban development, the road category, and speed limit. These mainly statistical data about the traffic infrastructure decisively determine the $\rightarrow$ capacity of a road section and hence the traffic situation in dependence of the current traffic volume.

By means of traffic models it is attempted to simulate realistic traffic situations. The simulation models offer the possibility of investigating various scenarios.

For calculating the elevated exhaust gas emissions at $\rightarrow$ cold starts and warm starts, particularly well detailed traffic data are required. These comprise the mean distributions of the $\rightarrow$ travelled distances of the vehicles on a road section and the mean distribution of the parking time of those vehicles before they started.

For determining the emissions by evaporation, data are needed on the number of parked vehicles in the investigated space (e.g. a road section or a car park)

Benabschnitt oder auf einem Parkplatz) und zur mittleren Verteilung der Abstelldauer der Fahrzeuge vorliegen.

1.5 Ermittlung der Eingabedaten

Für eine Emissionsbestimmung ist es in jedem Fall erforderlich, zunächst Verkehrs- und Infrastrukturdaten zu erheben. Die Betrachtungsebene, vergleiche Tabelle 1, bestimmt dabei den Detaillierungsgrad der zu erhebenden Daten. Solche Eingangsdaten sind z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen, Ampelanlagen, → Querverkehrsstörungen, Verkehrsdaten, usw. Daneben ist die Kenntnis der Fahrzeugflottenzusammensetzung für den Untersuchungsraum notwendig, sofern realisierbar in möglichst disaggregierter Form (vergleiche Abschnitt 2.2)

Neben den infrastrukturellen Daten sind zur Bestimmung der Emissionen im Untersuchungsgebiet je nach Wahl der Modellbildung Emissionsfunktionen oder Emissionsfaktoren in Erfahrung zu bringen. Zurzeit der Richtlinienerstellung sind Emissionsfunktionen nur zum geringen Teil und in nicht verwendbarer Form veröffentlicht.

1.6 Ergebnisse und Unsicherheiten

In Tabelle 1 sind verschiedene Anwendungsbereiche angegeben, in denen die Ergebnisse der Bestimmung von Kfz-Emissionen Grundlage für weitere Verwendungen sein können. Neben den unmittelbaren Anwendungsbereichen, wie z.B. Erstellung von Emissionskatastern, sind die zu ermittelnden Emissionen häufig Grundlage für numerische Simulationen zur Prognose von verkehrsbedingten Schadstoffemissionen mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen. Welche Anforderungen an Umfang und Güte der Emissionsdaten zu stellen sind, ist abhängig von der Fragestellung (Pläne zur Luftreinhaltung, „Screening“ entsprechend [G9] oder anderen).

Die Anforderungen an die zeitliche und die räumliche Auflösung der Emissionsbestimmung sind je nach Anwendungsbereich unterschiedlich. Es ist nicht in jedem Fall möglich, die notwendige Auflösung zu erreichen. Im Anwendungsbereich mikroskaliger Ausbreitungsmodellierung sind derzeit diesbezüglich Einschränkungen auf Grund der verfügbaren Eingangsdaten vorhanden, denn die Gitterweite gängiger Ausbreitungsmodelle (z.B. für mikroskalige 3-D-Modelle) liegt im Meterbereich. Diese Auflösung kann annähernd nur die mikroskopische Verkehrs- und Emissionsmodellierung leisten.

Die höchstmögliche Auflösung wird durch Definition eines emissionshomogenen Streckenabschnitts bestimmt. Dieser ist im Falle der mikroskaligen Emissionsmodellierung durch Zeitschritte und Fahrzeugge-

and on the mean distribution of the parking time of the vehicles.

1.5 Collecting the input data

The first requirement for determining the emission is to collect data on traffic and infrastructure. The level of investigation – see Table 1 – determines the resolution, which the data should possess. Examples for such data are speed limits, traffic lights, → cross traffic, data on traffic etc. Furthermore, the composition of the vehicle fleet in the investigated area needs to be known, if possible, in a disaggregated form (see Section 2.2).

Aside from the data on the infrastructure, emission functions or emission factors are to be procured depending on the choice of the simulation model. At the time of the preparation of this guideline only few emission functions have been published and in a form that is not usable.

1.6 Results and uncertainties

Table 1 lists various areas of application for which the results of the determination of motor vehicle emissions can be used. Aside from direct applications such as preparing emission inventories, the emissions to be determined are often the input data for numerical dispersion models (simulations) for predicting concentrations of pollutants caused by traffic. The demands concerning the quality and extent of the emission data depend on the purpose (plans for air quality control, screening according to [G9] or others).

The demands to be placed on the spatial and temporal resolution of the emissions differ according to the area of application. It is not possible in every case to achieve the required resolution. At the present time, the use of microscale dispersion models with mesh sizes in the range of a few meters (e.g. microscale 3-D models) is restricted because of the limited resolution of the input data. This required resolution can be reached only approximately with microscopic traffic and emission models.

The highest possible resolution is defined by the size of a road section with homogeneous emission. In the case of microscale emission modelling this is determined by the time steps and the speed of the vehicles.

schwindigkeit bestimmt. Bei der mesoskaligen Emissionsmodellierung werden die den emissionshomo- genen Abschnitten von Verkehrsknoten zu Verkehrsknoten entsprechenden Strecken mit konstanten Verkehrs- stärken definiert. Gegebenenfalls wird noch nach Geschwindigkeitsbeschränkungen und bauli- chen Straßenraumverhältnissen differenziert.

Die Ergebnisse der Ausbreitungsmodellierung kön- nen zur Ermittlung statistischer Jahreskenngrößen verwendet werden. Hierfür sind Emissionszeitreihen oder Emissions-Häufigkeitsverteilungen entspre- chend der Verkehrstagesganglinien zu erstellen.

Je nach Anwendungsbereich sind die Anforderungen an die Genauigkeit von Emissionsberechnungen un- terschiedlich. Um mit Hilfe von Immissionsberech- nungen Aussagen über die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Grenz- oder Prüfwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit treffen zu kön- nen, müssen die Unsicherheiten der Prognose be- kannt sein. Die Fehler bei der Bestimmung der Emis- sionen tragen neben einigen anderen Eingangsgrößen der Immissionsprognosen [1] wesentlich zu den Un- sicherheiten bei.

Die Präzision berechneter Emissionsdaten ist von den Unsicherheiten der Eingangsgrößen abhängig, die sich in die Bereiche → Verkehrsstärken, Verkehrszu- sammensetzung, Fahrverhalten, orographische Daten und spezifische Emissionsfaktoren einordnen lassen. Die Auswirkungen der Fehlerbandbreiten auf die Emission werden für verschiedene → Straßentypen in Abschnitt 3 dargelegt.

2 Methodik der Emissionsbestimmung

Es gibt mehrere Methoden, die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs zu bestimmen: die direkte Emissionsmessung und die Emissionsbestimmung auf der Basis der Modellierung und der Parametrisie- rung. Da die direkte Messung der Emissionen nicht Gegenstand der vorliegenden Richtlinie ist, erfolgt die hier beschriebene Emissionsbestimmung durch eine Verknüpfung von

- Verkehrsflussmessung mit Emissionsfunktionen (nicht Gegenstand dieser Richtlinie)
- Verkehrsflussmodellierung mit Emissionsfunktio- nen
- Verkehrsflussmessung mit → Fahrmustern und Emissionsfaktoren (nicht Gegenstand dieser Richtlinie)
- Verkehrsflussmodellierung mit Fahrmustern und Emissionsfaktoren (nicht Gegenstand dieser Richtlinie)

In mesoscalic emission modelling, the sections be- tween road intersections are assumed to exhibit ho- mogeneous emissions and constant traffic volume. If necessary, speed limits and variations in the built-up conditions are taken into account.

The results of the dispersion models may be used to find statistic parameters that are characteristic of a year. This requires compiling the emission values as time series and frequency distributions of the emis- sions from the diurnal variations of the traffic pa- rameters.

Depending on the intended application, the demands on the precision of the emission computations vary. For formulating statements concerning the probabi- lity of exceeding limit values that had been estab- lished for the protection of human health, the uncer- tainties of the emission model need to be known. The errors of the emission calculations and of some other input arguments contribute significantly to the uncer- tainties of forecasts of concentrations of pollutants [1].

The precision of the computed emission data depends on the uncertainties of the input parameters that be- long to the categories → traffic volume, traffic com- position, driving behaviour, orography and specific emission factors. The effects of the error margins on the computed emission for different → types of roads will be discussed in Section 3.

2 Methods for determining the emissions

There are several methods for determining the emis- sions from motor vehicle traffic: direct measurements of the emissions and indirect determination of the emissions by way of modelling and parameterisation. Because the direct method is not the topic of the present guideline, the determination of the emission as described herein consists of linking

- measurements of the traffic flow with emission functions (not covered by this guideline)
- models of the traffic flow with emission functions
- measurements of the traffic flow with → driving patterns and emission factors (not covered by this guideline)
- models of the traffic flow with driving patterns and emission factors (not covered by this guide- line)

- Verkehrsflussparametrisierung mit Fahrmustern und Emissionsfaktoren

Einzelheiten werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Bei der Verkehrsflussmodellierung spielen Verkehrssimulationsmodelle eine wesentliche Rolle. Basierend auf einer möglichst realitätsnahen Abbildung des Verkehrsgeschehens werden den einzelnen Fahrzeugen spezifische Emissionen zugeordnet. Je nach Betrachtungsrahmen und Anwendungsfall der Untersuchung kommen dabei Simulationsmodelle mit unterschiedlicher Detaillierungstiefe zur Anwendung.

Im Fall der Verkehrsflussparametrisierung werden auf der Basis vieler Einzeldaten durch geeignete Aggregationen Parameter abgeleitet. Diese Parameter dienen dazu, das Verkehrsgeschehen sowie die daraus resultierenden Emissionen von durchschnittlichen Fahrzeugflotten auf verschiedenen Straßentypen möglichst genau zu beschreiben.

Ziel der in dieser Richtlinie beschriebenen Vorgehensweisen ist es, die Kfz-Emissionen des straßengebundenen motorisierten Verkehrs zu bestimmen. Hierzu zählen auch die Verdampfungsemissionen, die beim Abstellen der Fahrzeuge entstehen, sowie Verdampfungsemissionen, die während des Fahrzeugbetriebs auftreten, die so genannten „running losses“.

Neben dem Verkehrsablauf, beschrieben über die aktuelle → Verkehrssituation, der einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen der Kraftfahrzeuge hat, kommt auch der Kraftstoffzusammensetzung eine bedeutende Rolle zu.

In den folgenden Abschnitten wird auf die spezifischen Eingangsdaten für die Emissionsbestimmung über Parametrisierung und Modellierung des → Verkehrsflusses eingegangen.

2.1 Verkehrs- und Infrastrukturdaten

Zur Ermittlung der verkehrsbedingten Emissionen werden Daten über die Verkehrsstärke und -zusammensetzung auf den betrachteten Straßenabschnitten benötigt. Zusätzlich sind detaillierte Kenntnisse über die zeitliche und räumliche Verteilung der Verkehrsmengen und des Verkehrsablaufs erforderlich. Dieser Differenzierungsgrad führt zu einem hohen Aufwand bei der Datenerhebung.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich immer auf einen einzelnen Straßenabschnitt.

Werden die Verkehrsdaten und Emissionen für ein größeres Straßennetz oder Untersuchungsgebiet ermittelt, so ist jeder Straßenabschnitt zu betrachten. Über situationsbezogene und mit Fachkenntnis

- parameterisation of the traffic flow with driving patterns and emission factors

Details will be explained in the following sections.

Traffic simulation models play a significant role in modelling the traffic flow. Starting from a representation of the traffic situation that is as realistic as feasible, specific emissions are assigned to the individual vehicles. Depending on the scope of the investigation and the intended application, models of different depths of details will be employed.

In the case of traffic flow parameterisation, parameters will be deduced from many data items by suitable aggregation. These parameters serve to describe as accurately as possible the traffic situation and the resulting emissions of average vehicle fleets on various types of roads.

The purpose of the procedure described in this guideline is the determination of the emissions from motor vehicles that participate in the motorised road traffic. Also treated are the emissions by evaporation from parked vehicles and from operating vehicles, the so-called running losses.

Besides the traffic, described by the current → traffic situation, which has a significant influence on the emission by the motor vehicles, the composition of the fuel plays also an important role.

In the following sections the input parameters will be discussed that are specific for the determination of the emission by parameterising and modelling the → traffic flow.

2.1 Traffic and infrastructure data

For determining the emissions generated by traffic, data are required about the traffic volume and the composition of the traffic on the investigated road section. In addition, detailed information on the temporal and spatial distribution of the traffic volume and the traffic flow is necessary. This high degree of differentiation leads to large expenditures for the data collection.

The following sections always address one individual road section.

If traffic data and emissions are to be determined for a wider road net or area of investigation, all road sections are to be investigated. The effort for collecting the data may be significantly reduced by classifying



Bild 1. Beispiel für eine typische Innerortsstraße

Fig. 1. Example of a typical downtown street

durchgeführte Straßentypisierungen kann der Aufwand der Datenerhebung erheblich reduziert werden.

the road sections according to the traffic conditions. This requires pertinent expertise.

2.1.1 Verkehrsinfrastrukturdaten

Zur Charakterisierung eines Straßenabschnittes dienen dessen verkehrstechnische und verkehrsinfrastrukturelle Merkmale. Eine geeignete Art der Erhebung dieser Daten stellt die Ortsbegehung dar (siehe Bild 1). Außerdem können Informationen z.B. beim zuständigen Tiefbauamt, Stadtplanungsamt oder Straßenbauamt eingeholt werden.

Im Hinblick auf die Berechnung der Emissionen ist die Beschreibung des betrachteten Straßenabschnittes nach folgenden Merkmalen erforderlich:

- Straßenfunktion (verkehrliche Funktion der Straße wie vorfahrtsberechtigter Hauptverkehrsstraße mit/ohne Lichtsignalanlage, Radialstraße, Tangentialstraße, Sammelstraße, Nebenstraße usw.)
- Ortslage, Straßenrandbebauung (außerorts oder innerorts gelegen, mit offener oder geschlossener, gegebenenfalls enger Bebauung)
- Anzahl Fahrstreifen, Seitenstreifen, Fahrbahnbreite, Parkstreifen usw. pro Fahrtrichtung
- Längsneigung, Kurvigkeit
- Koordinaten des Straßenabschnitts (zur Beschreibung der geografischen Lage)
- Knotenpunktausbildung (Vorfahrtsberechtigung, plangleicher oder planfreier Knoten)

2.1.1 Data about the traffic infrastructure

Road sections are characterised by their features that are relevant to traffic and its infrastructure. A suitable method of collecting these data is local inspection, see Figure 1. In addition, information may be obtained from the local offices for road construction and town planning.

In view of the requirements of the emission computation the investigated road sections are to be described by the following features:

- function of the road with regard to traffic; i.e. main artery with or without traffic lights, radial street, tangential street, belt way, secondary street etc.
- location in relation to the built-up area; open or dense street fronts
- number of traffic lanes, emergency lanes, parking lanes, width of the lane(s) etc. for each direction
- gradient, curves
- geodetic co-ordinates of the road section
- junctions, right-of-way, roads on the same/different level

- verkehrstechnische Ausrüstung (zulässige Höchstgeschwindigkeit, Lichtsignalanlage (Art der Steuerung/Koordinierung/Festzeitzyklen) usw.)

Diese Merkmale bestimmen maßgebend die maximale Leistungsfähigkeit des Straßenabschnittes und beeinflussen neben Verkehrsstärke und -zusammensetzung den charakteristischen Verkehrsablauf auf dem Straßenabschnitt (vergleiche Abschnitt 2.1.4).

Als kleinste räumliche Einheit ist dabei ein Straßenabschnitt definiert, für den sowohl hinsichtlich der Verkehrsstärken, des Verkehrsablaufs als auch der verkehrsinfrastrukturellen Merkmale (z.B. Ortslage, Ausbaugrad, Bebauungssituation, Knotenabildung) weitestgehend homogene Verhältnisse unterstellt werden.

2.1.2 Verkehrsdaterhebung

Eine wichtige Grundlage der Emissionsberechnung bilden aktuelle Daten zur Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung auf dem betrachteten Straßenabschnitt.

Zur Emissionsberechnung ist eine Differenzierung der Verkehrsdaten nach Fahrzeugarten – z.B. nach Personenkraftwagen (Pkw), leichten → Nutzfahrzeugen (INfz), schweren → Nutzfahrzeugen (sNfz) und Krädern, die sich in ihrem Emissionsverhalten deutlich unterscheiden – notwendig, wobei eine weitere Differenzierung nach den Fahrzeugkategorien, z.B. der sNfz in Lastkraftwagen (Lkw), Lastzüge (LZ), Sattelzüge (SZ), Busse, empfehlenswert ist. Bezüglich der zeitlichen Auflösung der Verkehrsdaten empfiehlt sich zumindest eine Differenzierung nach Stunden-/Halbstundenwert (siehe Abschnitt 2.1.3).

Häufig genügen die vorliegenden Verkehrsdaten nicht diesen Anforderungen, wenn z.B. nur Spitzenstundenbelastungen pro Straßenabschnitt bekannt sind.

2.1.2.1 Verkehrsstärken

Empfehlenswert ist die Ermittlung der Verkehrsstärke der verschiedenen Fahrzeugkategorien pro Straßenabschnitt. Je nach Fragestellung erfolgt die räumliche Differenzierung der Daten bis auf die Ebene des einzelnen → Fahrstreifens.

Eine Grundlage zur Ermittlung der Verkehrsdaten bilden z.B. die Ergebnisse der bundesweiten manuellen Straßenverkehrszählung (SVZ) [2], (siehe Tabelle 2). Dies sind aus Kurzzeit-Zählungen an verschiedenen ausgewählten Tagen im Jahr abgeleitete jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken in Kfz/24 h. Die SVZ wird in einem Turnus von fünf Jahren an ausgewählten Straßenabschnitten durchgeführt.

- technical installations such as speed limit, traffic lights (type of control, co-ordination, fixed cycles etc.)

These features determine decisively the maximum capacity of a road section and affect, together with the traffic volume and the traffic composition, the traffic situation characteristic for the road section (see Section 2.1.4).

The smallest spatial unit is defined as a section of a road that features homogenous properties with regard to traffic volume, the traffic situation, and infrastructure, e.g. location in relation to the built-up area, road quality, intersections, street fronts.

2.1.2 Collecting traffic data

An important foundation for the calculation of emissions are the current data concerning the traffic volume and the traffic composition on the investigated road section.

For calculating emissions, it is necessary to distinguish the traffic data according to the vehicle type, e.g. passenger cars (Pkw), → light commercial vehicles (INfz), → heavy commercial vehicles (sNfz) and motor bicycles, which differ significantly in their emission behaviour. A further distinction of the vehicle types according to vehicle categories is recommended, for instance breaking down the sNfz into lorries (Lkw), lorries with trailers (LZ), tractor-trailers (SZ), and buses. As for the temporal resolution of the traffic data a break-down to hourly or half-hourly values is advisable (see Section 2.1.3).

Often the available traffic data do not meet these requirements, when, for instance, only loads during peak hours are known per road section.

2.1.2.1 Traffic volumes

It is recommended to measure the traffic volume of each vehicle category per road section. If required by the purpose of the study, the spatial resolution can be the → traffic lane.

One source of traffic data are for example the results of the nation-wide manual traffic surveys (SVZ), [2], see Table 2. These are mean daily traffic volumes averaged over one year, expressed as Kfz/24 h. They are derived from short term counting on different selected days of the year. The SVZ is conducted every five years at selected road sections.

Tabelle 2. Beispiel für ein Zählblatt (Straßenverkehrszählung 1995, nach [3])

Zählabschnitt von		bis		lfd. Zählblatt-Nr.	
Nr. der TK 25		Zst.-Nr.		Bemerkungen bzw. Skizze	
Verkehr in Richtung		Straßenklasse u. Nr.		Straßenquerschn.	
Gesamtquerschnitt		Europastraßen-Nr.		Anzahl der	
0		Freie Strecke		Fahrstreifen	
1		Ortsdurchfahrt		Standstreifen	
2		Land		Mehrzweckstr.	
3		Bauamt		Radwege	
4		SM/AM		Gleise i. d. Fahrb.	
5		Kreis			
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					
101					
102					
103					
104					
105					
106					
107					
108					
109					
110					
111					
112					
113					
114					
115					
116					
117					
118					
119					
120					
121					
122					
123					
124					
125					
126					
127					
128					
129					
130					
131					
132					
133					
134					
135					
136					
137					
138					
139					
140					
141					
142					
143					
144					
145					
146					
147					
148					
149					
150					
151					
152					
153					
154					
155					
156					
157					
158					
159					
160					
161					
162					
163					
164					
165					
166					
167					
168					
169					
170					
171					
172					
173					
174					
175					
176					
177					
178					
179					
180					
181					
182					
183					
184					
185					
186					
187					
188					
189					
190					
191					
192					
193					
194					
195					
196					
197					
198					
199					
200					
201					
202					
203					
204					
205					
206					
207					
208					
209					
210					
211					
212					
213					
214					
215					
216					
217					
218					
219					
220					
221					
222					
223					
224					
225					
226					
227					
228					
229					
230					
231					
232					
233					
234					
235					
236					
237					
238					
239					
240					
241					
242					
243					
244					
245					
246					
247					
248					
249					
250					
251					
252					
253					
254					
255					
256					
257					
258					
259					
260					
261					
262					
263					
264					
265					
266					
267					
268					
269					
270					
271					
272					
273					
274					
275					
276					
277					
278					
279					
280					
281					
282					
283					
284					
285					
286					
287					
288					
289					
290					
291					
292					
293					
294					
295					
296					
297					
298					
299					
300					
301					
302					
303					
304					
305					
306					
307					
308					
309					
310					
311					
312					
313					
314					
315					
316					
317					
318					
319					
320					
321					
322					
323					
324					
325					
326					
327					
328					
329					
330					
331					
332					
333					
334					
335					
336					
337					
338					
339					
340					
341					
342					
343					
344					
345					
346					
347					
348					
349					
350					
351					
352					
353					
354					
355					
356					
357					
358					
359					
360					
361					
362					
363					
364					
365					
366					
367					
368					
369					
370					
371					
372					
373					
374					
375					
376					
377					
378					
379					
380					
381					
382					
383					
384					
385					
386					
387					
388					
389					
390					
391					
392					
393					
394					
395					
396					
397					
398					
399					
400					
401					
402					
403					
404					
405					
406					
407					
408					
409					
410					
411					
412					
413					
414					
415					
416					
417					
41					

Auch Ergebnisse kommunaler Zählungen sind, soweit vorhanden, hinzuzuziehen. Üblicherweise liegen diese Daten als Ergebnisse von Kurzzeitzählungen (z.B. manuelle 4-h-Zählung an einem Werktag mit Differenzierung nach → Fahrzeugarten) oder als Ergebnisse von automatischen Zählungen (z.B. 24-h- oder Wochenzählungen, oft nur Werte für Kfz, das heißt keine Differenzierung nach Fahrzeugarten) vor.

Neben der manuellen Zählmethode durch Zählpersonal können verschiedene automatische Zählgeräte eingesetzt werden (auf bzw. an der Straße verlegte Detektoren geben Impulse an angeschlossene Zähl- oder Registriergeräte ab). Hinweise zum Einsatz solcher Geräte finden sich z.B. in [4].

Aus den Zählergebnissen von Kurzzeitzählungen müssen gegebenenfalls zunächst Tageswerte der Verkehrsstärken und daraus dann die (jahresmittleren) durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (*DTV*) abgeleitet werden, wobei auch die Schwankungen innerhalb eines Jahres zu berücksichtigen sind. Hinweise zur Ermittlung von *DTV*-Werten aus Kurzzeitzählungen auf Innerortsstraßen (einschließlich Beispielrechnung) finden sich z.B. in [5]. Dort finden sich auch Faktoren zur Ableitung von *DTV*-Werten für die einzelnen Wochentage.

Oft sind die vorliegenden Zählungen nicht in dem zu betrachtenden Untersuchungsjahr durchgeführt worden. In diesem Fall ist zusätzlich eine Umrechnung auf das Untersuchungsjahr mittels Verkehrsentwicklungsfaktoren (aus Dauerzählungen des Landes bzw. städtischen Langzeitzählungen, z.B. [6]) vorzunehmen.

Grundsätzlich sind zeitnahe Zählungen den Daten aus zurückliegenden Jahren vorzuziehen. Die Zählungen können gemäß den Richtlinien für die Straßenverkehrszählung 1995 [3] als manuelle Kurzzeitzählungen (zwei Werktage, ein Samstag, ein Sonntag) vorgenommen oder als Kurzwochenzählung Do bis Mo (oder Fr bis Di) mit automatischen Zählgeräten ausgeführt werden (zur Vorgehensweise zur Bestimmung der *DTV*-Werte aus Kurzzeitzählungen, siehe z.B. [5]).

Je nach Aufgabenstellung müssen die Verkehrsdaten in entsprechender zeitlicher Auflösung vorliegen.

Bei Langzeitbetrachtungen müssen die Verkehrsdaten unabhängig von der Art der Datenerhebung als Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte als *DTV* pro Fahrzeugart in Verbindung mit einer Wochenganglinie pro Fahrzeugart oder als mittleres tägliches Verkehrsaufkommen pro Wochentaggruppe ($DTV_{\text{Mo-Fr}}$, DTV_{Sa} , DTV_{So}) jeweils pro Fahrzeugart vorliegen.

Results from surveys conducted by the communities, if available, are also to be considered. Usually these data exist in the form of results of short-term surveys (e.g. manual counting over 4 hours on a work day, for different → vehicle types) or of automatic counting (e.g. over 24 hours or a week, often counting all vehicles, i.e. without differentiation with respect to vehicle type).

Besides manual counting by persons, counting by automatic equipment can also be employed. For example, detectors embedded into or near the pavement send pulses to counting or recording equipment. Comments on the use of such equipment may be found in e.g. [4].

The results of short-term counting are first converted into daily averages of the traffic volume and then averaged over one year, yielding mean daily traffic volumes (*DTV*). Averaging takes into account the variations within a year. Instructions for computing *DTV*-values from short-term counts in streets in built-up areas (including examples) may be found in e.g. [5]. There are also factors for converting *DTV*-values of different days of the week into each other.

Frequently the available counts were not obtained in the considered year of investigation. In this case the data are adapted to the year of investigation by means of traffic development factors, which are derived from continuous surveys conducted by provincial authorities or from urban long term surveys, see e.g. [6].

In principle, data from more recent surveys are to be preferred over older data. The surveys may be conducted as manual short-term counting according to the guidelines for road traffic surveys 1995 [3] (two work days, one Saturday, one Sunday) or with automatic equipment as short-week counting from Thursday to Monday or Friday to Tuesday. More on the procedure to obtain *DTV*-values from short-term surveys is to be found in e.g. [5].

The resolution of the traffic data must be adequate for the purpose of the study.

For long-term investigations it is necessary that the traffic data are in the form of *DTV* as a function of the time of the week or of the mean daily traffic volume per group of weekdays ($DTV_{\text{Mo-Fr}}$, DTV_{Sa} , DTV_{So}), in both cases separately for each vehicle type.

2.1.2.2 Verkehrszusammensetzung

Die Fahrzeuge sind bei den Verkehrserhebungen mindestens nach den → Fahrzeugarten Pkw, INfz $\leq 3,5$ t zul. Gesamtmasse (dazu zählen gemäß der Emissionsfaktorensystematik die Kleinbusse, Lkw $\leq 3,5$ t, Wohnmobile und andere Sonderfahrzeuge $\leq 3,5$ t [7]) und sNfz $> 3,5$ t zul. Gesamtmasse aufzuschlüsseln. Wünschenswert ist eine weitere Untergliederung der sNfz in die Fahrzeugkategorien Linienbusse, Reisebusse, Lkw, Lastzüge und Sattelzüge. Die motorisierten Zweiräder bzw. die Motorräder und Kleinkrafträder sollten möglichst als eigene Fahrzeugart bzw. Fahrzeugkategorie ausgewiesen und nicht wie sonst häufig praktiziert der Fahrzeugart Pkw zugeschlagen werden.

Die oben genannten Fahrzeugarten und -kategorien lassen sich überwiegend durch das äußere Erscheinungsbild unterscheiden und zeigen signifikant andere Emissionseigenschaften. Eine weitestgehende Differenzierung der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge ist daher im Hinblick auf die Emissionsbestimmung schon bei der Verkehrserhebung von Interesse (siehe Tabelle 3).

2.1.2.2 Traffic composition

During the traffic survey the vehicles are classified into at least three groups of → vehicle types: Pkw; INfz with a maximum total mass ≤ 3.5 t (based on emission factors, this group includes small buses, lorries ≤ 3.5 t, caravans and other special vehicles ≤ 3.5 t [7]); and sNfz > 3.5 t maximum total mass. A further subdivision is desirable of the sNfz into the vehicle categories public transport buses, tourist coaches, lorries, lorries with trailers, and tractor-trailers. Motor-assisted bicycles, motorcycles and small motorcycles should be registered as separate vehicle types or vehicle categories and not be lumped together with the vehicle type passenger car, as it is often practised.

The vehicle types and categories mentioned above can be distinguished primarily by their appearance. They possess significantly different emission properties. To facilitate a detailed emission calculation, the vehicles that participate in the traffic should be classified to the finest possible detail at the time of the traffic survey (see Table 3).

Tabelle 3. Gliederung der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge (Verkehrszusammensetzung) in Fahrzeugarten und Fahrzeugkategorien. Die Feinunterteilung in Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten (Flottenzusammensetzung) wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

Fahrzeugart	Fahrzeugkategorie	→ Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
Pkw	Personenwagen und Kombi	siehe Tabelle I1 in Anhang I	siehe Tabelle I1 in Anhang I
INfz	Lkw und Lieferwagen, Kleinbusse, Wohnmobile und Sonderfahrzeuge, alle $\leq 3,5$ t	siehe Tabelle I2 in Anhang I	siehe Tabelle I2 in Anhang I
sNfz	Lkw ohne Anhänger $> 3,5$ t Lkw mit Anhänger (Lastzug LZ) $> 3,5$ t Sattelzug (SZ) $> 3,5$ t Reisebus (RB) $> 3,5$ t Linienbus (LB) $> 3,5$ t	siehe Tabelle I3 in Anhang I siehe Tabelle I4 in Anhang I siehe Tabelle I5 in Anhang I siehe Tabelle I6 in Anhang I siehe Tabelle I7 in Anhang I	siehe Tabelle I3 in Anhang I siehe Tabelle I4 in Anhang I siehe Tabelle I5 in Anhang I siehe Tabelle I6 in Anhang I siehe Tabelle I7 in Anhang I
motorisierte Zweiräder	Kleinkrafttrad, Kleinmotorrad (Mofa, Moped), Krafttrad, Motorrad	siehe Tabelle I8 in Anhang I siehe Tabelle I9 in Anhang I	siehe Tabelle I8 in Anhang I siehe Tabelle I9 in Anhang I

Table 3. Classification of vehicles, which constitute the traffic composition, into vehicle types and vehicle categories. The subdivision into vehicle concepts and vehicle layers (fleet composition) is described in Section 2.2.

Vehicle type	Vehicle category	→ Vehicle concept	Vehicle layer
Pkw	passenger car and station wagon	see Table I1 in Annex I	see Table I1 in Annex I
INfz	Lkw and pick-up truck, small bus, caravan and special vehicle, all ≤ 3.5 t	see Table I2 in Annex I	see Table I2 in Annex I
sNfz	Lkw without trailers > 3.5 t Lkw with trailer > 3.5 t tractor-trailer (SZ) > 3.5 t tourist coach (RB) > 3.5 t public transport bus (LB) > 3.5 t	see Table I3 in Annex I see Table I4 in Annex I see Table I5 in Annex I see Table I6 in Annex I see Table I7 in Annex I	see Table I3 in Annex I see Table I4 in Annex I see Table I5 in Annex I see Table I6 in Annex I see Table I7 in Annex I
motorised bicycles	small motorcycles, mopeds motorcycles	see Table I8 in Annex I see Table I9 in Annex I	see Table I8 in Annex I see Table I9 in Annex I

Für die weitere Emissionsberechnung ist diese Aufschlüsselung der Verkehrszusammensetzung allerdings noch nicht ausreichend, da die Fahrzeuge erst auf der Ebene der „Fahrzeugschichten“ ähnliches Emissionsverhalten zeigen. Pro Fahrzeugart bzw. -kategorie ist demnach die Flottenzusammensetzung nach Fahrzeugschichten zu ermitteln (siehe Abschnitt 2.2 Flottenzusammensetzung und Tabellen I1 bis I9 (Anhang I)). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass diese differenzierte Fahrzeugflottenzusammensetzung genau genommen auf einem Straßenabschnitt weder zeitlich noch räumlich konstant ist und daher eigentlich über aufwändige Kennzeichenerfassung (siehe Abschnitt 2.2.2) ermittelt werden müsste. Da dies im Allgemeinen kaum möglich ist, wird bei den Verkehrserhebungen nur nach den Fahrzeugarten bzw. -kategorien differenziert. Zur weiteren Ableitung der Fahrzeugflottenzusammensetzung wird auf die Daten im amtlichen Fahrzeugregister zurückgegriffen, wobei durch eine zusätzliche so genannte Fahrleistungsgewichtung berücksichtigt wird, dass die Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugschichten in Abhängigkeit von Fahrzeugalter, Größe und Motorenkonzept differieren (siehe Abschnitt 2.2).

Hinzuweisen ist auf die Problematik der Unterscheidung der Fahrzeugarten bei Verwendung von vorhandenen Zählenden. So wurde z. B. bis zur SVZ '90 bei den bundesweiten Straßenverkehrszählungen die Unterteilung nach Pkw, Lieferwagen und Lkw > 2,8 t berücksichtigt (ab der SVZ '95 liegt die Abgrenzung bei Lkw > 3,5 t; vergleiche Tabelle 2). Auch bei kommunalen Zählungen wird oft die Abgrenzung der Lkw bei 2,8 t vorgenommen (dies entspricht der Abgrenzung der Lkw wie sie zur Berechnung der straßenverkehrsbedingten Lärmemissionen notwendig ist [8]). Zudem sind die Kleinbusse bei den meisten Zählungen nicht explizit ausgewiesen, sondern im Allgemeinen bei den Pkw miteingefasst²⁾.

Häufig liegen die Zählergebnisse nur nach den Gruppen Güterverkehr und Personenverkehr differenziert vor, wobei in einigen Fällen die Busse dem Personenverkehr zugeordnet sind. Auch dann ist es notwendig, zunächst zu analysieren, welche (Teil)-Fahrzeugart wo zugeordnet wurde und wie die Erhebungsdaten in die hier relevanten Fahrzeugarten umzusetzen sind. Hinweise hierzu finden sich z. B. in den der SVZ '95 zu Grunde liegenden Zählblättern und Erläuterungen.

This level of classification does not suffice for further calculations of the emission, because only vehicles that belong to the same vehicle layer possess a similar emission behaviour. Therefore, the vehicle type and the vehicle category making up the fleet composition are further subdivided into vehicle layers; see Section 2.2, fleet composition, and Tables I1 through I9 in Annex I. It should be recognised, however, that this detailed fleet composition is in reality neither spatially nor temporarily constant but should be determined by recording the license plates, which is a costly task; see Section 2.2.2. Because in general this can hardly be done, traffic surveys distinguish only between vehicle types and vehicle categories. The fleet composition is further broken down by relying on the data in the vehicle registers. These data are modified by weighting them with the mileage specific for the individual vehicle layers, which differ because of vehicle age, size and engine design (see Section 2.2).

The problem should be pointed that arises when using data from past traffic surveys. The surveys may use different vehicle types. For example, the nation-wide road traffic count of 1990 divided the vehicles into passenger cars, pick-up trucks and lorries of more than 2.8 t. Starting with the road traffic count 1995, the mass limit of lorries lies at 3.5 t; see Table 2. In counts conducted by communities the limit to lorries are often set at 2.8 t which corresponds to the definitions used for calculating traffic noise emissions [8]. Furthermore, small buses are not listed separately in most counts but are lumped together with the passenger cars²⁾.

Frequently, the results of traffic counts distinguish only between the groups goods traffic and passenger traffic, the latter including buses in some cases. In these cases it is necessary to analyse which vehicle type is assigned to what group and how the results of the survey can be converted so that they reflect the present classification. Help for doing this may be found for instance in the tally sheets and the instructions for the SVZ '95.

²⁾ Da ab 1997 im amtlichen Fahrzeugregister die Kleinbusse nicht mehr explizit ausgewiesen werden, ist bei der verwendeten Flottenzusammensetzung für die INFz (siehe Abschnitt 2.2) genau auszuweisen, ob diese die Kleinbusse beinhaltet oder nicht. Entsprechend ist bei den Daten der Verkehrserhebungen der Anteil der Kleinbusse bei den INFz oder bei den Pkw zu berücksichtigen.

²⁾ Because since 1997 the official vehicle registers do not list small buses as a separate category, it should be indicated whether the category INFz (see Section 2.2) of the utilised fleet composition contains small buses or not. Accordingly, the traffic survey data for small buses is to be included either with the INFz or with the passenger cars.

Die Erfahrung zeigt, dass es in den meisten Fällen notwendig sein wird, die Daten vorhandener Verkehrserhebungen in die für die Emissionsberechnung benötigte Einteilung nach Fahrzeugarten umzurechnen. Hierzu können z.B. die Ergebnisse aus vorliegenden Zählungen mit ausreichender Unterteilung nach Fahrzeugarten oder -kategorien oder auch die Ergebnisse der Jahresfahrleistungsermittlung für die Bundesrepublik Deutschland [9] herangezogen werden. In [9] finden sich für verschiedene Straßenkategorien differenzierte Angaben zu den Anteilen der einzelnen Fahrzeugkategorien am Gesamtverkehrsaufkommen. Daraus können Faktoren abgeleitet werden, die es erlauben, aus den vorhandenen Zählergebnissen (z.B. Lkw > 2,8 t) die für die Emissionsberechnung relevante Einteilung nach Fahrzeugarten abzuleiten.

Werden aktuelle Zählungen durchgeführt, kann die Differenzierung der Fahrzeugarten/-kategorien im Hinblick auf die Emissionsfaktorensystematik von Anfang an berücksichtigt werden (siehe Tabelle 3). Bei automatischen Zählungen besteht zum Teil die Möglichkeit, die Daten differenziert nach Längsklassen zu erheben. Die einzelnen Längsklassen können dann unterschiedlichen Fahrzeugarten zugeordnet werden, wobei die Ergebnisse dieser Unterteilung im Allgemeinen weniger genau sind als bei der manuellen/visuellen Zählung. Untersuchungen haben gezeigt, dass im Allgemeinen Pkw eindeutig < 5 m lang sind und eine Länge von 12 m oder mehr eindeutig zu den sNfz gehört. Für die Zuordnung von Fahrzeuglängen zwischen 5 und 12 m müssen zusätzliche Informationen vorhanden sein.

2.1.3 Zeitliche Differenzierung der Verkehrsstärken

Zur Abbildung der stündlichen (oder halbstündlichen) Verkehrsstärken innerhalb der Wochentagsgruppen (siehe Abschnitt 2.1.2) sind Tagesganglinien zu verwenden. Diese geben den Anteil der stündlichen Verkehrsmenge am Tagesverkehr an. Die Tagesganglinien sind pro Wochentagsgruppe und pro relevanter Fahrzeugart, zumindest für die Pkw, INfz und sNfz, zu ermitteln.

Soweit möglich sind hierzu an den zu untersuchenden Straßenabschnitten mindestens Kurzwochenzählungen (siehe Abschnitt 2.1.2) durchzuführen und daraus entsprechende Tagesganglinien abzuleiten.

Im Falle manueller Kurzzeitzählungen muss auf standardisierte Tagesganglinien zurückgegriffen werden. Ein Verfahren zur Bestimmung der maßgebenden Tagesganglinien ist mit Beispielen in [5] beschrieben. Dort sind auch die Charakteristiken der → Ganglinien und die prozentualen Anteilswerte je

Experience shows that in most cases the data of past traffic surveys need to be adapted to the vehicle layerification of the emission calculation. To this end one may draw upon available results of traffic surveys that used a sufficiently detailed vehicle layerification or of the national survey of annual mileage [9]. In [9] detailed information can be found about the share of each vehicle category in the total traffic on various road categories. From this information factors can be derived that allow the distribution of available counts, for instance for lorries > 2.8 t, over the vehicle types that are relevant for the computation of the emission.

If traffic counts are planned, distinguishing the vehicle types and categories that reflect the sets of emission factors can be realised from the beginning (see Table 3). With automated counting it is sometimes feasible to recognise different classes of vehicle lengths. These individual classes may then be related with different vehicle types; the results of this procedure, however, are usually less accurate than those of manual and visual counting. Surveys have shown that passenger cars are definitely shorter than 5 m and that lengths of 12 m or more belong definitely to sNfz. For assigning vehicle lengths between 5 and 12 m additional information must be available.

2.1.3 Temporal differentiation of the traffic volume

For finding the hourly or half-hourly traffic volume for each group of weekdays (see Section 2.1.2), diurnal variations are to be used. These indicate the portion of the hourly traffic volume of the daily traffic volume. The diurnal variations are to be determined for each group of weekdays and for each relevant vehicle type, at least for passenger cars, INfz and sNfz.

As far as possible, at least short-week counts are to be conducted at the investigated road sections (see Section 2.1.2) and diurnal variations of the traffic volume deduced.

In the case of manual short-term counts, standardised diurnal variations are to be used. A method with examples for preparing representative diurnal variations is described in [5]. There, characteristic properties of diurnal variations are given as well as the fraction, for each hour of the day, of vehicle types participating in

Stunde der am Tagesverkehr beteiligten Fahrzeugarten für Normalwerktage dargelegt.

In Bild 2a und Bild 2b sind Beispiele für typische Tagesganglinien nach [2] differenziert nach den Fahrzeugarten Pkw und sNfz dargestellt.

Auch aus den Daten automatischer Dauerzählungen lassen sich Zeitreihen des Verkehrsaufkommens ableiten, die zur Ermittlung von Jahresgängen, Wochengängen und Tagesgängen herangezogen werden können.

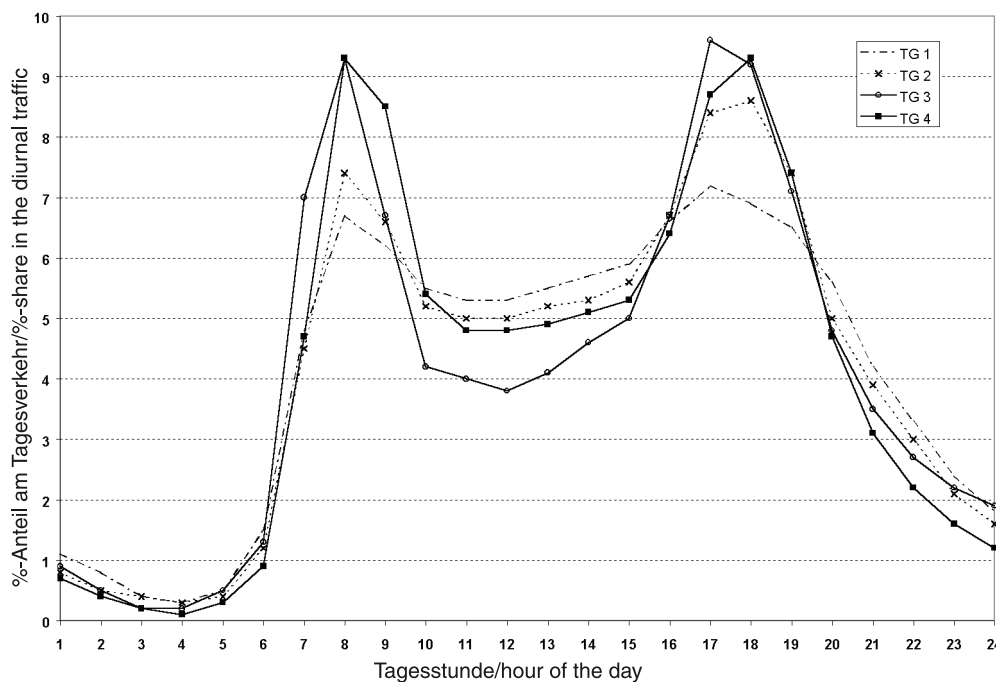
Die Daten der automatischen Dauerzählungen können auch in Form von → Dauerlinien (Sortierung der

the traffic on normal weekdays.

Figure 2a and Figure 2b are examples for typical diurnal variations for passenger cars and sNfz, according to [2].

Data from automated counting may also be used to prepare time series of the traffic volume that may serve to determine annual, weekly and diurnal variations.

Data from automated continuous counting may be transformed into → continuous lines (hourly traffic



- TG_1: Straßen im **Kernstadtbereich** und am Kernstadtrand mit überwiegend Wirtschafts- und Einkaufsverkehr (geringe Überlagerung mit Berufsverkehr), Tangential-, Ringstraßen;
– flacher Verlauf mit schwach ausgeprägter Morgenspitze;
- TG_2: Straßen am **Kernstadtrand** und im weiteren Stadtbereich, teils Radialstraßen zur Kernstadt, teils Erschließungs- und Ortsteilverbindungsstraßen;
– über zwei Stunden (7–9 Uhr) verteilte Morgenspitze, hohe Nachmittagsspitze zwischen 16–18 Uhr;
- TG_3: Straßen am **Stadtrand**, aber auch Erschließungs- und Ortsteilverbindungsstraßen mit hohem Anteil Berufsverkehr mit frühem Arbeitsbeginn;
– sehr hohe singuläre Morgenspitze (7–8 Uhr), geringer Verkehr in den Mittagsstunden, sehr hohe Nachmittagsspitze;
- TG_4: Straßen wie TG_3, jedoch leichte Überlagerung des Berufsverkehrs durch Gelegenheitsverkehr, Berufsverkehr mit späterem Arbeitsbeginn;
– sehr hohe Morgenspitze über zwei Stunden (7–9 Uhr), gleich hohe Nachmittagsspitze (16–18 Uhr) mit Maximalwert zwischen 17–18 Uhr;

Bild 2a. Tagesganglinien-Typen des Pkw-Verkehrs Di–Do (Dienstag bis Donnerstag, Gesamtquerschnitt GQ), nach [2]

- TG_1: Streets in the **central area** of the town with predominantly commercial and shopping traffic with little commuter traffic; tangential and circular streets;
– flat curve with weakly developed morning peaks.
- TG_2: Streets in the **central area** and other section of the town, some of which are radial streets leading to the town centre, others connect sections of the town or residential areas;
– morning peak during two hours (7 to 9 a.m.), tall afternoon peak between 4 and 6 p.m.
- TG_3: Streets in the **outskirts**; also streets connecting town sections and residential areas with a large proportion of traffic of commuters with early work hours;
– very tall and slender morning peak (7 to 9 a.m.), little traffic during the midday hours, very tall afternoon peak.
- TG_4: Streets as in TG_3, but with general traffic superimposed upon the commuter traffic with late work start;
– very tall morning peak during two hours (7 to 9 a.m.), equally high afternoon peak (4 to 6 p.m.) with a maximum between 5 and 6 p.m.

Fig. 2a. Types of diurnal variations of the passenger car traffic: Tuesday to Thursday, total cross section GQ, according to [2].

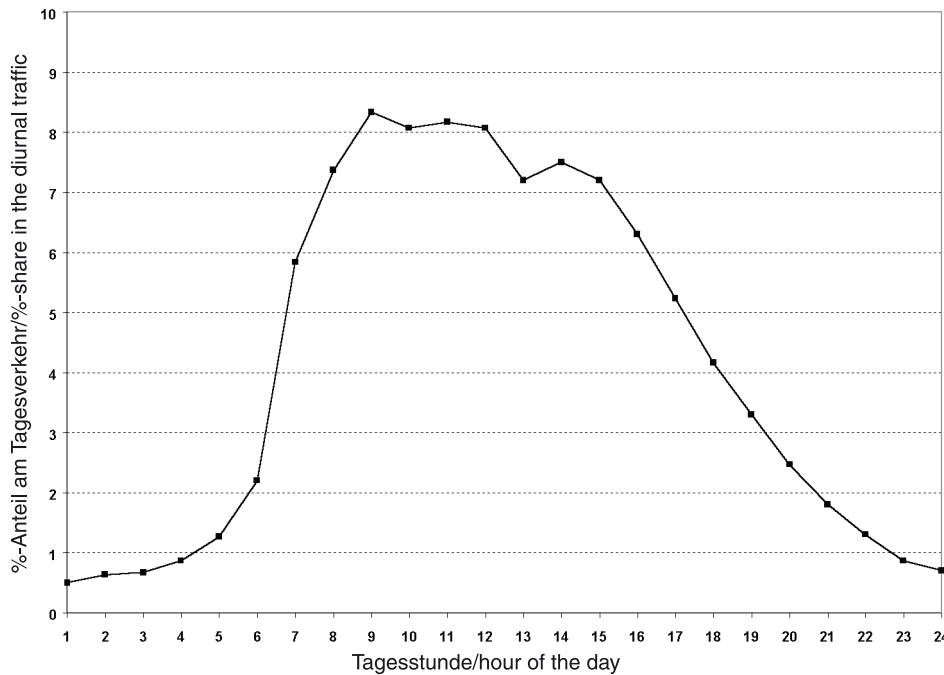


Bild 2b. Tagesganglinien-Typen des Lkw-Verkehrs Mo–Do (Montag bis Donnerstag, Gesamtquerschnitt GQ), nach [2]

Fig. 2b. Types of diurnal variations of the lorry traffic: Tuesday to Thursday, total cross section GQ, according to [2]

stündlichen Verkehrsstärken eines Jahres nach der Größe) zur Ermittlung des maximalen stündlichen Verkehrsaufkommens verwendet werden. Diese lassen sich z. B. auch zur Ableitung des Stauanteils heranziehen (durch Gegenüberstellung von Verkehrsaufkommen der höchstbelasteten Stunden im Jahr und → Kapazität des Straßenabschnitts).

2.1.4 Fahrverhalten und Verkehrsablauf

Neben den Verkehrsstärken hat auch das Fahrverhalten (Geschwindigkeit, Beschleunigung), das wiederum vom allgemeinen Verkehrsablauf auf einem Straßenabschnitt abhängt, einen erheblichen Einfluss auf die emittierte Schadstoffmenge (siehe auch Abschnitt 2.2). Daher ist es notwendig, parallel zu den zeitlich differenzierten Verkehrsmengen auch Daten zum Verkehrsablauf in der gleichen zeitlichen Auflösung (zur Beschreibung des mittleren Fahrverhaltens auf einem Straßenabschnitt, siehe auch [10]) zu ermitteln. Hierbei wird der aktuelle Verkehrsablauf über die vorliegende aktuelle Verkehrssituation beschrieben.

Die zeitlich differenzierte Verkehrssituation auf einem Straßenabschnitt kann durch Messfahrten (Fahrten durch Mitschwimmen eines entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugs im Verkehr, siehe Bild 3) entlang des Straßenabschnittes zu unterschiedlichen Tageszeiten und Wochentagen bestimmt werden. Außerdem können hierzu auch entsprechende Verkehrsflusssimulationsmodelle eingesetzt werden, um Merkmale wie Anteile von Beschleunigung, Verzö-

volumes of one year sorted by magnitude) that may be used to find the maximum hourly traffic volume. They may also serve to determine the percentage of traffic jams by contrasting the traffic volume of the busiest hours of the year with the → capacity of the road section.

2.1.4 Driving behaviour and the traffic situation

Besides the traffic volume, the driving behaviour (speed, acceleration) also contributes significantly to the amount of emitted pollutants (see Section 2.2). The driving behaviour in turn depends on the traffic situation prevailing on the road section. Therefore, it is necessary to record simultaneously with the traffic volumes as functions of time also the traffic situation with the same temporal resolution. For the description of the mean traffic behaviour on a road section see [10]. The current traffic assessment is based on the current traffic situation.

The traffic situation on a road section as a function of time can be determined by an appropriately equipped measurement vehicle that participates in the traffic flow at different hours of the day and on different days of the week. Also, suitable traffic flow simulation models may be employed to determine features such as the fractions of acceleration, deceleration, stopping, and mean cruising speed on the observed road section at different times of the day. It is desira-

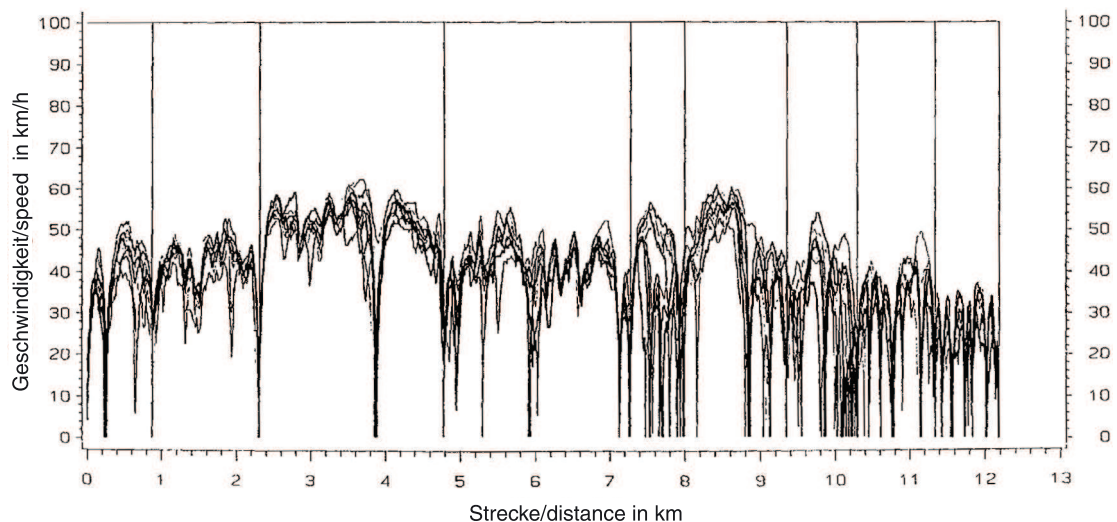


Bild 3. Beispiele von Messfahrten zu unterschiedlichen Tageszeiten [10]

Fig. 3. Examples of measurement trips at different times of the day [10]

gerung, Standanteile und mittlere Reisegeschwindigkeit für den betrachteten Straßenabschnitt zu unterschiedlichen Tageszeiten zu bestimmen. Wünschenswert ist der Einsatz von Messfahrten oder Verkehrsflussmodellen zur Bestimmung der aktuellen Verkehrssituation. Alternativ kann die zeitlich differenzierte Verkehrssituation über andere Parameter abgeleitet werden (siehe Abschnitt 2.5 und Abschnitt 2.6).

ble to use measurement vehicles or traffic flow models for assessing the current traffic situation. Alternatively, the traffic situation as a function of time may be derived from other parameters; see Section 2.5 and Section 2.6.

2.1.5 Weitere notwendige Verkehrsdaten zur Emissionsberechnung

2.1.5.1 Fahrtweitenverteilung

Zur Berücksichtigung des Kaltstartverhaltens und der Verdampfung von Otto-Kraftstoff aus den kraftstoffführenden Teilen des Fahrzeuges bei der Emissionsberechnung sind Kenntnisse über die bereits zurückgelegte Fahrtstrecke der auf einem Streckenabschnitt vorhandenen Fahrzeuge notwendig. Diese Fahrtweitenverteilung ist unter anderem abhängig von der Fahrzeugart, der Tageszeit und dem Wochentag. Des Weiteren haben auch Lage und Funktion eines Streckenabschnitts im Gesamtstraßennetz einen Einfluss auf die typische Fahrtweitenverteilung dieses Streckenabschnitts.

Eine differenzierte Ermittlung der Fahrtweitenverteilung der Fahrzeuge auf einem Straßenabschnitt kann nur über eine Direktbefragung der Verkehrsteilnehmer erfolgen. Da dies sehr aufwändig ist, wird im Allgemeinen auf Daten aus der Literatur, die aus entsprechenden Erhebungen abgeleitet wurden, zurückgegriffen. Eine kritische Überprüfung dieser Werte im Hinblick auf die Übertragung auf den betrachteten Streckenabschnitt muss erfolgen.

In Abschnitt 2.4, → Startzuschläge, sind aktuelle Beispiele für Fahrtweitenverteilungen aus der Literatur aufgeführt.

2.1.5 Further traffic data required by the calculation of the emission

2.1.5.1 Distribution of travelled distances

For accounting for the cold start behaviour and the evaporation of Otto-cycle fuel from the fuel conducting parts of the vehicle in the computation of emissions, information is needed about the distances travelled by the vehicles on the road section. This distribution of travelled distances depends on the type of vehicle, the time of the day, the day of the week and other factors. Furthermore, the location of the road section within the total road net and its function affect the typical distribution of the travelled distances.

A detailed distribution of travelled distances can be obtained only by directly interviewing the drivers of the vehicles on the road section. Because this is very costly, data are usually taken from the literature that stem from relevant surveys. These data should be critically reviewed before they are applied to the observed road section.

In Section 2.4, → start additions, recent examples of travelled distance distributions from the literature are given.

2.1.5.2 Abstelldauerverteilung

Neben der Länge der zurückgelegten Strecke bestimmt auch die Dauer des Abstellens des Fahrzeuges vor dieser Fahrt maßgeblich die Höhe der Kaltstartemissionen und auch der Verdampfungsemissionen. Daher sind zur Berechnung dieser Emissionen auch Kenntnisse über die mittlere Verteilung der Abstelldauer von Fahrzeugen notwendig.

Aktuelle Daten zur Abstelldauerverteilung können mit Hilfe einer Verkehrsteilnehmerbefragung ermittelt werden. Hierbei müssen neben → Quelle und Ziel der Fahrt sowie deren Zweck (Beruf, Einkauf, Freizeit usw.) auch die → Parkdauer vor Beginn der Fahrt erfragt werden.

Da entsprechende Erhebungen sehr aufwändig sind, wird im Allgemeinen auf Daten aus der Literatur zurückgegriffen. Beispiele zur Abstelldauerverteilung von Fahrzeugen sind in Abschnitt 2.4 aufgeführt.

2.1.5.3 Stellplatzumschlagszahlen

Sollen die Emissionen eines Stellplatzes ermittelt werden, sind zusätzliche Daten zu erheben.

Wesentliche Bestandteile für die Berechnung der Emissionen eines Stellplatzes sind die Bewegungshäufigkeit (Abstellvorgang, Motorstart) und die Verweildauer (Kaltstart, Verdampfung) der Fahrzeuge. Liegen keine Verkehrsdaten explizit für die durchzuführende Untersuchung vor, so kann auf die im Folgenden zusammengestellten Daten zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der Lärmforschung [8; 11] wurde an einer Reihe unterschiedlichster Stellplatzanlagen der ein- und ausfließende Verkehr gezählt und in Form von Ganglinien zusammengestellt. Eine ausführliche Darstellung von Bewegungsganglinien verschiedener Arten von Stellplätzen befindet sich in den Stellplatzlärmstudien des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [11]. Daneben finden sich auch in den „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [12] standardisierte Ganglinien und weitere Hinweise zur Ermittlung der Belegung und Auslastung von Stellplätzen.

In Tabelle 4 sind als Beispiel Daten aus [11] zur Anzahl der Fahrzeugbewegungen, der Fahrzeugstarts, der Betriebszeit und eine obere Abschätzung für die mittlere Verweildauer, bestimmt aus dem Quotient von Betriebszeit und der Anzahl der Starts, angegeben. Grundsätzlich ist zur Berechnung der tatsächlichen mittleren Verweildauer noch zusätzlich der Belegungsgrad des Stellplatzes zu berücksichtigen, da der Zeitraum, in welchem der Stellplatz nicht belegt ist, in diesen Untersuchungen nicht erfasst

2.1.5.2 Distribution of parking times

Besides the length of the travelled distance, the duration of parking of the vehicle before the trip determines significantly the amount of the cold start emissions and also the emissions by evaporation. Therefore, for calculating these emissions, information about the mean distribution of the parking time is required.

Current data for computing parking distributions can be obtained by interviewing the traffic participants. The questions which are asked concern the → origin and the destination of the trip, its purpose (work, shopping, leisure etc.) and also the → parking time before the trip began.

Because such surveys are very costly, usually data taken from the literature are used. Examples of distributions of parking times are given in Section 2.4.

2.1.5.3 User frequency of car parks

If emissions of a car park are to be determined, additional data are required.

An essential component of the calculation of the emissions of car parks are the frequency of movements of vehicles (parking, starting) and the parking time (cold start, evaporation). If no traffic data are available that are specific for the planned investigation, the following compilations of data may be consulted.

Within the framework of research on noise [8; 11], the incoming and the outgoing vehicles were counted in a number of car parks and compiled as → function vs. time curves. A comprehensive collection of movements vs. time curves of various car parks is contained in the investigations on car park noise by the Bavarian Environmental Protection Agency [11]. Standardised function vs. time curves and methods for determining the occupancy of car parks may be found in the "Recommendations for Parking Facilities by the Road and Transportation Research Association" (FGSV) [12].

Table 4 is an example taken from [11]. It lists the number of vehicle movements and starts, the time of operation, and an upper estimate of the mean parking time that is the ratio of the operating time over the number of starts. In principle, computing the actual mean parking time should take into account the degree of occupancy because the time of vacancy of a parking place was not registered in these investigations. Data concerning underground car parks apply approximately also to on-street parking in residential areas.

Tabelle 4. Fahrzeugbewegungen und Abfahrten (Starts) in 24 Stunden und die daraus abgeleitete mittlere Verweildauer pro Stellplatz [11]

	Bewegungen in 1/24 h	Starts in 1/24 h	Betriebszeit/ Öffnungszeit in h	mittlere Verweildauer in h
P+R-Parkplätze	5,3	2,6	24	< 9,1
Einkaufszentren	25,6	12,8	11	< 0,9
Einkaufsmarkt, Discounter	33,6	16,8	12	< 0,7
Tiefgaragen von Wohnanlagen	1,4	0,7	24	> 8*)
Diskothek	6,4	3,2	5	< 1,6
Tank- und Rastanlagen	30,4	15,2	24	< 1,6

* geschätzter Wert

Table 4. Number of vehicle movements and of starts in 24 hours and the derived mean parking time per parking space [11]

	Movements in 1/24 h	Starts in 1/24 h	Operating in h	Mean parking time in h
P + R car parks	5.3	2.6	24	< 9.1
shopping centres	25.6	12.8	11	< 0.9
shopping markets, discounters	33.6	16.8	12	< 0.7
underground car parks in apartment complexes	1.4	0.7	24	> 8 (estimated)
discos	6.4	3.2	5	< 1.6
filling stations and rest areas	30.4	15.2	24	< 1.6

wurde. Anzumerken ist hierzu, dass die Angaben zu Tiefgaragen von Wohnanlagen in erster Näherung auch für die Straßenrandbeparkung in Wohngebieten angesetzt werden können.

Insbesondere für bewirtschaftete Stellplätze und Kurzzeitstellplätze hängen die Umschlagzahl und die Abstelldauer stark von den zeitlichen Parkbegrenzungen und der Kostenstaffelung ab. In solchen Fällen ist die Durchführung einer Erhebung zur Stellplatzbelegung sinnvoll, um realistische Daten zu ermitteln. Ansonsten muss auf standardisierte Daten, wie z.B. in Tabelle 4 oder in den „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [12] angegeben, zurückgegriffen werden.

2.1.6 Verkehrsprognose

Oft interessieren im Rahmen von Untersuchungen (z.B. bei Planungen zukünftiger Straßenbauprojekte) Aussagen über zukünftige → Verkehrsbelastungen. Diese können auf der Grundlage der bekannten Verkehrsbelastungen im Ist-Zustand und weiteren Daten zur erwarteten Entwicklung der Verkehrsbelastungen in der Zukunft ermittelt werden.

Hierzu bieten sich z.B. die Ergebnisse von Trendprognosen zur zukünftigen Bestands- und Fahrleistungsentwicklung (z.B. [13; 14]) oder auch Daten

Especially on commercially operated car parks and in short-term parking areas the car turnover and the times of parking depend strongly on the limits of the parking times and on the parking rates. In such cases it is recommended to obtain realistic data by surveying the occupancy. Otherwise standardised data such as those listed in Table 4 or in "Recommendations for Parking Facilities by the Road and Transportation Research Association" (FGSV) [12] may be utilised.

2.1.6 Traffic forecasts

Often forecasts concerning future → traffic volumes are of interest, for instance when planning road construction projects. These may be based on known present traffic loads and on data about the expected development of traffic loads in the future.

For instance, results may be used from trend forecasts about the future development of the number of motor vehicles and their mileage (e.g. [13; 14]) or data from

aus weiteren Untersuchungen an, z.B. den Verkehrsentwicklungsplänen einzelner Kommunen.

Zudem können Zeitreihen von Dauerzählungen im Untersuchungsraum, die regionale Charakteristiken im Vergleich zur allgemeinen Entwicklung in den zurückliegenden Jahren aufzeigen, auch bei der Prognose berücksichtigt werden.

Eine Prognose von streckenspezifischen Verkehrsstärken bei verkehrlichen und/oder infrastrukturellen Veränderungen in einem Straßennetz oder in einem Untersuchungsraum kann ebenso mit Hilfe von Verkehrsmodellen ermittelt werden (siehe Abschnitt 2.1.7).

2.1.7 Verkehrsmodellierung

Neben den in Abschnitt 2.1.2 erläuterten Erhebungsmethoden zur Ermittlung aktueller Verkehrsdaten besteht die Möglichkeit, diese Daten auch mit Hilfe von Verkehrsmodellen zu erhalten.

Dies können z.B. mesoskopische und mikroskopische Verkehrsmodelle sein, die auf der Basis eingegabener Verkehrsbeziehungen zwischen einzelnen Verkehrszellen im Untersuchungsgebiet für alle Straßenabschnitte Verkehrsflüsse berechnen. Mesoskopische Modelle dienen dabei zur Abbildung regionaler Straßennetze, mit mikroskopischen Modellen werden dagegen meist kleinere Gebiete sehr detailliert dargestellt.

Entsprechend den Aggregationsebenen lassen sich die Verkehrsmodelle in vier Ebenen unterschiedlicher Auflösungstiefe gliedern (siehe Tabelle 1). Detaillierte Modelle betrachten den Fahrtverlauf weniger Fahrzeuge auf einem eng begrenzten Verkehrsraum sehr genau. Mit abnehmender Modelltiefe nimmt die Modellgenauigkeit des Bewegungsablaufs ab, während der Umfang der Fahrzeugflotte und die räumlichen Grenzen zunehmen. Verkehrsmodelle werden in folgende Klassen eingeteilt [15]; sie sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie:

- Submikroskopische Modelle simulieren das dynamische Fahrverhalten eines Einzelfahrzeugs auf einer Strecke.
- Mikroskopische Modelle bilden das Fahrverhalten und den Fahrtverlauf einzelner Fahrzeuge in einem räumlichen Bereich von einer Straßenkreuzung bis zur Größe einer Stadt ab.
- Mesoskopische Modelle ermitteln aggregierte Verkehrskenngrößen durch ein dynamisches Verkehrsflussmodell ohne Modellierung des Bewegungsablaufes einzelner Fahrzeuge in Stadt- und größeren Schnellstraßennetzen.
- Makroskopische Modelle ermitteln wie mesoskopische Modelle makroskopisch aggregierte Ver-

other studies, for instance traffic development plans of individual municipalities.

Also, time series of continuous traffic counts in the investigated region that feature characteristic deviations from the general development of the past years can supplement forecasts.

Forecasting traffic volumes on specific road sections or in the region of investigation that undergo changes of traffic or infrastructure may be supported by traffic simulation models, see Section 2.1.7.

2.1.7 Modelling traffic

Besides the methods of surveying, explained in Section 2.1.2, for obtaining current traffic data, there is also the possibility of producing the data by means of traffic models.

These could be e.g. mesoscopic or microscopic traffic models that compute traffic flows on all road sections from entered traffic relations between individual sections of the investigated area. Mesoscopic models reflect regional road nets while microscopic models usually describe smaller areas in greater detail.

Corresponding to the levels of aggregation, the traffic models may be assigned to four levels of depths of resolution (see Table 1). Detailed models consider with great precision the movements of a few vehicles in a closely defined traffic area. Models with fewer details follow the vehicle movements less precisely but cover larger vehicle fleets in a larger area. Traffic models are divided into the following classes [15]; they are not treated in this guideline:

- Sub-microscopic models simulate the dynamic driving behaviour of an individual vehicle on the road.
- Microscopic models simulate the driving behaviour and the movements of individual vehicles in an area that may range from an intersection to a town.
- Mesoscopic models simulate the dynamic traffic flow in a town or in larger nets of motor highways and determine aggregated characteristic traffic parameters without modelling the movements of individual vehicles.
- Macroscopic models determine aggregated macroscopic traffic parameters in a similar way as

kehrskenngrößen, jedoch für einen noch größeren Betrachtungsrahmen, beispielsweise für ein Land.

Für die Klassifikation eines Verkehrsmodells in eine der vier oben genannten Kategorien werden verschiedene Merkmale zur Beschreibung herangezogen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind dies:

- Zeitliche Auflösung des Modells, das heißt welches ist die kleinste zeitliche Auflösung, in der verkehrliche Kenngrößen durch das Modell bestimmt werden.
- Art des Bewegungsmodells, das heißt wie werden einzelne Fahrzeuge oder Fahrzeugpuls durch ein Straßennetz im Verlauf der Zeit über Strecken bewegt. Bei den detaillierten Modellen reagieren die Fahrzeuge auf das aktuelle Fahrverhalten der umgebenden Fahrzeuge. Größere Modelle berücksichtigen nur die Einhaltung fundamentaler Abhängigkeiten zwischen Verkehrsdichte (Fahrzeuge pro Raumeinheit), Verkehrsstärke (Fahrzeug pro Zeiteinheit) und mittlerer Geschwindigkeit.
- Granularität der Fahrzeugflotte, damit ist gemeint, für welche Fahrzeugtypen oder aggregierte Fahrzeugflotten die Ergebnisse in Form von Verkehrskenngrößen berechnet werden.
- Ermittlbare Verkehrskenngrößen, das heißt welche analysierbaren und für die Emissionsbestimmung verwendbaren Messwerte werden durch das Verkehrsmodell messtechnisch validierbar bestimmt. Detaillierte Modelle bestimmen die Geschwindigkeit und Beschleunigung abhängig vom Fahrzeugtyp in der gewählten zeitlichen Auflösung. Mit größeren Modellen werden die mittlere Geschwindigkeit und Verkehrsdichte in einem Streckenabschnitt in einer größeren zeitlichen Auflösung berechnet.
- Räumliche Ausdehnung, das heißt wie groß sind die Verkehrsnetze, die mit dem Modell in rechen-technisch akzeptabler Zeit nachgebildet werden können.
- Detaillierungsgrad der Netzabbildung, damit ist gemeint, welche Elemente eines Straßenverkehrsnetzes können durch das Modell mit hinreichender Genauigkeit modelliert werden. Elemente eines Straßenverkehrsnetzes sind: Fahrstreifenzahl, Überhol- und Fahrstreifenwechsellmöglichkeiten, Geschwindigkeitsverbote, Abbiegemöglichkeiten, Verkehrssteuerung durch Signalisierung und Vorfahrtregelung. Detaillierte Modelle berücksichtigen Fahrstreifenwechsellmöglichkeiten bzw. Verbote auf mehrstreifigen Strecken. Mikroskopische Modelle sind insbesondere geeignet, den Verkehrsablauf an Knotenpunkten unterschiedlicher Ausbauförmungen zu erklären. Größere Modelle liefern zwar keine Aussagen über Varianten der Aus-

mesoscopic models but for a larger area of investigation, for instance a province or state.

The traffic models are assigned to one of the four above mentioned categories by evaluating various features. Some of these features are:

- Temporal resolution of the model, i.e. the smallest time increment used by the model when determining traffic parameters.
- Type of modelling the movements, i.e. how do the individual vehicles or groups of vehicles move through space and time. In detailed models, the vehicles react to the driving behaviour of the vehicles in its vicinity. Coarser models observe only fundamental relations between traffic density (vehicles per unit area), traffic volume (vehicles per unit time) and mean speed.
- Granularity of the vehicle fleet, i.e. for which types of vehicles or aggregated vehicle fleets the traffic parameters are computed.
- Verifiable traffic parameters, i.e. what analysable measurement data that are used for the emission calculation are produced by the traffic model that can be validated by measurements. Detailed models produce the speed and the acceleration for each vehicle type with the chosen temporal resolution. Coarser models compute the mean speed and the traffic density on a road section with coarser temporal resolution.
- Spatial extent, i.e. the size of the road nets that can be reproduced by the model within reasonable computation times.
- Level of details of the road net representation, i.e. what elements of the road net can be modelled with sufficient precision. Elements of a road net are: number of traffic lanes, feasibility of passing and changing lanes, speed limits, possibilities for turning, traffic control by traffic lights, and right-of-way regulations. Detailed models consider possibilities for changing lanes or prohibitions on multi-lane road sections. Microscopic models are particularly suited to describe the traffic situation at intersections of various designs. Coarser models cannot evaluate intersections of different design but can explain the choice of routes as function of traffic density.

bauforn eines Knotenpunktes, erklären dafür aber die Wahl von Routen in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad einer Strecke.

- Erforderliche Eingangsdaten, das heißt welche Daten müssen messtechnisch, durch Beobachtung oder Befragung erhoben werden, um mit dem Modell derzeitige oder zukünftige Verkehrszustände zu prognostizieren. Detaillierte Modelle benötigen meist verkehrliche Daten aus den größeren Modellen. Mit größeren Modellen werden Aussagen zur Verkehrsstärke und ihrer zeitlichen Verteilung (Ganglinie) getroffen. Detaillierte Modelle nehmen die Verkehrsstärke aus Verkehrsmessungen bzw. größeren Prognosemodellen und bestimmen den Bewegungsablauf in Abhängigkeit von der Ganglinie einer Zuflussverkehrsstärke.

Um Verkehrsdaten mit Hilfe von Verkehrsmodellen erzeugen zu können, ist zunächst die Kenntnis der Verkehrsnachfrage zwischen unterschiedlichen Zellen des betrachteten Gebietes erforderlich (vergleiche auch Abschnitt 2.5). Mit der Verkehrsnachfrage zwischen diesen Quelle-/Ziel-Beziehungen für einen Betrachtungsraum kann das Verkehrsgeschehen nachgebildet werden. Modellparameter bei mikroskopischen Verkehrsmodellen sind z.B. Verteilungen für Wunschgeschwindigkeit und -beschleunigung. Die zeitliche Auflösung bei mikroskopischen Modellen im Sekundenbereich und die räumliche Auflösung von wenigen Metern lassen eine fahrzeugfeine Erfassung des Fahrzustandes und der Position im Straßennetz zu. Über definierte Straßenquerschnitte im Modell können Informationen zu den spuraufgelösten Verkehrsflüssen ausgegeben werden, z.B. die Verkehrsstärken nach Fahrzeugkategorien, Geschwindigkeitsverteilungen etc. Kalibriert werden Verkehrsmodelle im Allgemeinen durch aktuelle Verkehrsdaten, die an ausgewählten strategisch wichtigen Straßenquerschnitten durch Zählungen erhoben wurden.

Verkehrsmodelle bieten auch die Möglichkeit zur Ermittlung der Fahrtweitenverteilung für die Fahrzeuge, die sich in einer bestimmten Zeiteinheit auf einem einzelnen Straßenabschnitt befinden. Hierfür werden alle Fahrten über den betrachteten Streckenabschnitt ausgewertet. Mikroskopische Modelle können auf Grund der zeitlich und räumlich hohen Auflösung differenzierte Daten für einen begrenzten Netzausschnitt liefern, z.B. zur Abbildung des Fahrverhaltens vor Ampeln an Lichtsignalanlagen oder Kreuzungen sowie Daten zur Streckencharakteristik (z.B. Anzahl der Fahrstreifen, Geschwindigkeitsverteilungen über einen Querschnitt etc.). Die Auswertung der Modelldaten und die geeignete Übertragung auf die hier betrachtete kleinste Einheit (kleinste räumliche Einheit: Straßenabschnitt, kleinste Zeitein-

- Required input data, i.e. what data must be measured, observed, or acquired by interviews so that the model can describe the present or forecast future traffic conditions. Finely structured models usually need traffic parameters from coarser models. Coarser models produce statements about the traffic volume and its temporal distribution (function vs. time). Detailed models use traffic volume data from traffic surveys or coarser forecast models and determine the traffic situation as a function of the temporal variation of the inflowing traffic volume.

In order to produce traffic data by means of traffic models, the traffic demand between the different cells of the investigated area must be known, see also Section 2.5. With the traffic demand between the origins and the destinations the traffic situation in the investigated area can be modelled. Parameters of microscopic traffic models are for instance distributions of the desired speed and acceleration. The temporal resolution of microscopic models in the range of seconds and the spatial resolution of a few meters allow to capture the driving condition and location of individual vehicles in the road net. By means of road cross sections defined inside the model, information about the traffic flows on individual traffic lanes may be generated, e.g. traffic volumes per vehicle categories, speed distributions etc. In general, traffic models are calibrated by current traffic data that are collected by counting at strategically important road cross sections.

Traffic models also offer the possibility for determining the distribution of travelled distances of the vehicles that are on a road section within a certain unit of time. To this end all trips of the vehicles passing the investigated road section are taken into account. Because of their high spatial and temporal resolution, microscopic models can deliver detailed data for a portion of the road net, for instance for describing the driving behaviour at traffic signals or cross roads as well as data characterising road sections like the number of traffic lanes, distribution of the speed over a cross section etc. Evaluating the data of the model and their transformation to the smallest unit that is recognised (smallest spatial unit: road section; smallest temporal unit: one half hour) must be done carefully and appropriately.

heit: halbe Stunde) muss individuell und sachgerecht erfolgen.

Verkehrsmodelle sind notwendige Instrumente zur Berechnung der verkehrlichen Wirkungen von Szenarien für einen Untersuchungsraum, z.B. für Planungen von Straßenbauprojekten, deren verkehrliche Wirkung mit dem Modell abgebildet werden kann.

Abschließend sei angemerkt, dass sich die Methode zur Ermittlung der Verkehrsdaten an der jeweiligen Aufgabenstellung orientieren muss. Grundsätzlich ist die Durchführung von zeitnahen Erhebungen an den untersuchungsrelevanten Straßenabschnitten zu empfehlen. Denn auch bei der Verwendung eines Verkehrsmodells (z.B. als Grundlage für Szenarienbetrachtungen) sind aktuelle Ergebnisse von Verkehrszählungen für die Kalibrierung des Verkehrsmodells von großer Bedeutung. Dabei sei darauf hingewiesen, dass die Güte der Ergebnisse in direktem Zusammenhang mit der Güte der aus Verkehrszählungen verwendeten Eingangsdaten steht.

2.2 Flottenzusammensetzung

In Abschnitt 2.1.2.2 ist bereits angegeben, dass die Untergliederung der Fahrzeuge in Fahrzeugarten und -kategorien zur Emissionsberechnung noch nicht ausreichend ist, da die Fahrzeuge innerhalb dieser Gruppen ein deutlich unterschiedliches Emissionsverhalten zeigen und daher bei der Emissionsermittlung nicht mit einheitlichen Emissionswerten behandelt werden können. Erst durch die Differenzierung in „Fahrzeugschichten“ werden Fahrzeuge mit ähnlichem Emissionsverhalten bei ähnlichen technischen Merkmalen zusammengefasst.

Unter der Flottenzusammensetzung wird dann die Zusammensetzung des Fahrzeugbestandes nach Fahrzeugschichten verstanden.

In einer größeren Gliederungsebene werden Fahrzeugschichten zu „→ Fahrzeugkonzepten“ zusammengefasst. Fahrzeugkonzepte unterscheiden sich durch das → Motorkonzept und die zu Grunde liegenden gesetzlichen Vorschriften zur Abgasminderung bzw. den technischen Entwicklungsstand der Minderungstechnik.

2.2.1 Definition der Fahrzeugschichten

Die Ausführungen zu den Fahrzeugkonzepten und Fahrzeugschichten lehnen sich an die Systematik des Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ [16] an.

Die Merkmale für die Festlegung der Fahrzeugschichten unterscheiden sich je nach Fahrzeugart bzw. Fahrzeugkategorie. Zweckmäßigerweise wer-

Traffic models are necessary instruments for computing traffic scenarios in the area of investigation, e.g. for planning road constructions whose effect on the traffic can be forecast by the model.

In conclusion it is to be remarked that the method for obtaining traffic data should be chosen according to the specific problem posed. In principle, it is recommended to conduct surveys at road sections that are relevant for the investigation. Even when a traffic simulation model is used, e.g. as a base for developing scenarios, current results from traffic counts are important for calibration purposes. Note that the quality of the results depends directly on the quality of the input data that are derived from traffic counts.

2.2 Fleet composition

As was mentioned earlier in Section 2.1.2.2, classifying the vehicles into vehicle types and vehicle categories is not adequate for calculating emissions because the vehicles of these two groups exhibit a significantly differing emission behaviour. They cannot be accounted for with uniform emission factors. Only the subdivision into "vehicle layers" groups together vehicles of similar technical features and similar emission behaviour.

Fleet composition then means the composition of the total vehicle fleet according to vehicle layers.

On a coarser level of classification vehicle layers are combined to "→ vehicle concepts". Vehicle concepts differ by their → motor concept and the pertinent legal ordinances concerning exhaust gas emissions and the state of the art of abatement techniques.

2.2.1 Definition of vehicle layers

The explanations of vehicle concepts and vehicle layers follow closely the definitions given in the handbook "Emission Factors of Road Traffic" [16].

The features used to define vehicle layers are different for different vehicle types and vehicle categories. It is reasonable therefore to define the vehicle layers

den die Definitionen der Fahrzeugschichten daher getrennt nach diesen Fahrzeuggruppen aufgeführt.

Bei der Fahrzeugart Pkw variiert das Emissionsverhalten zunächst mit dem → Abgasminderungskonzept und dem Motorkonzept.

Die erzeugte Abgasmenge hängt zudem von der abgegebenen Motorleistung ab (siehe Abschnitt 2.3). Da diese erfahrungsgemäß mit dem Hubvolumen der Pkw korreliert, erfolgt die Schichteinteilung noch zusätzlich nach diesem Parameter.

Die Schichtdefinition der INfz folgt im Wesentlichen der Gruppierung nach Fahrzeugkonzepten.

Bei den Fahrzeugkategorien der Fahrzeugart sNfz ist die abgegebene Motorleistung mit der Gesamtmasse der Fahrzeuge und dem Beladungszustand verknüpft. Die Schichteinteilung richtet sich daher neben dem Abgasminderungskonzept nach Tonnageklassen. Der unterschiedliche Beladungsgrad wird nicht durch eigene Schichten wiedergegeben, da er keine Eigenschaft des Fahrzeugs darstellt, sondern durch drei Emissionsfaktoren zu jeder Schicht, die den Zuständen „ohne“, „mittlere“ und „volle Beladung“ zugeordnet sind.

Bei der Fahrzeugkategorie Kleinkrafträder entspricht die Schichteinteilung im Wesentlichen der Klassierung nach Fahrzeugkonzepten.

Analog zur Fahrzeugart Pkw erfolgt die Schichteinteilung bei der Fahrzeugkategorie Krafträder neben der Gruppierung nach Abgasminderungskonzepten zusätzlich nach Hubvolumenklassen.

Demnach ergeben sich für die einzelnen Fahrzeugarten und -kategorien folgende Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten, die im Einzelnen in den Tabellen I1 bis I9 (siehe Anhang I) wiedergegeben sind. Die Bezeichnungen für die Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten sind dabei dem „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ [16] entnommen.

2.2.2 Ermittlung der Flottenzusammensetzung (→ Schichtanteile)

Mit der Zulassung und Abmeldung von Fahrzeugen (z.B. mit der Inbetriebnahme von Neufahrzeugen und der Verschrottung von Altfahrzeugen) verändert sich die Flottenzusammensetzung (das heißt die Anteile der einzelnen Fahrzeugschichten) kontinuierlich. Die Bestandsstatistiken, wie sie beispielsweise vom Kraftfahrt-Bundesamt veröffentlicht werden, enthalten Angaben, die für die Zuordnung der Fahrzeuge zu Fahrzeugschichten, wie sie in [16] definiert sind, notwendig sind (z.B. Fahrzeugkategorie, Antriebsart, Hubraumklasse, Abgasnorm etc.). Insbesondere bei älteren Fahrzeugen (vor „EURO 1“) sind die Bestandsdaten für eine eindeutige Zuordnung

separately for those vehicle groups.

The emission behaviour of the vehicle type passenger car depends predominantly on the → exhaust gas cleaning concept and the motor concept.

The amount of exhaust gas produced depends on the delivered motor power; see Section 2.3. Because this correlates with the piston displacement of the passenger car as is known from experience, this parameter also serves to define the vehicle layer.

The definition of the classes of INfz follows essentially the grouping according to vehicle concepts.

Within the vehicle categories of the vehicle type sNfz the delivered motor power is connected with the total mass of the vehicles and hence with the loads. The classification into vehicle layers depends therefore not only on the exhaust gas cleaning concept but also on the tonnage class. Different degrees of loading do not constitute separate vehicle layers because they are not properties of vehicles, but are recognised by three emission factors per class that correspond to "with-out", "medium" and "full" load.

In the vehicle category small motor bicycle the classes essentially match the vehicle concepts.

In analogy with the vehicle type passenger car the distinction of classes of the vehicle category motor bicycles is based on both the exhaust gas cleaning concept and the piston displacement.

The subdivision of the various vehicle types and vehicle categories into vehicle concepts and vehicle layers is compiled in detail in the Tables I1 through I9 of Annex I. The nomenclature of the vehicle concepts and the vehicle layers was taken from the handbook "Emission Factors of Road Traffic" [16].

2.2.2 Determining the fleet composition (→ class fraction)

Registering and cancelling the registration of vehicles, for instance when taking new vehicles into operation or scrapping old ones, changes continuously the fleet composition, i.e. the fraction contributed by each vehicle layer. Statistical inventories as for instance published by the Federal Motor Vehicle Agency contain data that are required for assigning vehicles to vehicle layers by the definitions given in [16], e.g. vehicle categories, engine, piston displacement, emission standards etc. Especially with older vehicles (before "EURO 1") the data from the inventory often are insufficient for a unique assignment so that additional statistics have to be consulted.

aber oftmals nicht ausreichend, so dass zusätzliche Statistiken herangezogen werden müssen.

Für die Berechnung von Abgas-, Heiß-/Warmabstell-emissionen und „running losses“ ist nicht so sehr die bestandsmäßige (statische) Zusammensetzung, sondern die fahrleistungsgewichtete (dynamische) Flottenzusammensetzung notwendig, da Fahrzeuge verschiedener Fahrzeugschichten unterschiedlich große Fahrleistungen erbringen. Beispielsweise erbringen neuere Pkw oder Pkw mit Diesel-Motor erfahrungsgemäß größere Fahrleistungen als ältere Pkw bzw. Pkw mit Otto-Motor. Die dynamischen Schichtanteile lokaler Fahrzeugflotten können direkt ermittelt werden, z.B. durch Kennzeichenauswertung. Alternativ müssen die statischen Bestandsanteile durch Verwendung von räumlich (z.B. über ganz Deutschland) gemittelten Faktoren auf dynamische Anteile umgerechnet werden (Modellierung).

2.2.2.1 Kennzeichenauswertung

Dynamische Flottenzusammensetzungen sind innerhalb Deutschlands regionalen Schwankungen unterworfen. Beispielsweise weisen Ballungsgebiete, in denen Kraftfahrzeuge industriell gefertigt werden, deutlich jüngere Fahrzeugflotten mit niedrigerem Emissionsniveau pro Fahrzeug auf, wohingegen in ländlichen Gebieten Fahrzeugflotten mit höherem Durchschnittsalter vorherrschen.

Zur experimentellen Ermittlung von lokalen Flottenzusammensetzungen ausgewählter Gebiete bzw. einzelner Straßenabschnitte bietet sich in Deutschland das Verfahren der Kennzeichenauswertung an. Dabei werden die Kennzeichen der den Messquerschnitt passierenden Fahrzeuge erfasst (mittels Videoaufnahmen, Diktiergeräten oder Ähnlichem), auf Datenträger übertragen (Software zur Videoanalyse oder manuell) und mit dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) des Kraftfahrt-Bundesamtes in Flensburg abgeglichen. Der Kennzeichenabgleich mit dem ZFZR ist mit Kosten verbunden (zurzeit ca. 0,25 bis 0,50 € pro Kennzeichen).

In anonymisierter Form können unter anderem folgende fahrzeugtechnisch emissionsrelevanten Daten abgefragt werden:

- Fahrzeugkategorie/Aufbauart
- Hersteller
- Fahrzeugtyp
- Antriebsart
- Abgasnorm
- Hubraum/zulässiges Gesamtgewicht
- Datum der Erstzulassung
- Fahrzeughöhe, -breite und -länge

For computing emissions from the exhaust gas, at hot and warm parking and the running losses, the static fleet composition (inventory) is not so important as the dynamic fleet composition that is weighted by mileage because vehicles of different vehicle layers accumulate different mileages per year. For instance, it is empirically known that newer passenger cars and passenger cars with diesel engines produce a larger mileage than older passenger cars and passenger cars with Otto-cycle engines. The dynamic vehicle layer fractions of regional vehicle fleets can be directly determined e.g. by utilising registration numbers. As an alternative the classes of the static inventories can be converted to dynamic classes by means of spatially averaged (e.g. over all of Germany) factors (modelling).

2.2.2.1 Utilising registration numbers

The dynamic fleet composition in Germany varies from region to region. For instance, the vehicle fleets are significantly younger and have lower emission levels in urban conglomerations where motor vehicles are produced than in rural regions.

For empirically determining the local fleet composition in selected areas or on individual road sections, utilising registration numbers is the method of choice in Germany. The registration numbers of the vehicles passing an observation cross section are recorded by video, voice recorders etc. and are then converted to computer-readable form either with the appropriate software or manually. The data are checked against the central vehicle register (ZFZR) of the Federal Motor Vehicle Agency (Kraftfahrt-Bundesamt) in Flensburg. At the present time, the charge for this check is approx. 0.25 to 0.50 € per registration number.

Among other data, the following anonymised parameters that are relevant for emission calculations may be obtained:

- vehicle category, type of vehicle body
- manufacturer
- type of vehicle
- engine
- emission standard
- piston displacement, maximum total weight
- date of first registration
- height, width and length of the vehicle

2.2.2.2 Ableitung aus Bestandsdaten

Zur Ermittlung der dynamischen Flottenzusammensetzung in [16] wurde ein Modell entwickelt, mit dem über Deutschland gemittelte Schichtanteile abgeleitet werden können. Bild 4 zeigt das Prinzipschema zur Berechnung der Flottenzusammensetzung.

Für die Gewichtung der so genannten „warmen“ Abgasemissionsfaktoren (das heißt der Emissionen aus

2.2.2.2 Deriving data from inventories

For determining the dynamic fleet composition a model was developed in [16] that allows to derive the class fractions averaged over Germany. Figure 4 shows the flow chart for computing the fleet composition.

For weighting the so-called "warm" exhaust gas emission factors (i.e. the emissions from engines at

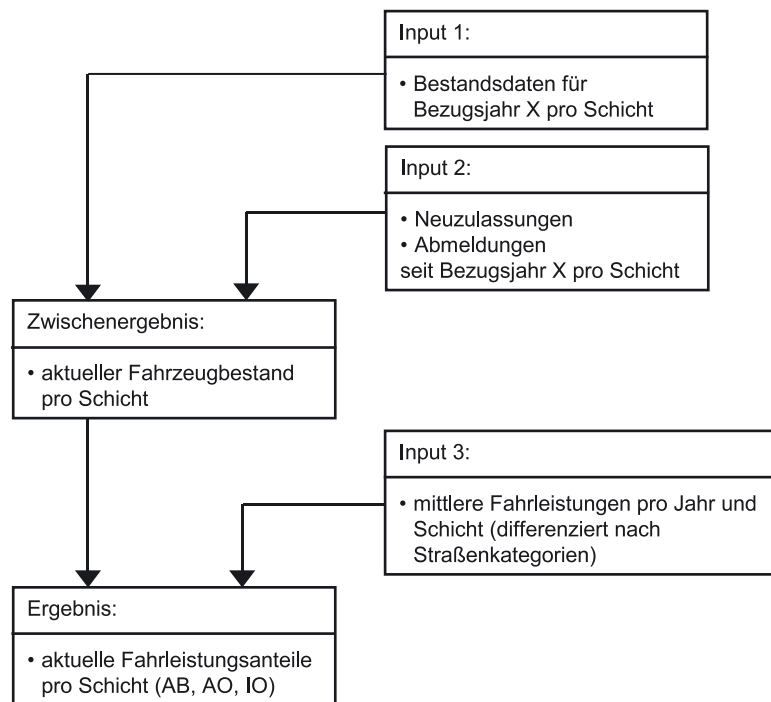


Bild 4. Prinzipskizze des Modellteils zur Berechnung der Flottenzusammensetzung (Schichtanteile), angelehnt an [16]

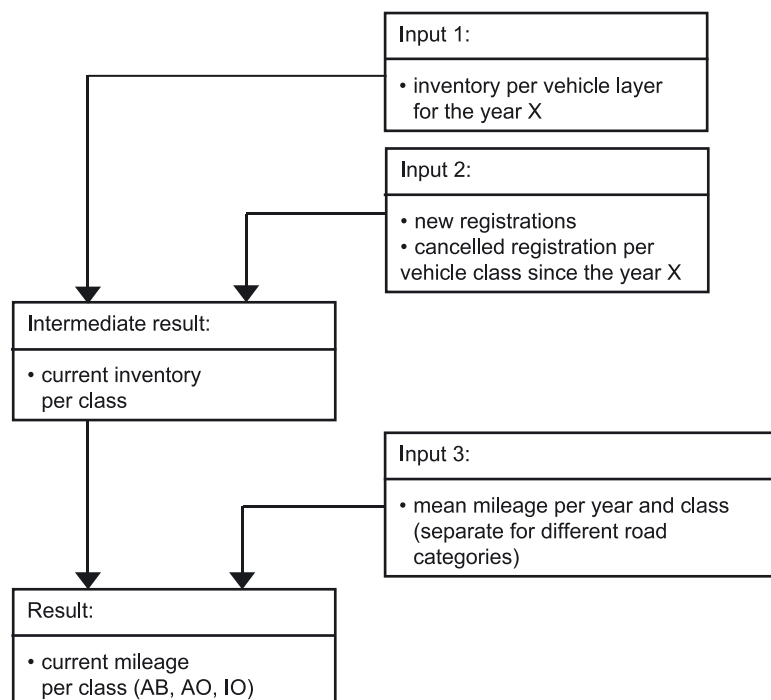


Fig. 4. Flow chart of the part of the model that computes the fleet composition per class, according to [16]

betriebswarmen Motoren) werden drei unterschiedliche, fahrleistungsgewichtete Verkehrszusammensetzungen berücksichtigt, nämlich für Autobahnen, sonstige Außerortsstraßen und Innerortsstraßen. Die Gewichtung der Kaltstartzuschläge, der Verdampfungsemissionen nach Motorabstellen und der „running losses“ erfolgt über die dynamische Zusammensetzung für Innerortsstraßen. Für die Verdampfungsemissionen infolge Tankatmung wird die bestandsgewichtete Zusammensetzung herangezogen.

Um an die dynamischen Fahrleistungsanteile zu gelangen, müssen die notwendigen Daten zu den mittleren Fahrleistungen pro Jahr und Fahrzeugschicht (Input 3 in Bild 4) wiederum anhand von Erhebungen ermittelt werden. Die zurzeit in [16] berechneten dynamischen Schichtanteile basieren auf umfangreichen Kennzeichenauswertungen aus dem Jahre 1993, die für die Folgejahre auf neuere Fahrzeugschichten übertragen worden sind.

2.3 Emissionsfunktionen und -faktoren

2.3.1 Grundlagen

Emissionsfaktoren sind spezifische Kenngrößen, die die Emissionen von Kraftfahrzeugen für definierte Fahrmuster (siehe Abschnitt 2.6.1.1) repräsentieren. Sie werden als Emission von Masse/Streckenlänge einer bestimmten Abgaskomponente angegeben und basieren auf den funktionalen Zusammenhängen zwischen den Einflussgrößen und dem Emissionsverhalten, den so genannten Emissionsfunktionen.

Einen wesentlichen Einfluss auf das Abgasemissionsverhalten eines Kraftfahrzeuges hat das individuelle Fahrverhalten bzw. das jeweilige Fahrmuster. Um dies bei der Berechnung der Emissionen beachten zu können, muss mittels entsprechender Erhebungen ein repräsentatives Fahrverhalten für verschiedene Straßenarten sowie Verkehrszustände abgeleitet werden.

Bei der Suche nach geeigneten Parametern, die als Variablen für Emissionsfunktionen herangezogen werden sollten, war die Überlegung ausschlaggebend, dass der Schadstoffausstoß von der abgegebenen Leistung des Motors abhängt. Es erschien daher zweckmäßig, die Leistung zur Überwindung des Strömungs- und Rollwiderstandes und der Hangabtriebskraft und die Leistung zur Überwindung der Massenträgheit als Variablen zu wählen, die für jede Sekunde eines Zyklus angegeben bzw. berechnet werden können.

Für Pkw und INfz werden die beiden Leistungskomponenten auf die Fahrzeugmasse normiert. Die Leistung zur Überwindung des Strömungs- und Rollwiderstandes wird dann durch die Geschwindigkeit (v)

operating temperature), three different traffic compositions are used that are weighted by the mileage, viz. for motorways, other roads outside of built-up areas and roads in built-up areas. The weighting of the cold start additions, the emissions by evaporations after shutting down the engine, and the running losses is based on the dynamic composition in built-up areas. For determining the emissions from tank respiration the composition of the inventory is used.

The data required for computing the mean mileage per year and vehicle layer (input 3 in Figure 4) are obtained by surveying. The dynamic class fractions listed in [16] that are currently used were derived from extensive recordings of registration numbers in 1993. They were carried over to the following years and to newer vehicle layers.

2.3 Emission functions and factors

2.3.1 Basics

Emission factors are specific parameters that describe the emissions from motor vehicles at defined driving patterns (see Section 2.6.1.1). They are expressed as mass of emission per unit distance of a specific exhaust gas component and are derived from the functional dependencies between the influencing factors and the emission behaviour. The dependencies are called emission functions.

The individual driving behaviour and the respective driving pattern substantially influence the exhaust gas emission behaviour of a motor vehicle. In order to take account of this when computing the emissions, a representative driving pattern must be extracted from pertinent surveys on different kinds of roads and for different traffic conditions.

The search for suitable parameters, which could serve as variables of the emission functions, was guided by the fact that the amount of emission produced depends on the power delivered by the engine. It appears therefore to be reasonable to choose the power for balancing the aerodynamic friction, the rolling friction and gravity at gradients, and the power for overcoming inertia as the variables that are known or can be computed for every second of the cycle.

With passenger cars and INfz both components of the power are normalised with respect to the vehicle mass. The power consumed by friction is then expressed as a speed (v) and the power for counteract-

und die Leistung zur Überwindung der Massenträgheit als das Produkt von Geschwindigkeit und Beschleunigung ($v \cdot b$) ausgedrückt.

Der Vorteil dieser Methodik liegt darin, dass mit den modal gewonnenen Datensätzen jedem Wertepaar ein bestimmter Emissionswert zugeordnet wird und somit beliebige Fahrzustände beschrieben werden können. Die einzige Bedingung ist dabei, dass die Rollen- bzw. Motorprüfstandsfahrzyklen, aus denen diese Funktionen abgeleitet wurden, das Spektrum der zu erwartenden Betriebszustände abdecken müssen.

Die Abgaskomponenten für Pkw und Lfz werden mit den folgenden Zyklen erfasst:

- Neuer Europäischer Fahrzyklus mit Kaltstart [7] (siehe Bild 5)
- FTP-75-Test mit Kaltstart (USA) [7]
- US-Highway-Zyklus mit Warmstart [7]
- Autobahnzyklus mit Warmstart

Bei den schweren Nutzfahrzeugen werden die Komponenten mit Hilfe der nachfolgend genannten Zyklen ermittelt:

- Messungen auf der Basis des 13-Stufen-Tests, ECE-R-Test [17]
- Messungen auf der Basis des US-Transient-Tests [17]
- Aufnahme von stationären Kennfeldern für die gasförmigen Schadstoffkomponenten und Partikel
- Messungen auf der Basis des transienten TÜV-FIGE-Zyklus (dieser Zyklus ist aus dem ECE-R- und dem US-Test entwickelt worden) [17] (siehe Bild 6)

ing inertia as the product of speed times acceleration ($v \cdot b$).

The advantage of this procedure lies in the fact that a definite emission value can be assigned to any pair of power values that is valid for any arbitrary driving state. The only condition is that the driving cycles executed on roller type test stands for vehicles and engines, from which these functions have been derived, cover the whole spectrum of expected driving states.

The exhaust gas components of passenger cars and Lfz are determined by the following cycles:

- New European Driving Cycle with cold start [7], see Figure 5
- FTP-75-Test with cold start (U.S.A.) [7]
- US Highway Cycle with warm start [7]
- Motorway Cycle with warm start

With heavy commercial vehicles the components are determined by the cycles:

- measurements based on the ECE-R-Test [17] that comprises 13 steps
- measurements based on the US-Transient Test [17]
- recording stationary parameter fields for gaseous pollutants and particles
- measurements following the transient TÜV-FIGE Cycle; this cycle was developed from the ECE-R-Test and the US-Test [17], see Figure 6

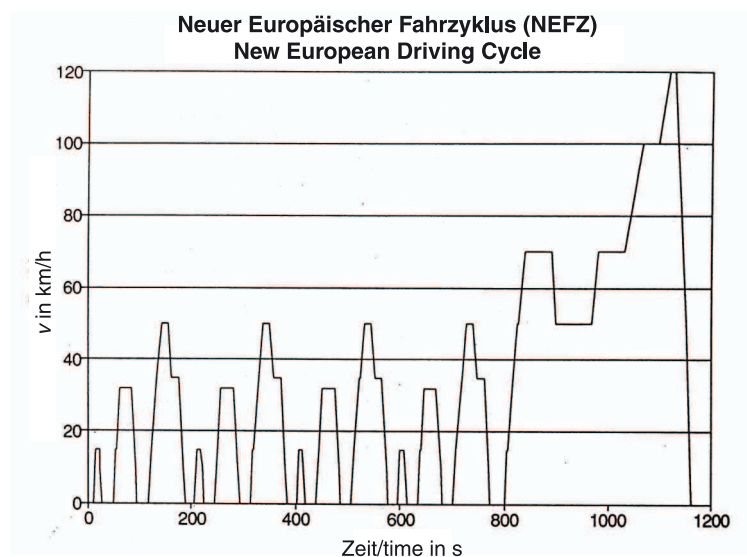


Bild 5. Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)

Fig. 5. New European Driving Cycle

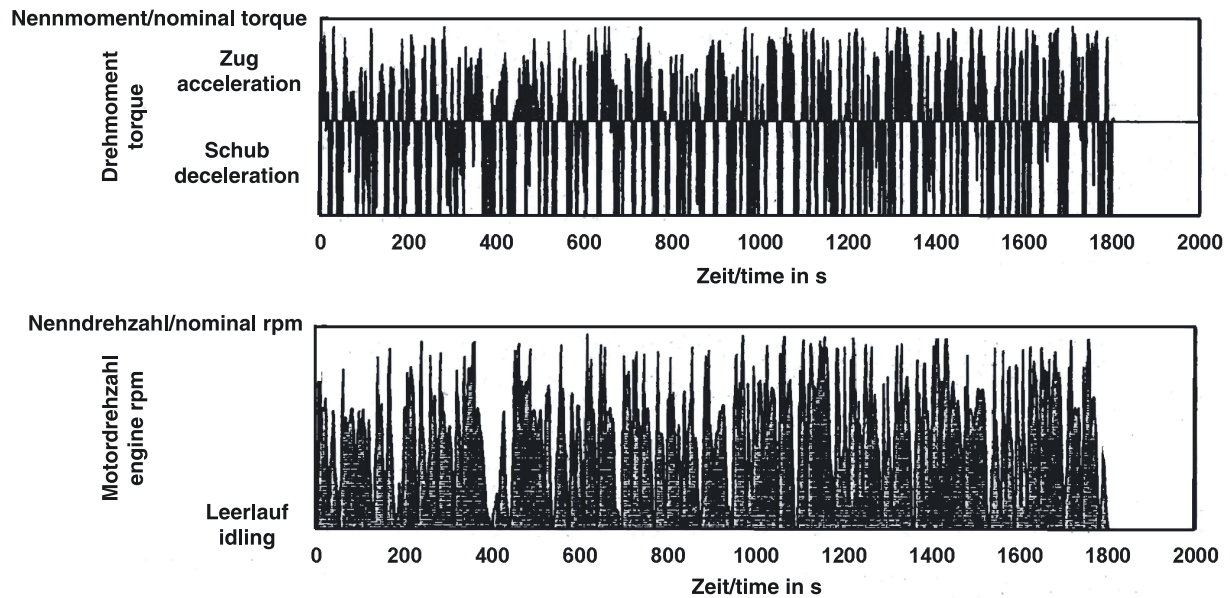


Bild 6. Normierter TÜV-FIGE-Zyklus

Fig. 6. Normalised TÜV-FIGE cycle

Eine höhere Aggregationsstufe stellen die Emissionsfaktoren dar, die für eine Vielzahl von Fahrmustern angegeben werden und auf der Grundlage der ermittelten Emissionsfunktionen abgeleitet wurden (vergleiche auch Abschnitt 2.6)

Die Kenntnis der Emissionsfunktion bietet die Möglichkeit, bei Verkehrsflussmessungen bzw. Emissionsmodellierung die resultierenden Emissionen zu bestimmen (siehe Abschnitt 2.5). Auf diese Weise können die zu erwartenden Emissionen von Kraftfahrzeugen entlang einer Strecke ohne Datenverlust durch Aggregation errechnet werden.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Emissionsfunktionen und -faktoren sind so genannte Basisemissionsfunktionen/-faktoren, die für NN, ebene Fahrbahn (0 % Steigung) und Umgebungstemperatur 20 °C im → betriebswarmen Zustand ermittelt wurden und somit auch nur für diese Werte Gültigkeit haben.

Nicht betriebswarme Motoren, Längsneigungen der Straße usw. haben einen mitunter erheblichen Einfluss auf das Abgasemissionsverhalten der Kraftfahrzeuge. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden die Emissionsfaktoren/-funktionen mit Korrekturfaktoren multipliziert. Auf diese Korrekturfaktoren wird in Abschnitt 2.3.3 bis Abschnitt 2.3.8 eingegangen.

2.3.1.1 Motor- und fahrzeugtechnische Parameter des Abgasemissionsverhaltens

Die motorspezifischen Parameter haben einen großen Einfluss auf das Abgasemissionsverhalten und sie beeinflussen sich gegenseitig (siehe Bild 7). Veran-

A higher level of aggregation is formed by the emission factors that are listed for a large number of driving patterns and that were derived from the emission functions (see also Section 2.6).

Knowing the emission functions offers the possibility to determine the emissions as results of traffic volume measurements or of emission models (see Section 2.5). This way the emissions to be expected from motor vehicles on a road section can be computed without information loss by aggregation.

The emission functions and factors described in this section are so-called basic emission functions and factors that were computed for mean sea level, level road (0 % gradient) and 20 °C ambient air temperature at → operating conditions. They are valid only for these values.

Engines not at operating temperature, road gradients etc. sometimes significantly affect the exhaust gas emission behaviour of motor vehicles. To account for these circumstances the emission factors and functions are multiplied by correction factors. These correction factors will be discussed in greater detail in Sections 2.3.3 through Section 2.3.8.

2.3.1.1 Parameters of the engine and the vehicle that affect the exhaust gas emission behaviour

The parameters of the engine exert a great influence on the exhaust gas emission behaviour and they affect each other (see Figure 7). In the example of an Otto-

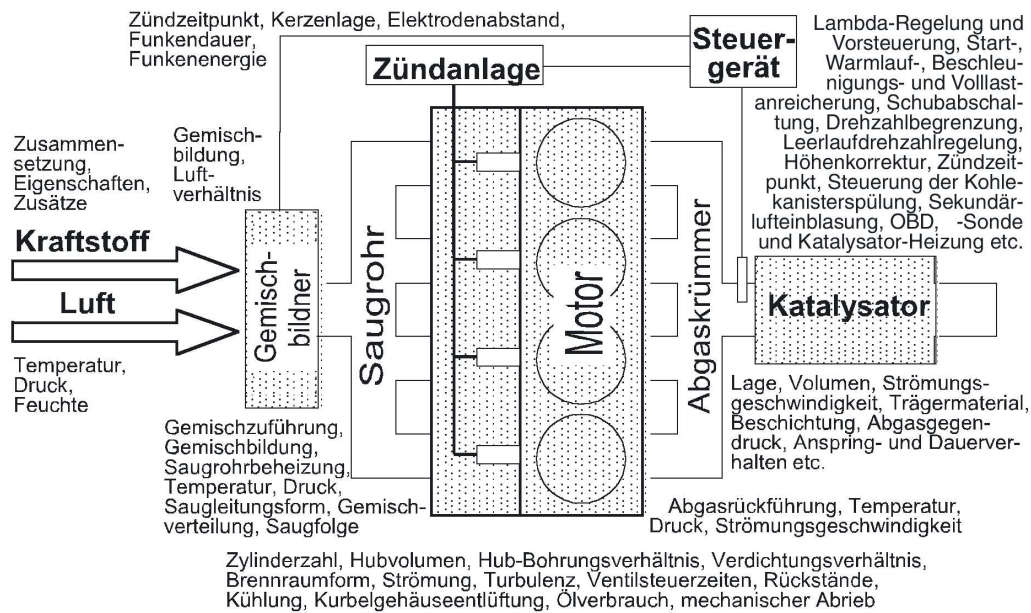


Bild 7. Zusammenstellung der die Abgaszusammensetzung beeinflussenden Parameter am Beispiel eines Otto-Motors mit geregelterm Dreiwege-Katalysator, nach [18]

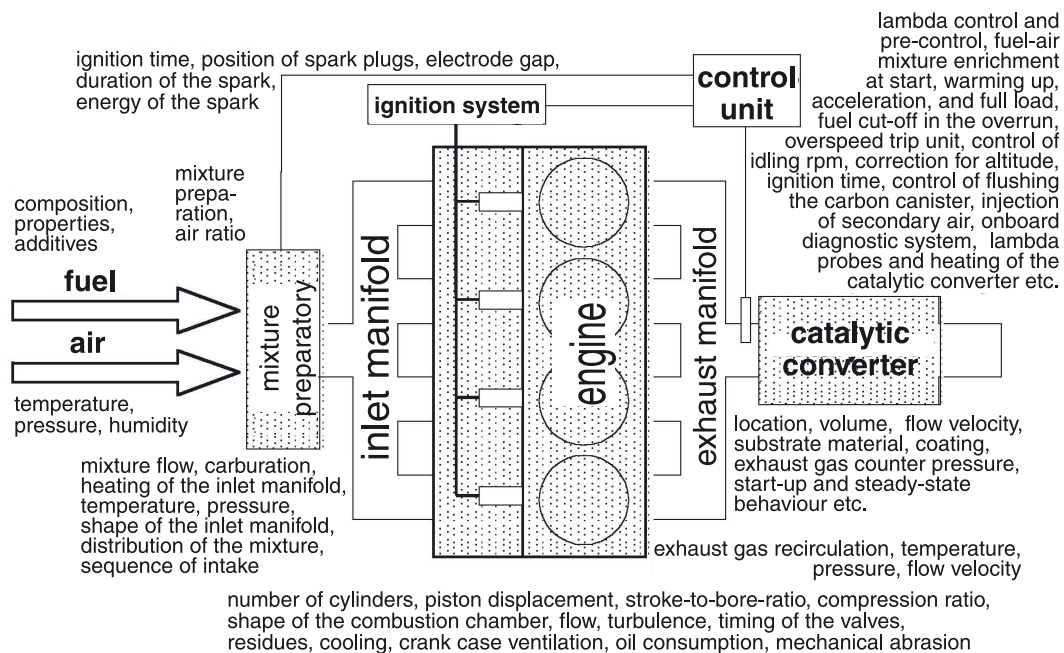


Fig. 7. The parameters that affect the composition of the exhaust gas of an Otto-cycle engine with a controlled three-way catalytic converter; according to [18]

schaulich am Beispiel eines Otto-Motors mit geregelterm Dreiwege-Katalysator erkennt man die Fülle der motorseitigen Parameter, die einen Einfluss auf die Abgaszusammensetzung haben können. Die Abstimmung des optimalen Abgasemissionsverhaltens ist immer ein Kompromiss zwischen zahlreichen Anforderungen und physikalischen Zielkonflikten. So stellt z.B. die Lage des Katalysators im Abgasstrang einen Kompromiss zwischen dem schnellen Erreichen von hohen Konvertierungsraten nach dem Kalt-

cycle engine with controlled three-way catalytic converter the wealth of engine parameters can be seen that may affect the composition of the exhaust gas. Tuning the parameters for an optimum exhaust gas composition is always a compromise between many requirements and conflicting physical goals. For instance, the location of the catalytic converter along the exhaust gas duct is a compromise between the demand of reaching high conversion rates rapidly after a cold start and the expected lifetime of the catalytic

start und der Dauerhaltbarkeit des Katalysators dar. Als ein weiteres Beispiel können hier die elektrisch oder mit Brennern beheizten Katalysatoren angeführt werden, die zwar wesentlich die Ansprinddauer verkürzen, jedoch Energie verbrauchen und das Fahrzeuggewicht erhöhen, was sich negativ auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt.

converter. Other examples are the catalytic converters that are heated electrically or by burners, which feature significantly shorter start-up times but consume energy and increase the vehicle weight which in turn has a negative effect on the fuel consumption.

2.3.1.2 Fahrzeugschichten und gemessene Emissionsfunktionen

Die Kombination von Einflussparametern, Fahrzeugen und denkbaren Fahrmustern erzeugt eine vieldimensionale, nicht mehr zu übersehende Datenmatrix. Hinzu kommt, dass im Prinzip jedes im Verkehr be-

2.3.1.2 Vehicle layers and measured emission functions

Combining influencing parameters, vehicles and possible driving patterns creates a multi-dimensional data matrix that can hardly be comprehended at one glance. Furthermore, in principle every vehicle on the

Tabelle 5. Fahrzeugschichten und Emissionsfunktionen für Pkw und INfz der Baujahre bis einschließlich 1990, angelehnt an [7]

	Schicht	Motor	Abgasnachbehandlungskonzept	Hubvolumen in ℓ	Baujahr	Anzahl gemessener Fahrzeuge (Basisemissionsfunktionen bestimmt)
Pkw	1	Otto	Geregelter Katalysator	< 1,4	ab 1987	11
	2	Otto	Geregelter Katalysator	1,4 bis 2,0	ab 1987	69
	3	Otto	Geregelter Katalysator	> 2,0	ab 1987	18
	4	Otto	Geregelter Katalysator	alle Klassen	vor 1987	35
	5	Otto	Ungeregelter Katalysator	< 1,4	jedes Baujahr	21
	6	Otto	Ungeregelter Katalysator	1,4 bis 2,0	jedes Baujahr	30
	7	Otto	Sonstiges Schadstoffminderungs-Konzept	< 1,4	jedes Baujahr	27
	8	Otto	Sonstiges Schadstoffminderungs-Konzept	> 1,4	jedes Baujahr	14
	9	Otto	Konvent. abgestimmt ECE R 15/04	< 1,4	ab 1986	7
	10	Otto	Konvent. abgestimmt ECE R 15/04	1,4 bis 2,0	ab 1986	14
	11	Otto	Konvent. abgestimmt ECE R 15/04	> 2,0	ab 1986	6
	12	Otto	Konvent. abgestimmt ECE R 15/03	alle Klassen	vor 1986	0
	13	Otto	Konvent. abgestimmt, ECE R15/01 u. /02	alle Klassen	vor 1986	0
	14	Otto	Konvent. abgestimmt, ECE R15/00	alle Klassen	vor 1986	0
	15	Otto	Nur für Schweizerisches Vorhaben definiert			
	16	Diesel	Konvent. abgestimmt	< 2,0	vor 1988	0
	17	Diesel	Konvent. abgestimmt	> 2,0	vor 1988	0
	18	Diesel	Schadstoffreduziert	< 2,0	1986 bis 1988	13
	19	Diesel	Schadstoffreduziert	> 2,0	1986 bis 1988	12
	20	Diesel	Anlage XXIII zu § 47 StVZO	< 2,0	ab 1986	9
	21	Otto	2-Takt, aus RGW-Produktion *)	alle Klassen	jedes Baujahr	8
	22	Otto	4-Takt, aus RGW-Produktion *)	alle Klassen	jedes Baujahr	9
INfz	23	Otto	Geregelter Katalysator	alle Klassen	jedes Baujahr	10
	24	Otto	Konvent. abgestimmt	alle Klassen	vor 1981	0
	25	Otto	Konvent. abgestimmt	alle Klassen	ab 1981	8
	26	Diesel	Konvent. abgestimmt	alle Klassen	vor 1986	0
	27	Diesel	Schadstoffreduziert	alle Klassen	ab 1986	13

*) RGW: Rechtsrheinische Gas- und Wasserversorgungs-AG

findliche Fahrzeug ein unterschiedliches Emissionsniveau aufweist. Um Aussagen über das gesamte Fahrzeugkollektiv treffen zu können, wird der Fahrzeugbestand zur Systematisierung in geeignete Klassen vergleichbaren Abgasemissionsverhaltens, in so genannten emissionshomogenen Schichten, zusammengefasst (siehe Tabelle 5 und Tabelle 6, dort sind die Fahrzeugschichten bis zum Bezugsjahr 1994 angegeben, die Ausgangspunkt der Auswahl der Fahrzeuge darstellten, für die Emissionsmessungen zur Ableitung von Emissionsfunktionen durchgeführt wurden [7; 19]).

Eine Fahrzeugschicht beschreibt ein Kollektiv von Fahrzeugtypen mit bestimmten technischen Parame-

road possess a different emission level. In order to obtain statements valid for the whole vehicle fleet, the vehicle inventory is divided into groups of comparable exhaust gas emission behaviour called classes of homogeneous emission. See Table 5 and Table 6 where the vehicle layers up to 1994 are listed upon which the selection of vehicles was based whose emissions were measured for deriving emission functions [7; 19].

A vehicle layer consists of vehicle types with certain technical parameters that do not differ significantly

Table 5. Vehicle layers and emission functions of passenger cars and LNfz models up to 1990, according to [7]

	Vehicle layer	Engine type	Exhaust gas cleaning concept	Piston displacement in ℓ	Model year	Number of tested vehicles (determination of the base emission function)
Passenger car	1	Otto-cycle	controlled catalytic converter	< 1.4	from 1987	11
	2	Otto-cycle	controlled catalytic converter	1.4 to 2.0	from 1987	69
	3	Otto-cycle	controlled catalytic converter	> 2.0	from 1987	18
	4	Otto-cycle	controlled catalytic converter	all displacements	before 1987	35
	5	Otto-cycle	uncontrolled catalytic converter	< 1.4	all model years	21
	6	Otto-cycle	uncontrolled catalytic converter	1.4 to 2.0	all model years	30
	7	Otto-cycle	other	< 1.4	all model years	27
	8	Otto-cycle	other	> 1.4	all model years	14
	9	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/04	< 1.4	from 1986	7
	10	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/04	1.4 to 2.0	from 1986	14
	11	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/04	> 2.0	from 1986	6
	12	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/03	all displacements	before 1986	0
	13	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/01 and /02	all displacements	before 1986	0
	14	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned ECE R 15/00	all displacements	before 1986	0
	15	Otto-cycle	defined only for Swiss project			
	16	diesel	no catalytic converter; tuned	< 2.0	before 1988	0
	17	diesel	no catalytic converter; tuned	> 2.0	before 1988	0
	18	diesel	reduced emissions	< 2.0	1986 to 1988	13
	19	diesel	reduced emissions	> 2.0	1986 to 1988	12
	20	diesel	Annex XXIII of § 47 StVZO	< 2.0	from 1986	9
	21	Otto-cycle	2-stroke, produced by RGW *)	all displacements	all model years	8
	22	Otto-cycle	4-stroke, produced by RGW *)	all displacements	all model years	9
Light commercial vehicle	23	Otto-cycle	controlled catalytic converter	all displacements	all model years	10
	24	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned	all displacements	before 1981	0
	25	Otto-cycle	no catalytic converter; tuned	all displacements	from 1981	8
	26	diesel	no catalytic converter; tuned	all displacements	before 1986	0
	27	diesel	reduced emissions	all displacements	from 1986	13

*) RGW: Rechtsrheinische Gas- und Wasserversorgungs-AG

Tabelle 6. Fahrzeugschichten und Emissionsfunktionen für Pkw der Baujahre 1991 bis 1994 [19]

Motor	Abgasnachbehandlungskonzept	Hubvolumen in ℓ	Baujahr	Anzahl gemessener Fahrzeuge (Basisemissionsfunktionen bestimmt)
Otto	Geregelter Katalysator	< 1,4	1991 bis 1994	21
Otto	Geregelter Katalysator	1,4 – 2,0	1991 bis 1994	38
Otto	Geregelter Katalysator	> 2,0	1991 bis 1994	9 *)

*) Auf Grund des geringen Stichprobenumfangs werden gemessene Basisemissionsfunktionen nur für CO₂ und den Kraftstoffverbrauch verwendet. Für die restlichen Schadstoffe werden die Basisemissionsfunktionen aus der Hubvolumenklasse 1,4 bis 2,0 ℓ übertragen.

Table 6. Vehicle layers and emission functions of passenger cars from the model years 1991 to 1994 [19]

Engine type	Exhaust gas cleaning concept	Piston displacement in ℓ	Model year	Number of tested vehicles (determination of the base emission function)
Otto-cycle	controlled catalytic converter	< 1.4	1991 to 1994	21
Otto-cycle	controlled catalytic converter	1.4 to 2.0	1991 to 1994	38
Otto-cycle	controlled catalytic converter	> 2.0	1991 to 1994	9 *)

*) Because of the small sample size the measured base emission functions are used only for CO₂ and the fuel consumption. For the other pollutants the base emission functions of the displacement class 1.4 to 2.0 ℓ is taken.

tern, die sich hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens nicht signifikant unterscheiden. Zwischen den Schichten ist eine Unterscheidung jedoch sinnvoll und notwendig.

Die Emissionsfunktionen für die zu unterscheidenden Schichten werden auf Basis einer geeigneten Fahrzeugstichprobe der gleichen Schicht ermittelt. Wegen der hohen Streuung und der großen Zahl von Fahrzeugen im Bestand wäre pro Schicht eine hohe Anzahl von Fahrzeugen erforderlich, um einen statistischen Anspruch an Signifikanz und Repräsentativität zu erfüllen. Aus Kostengründen sind entsprechende Messprogramme normalerweise nicht durchführbar. Auch die Auswahl kann nicht nach dem Zufallsprinzip erfolgen, da keine identische Zugriffsmöglichkeit auf alle Fahrzeuge einer Schicht besteht. Somit ist die Fahrzeugauswahl keine im statistischen Sinne einwandfreie, sondern jeweils nur die praktisch bestmögliche (siehe Abschnitt 3).

Mit den Fahrzeugen, die als repräsentativ für die jeweilige Schicht lokalisiert worden sind, wird ein Messprogramm zur Ermittlung der Emissionen durchgeführt, welches im Idealfall den gesamten Betriebsbereich (Geschwindigkeit und Beschleunigung bei unterschiedlichem Schaltverhalten) der Schicht abdeckt. Realistischerweise werden jedoch in der Praxis lediglich verschiedene Fahrzyklen bzw. Fahrmuster durchfahren, da sich Einschränkungen aus Kosten- bzw. Aufwandsgründen ergeben. Auch technische Grenzen (insbesondere bei Nutzfahrzeugen) kommen hierbei zum Tragen. Auf der Basis des so erhobenen allgemeinen Emissionsverhaltens können

with respect to their emission behaviour. The distinction between the classes, however, is reasonable and necessary.

The emission functions of each class are determined from a suitable sample of vehicles of the same class. Because of the large variance and the large number of vehicles in the inventory a large sample would be needed in each class in order to satisfy demands for the statistics to be significant and representative. Because of costs, adequate measurement programs usually cannot be conducted. Also, sampling will not be truly random because not all vehicles of a class can be selected with equal probability. Hence the selection of vehicles will not be statistically unobjectionable but only the best practically possible (see Section 3).

With vehicles that have been identified as being representative for a class a measurement programme will be conducted for determining their emissions that ideally would cover the whole range of operations (speed and acceleration at different gear shifting behaviour) of the class. Realistically, only several driving cycles and driving patterns are run in practice because of constraints imposed by costs. Also technical limits, especially with commercial vehicles, become effective. Based upon the general emission behaviour thus obtained, specific traffic situation can be modelled and average emissions calculated. For practical use they are referred to the unit distance so that the

einerseits spezifische Verkehrssituationen abgebildet und so die mittlere Emission bestimmt werden. Für die praktische Nutzung dieser Emissionswerte werden sie auf eine Streckenlänge bezogen, wodurch sich der jeweilige Emissionsfaktor (in g/km) ergibt, der zur Anpassung an die realen Umgebungsbedingungen gegebenenfalls mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden muss. Andererseits kann mit den modal ermittelten Emissionsfunktionen (in mg/s) eine genauere Ermittlung der Emissionssituation vorgenommen werden, da das spezifische Umfeld eine bessere Berücksichtigung findet.

In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind für die Fahrzeugkategorien Pkw und leichte Nutzfahrzeuge die Abgrenzungen der Fahrzeugschichten sowie die Umfänge der Stichproben der pro Fahrzeugschicht auf Abgasrollenprüfständen untersuchten Einzelfahrzeuge, für die die aktuellen Basisemissionsfunktionen der wichtigsten Schadstoffe experimentell ermittelt worden sind, dargestellt. Die derzeit aktuellsten verfügbaren Basisemissionsfunktionen beziehen sich bei Otto-Pkw auf Fahrzeuge des Baujahrs 1994 (Abgasnorm: EURO 1) und bei Diesel-Pkw und INfz auf Fahrzeuge des Baujahrs 1990 (Abgasnorm: Anlage XXIII zu § 47 StVZO) [G11].

2.3.2 Emissionsfaktoren im betriebswarmen Zustand

2.3.2.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Bild 8 zeigt beispielhaft die Strukturen der Emissionsfunktionen für den Energieverbrauch und die Komponente NO_x für die Pkw-Schicht → G-Kat-Pkw, Hubvolumen 1,4 bis 2,0 l. Wie in Abschnitt 2.6 erläutert, wurden für Stadt- und Landstraßen Fahrmuster definiert, die das repräsentative Fahrverhalten auf diesen Straßen widerspiegeln. Die Verknüpfung dieser Fahrmuster mit den oben dargestellten Emissionsfunktionen bietet die Möglichkeit, schichtspezifische Emissionsfaktoren nach Gleichung (1) abzuleiten.

$$SE_F = \sum_c \sum_d E_{c,d} \cdot h_{F,c,d} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

- SE_F schichtspezifischer Emissionsfaktor für das Fahrmuster F; in g/h oder g/km
- $E_{c,d}$ schichtspezifische Emission für das Rasterfeld c, d ; in g/h oder g/km
mit c : ($v \cdot b$)-Klassen
und d : v -Klassen
- $h_{F,c,d}$ Häufigkeit für das Rasterfeld c, d im Fahrmuster F

class-specific emission factor, expressed in g/km, is obtained that may be adapted to an actual environment by multiplying it with a correction factor. Also, the emission functions, expressed in mg/s and obtained for different driving modes, may serve to describe the emission situation more accurately because the specific environment is better taken into account.

Table 5 and Table 6 show the subdivisions of the vehicle categories passenger car and light commercial motor vehicle into vehicle layers. For each vehicle layer the sample sizes of vehicles tested on the exhaust gas roller type test stand is listed where the base emission functions for the most important pollutants were empirically determined. The most recent base emission functions of Otto-cycle passenger cars were obtained from 1994 models (emission standard EURO 1) and of diesel passenger cars and INfz from 1990 models (emission standard: Annex XXIII of § 47 of the Ordinance on Vehicle Registration (StVZO)) [G11].

2.3.2 Emission factors at operating temperatures

2.3.2.1 Passenger cars and light commercial vehicles

Figure 8 shows the emission functions for fuel consumption and the pollutant NO_x of the vehicle layer passenger car with → g-cat, piston displacement 1.4 to 2.0 l. As was explained in Section 2.6, driving patterns have been defined for urban and rural roads that reflect the average driving behaviour on these roads. Relating these driving patterns with the emission functions offers the possibility to derive emission factors specific for the vehicle layers by means of Equation (1).

$$SE_F = \sum_c \sum_d E_{c,d} \cdot h_{F,c,d} \quad (1)$$

The variables are:

- SE_F emission factor of a vehicle layer for driving pattern F; expressed in g/h or g/km
- $E_{c,d}$ emission factor of a vehicle layer in the raster field c, d ; expressed in g/h or g/km
where c indicates the ($v \cdot b$)-groups
and d indicates the v -group
- $h_{F,c,d}$ frequency on the raster field c, d for driving pattern F

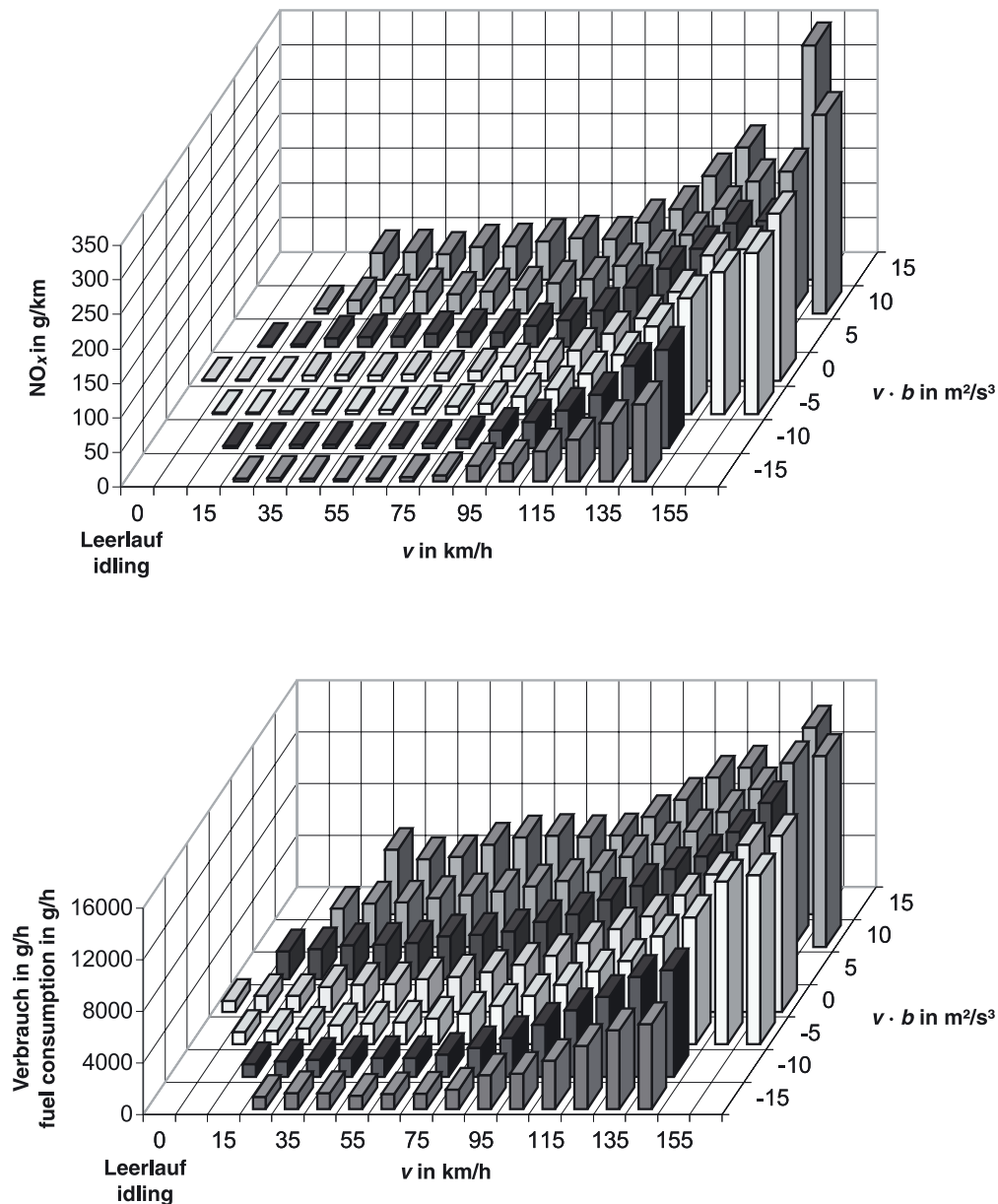


Bild 8. Emissionsfunktionen des Kraftstoffverbrauchs und der NO_x -Emissionen eines Pkw mit geregelterm 3-Wege-Katalysator (Schicht 2) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v und dem Produkt $v \cdot b$ (angelehnt an [20]) – die Daten zu diesem Bild sind zurzeit nicht verfügbar

Fig. 8. Emission functions of the fuel consumption and the NO_x emissions of a passenger car with controlled three-way catalytic converter (vehicle layer 2) as functions of the driving speed v and the product $v \cdot b$, according to [20]. The data for this figure are not available at the present time.

Die entsprechend abgeleiteten schichtspezifischen Emissionsfaktoren können [16] entnommen werden. Das Handbuch für Emissionsfaktoren wird unter Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung und in Anlehnung an die Abgasgesetzgebung fortgeschrieben (zurzeit Version 1.2). Gegebenenfalls müssen diese Faktoren noch um die in Abschnitt 2.3.3 bis Abschnitt 2.3.8 dargelegten Faktoren korrigiert werden.

Liegen reale Fahrgeschwindigkeitsverläufe vor bzw. können Geschwindigkeitsverläufe mit Hilfe mikroskopischer Verkehrssimulationsmodelle erzeugt werden, so kann mit Hilfe der Emissionsfunktionen und

The class specific emission factors derived by this procedure may be found in [16]. The Handbook for Emission Factors is continuously updated with the most recent findings in research and development and in parallel with legislation concerning environmental protection. The current version number is 1.2. If so required, the factors must be corrected by the factors described in Section 2.3.3 through Section 2.3.8.

If measured driving speed vs. time curves are available or if they can be generated by means of microscopic traffic simulation models, the emission situation can be realistically represented with the aid of

Korrekturfunktionen (z.B. Motorengedächtnis) die Emissionssituation realitätsnah abgebildet werden.

In solch einem Fall ist es nicht notwendig auf schichtspezifische Emissionsfaktoren zurückzugreifen, sofern geeignete Emissionsfunktionen vorliegen.

Unter Zugrundelegung der weiter vorn festgelegten Definition der Fahrzeugschicht führt eine Bestandsanalyse zu 22 Pkw- und 5 INfz-Schichten. Von diesen in Tabelle 5 zusammengestellten Schichten wurden für 19 Schichten bis Baujahr 1990 die Emissionsfunktionen bestimmt [7].

Für die statistische Erhebung des Emissionsverhaltens der im Rahmen der Bestandsanalyse definierten Schichten wurden 286 Pkw (Diesel/Otto) sowie 31 INfz der Baujahre 1986 bis 1990 sowie 68 Pkw (Otto) der Baujahre 1991 bis 1994 auf Rollenprüfständen vermessen [19; 24].

2.3.2.2 Schwere Nutzfahrzeuge

Das Ergebnis einer Bestandsanalyse war Grundlage der Definition von Schichten, die den gesamten Bereich der Nutzfahrzeugflotte in der Schweiz und in Deutschland³⁾ abdecken.

Auf Motorenprüfständen wurden für 34 Diesel-Motorentypen die Emissionsfunktionen bestimmt. Diese Emissionsfunktionen wurden den entsprechenden Fahrzeugschichten zugeordnet. Analysen des Fahrverhaltens für verschiedene Fahrzyklen liefern wie beim Pkw Emissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrmuster. Da die Messungen nicht an Fahrzeugen sondern an Motoren durchgeführt wurden und wegen der geringen Zahl von vermessenen Motorentypen, sind die Ergebnisse weniger belastbar als beim Pkw. Die Anwendung erfordert daher besondere Sorgfalt.

In Bild 9 ist die Struktur der schichtspezifischen Emissionsfaktoren dargestellt. Die schichtspezifischen Emissionsfaktoren werden nach sechs Straßenarten, vier Verkehrszuständen, fünf Längsneigungsklassen und bis zu drei Beladungsgraden unterschieden. Damit ergibt sich für die Bundesrepublik Deutschland pro Komponente ein Datensatz von ca. 5200 und für die Schweiz von ca. 3300 schichtspezifischen Emissionsfaktoren.

Bild 10 zeigt beispielhaft für Solo-Lkw der Massenkategorie 14 bis 20 t vor 1990 die Kraftstoffverbrauchs- und NO_x-Emissionsfaktoren für unterschiedliche

emission functions and correcting functions, e.g. engine memory.

In such a case it is not necessary to rely on vehicle layer specific emission factors provided suitable emission functions exist.

Based on the earlier given definition of a vehicle layer the analysis of the vehicle inventory leads to 22 classes of passenger cars and 5 classes of light commercial vehicles. They are listed in Table 5. Of 19 of these classes comprising models up to model year 1990 the emission functions have been determined [7].

For the statistical survey of the emission behaviour of the defined vehicle layers 286 passenger cars (both Otto-cycle and diesel) and 31 light commercial vehicles of the model years 1986 to 1990 as well as 68 passenger cars with Otto-cycle engines of the model years 1991 to 1994 were measured on roller type test rigs [19; 24].

2.3.2.2 Heavy commercial vehicles

The result of an inventory was the foundation for defining classes that cover the fleets of commercial vehicles in Switzerland and Germany³⁾.

The emission functions of 34 types of diesel engines were determined on engine test rigs. These emission functions were assigned to the corresponding vehicle layers. Like in the case of passenger cars, analyses of the driving behaviour in different driving cycles yield emission factors for different driving patterns. Because the measurements were taken not on vehicles but on engines and because of the small number of investigated engine types the results are less reliable than those of the passenger cars. Using them requires therefore special care.

Figure 9 shows the structure of the class-specific emission factors. The emission factors belong to six kinds of roads, four traffic situations, five classes of road gradients and up to three percentages of loading. In the case of the Federal Republic of Germany this results in a data set of about 5,200 vehicle layer specific emission factors per component and for Switzerland of about 3,300.

As an illustration, Figure 10 shows the fuel consumption and the NO_x emission factors of lorries without trailers of the mass range 14 to 20 t and

³⁾ Die FE-Vorhaben für die Schweiz [21] und die Bundesrepublik Deutschland [17] hatten unterschiedliche Arbeitsschwerpunkte. Die beidseitige Nutzung der FE-Ergebnisse lieferte ein breites Anwendungsspektrum.

³⁾ The R & D projects for Switzerland [21] and the Federal Republic of Germany [17] focused on different objectives. The use of the R & D results by both countries serves a broad spectrum of applications.

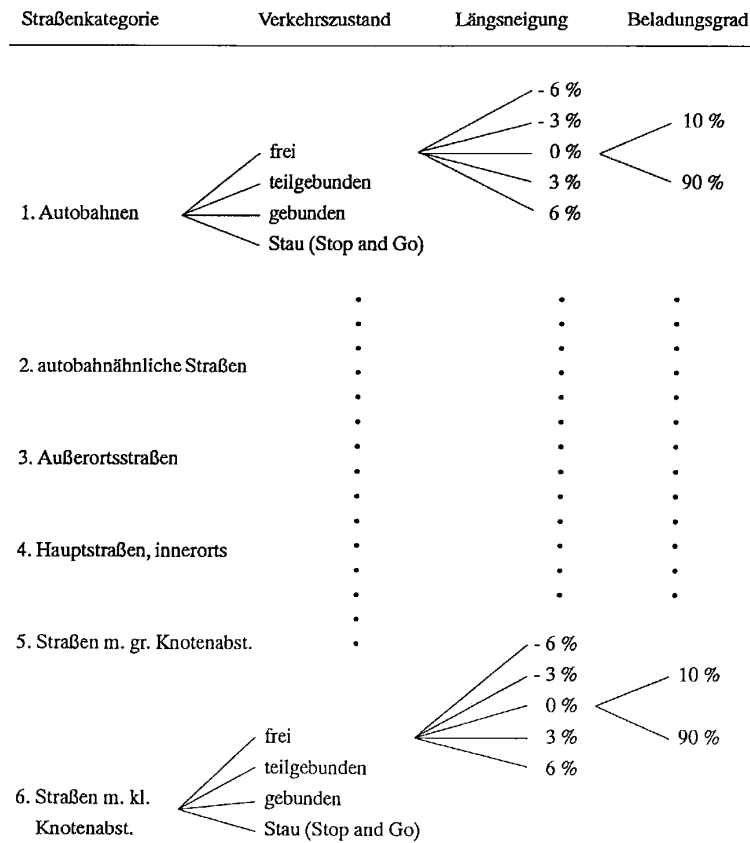


Bild 9. Struktur der schichtspezifischen Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge bis 1990 (nach [20])

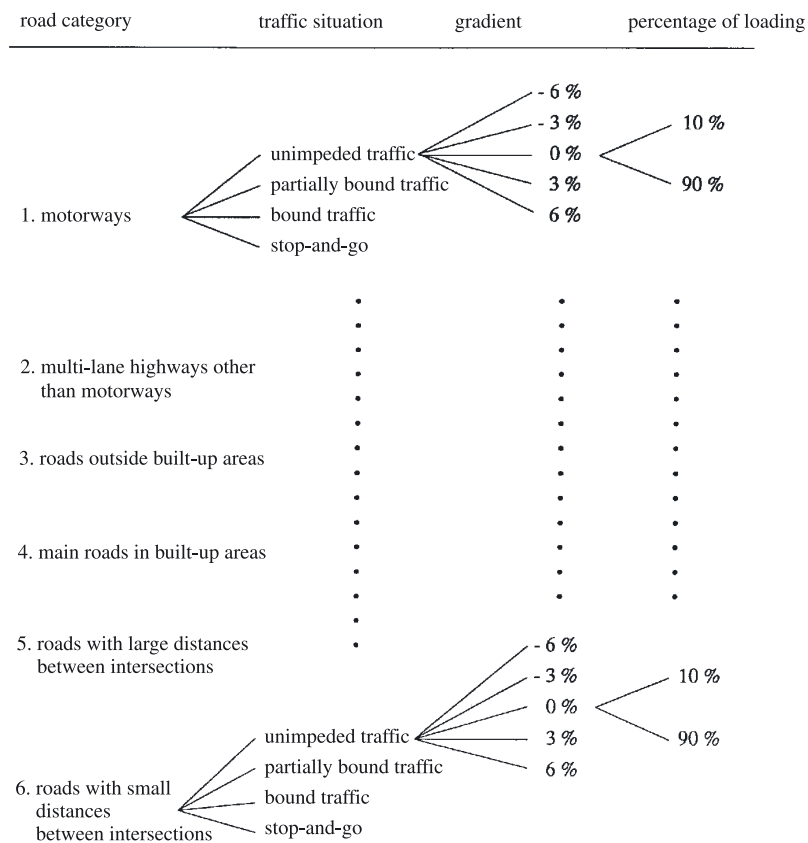


Fig. 9. Structure of the emission factors specific for a vehicle layer of heavy commercial vehicles, model years up to 1990; according to [20]

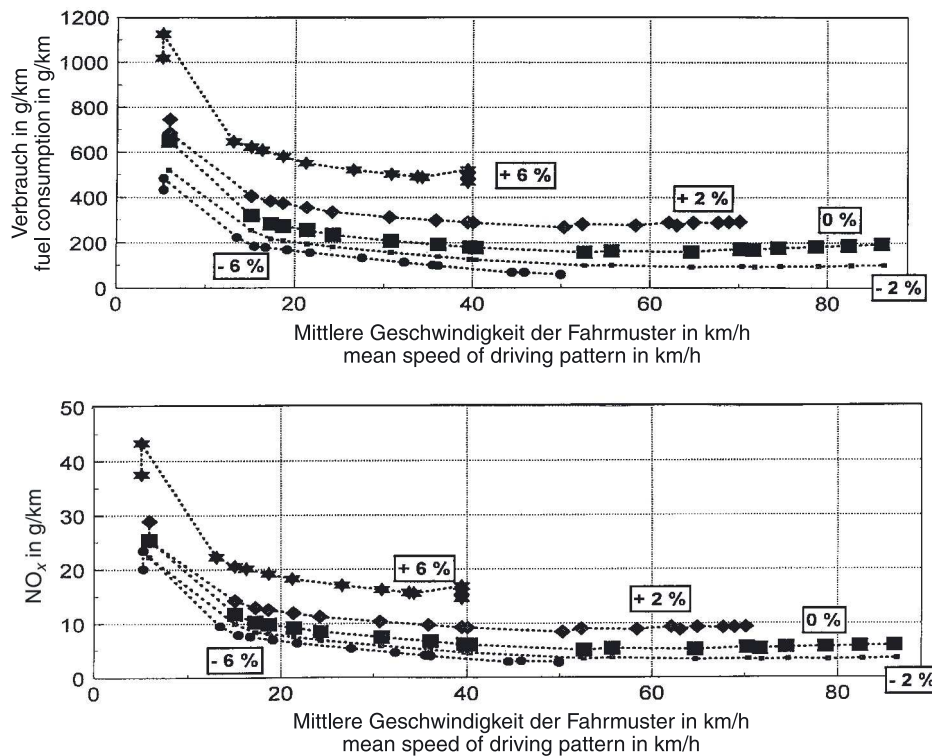


Bild 10. Kraftstoffverbrauchs- und NO_x -Emissionsfaktoren für Solo-Lkw der Massenkategorie 14 bis 20 t vor 1990 [20]

Fig. 10. Emission factors for fuel consumption and NO_x emission of lorries without trailers in the mass range 14 to 20 t, model years before 1990 [20]

Anmerkung: Emissionsfaktoren ermittelt durch den TÜV Rheinland; Fahrmuster sind abhängig von der Verkehrssituation und der Längsneigung. Die Verbindungslinien der Datenpunkte zeigen keine lineare Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Emissionsfaktoren. Daten sind nicht geeignet zur Abschätzung von Tempolimiten. Quelle: TÜV Rheinland; INFRAS: Handbuch der Emissionsfaktoren. IFEU Heidelberg, 06.1996

Note: Emission factors were determined by TÜV Rheinland; the driving patterns depend on the traffic situation and the gradient. The lines connecting the data points indicate no linear relationship between speed and emission factors. The data are unsuitable for estimating the effects of speed limits. Source: TÜV Rheinland; INFRAS: Handbuch der Emissionsfaktoren, IFEU Heidelberg, June 1996

Längsneigungsklassen und verschiedene Fahrmuster. Es ist zu erkennen, dass infolge der Steigung die Leistungsgrenzen der Motoren erreicht werden, dadurch die Fahrgeschwindigkeiten abfallen und gleichzeitig die Emissionen und der Kraftstoffverbrauch stark zunehmen.

Analog zu den Pkw-Emissionsfaktoren liegen auch die Emissionsfaktoren der sNfz in [16] vor.

model years before 1990. The variables are ranges of gradients and the driving patterns. One can see that gradients cause the engines to reach their power limits. As a consequence the driving speed declines and the emissions and the fuel consumption increase significantly.

Like the emission factors of passenger cars the emission factors of heavy commercial vehicles can also be found in [16].

2.3.2.3 Motorisierte Zweiräder

Für die Bestimmung der Energieverbrauchs- und Abgasemissionsfaktoren der motorisierten Zweiräder wurde zunächst eine Schichtung nach Zweitakt- und Viertakt-Motoren getroffen sowie eine Kategorisierung nach Motorrädern und Mopeds vorgenommen. Mofas, Mopeds und Kleinkraftkräder werden dabei zu einer Schicht zusammengefasst. Ein weiteres Klassierungsmerkmal bei motorisierten Zweirädern ist das Hubvolumen. Dabei werden bei den motorisierten Zweirädern mit 2-Takt-Motor üblicherweise die Schichten ≤ 50 und $> 50 \text{ cm}^3$ Hubvolumen gebildet. Übliche Schichten für motorisierte Zweiräder

2.3.2.3 Motor bicycles

For determining the emission factors for fuel consumption and exhaust gas of motor bicycles the vehicle layers two-stroke engines and four-stroke engines were defined and the categories motorcycles and mopeds were established. Mopeds, motor-assisted bicycles and small motorcycles were grouped together into one class. Another feature of motor bicycles to be used for classification is the piston displacement. Motor bicycles with two-stroke engines are usually grouped into the classes ≤ 50 and $> 50 \text{ cm}^3$ piston displacement. Customary classes of motor bicycles with four-stroke engines are piston displacements

mit 4-Takt-Motor bilden die Hubvolumen $< 250 \text{ cm}^3$, 250 bis 750 cm^3 und $> 750 \text{ cm}^3$. Falls erforderlich, kann eine weitere Schichtung nach dem Stand der Abgasgesetzgebung vorgenommen werden, wobei dies die Unterscheidung nach Fahrzeugen mit und ohne Katalysator einschließt.

Im Gegensatz zu der vorab beschriebenen Emissionsfaktorenermittlung für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge liegen den veröffentlichten Schichtemissionsfaktoren für motorisierte Zweiräder keine speziellen Fahrverhaltenserhebungen zu Grunde. Die Schichtemissionsfaktoren werden derzeit auf die Fahrzyklen, die auf Fahrzeugprüfständen gefahren wurden (oder auf Teile davon), bezogen und jeweils in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit ausgewiesen. Emissionsfaktoren liegen für insgesamt 14 verschiedene Fahrzyklusteile im Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 km/h (Leerlauf) und 139,0 km/h (TÜV-Autobahn-Zyklus Phase III) vor [22; 23].

Die schichtspezifischen Emissionsfaktoren können [16] entnommen werden.

2.3.3 Emissionsfaktoren bei kaltem Motor und niedriger Außenlufttemperatur

Während die Basisemissionsfaktoren für die einzelnen Schichten auf der Messung einer statistisch ausreichenden Anzahl von Fahrzeugen beruhen, ist die Quantifizierung von Einflussparametern, wie Kaltstart oder Längsneigung, auf der Grundlage von statistisch ausreichend besetzten Fahrzeugstichproben aus Kostengründen nicht möglich. Die Untersuchung emissionsrelevanter Einflussgrößen erfolgt daher auf der Basis relativ kleiner Fahrzeugkollektive (siehe [7]), die in Bezug auf die Emissionsmittelwerte deutliche Unterschiede zum jeweiligen Gesamtkollektiv aufweisen können. Um dennoch zu verallgemeinern den Aussagen zu kommen, werden auf der Basis nicht repräsentativer Stichproben relative Veränderungen in Form von so genannten Korrekturfaktoren ermittelt, die dann für ein Fahrzeugkonzept als bestmögliche Abschätzung des jeweils untersuchten Parameters angesehen werden (siehe Abschnitt 2.4).

Derzeit liegen Korrekturfaktoren für Pkw und LNFz auf der Basis des Datenmaterials nach [7] vor. Für andere Fahrzeugkategorien liegen derzeit keine entsprechenden Faktoren vor.

2.3.4 Längsneigung

2.3.4.1 Grundlagen

Die Längsneigung einer Straße wirkt sich auf den Fahrwiderstand eines Fahrzeugs erhöhend bzw. erniedrigend aus, wobei der entscheidende Parameter für den Schadstoffausstoß eines Fahrzeugs die eingesetzte Leistung während des Fahrbetriebs ist. Unter

$< 250 \text{ cm}^3$; 250 to 750 cm^3 ; and $> 750 \text{ cm}^3$. If necessary, more classes can be introduced that reflect the legislation on emission control. The distinction between vehicles with and without catalytic converters is included.

In contrast to the determination of emission factors described above for passenger cars and heavy commercial vehicles, the published emission factors for motor bicycles are not based on special surveys of the driving behaviour. The class emission factors are derived from driving cycles or parts of driving cycles conducted on vehicle test rigs. They are listed as functions of the mean riding speed. There exist emission factors for a total of 14 different parts of driving cycles in the speed range between 0 km/h (idling) and 139.0 km/h (TÜV Motorway Cycle Phase III) [22; 23].

The vehicle layer specific emission factors are to be found in [16].

2.3.3 Emission factors for cold engines and low ambient air temperatures

While the base emission factors of the individual classes are founded by measurements on statistically sufficiently large numbers of vehicles, it is not possible to quantify the effects of parameters such as cold start or road gradient because the sample sizes of vehicles are statistically not sufficiently large for reasons of costs. Investigating influencing parameters that are relevant to emission is therefore constraint by relative small numbers of vehicles (see also [7]) whose mean emission values may significantly differ from those of the respective total fleet. In order to still obtain answers of general validity, so-called correction factors are determined from non-representative samples, which yield best-possible estimates for the investigated parameter of a vehicle concept; see Section 2.4.

At the present time, correction factors exist for passenger cars and light commercial vehicles that are based on the data of [7]. No correction factors are available for other vehicle categories.

2.3.4 Road gradient

2.3.4.1 Basics

The gradient of a road increases or decreases the driving resistance. The engine power during the trip is the decisive parameter that controls the emission of pollutants. Investigations have revealed [7; 17; 21; 24] that not even in larger areas is the increase of emis-

suchungen [7; 17; 21; 24] haben ergeben, dass selbst bei großräumiger Betrachtung nicht davon ausgegangen werden kann, dass z.B. die Mehremissionen bei Fahrten in der Steigung durch entsprechende Minderemissionen bei Gefällestrecken kompensiert werden. Bei Längsneigungen größer 6 % werden die schichtspezifischen Emissionsfaktoren für die Längsneigung 6 % unverändert beibehalten, da für Längsneigungen größer 6 % zurzeit keine abgesicherten Werte vorliegen.

2.3.4.2 Pkw

Unter Berücksichtigung der in der Schweiz und in Deutschland auftretenden Längsneigungen im Streckennetz wurde festgelegt, Emissionsmessungen für die Längsneigungsklassen –6 %, –4 %, –2 %, 0 %, 2 %, 4 % und 6 % vorzunehmen. Die Fahrzeugauswahl umfasste folgende Fahrzeugkonzepte:

- Pkw mit G-Kat
- konventionelle Pkw mit Otto-Motor
- Pkw mit Diesel-Motor

Bei geringen Längsneigungen in der Größenordnung von ± 2 % kann mit hinreichender Sicherheit angenommen werden, dass das Fahrverhalten hierdurch nicht beeinflusst wird. Bei größeren Längsneigungen ist die Annahme jedoch nicht mehr zulässig.

Mit Hilfe der Emissionsfunktionen und eines Fahrmodells für Längsneigungen wurde ein so genannter Längsneigungsgrundwert für die Ebene abgeleitet und der schichtspezifische Emissionsfaktor für die jeweilige Längsneigung durch Multiplikation des Längsneigungsgrundwertes mit einem längsneigungsklassenspezifischen „Korrekturfaktor“ ermittelt.

Für Längsneigungen zwischen den vorliegenden Längsneigungsklassen kann linear interpoliert werden.

Die schichtspezifischen Emissionsfaktoren je Längsneigungsklasse finden sich in [16].

2.3.4.3 Schwere Nutzfahrzeuge

Hier erfolgt keine Korrektur der schichtspezifischen Emissionsfaktoren, da bei der Ermittlung der Emissionsfunktion die Hangabtriebskraft als Parameter mit erfasst wurde (siehe Abschnitt 2.3.2.2).

2.3.4.4 Motorisierte Zweiräder

Grundsätzlich gelten hier die gleichen Abhängigkeiten wie z.B. bei den Pkw. Es liegen zurzeit keine verwertbaren Ergebnisse vor.

sions when driving up-hill compensated by a decrease when going down-hill. At gradients larger than 6 % the same class specific emission factors are applied as for a 6 % gradient because no reliable values exist for gradients larger than 6 %.

2.3.4.2 Passenger cars

In view of the road gradients found in Switzerland and Germany it was decided to use the gradient classes –6 %, –4 %, –2 %, 0 %, 2 %, 4 %, and 6 % when measuring emissions. The following vehicle concepts were selected:

- passenger car with g-cat
- passenger car with Otto-cycle engine, without catalytic converter
- passenger car with diesel engine

It may safely be assumed that gradients of the order of magnitude of ± 2 % do not influence the driving behaviour. This assumption, however, is invalid at larger gradients.

With the aid of emission functions and a driving pattern for gradients a so-called gradient base value for the level road was derived. The vehicle layer specific emission factor for a given gradient is found by multiplying the gradient base value by a correction factor that is specific for the gradient class.

The emission factor can be linearly interpolated at gradients that lie between the gradient class limits.

Vehicle layer specific emission factors for each gradient class are to be found in [16].

2.3.4.3 Heavy commercial vehicles

Here the class specific emission factors need no correction because the gravitational force at a gradient was recorded as a parameter (see Section 2.3.2.2).

2.3.4.4 Motor bicycles

In principle the same dependencies prevail as e.g. for passenger cars. At the present time no useable results exist.

2.3.5 Emissionseinfluss der Höhe über Normalnull

Untersuchungen bei betriebswarmem Motor und drei unterschiedlichen Höhenzuständen (NN, 1000 m und 2000 m) haben gezeigt, dass der Einfluss der Höhe über NN für alle untersuchten Fahrzeugkonzepte berücksichtigt werden muss, wenn ein größerer Anteil der Fahrleistung auf hoch über NN gelegenen Straßen erbracht wird. Die Untersuchungen sind im Detail in [7; 17; 21; 24] beschrieben. Für die praktische Anwendung liegen zurzeit keine verwendbaren Ansätze vor.

2.3.6 Stop-and-go-Betriebsweise

2.3.6.1 Besonderheiten der Stop-and-go-Betriebsweise

Der Anteil der Emissionen im Stop-and-go-Betrieb ist in Bezug auf die → Gesamtemissionen des Verkehrs klein. Trotzdem kann es in zeitlich und lokal begrenzten Verkehrssituationen zu erheblichen Immissionsbelastungen kommen. Zur Beschreibung der Emissionssituation von Verkehrsstaus, wie sie im morgendlichen und abendlichen Verkehrsaufkommen auftreten, wurden in [7; 17; 21; 24] detailliert beschriebene Untersuchungen durchgeführt.

2.3.6.2 Pkw

Mit Hilfe der Emissionsfunktionen und eines Fahrmodells für den Stop-and-go-Betrieb wurde ein so genannter Stop-and-go-Grundwert abgeleitet. Der schichtspezifische Emissionsfaktor für den Stop-and-go-Betrieb wird durch Multiplikation des Stop-and-go-Grundwertes mit einem Stop-and-go-spezifischen „Korrekturfaktor“ ermittelt.

Die schichtspezifischen Emissionsfaktoren für den Stop-and-go-Betrieb können [16] entnommen werden.

2.3.6.3 Schwere Nutzfahrzeuge

Bei den schweren Nutzfahrzeugen wird der Stop-and-go-Betrieb je Straßentyp mit Hilfe des Fahrmodells „Stau“ direkt abgebildet. Analog zur Längsneigung sind im Stop-and-go-Betrieb keine spezifischen „Korrekturfaktoren“ zur Ableitung des schichtspezifischen Emissionsfaktors notwendig.

Schichtspezifische Emissionsfaktoren für den Stop-and-go-Betrieb finden sich in [16].

2.3.6.4 Motorisierte Zweiräder

Bei den motorisierten Zweirädern wird der Stop-and-go-Betrieb mit Hilfe von Fahrmodellen abgebildet, die

2.3.5 Effects of altitude on the emissions

Investigations with engines at operating temperature at three different altitudes (0 m, 1,000 m and 2,000 m above sea level) have shown that with all vehicle concepts the effect of altitude must be taken into account if a large portion of the mileage is done on roads at high altitudes. The investigations are described in detail in [7; 17; 21; 24]. No results exist that are useable for practical applications.

2.3.6 Stop-and-go driving

2.3.6.1 Characteristics of stop-and-go driving

The portion of the emissions that is contributed by stop-and-go driving is small in relation to the → total emissions of traffic. Nevertheless, significant concentrations of pollutants may occur in temporally and spatially confined traffic situations. For characterising the emission situation under stop-and-go conditions as they may occur in morning and evening rush hours detailed investigations were conducted that are described in [7; 17; 21; 24].

2.3.6.2 Passenger cars

Using the emission functions and a driving pattern for stop-and-go driving a so-called base stop-and-go value was derived. The vehicle layer specific emission factor for stop-and-go driving is found by multiplying the base stop-and-go value with a stop-and-go specific "correction factor".

Vehicle layer specific emission factors for stop-and-go driving are to be found in [16].

2.3.6.3 Heavy commercial vehicles

With heavy commercial vehicles stop-and-go driving is directly represented by the driving pattern "stop-and-go". As it is the case with gradients stop-and-go driving needs no specific "correction factors" for deriving class specific emission factors.

Vehicle layer specific emission factors for stop-and-go driving are to be found in [16].

2.3.6.4 Motor bicycles

Stop-and-go riding of motor bicycles is represented by driving patterns that feature a higher mean speed

eine höhere mittlere Geschwindigkeit aufweisen als die der Pkw und sNfz (~ 19 km/h).

Die schichtspezifischen Emissionsfaktoren für den Stop-and-go-Betrieb sind in [16] niedergelegt.

2.3.7 Kombinationswirkungen

Die gemeinsame Wirkung von Kaltstart, Längsneigung und Stop-and-go-Betrieb auf die spezifischen Emissionsfaktoren muss mit Sachverstand den jeweiligen Verhältnissen angepasst werden. Ein allgemeingültiges Verfahren kann zurzeit nicht angegeben werden.

2.3.8 Laufleistung

Es ist davon auszugehen, dass innerhalb von Inspektionsintervallen eine Verschlechterung des Emissionsverhaltens zu erwarten ist. Üblicherweise kann jedoch bei konventionellen Fahrzeugen das Emissionsniveau unabhängig vom Kilometerstand der Fahrzeuge durch Einstellung und Wartung bzw. durch Beseitigung von Defekten in etwa wieder auf das eines neuen Fahrzeugs abgesenkt werden. Anders sieht das jedoch bei Fahrzeugen mit regelmäßigem Katalysator aus. Hier führt eine nicht vermeidbare Verschlechterung des Konvertierungsgrades des Katalysators durch thermische Alterung und Vergiftung zu einer Emissionserhöhung mit zunehmender → Laufleistung.

Im Rahmen von [7] konnte aufgezeigt werden, dass eine Regressionsanalyse über alle vorliegenden Ergebnisse auf der Basis des US-Test-75 den Einfluss der Laufleistung realistisch widerspiegelt. Insgesamt liegen der Regressionsanalyse Messungen an 178 G-Kat-Pkw zu Grunde.

Mit Hilfe der komponentenspezifischen Steigung der Regressionsgeraden können die schichtspezifischen Emissionsfaktoren aller G-Kat-Pkw auf die mittlere Fahrleistung eines vorgegebenen Bezugsjahres umgerechnet werden. Der hier durch Regressionsanalyse ermittelte Laufleistungseinfluss wird nicht nur durch die chemische und thermische Alterung des Katalysators bestimmt, sondern bezieht auch Defekte, Einstellfehler und Wartungsmängel mit ein. Dieser Laufleistungseinfluss ist aus diesem Grund nicht vergleichbar mit den im Rahmen der Abgastypprüfung zu ermittelnden Verschlechterungsfaktoren. Sie werden an einem Einzelfahrzeug über eine Laufstrecke von 80 000 km ermittelt, indem der Quotient aus dem Emissionsergebnis bei 80 000 km und dem im Neuzustand gebildet wird. In [16] sind folgende Korrekturfaktoren a für die Laufleistung ausgewiesen (siehe Tabelle 7):

than that of passenger cars and heavy commercial vehicles (approx. 19 km/h).

Vehicle layer specific emission factors for stop-and-go driving are to be found in [16].

2.3.7 Combined effects

The combined effect of cold start, gradient and stop-and-go driving on the specific emission factors must be carefully estimated in view of the current situation. A generally valid procedure cannot be given at the present time.

2.3.8 Vehicle mileage

It can be expected that the emission behaviour deteriorates in the intervals between vehicle inspections. Usually, however, the emission levels of vehicles without catalytic converters can be lowered to roughly those of a new vehicle by adjustments, maintenance and repair of defects, regardless of mileage. The situation is different with vehicles with controlled catalytic converters. An unavoidable deterioration of the conversion capacity of the catalytic converter due to thermal ageing and poisoning leads to increased emissions with increasing vehicle mileage.

In the study reported in [7] it was shown that a regression analysis of all available results of the US-Test-75 yields a realistic description of the effect of vehicle mileage. Measurements on 178 passenger cars with controlled catalytic converters were subjected to the regression analysis.

By means of the slope of the regression line that is specific for each exhaust gas component the class-specific emission factors of all passenger cars with controlled catalytic converters can be converted to the average mileage of a specified year. The effect of the vehicle mileage computed via regression analysis is determined not only by chemical and thermal ageing of the catalytic converter but also includes defects, bad tuning and deficient maintenance. For this reason the effect of the vehicle mileage is not comparable with the deterioration factors that are determined in the emission type test. These are measured with an individual vehicle after it has completed 80,000 km by calculating the ratio of the emission value at 80,000 km over the emission value of the new vehicle. In [16] the correction factors a are listed that account for the vehicle mileage (see Table 7).

Tabelle 7. G-Kat-Korrekturfaktoren für die Laufleistung a

Konzept	HC in 1/km	CO in 1/km	NO _x in 1/km
G-Kat bis 1987	$6,21 \cdot 10^{-6}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$
G-Kat 1987 bis 1990	$3,25 \cdot 10^{-6}$	$4,81 \cdot 10^{-6}$	$4,82 \cdot 10^{-6}$
G-Kat ab 1991	$6,91 \cdot 10^{-7}$	$5,27 \cdot 10^{-6}$	$5,98 \cdot 10^{-6}$

Table 7. Correction factors a for the vehicle mileage and controlled catalytic converters

Concept	HC per km	CO per km	NO _x per km
controlled catalytic converters until 1987	$6.21 \cdot 10^{-6}$	$3.33 \cdot 10^{-6}$	$1.11 \cdot 10^{-6}$
controlled catalytic converters 1987 till 1990	$3.25 \cdot 10^{-6}$	$4.81 \cdot 10^{-6}$	$4.82 \cdot 10^{-6}$
controlled catalytic converters from 1991	$6.91 \cdot 10^{-7}$	$5.27 \cdot 10^{-6}$	$5.98 \cdot 10^{-6}$

Der laufleistungskorrigierte schichtspezifische Emissionsfaktor kann nach Gleichung (2) berechnet werden:

$$SE_{F, LG} = SE_F \cdot (1 + (FL_{F, J} - FL_{F, MJ}) \cdot a) \quad (2)$$

mit

- $SE_{F, LG}$ laufleistungskorrigierter schichtspezifischer Emissionsfaktor für Fahrmuster F; in g/km
 SE_F schichtspezifischer Emissionsfaktor für Fahrmuster F; in g/km
 $FL_{F, J}$ mittlere Fahrleistung der Schicht im Bezugsjahr J
 $FL_{F, MJ}$ mittlere Fahrleistung des Messkollektivs im Messjahr MJ
 a Laufleistungskorrekturfaktor

In [16] sind die ausgewiesenen Emissionsfaktoren schon laufleistungskorrigiert. Die Korrektur erfolgte unter Berücksichtigung bestimmter Fahrleistungen, weitergehende Informationen finden sich dort.

2.3.9 Verdampfungsemissionen

Die Verdampfungsemissionen aus dem ruhenden Kfz-Verkehr werden durch den Dampfdruck des Kraftstoffes und die Verdampfungswärme bestimmt. Da Otto-Kraftstoff bei gleicher Temperatur einen höheren Dampfdruck aufweist als Diesel-Kraftstoff, sind der überwiegende Teil der Verdampfungsemissionen auf Fahrzeuge mit Otto-Motoren zurückzuführen, was sich auch in der Tabelle 8 widerspiegelt.

Für beide Kraftstoffarten wird zwischen Sommer- und Winter-Kraftstoffen differenziert. Beim Otto-Kraftstoff wird der Dampfdruck beim Sommer-Kraftstoff am unteren Ende der möglichen Bandbreite (45 bis 60 kPa) und beim Winter-Kraftstoff entsprechend am oberen Ende (60 bis 90 kPa) eingestellt. Der Winter-Diesel unterscheidet sich gegen-

The class-specific emission factor that is corrected for vehicle mileage can be calculated with Equation (2):

$$SE_{F, LG} = SE_F \cdot (1 + (FL_{F, J} - FL_{F, MJ}) \cdot a) \quad (2)$$

where

- $SE_{F, LG}$ class-specific emission factor of driving pattern F corrected for vehicle mileage; in g/km
 SE_F class-specific emission factor of driving pattern F; in g/km
 $FL_{F, J}$ average mileage of the class in the year J
 $FL_{F, MJ}$ average mileage of all measured vehicles in the measurement year MJ
 a correction factor for vehicle mileage

The emission factors listed in [16] are already corrected for vehicle mileage. The correction was based on certain mileages; further information may be found there.

2.3.9 Emissions by evaporation

The emissions by evaporation from vehicles at standstill are governed by the vapour pressure of the fuel and its specific heat of evaporation. Because Otto-cycle fuels have a higher vapour pressure than diesel fuels at equal temperatures, the predominant part of the emissions by evaporation comes from Otto-cycle engines. This can be gathered from Table 8.

Both types of fuels come as summer fuels and winter fuels. The vapour pressure of the summer Otto-cycle fuel is adjusted to the lower end of its possible range of 45 to 60 kPa and the winter fuel at the upper end (60 to 90 kPa). The winter diesel fuel differs from the summer fuel only by its viscosity at low temperatures and not by its vapour pressure.

Tabelle 8. Stoffkennwerte von Otto- und Diesel-Kraftstoff nach DIN EN 228 [T1] und DIN EN 590 [T2] sowie VDI 2440 [T3]

Kennwert	Einheit	Otto-Kraftstoff	Diesel-Kraftstoff
Dichte (bei 15 °C)	kg/m ³	720 bis 775	820 bis 845
Dampfdruck (bei 37,8 °C)	kPa	45,0 bis 60,0 *) 60,0 bis 90,0 **)	0,2 *) 0,2 **)
Siedeverhalten verdampfte Menge bei 70 °C bei 100 °C bei 150 °C bei 250 °C bei 350 °C Siedeendpunkt	Vol. % °C	20,0 bis 48,0 *) 22,0 bis 50,0 **) 46,0 bis 71,0 > 75,0 – < 210	 < 65,0 > 85,0 < 360 (95 %)
Klopffestigkeit Research→ Oktanzahl/Motorenoktanzahl → Cetanzahl		> 98,0/> 88,0 *) > 91,0/> 82,5 **) –	– – > 51,0

*) Sommer-Kraftstoff (1. Mai bis 30. September)

**) Winter-Kraftstoff (16. November bis 15. März)

*) Otto-Kraftstoff Super

**) Otto-Kraftstoff Normal

Table 8. Material properties of Otto-cycle and diesel fuel according to DIN EN 228 [T1], DIN EN 590 [T2], and VDI 2440 [T3]

Property	Unit	Otto-cycle fuel	Diesel fuel
specific mass (at 15 °C)	kg/m ³	720 to 775	820 to 845
vapour pressure (at 37.8 °C)	kPa	45.0 to 60.0 *) 60.0 to 90.0 **)	0.2 *) 0.2 **)
boiling behaviour evaporated amount at 70 °C at 100 °C at 150 °C at 250 °C at 350 °C boiling point	vol.-% °C	20.0 to 48.0 *) 22.0 to 50.0 **) 46.0 to 71.0 > 75.0 – < 210	 < 65.0 > 85.0 < 360 (95 %)
antiknock ratings research → octane number, motor octane number → cetane number		> 98.0/> 88.0 *) > 91.0/> 82.5 **) –	– – > 51.0

*) summer fuel, 1 May till 30 Sept.

**) winter fuel, 16 Nov. till 15 March

*) premium Otto-cycle fuel

**) standard Otto-cycle fuel

über dem Sommer-Diesel nur durch seine Fließeigenschaften bei niedrigen Temperaturen und nicht beim Dampfdruck.

Bei den Verdampfungsemissionen betrachtet man Emissionen infolge von Warm- und Heißabstellen (WH), Tankatmung (TA) sowie „running losses“, die bei bewegten Fahrzeugen entstehen [25].

Bei älteren Fahrzeugen mit Kunststofftanks kann es zusätzlich zur Diffusion der Kohlenwasserstoffdämpfe durch die permeable Tankwand kommen. Da

The emissions by evaporation comprise the emissions from warm and hot parking (WH), by tank respiration (TA) and the running losses of moving vehicles [25].

In older vehicles with plastic tanks diffusion may take place of the hydrocarbon vapours through the permeable wall of the tank. Because these plastic

diese Kunststofftanks heute nur noch in Einzelfällen Verwendung finden, kann diese Emission in der Regel vernachlässigt werden.

Warm- und Heißabstellen (WH)

Die WH-Emission hängt von der Temperatur des Motors ab. Sie wird über die Länge der vorausgehenden Fahrt sowie der → Standzeit bestimmt.

Tankatmung (TA)

Ursache für die TA-Emission aus der Tankbelüftung ist der Tagesgang der Lufttemperatur.

Running losses

Zum Unterschied zu den vorher genannten Verdampfungsemissionen entstehen die Emissionen während der Fahrt. In Kraftfahrzeugen, die mit Aktivkohlefiltern ausgestattet sind, wird der verdampfte Kraftstoff in den Aktivkohlefilter geleitet und von dort periodisch in das Kraftstoffsystem zurückgeführt. Verdampft jedoch eine größere Menge an Kraftstoff als gespeichert und rückgeführt werden kann, wird dieses Kohlenwasserstoffgemisch an die Umgebung abgegeben. Dazu gibt es aus der Literatur Berechnungsansätze, die jedoch in Deutschland noch nicht allgemein verbindlich zur Anwendung gekommen sind [26].

2.3.9.1 Pkw

Aus [16] können für Pkw mit Otto-Motoren Verdampfungs-Emissionsfaktoren für Tankatmung und für Warm-/Heißabstellverluste in Abhängigkeit verschiedener Parameter entnommen werden. In Tabelle 9 sind beispielhaft für das Jahr 1998 die Pkw-Emissionsfaktoren aufgeführt, die sich bei Verwendung von mittleren Fahrtweiten- und Standzeitenver-

tanks are used only in rare cases, this emission may be ignored as a rule.

Warm and hot parking (WH)

The WH emission depends on the temperature of the engine. It is determined by the duration of the trip and the → parking time.

Tank respiration (TA)

The cause of the TA-emission from the tank vents is the diurnal variation of the ambient air temperature.

Running losses

In contrast to the aforementioned emissions by evaporation the running losses occur during the trip. In motor vehicles equipped with activated carbon filters the evaporated fuel is collected in the filter and periodically recycled from there to the fuel system. If, however, more fuel evaporates than can be collected and recycled, the fuel-air mixture is vented into the environment. Formulas for calculating these emissions may be found in the literature but they have not yet been formally applied in Germany [26].

2.3.9.1 Passenger cars

Emission factors for evaporation by tank respiration and losses at warm and hot parking are contained in [16] as functions of various parameters. Table 9 shows as an example the emission factors of passenger cars for the year 1998. They were computed for average distributions of travelled distances and parking times (losses at hot and warm parking) and for

Tabelle 9. Mittlere HC-Verdampfungs-Emissionsfaktoren für Pkw für das Bezugsjahr 1998 [16]

Fahrzeugkategorie	WH in g/Abstellvorgang	TA in g/Tag
Pkw, konventionell	6,490	6,777
Pkw, G-Kat vor 1991	0,532	0,328
Pkw, G-Kat vor EURO 2	0,532	0,328
Pkw, G-Kat EURO 2	0,372	0,229
Pkw, G-Kat EURO 3	0,213	0,131

Table 9. Mean HC emission factors for evaporation from passenger cars in the year 1998 [16]

Vehicle category	WH in g per parking	TA in g per day
passenger car without catalytic converter	6.490	6.777
passenger car with controlled catalytic converter before 1991	0.532	0.328
passenger car with controlled catalytic converter before EURO 2	0.532	0.328
passenger car with controlled catalytic converter EURO 2	0.372	0.229
passenger car with controlled catalytic converter EURO 3	0.213	0.131

teilungen (Heiß-/Warmabstellverluste) bzw. von jahresmittleren Temperaturverläufen der über Deutschland gemittelten Klimazonen (Tankatmung) ergeben.

2.3.9.2 Motorisierte Zweiräder

Im Gegensatz zu Pkw mit Otto-Motoren sind moderne Motorräder und Mofas nicht mit Aktivkohlefiltern oder ähnlichen Verdampfungskontrollsystemen ausgestattet. Messungen [27] zeigen, dass Krafträder wesentlich mehr Verdampfungsemissionen ausstoßen als G-Kat-Pkw (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10. HC-Verdampfungsemissionen von Krafträdern, gemessen nach Richtlinie 98/69/EG [G2] (Stichprobe: Zehn Krafträder)

	Heißabstellvorgang in g/(1. Stunde)	Kaltabstellvorgang in g/24 h
Minimum	0,6	3,0
Maximum	2,9	17,0
Mittel	1,6	6,7

2.3.9.3 Andere Fahrzeuge

Hierunter werden Fahrzeuge verstanden, die nicht in die vorherig behandelten Fahrzeugarten (Pkw, motorisierte Zweiräder) fallen. Dies sind die schweren Nutzfahrzeuge und andere mit Otto- bzw. Diesel-Kraftstoff betriebenen Fahrzeuge (Traktor, Baumaschinen usw.). Da die schweren Nutzfahrzeuge fast ausschließlich mit Diesel-Kraftstoff betrieben werden, können die Verdunstungsemissionen gegenüber denen des Otto-Kraftstoffes vernachlässigt werden. Dies ist auf alle anderen mit Diesel-Kraftstoff betriebenen Fahrzeuge zu übertragen. Für die mit Otto-Kraftstoff betriebenen anderen Fahrzeuge liegen zurzeit keine verlässlichen Angaben vor.

2.3.10 Luftverunreinigungen

Bereits in Abschnitt 1.3.1.1 wird auf die große Bandbreite von Luftverunreinigungen hingewiesen, die überwiegend auf Grund unvollständiger Verbrennungsprozesse und Verdampfungsvorgänge in die Umwelt gelangen. Einige tausend verschiedener überwiegend organischer chemischer Verbindungen können mit entsprechend empfindlicher Messtechnik qualitativ in Kfz-Abgasen nachgewiesen werden. Emissionsfaktoren zur quantitativen Bestimmung stehen derzeit nur für die gemäß den Massenanteilen dominierenden Schadstoffe zur Verfügung. Tabelle 11 enthält einen entsprechenden Überblick über einige ausgewählte Quellen von Kfz-Emissionsfaktoren.

Hochaufgelöste Basisemissionsfunktionen als Grundlage für die in [16] veröffentlichten Emissionsfaktoren liegen für Kohlenmonoxid (CO), Summe

mean annual temperature variations of climatic regions averaged over Germany (tank respiration).

2.3.9.2 Motor bicycles

In contrast to passenger cars with Otto-cycle engines modern motor cycles and motor-assisted bicycles are not equipped with activated carbon filters or other evaporation reducing systems. Measurements [27] show that motor bicycles give off considerably more evaporation emissions than passenger cars with controlled catalytic converters (see Table 10).

Table 10. HC emissions by evaporation per motor bicycle, measured according to directive 98/69/EG [G2]. The sample size is 10 motor bicycles.

	Hot parking in g per first hour	Cold parking in g per 24 hours
minimum	0.6	3.0
maximum	2.9	17.0
mean	1.6	6.7

2.3.9.3 Other vehicles

These are vehicles that do not belong to the vehicle types already discussed (passenger cars, motor bicycles). They are heavy commercial vehicles and other vehicles running on Otto-cycle or diesel fuel (tractors, building machines etc.). Because heavy commercial vehicles almost exclusively burn diesel fuel the emissions by evaporation can be neglected in comparison with those of Otto-cycle fuel. This is valid for all vehicles using diesel fuel. At the present time no reliable data exist for other vehicles running on Otto-cycle fuel.

2.3.10 Air pollutants

Already in Section 1.3.1.1 the broad spectrum of air pollutants was mentioned that is emitted into the environment by incomplete combustion processes and evaporation. Several thousand different, predominantly organic, compounds can be identified in the exhaust gas of motor vehicles by measurements with adequate sensitivity. Emission factors for quantitative determinations are available at the present time only for the air pollutants with dominant shares in the mass concentrations. Table 11 gives an overview over selected sources for emission factors of motor vehicles.

Base emission functions of high resolution that were used for the emission factors published in [16] are available for carbon monoxide (CO), sum of hydro-

Tabelle 11. Nach Luftverunreinigungen differenzierte, verfügbare Emissionsfaktoren

Quelle	Prozess	Luftverunreinigungen
[16]	Abgas, heiß	CO, HC, NO _x , CO ₂ *)
		Partikeln, Pb, SO ₂ , CH ₄ , Benzol, Toluol, Xylole **)
		NH ₃ , N ₂ O +)
	Abgas, Kaltstart	CO, HC, NO _x , Partikel, CO ₂ *)
		Pb, SO ₂ , CH ₄ , Benzol, Toluol, Xylole **)
	Verdampfung	HC, CH ₄ , Benzol, Toluol, Xylole **)
[28]	Abgas, heiß und kalt ++)	24 Alkane, 11 Alkene, Ethin, 9 Aromaten, 7 Aldehyde, 2 Ketone, Phenol, Kresole
[29]	Abgas, heiß und kalt #)	Alkane, Alkene, Ethin, Aromaten, Aldehyde
	Verdampfung ##)	Butane, Pentane, Alkene, Aromaten
Abschnitt 2.3.12	Abgas	Ruß

*) aus umfangreichen Messungen

**) aus ergänzenden Messungen und/oder umfangreichen Literaturangaben

+) aus einzelnen Literaturangaben

++) umfangreiche Literaturangaben zu Pkw und Nutzfahrzeugen

#) grobe Abschätzung aus Literaturangaben

##) ergänzende Messungen an Pkw, integrale Werte zu den jeweils drei Phasen von FTP- und Autobahnzyklus

Table 11. Available emission factors sorted by air pollutants

Source	Process	Air pollutant
[16]	exhaust gas from hot engine	CO, HC, NO _x , CO ₂ *)
		particulates, Pb, SO ₂ , CH ₄ , benzene, toluene, xylenes **)
		NH ₃ , N ₂ O +)
	exhaust gas at cold start	CO, HC, NO _x , particulates, CO ₂ *)
		Pb, SO ₂ , CH ₄ , benzene, toluene, xylenes **)
	evaporation	HC, CH ₄ , benzene, toluene, xylenes **)
[28]	exhaust gas from cold or hot engine ++)	24 alkanes, 11 alkenes, ethine, 9 aromatics, 7 aldehydes, 2 ketones, phenol, cresoles
[29]	exhaust gas from cold or hot engine #)	alkanes, alkenes, ethine, aromatics, aldehydes
	evaporation ##)	butanes, pentanes, alkenes, aromatics
Section 2.3.12	exhaust gas	soot

*) from extensive measurements

**) from additional measurements and/or extensive literature references

+) literature references

++) extensive literature references for passenger cars and commercial vehicles

#) coarse estimates from literature references

##) additional measurements on passenger cars; sums over the three phases of the FTP cycle and the motorway cycle

der Kohlenwasserstoffe gemessen mit FID (HC), Stickoxide (NO_x) und Kohlendioxid (CO₂) vor. Daneben sind Emissionsfaktoren für Partikeln, Blei, BTX und einige weitere gasförmige Komponenten enthalten, die auf größeren Messungen beruhen (z. B. Bezug auf längere Phasen von Prüfstandszyklen).

Bei der Emissionsmodellierung von anderen flüchtigen organischen Komponenten (VOC) ist man auf zusätzliche Quellen angewiesen. In Tabelle 11 werden zwei Literaturstellen zitiert, die die Ermittlung

carbons measured with FID (HC), nitrogen oxides (NO_x) and carbon dioxide (CO₂). Also contained in [16] are emission factors for particulates, lead, benzene, toluene, xylenes (BTX) and some other gaseous components that are derived from coarser measurements, e.g. from longer phases of test rig cycles.

For modelling emissions of other volatile organic compounds (VOC), additional sources must be consulted. Table 11 lists two references that describe the determination of VOC profiles of various vehicle cat-

von VOC-Profilen für verschiedene Fahrzeugkategorien und Lastzustände zum Inhalt haben. Aus der Kombination von modellierten Gesamtkohlenwasserstoffemissionen mit stofflich hochaufgelösten Profilen lassen sich die Emissionen für einzelne VOC-Komponenten ermitteln.

Auch bei der Ermittlung von Rußemissionen ist man auf zusätzliche Angaben über den Rußgehalt von emittierten Partikeln angewiesen. Diese Problematik wird in Abschnitt 2.3.12 diskutiert.

2.3.11 Einfluss der Kraftstoffzusammensetzung auf die Emission

Bei der Verbrennung von Kraftstoff mit Luft im Motor entstehen Schadstoffe. Nicht zu vernachlässigen sind in diesem Zusammenhang die Eigenschaften und die Zusammensetzung der Kraftstoffe.

Geregelt sind die Qualitäten von Otto- und Diesel-Kraftstoff im Rahmen der EU-Richtlinie 98/70/EG [G3] vom 13.10.1998, die durch die Aktualisierung der 10. BImSchV in nationales Recht umgesetzt worden ist. Die aktuellen Kennwerte der in Deutschland zugelassenen Kraftstoffe sind in den DIN-Anforderungen DIN EN 228 (unverbleite Otto-Kraftstoffe) [T1] und DIN EN 590 (Diesel-Kraftstoff) [T2] festgelegt. Die wesentlichen Anforderungen an die Zusammensetzungen der Kraftstoffe betreffen die Gehalte an Aromaten, Benzol, Olefinen, sauerstoffhaltigen organischen Komponenten, Sauerstoff, Schwefel und Blei sowie die Klopfestigkeit und den Dampfdruck bzw. das Siedeverhalten. Die EU-Richtlinie 98/70/EG [G3] sieht Verschärfungen der Anforderungen in zwei Stufen (01.01.2000 und 01.01.2005) vor (siehe Tabelle 12).

Neben den europäischen Schwefel-Grenzwerten gilt in Deutschland das Gesetz zur Fortführung der öko-

egories and load conditions. By combining the total hydrocarbon emissions found by modelling with the high-resolution profiles the emissions of the individual VOC components can be obtained.

For determining the emissions of soot further data are needed about the soot content of the particulates. This topic will be discussed in Section 2.3.12.

2.3.11 Influence of the fuel composition on the emission

The combustion of fuel with air inside the engine produces air pollutants. In this process the properties and the composition of the fuel play a not negligible role.

The demands on the qualities of Otto-cycle and diesel fuel are laid down in the EU directive 98/70/EG [G3] of 13 Oct. 1998, which became national law by the 10th BImSchV. The current parameters of fuel approved in Germany are listed in the standards DIN EN 228 for unleaded Otto-cycle fuel [T1] and DIN EN 590 for diesel fuel [T2]. The important requirements on the fuel composition pertain to the concentrations of aromatics, benzene, olefins, oxygen-containing organic compounds, oxygen, sulphur and lead as well as the antiknock rating, the vapour pressure and the boiling behaviour. The EU directive 98/70EG [G3] contains provisions for tightening the requirements in two steps (1 Jan. 2000 and 1 Jan. 2005), see Table 12.

Besides the European limits on sulphur there is also the Act of the Continuation of the Ecological Tax Re-

Tabelle 12. Grenzwerte für Schwefel-, Blei-, Sauerstoff- und Kohlenwasserstoffgehalte in Kraftstoffen (nach [G3])

Kraftstoff	Parameter	Einheit	Eintrittsdatum	
			01.01.2000	01.01.2005
Otto	Schwefel	mg/kg	150	50
	Blei	mg/l	5	noch offen
	Sauerstoff	Mass.-%	2,7	noch offen
	Olefine	Vol.-%	18,0 *) 21,0 **)	noch offen
	Aromaten	Vol.-%	42,0	35,0
	Benzol	Vol.-%	1,0	noch offen
Diesel	Schwefel	mg/kg	350	50
	Polyaromaten (PAH)	Mass.-%	11	noch offen

*) Otto-Kraftstoff Super

**) Otto-Kraftstoff Normal

Table 12. Limit concentrations for sulphur, lead, oxygen and hydrocarbons in fuel; according to [G3]

Fuel	Compound	Units	Date of becoming effective	
			1 Jan. 2000	1 Jan. 2005
Otto-cycle	sulphur	mg/kg	150	50
	lead	mg/l	5	to be determined
	oxygen	mass-%	2.7	to be determined
	olefins	vol.-%	18.0 *) 21.0 **)	to be determined
	aromatics	vol.-%	42.0	35.0
	benzene	vol.-%	1.0	to be determined
Diesel	sulphur	mg/kg	350	50
	polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	mass-%	11	to be determined

*) premium Otto-cycle fuel

**) standard Otto-cycle fuel

logischen Steuerreform [G12], das Änderungen des Mineralölsteuergesetzes dahingehend vorschreibt, Otto- und Diesel-Kraftstoffe mit einem maximalen Schwefelgehalt von 50 ppm (schwefelarm) ab 01.11.2001 und von 10 ppm (schwefelfrei) ab 01.01.2003 steuerlich zu fördern. Diese Maßnahme wird voraussichtlich dazu führen, dass in Deutschland schwefelarme und schwefelfreie Kraftstoffe wesentlich früher zum Flächen deckenden Einsatz kommen werden, als dies nach EU-Recht vorgeschrieben ist.

Insbesondere der Schwefel ist eine natürliche aber unerwünschte Begleitsubstanz des Kraftstoffs. Er wird bei der Verbrennung in Schwefeldioxid (SO₂) und Sulfate umgewandelt. Als Folge von Entschwefelungsmaßnahmen der Raffinerien wird SO₂ nicht mehr als Problem gesehen. Insbesondere für zukunftsweisende direkteinspritzende Otto-Motorenkonzepte, die gleichzeitig sparsam im Verbrauch sind und über modernste Abgasreinigung verfügen, ist schwefelfreier Kraftstoff erforderlich.

Derzeit steht der Einfluss des Schwefels auf die Partikelbildung im Vordergrund. Entsprechend der Analysenvorschrift wird nicht nur der Ruß als „Partikel“ erfasst, sondern auch die aus der Schwefelsäure gebildeten Sulfate und die daran angelagerten Stoffe.

Die Benzolemissionen der Otto-Motoren sind im Wesentlichen vom Benzol- und Gesamtaromatengehalt der Kraftstoffe abhängig.

2.3.12 Partikel- und Rußemissionen

Das der Partikelmessung zu Grunde liegende Verfahren erfasst nicht nur den Ruß im Diesel-Abgas, sondern auch alle übrigen festen und flüssigen Bestandteile wie Kohlenwasserstoffe höher siedender Komponenten des Kraftstoffs und Schmieröles. Während

form [G12] in Germany that requires changes of the taxation of mineral oils to the effect that Otto-cycle and diesel fuels with a maximum sulphur concentration of 50 ppm (reduced sulphur content) from 1 Nov. 2001 on and of 10 ppm (sulphur-free) from 1 Jan. 2003 on will be taxed less. This measure will presumably have the consequence that fuels with reduced or no sulphur content will be considerably earlier on the market nation-wide than prescribed by European legislation.

Especially sulphur is a natural but undesirable constituent of fuel. Combustion converts it to sulphur dioxide (SO₂) and sulphates. Because of the desulphurisation measures of the refineries SO₂ is no longer considered to be a problem. Sulphur-free fuel is essential especially for modern Otto-cycle engines with direct injection that are economising on fuel and are equipped with the latest exhaust gas cleaning systems.

At the present time the influence of sulphur on the formation of particulates receives attention. According to the instructions for analysis not only soot is considered to be a particulate but also the sulphates created by sulphuric acid with adherent substances.

The emissions of benzene from Otto-cycle engines depend essentially on the concentrations of benzene and all aromatic compounds in the fuel.

2.3.12 Emissions of particulates and soot

The procedures for measuring particulate matter determine not only the soot in the exhaust gas of diesel engines but also other solid or liquid substances like hydrocarbons with higher boiling points that come from fuel and lubricants. While those solid particles

die nicht aus Kohlenstoff bestehenden festen Partikel in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden können, machen die flüssigen Bestandteile an der Partikelmasse einen nennenswerten Anteil aus. Die Zusammensetzung der Partikel ändert sich auch noch von Motortyp zu Motortyp und hängt von der Motor-

that do not consist of carbon may be ignored in the present context, the liquid constituents of the particulate mass make up a significant portion. The composition of the particulate matter also changes from engine type to engine type and depends on the load of the motor, its state of maintenance and the rpm.

Tabelle 13. Ruß-Anteile an der Partikelmasse (nach [26])

Fahrzeugart	Motor	Last/Fahrzyklus	Ruß-Anteil an Partikelmasse in %
Pkw	Diesel Baujahr. 1978 bis 1980	FTP 75	70 ±8
	Diesel Baujahr. 1983 bis 1989	100 km/h konstant	60 ±10
	Flotte 1994	ca. 80 km/h *)	29 ±5 **)
Nfz	DB OM 407h	Leerlauf	19 ±9
		10 %	28 ±3
		50 %	47 ±2
		100 %	72 ±3
	DB OM 407h	10 %	32 ±9
		50 %	64 ±7
		100 %	92 ±10
	DB OM 617	Leerlauf	52 ±3
		10 %	81 ±3
		50 %	87 ±4
		100 %	87 ±7
	verschiedene	US-Fahrzyklen	51 ±13
	verschiedene	US Cold Transient	79 ±23
		US Cold Stabilized	74 ±21
		US Hot Transient	73 ±21
	Flotte 1994	ca. 80 km/h *)	39 ±5 **)

*) Messungen im Autobahntunnel Berlin-Tegel [32]

**) PM 10 einschließlich Abrieb und Wiederaufwirbelung

Table 13. Portions of soot of the particulate mass; according to [26]

Type Of Vehicle	Engine	Driving cycle	Portions of soot of the particulate mass in %
Passenger cars	diesel, model years 1978 till 1980	FTP 75	70 ±8
	diesel, model years 1983 till 1989	constant 100 km/h	60 ±10
	fleet 1994	approx. 80 km/h *)	29 ±5 **)
Commercial vehicles	DB OM 407h	idling	19 ±9
		10 %	28 ±3
		50 %	47 ±2
		100 %	72 ±3
	DB OM 407h	10 %	32 ±9
		50 %	64 ±7
		100 %	92 ±10
	DB OM 617	idling	52 ±3
		10 %	81 ±3
		50 %	87 ±4
		100 %	87 ±7
	various	US driving cycle	51 ±13
	various	US Cold Transient	79 ±23
		US Cold Stabilized	74 ±21
		US Hot Transient	73 ±21
	fleet 1994	approx. 80 km/h *)	39 ±5 **)

*) measurements in the motorway tunnel Berlin-Tegel [32]

**) PM10 including abrasion and re-entrained dust

last, der Drehzahl und dem Wartungszustand des Motors ab. Partikelemissionsfaktoren sind somit nicht als Eingangsgrößen für Ausbreitungsmodelle zur Bestimmung von Rußkonzentrationen geeignet.

Es ist notwendig, die Anteile an elementarem Kohlenstoff (EC) bzw. Ruß an der gesamten Masse der emittierten Partikel zu bestimmen. Generell steigen sowohl die Partikelemissionen als auch der Ruß-Anteil an den Partikeln mit zunehmender Last an. Die Übersicht in Tabelle 13 zeigt, dass der Ruß-Anteil an der Partikelmasse im Bereich von 20 bis 90 % liegt. Auf Grund der Schwankungsbreite des Ruß-Anteils ist daher die Umrechnung von Partikelmasse in Ruß anhand eines allgemein gültigen Umrechnungsfaktors problematisch [30]. Einfache Modelle gehen unter Einbeziehung von Literaturwerten davon aus, dass 40 % (sNfz) bzw. 60 % (Diesel-Pkw) der Partikelemission als elementarer Kohlenstoff anzusehen sind [31].

Die Partikelemissionen von Motoren liegen vollständig als Feinpartikel (PM10) vor, der größte Teil davon sogar als PM2,5. In Bild 11 wird die typische bimodale Partikelvolumenverteilung für einen sNfz-Motor bei verschiedenen Lastzuständen aufgezeigt [30; 33].

Wie aus Bild 11 ersichtlich nimmt der Anteil der Rußpartikel mit einem Maximum bei 0,01 µm bis 0,02 µm bei steigender Last zu Gunsten der Rußteilchen mit einem Maximum bei 0,15 µm ab.

Hinsichtlich der praktischen Anwendung wird auf [16] in seiner jeweils aktuellsten Version verwiesen. Wegen der im Vergleich zu Dieselmotoren geringeren Partikelemissionen der Otto-Motoren liegen hierzu keine gesicherten Emissionsfaktoren vor. Da die Motorentechnik der Otto-Motoren zurzeit starken

Therefore the particle emission factors are no suitable input parameters of dispersion models that compute soot concentrations.

It is necessary to determine the portion of elemental carbon (EC) or soot of the total emitted particulate mass. Generally, both the particle emissions and their portion of soot increase with increasing load. The compilation of Table 13 shows that the fraction of soot of the particle mass ranges from 20 to 90 %. Because of the large variance of the soot fraction, deriving the soot content of the particulate mass by means of a generally applicable conversion factor is problematical [30]. Simple models assume, supported by references from the literature, that 40 % (sNfz) or 60 % (Diesel passenger cars) of the particulate emissions are elemental carbon [31].

The particulate matter emissions are entirely fine particles (PM10), the largest portion even PM2.5. Figure 11 shows a typical bimodal distribution of particle volumes of an engine for heavy commercial vehicles at various load levels [30; 33].

As can be gathered from Figure 11, the portion of soot particles with a size of about 0.01 µm to 0.02 µm (first distribution maximum) decreases with increasing load while the portion with a size around 0.15 µm (second distribution maximum) increases.

For practical applications consult the most recent version of [16]. Because particle emissions of Otto-cycle engines are lower than those of diesel engines no reliable emission factors are available. The technology of Otto-cycle engines undergoes rapid changes at present, e.g. direct injection, with the consequence

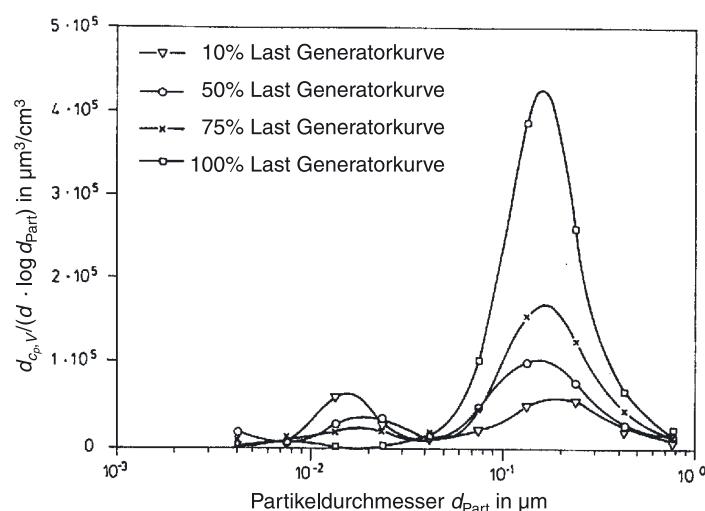


Bild 11. Partikelgrößenverteilung eines Nfz-Motors [33]

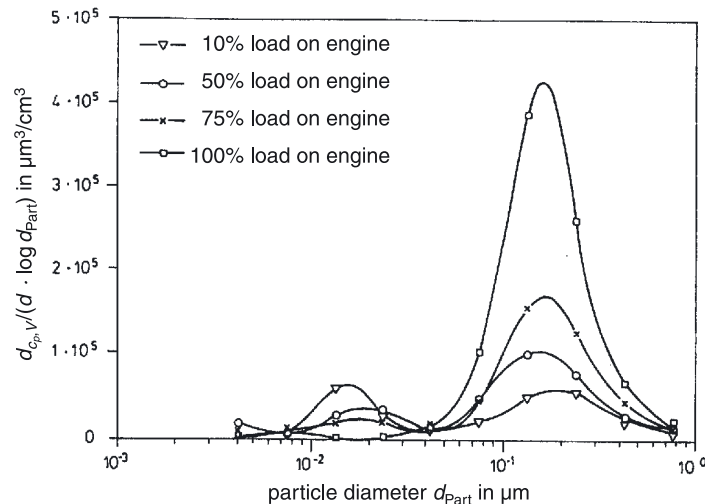


Fig. 11. Distributions of particle sizes of an engine for commercial vehicles [33]

Änderungen unterworfen ist (z.B. Direkteinspritzung), besteht hinsichtlich der Partikelemissionen noch Klärungsbedarf.

2.3.13 Abrieb

Neuere Untersuchungen zeigen, dass die tatsächliche Rußemission des Straßenverkehrs nur zum Teil aus Diesel-Abgasen stammt, während der Rest insbesondere auf Reifenabrieb zurückzuführen ist. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch der Straßenabrieb einen geringen Beitrag liefert. Betrachtet man nicht nur die Rußemissionen sondern die gesamten Staubemissionen des Straßenverkehrs, so werden durch Straßenabrieb und Aufwirbelungsprozesse im Straßenraum Emissionen in gleichen Größenordnungen verursacht wie durch die Motoren der Kfz.

Eine Möglichkeit zur Unterscheidung der Rußemissionen ist die Auswertung nach Größenverteilungen. Beim Reifenabrieb entstehen Partikel, Feinpartikel und Gase. (Bei den Gasen handelt es sich hauptsächlich um CO, CS₂, COS, SO₂ und Kohlenwasserstoffe). In Tabelle 14 sind die Partikelgrößen nach [34] aufgeführt.

Tabelle 14. Partikelgrößen beim Reifenabrieb (nach [34])

Partikelart	Partikelgröße
Partikel	30 bis 70 µm
Feinpartikel	< 30 µm

Der PM₁₀-Anteil beim Reifenabrieb liegt zwischen ca. 1 bis 7 % [30], wobei er zu rund 29 % aus Ruß besteht [35]. In [30] werden Ruß-PM₁₀-Verkehrsimmissionen an Hand von Messungen ihren Quellen zugeordnet. Es ergab sich, dass in einem Tunnel 7 % und in einer innerstädtischen Hauptstraße 25 % dieser Immissionen von Reifenabrieb stammte.

that particulate matter emissions need further investigations.

2.3.13 Abrasion

Recent investigations have shown that the soot generated by road traffic comes only partly from diesel exhaust gas while the rest is due to tyre abrasion. A small contribution by pavement abrasion cannot be ruled out. If not only the soot emissions are considered but the total particulate emissions generated by road traffic it is found that the contribution to the emissions by motor vehicle engines is of the same order of magnitude as the contribution by pavement abrasion and re-entrained dust.

One possibility for distinguishing between soot emissions is offered by evaluating size distributions. Tyre abrasion produces particles, fine particles and gases. The gases comprise mostly CO, CS₂, COS, SO₂ and hydrocarbons. Table 14 lists particle sizes according to [34].

Table 14. Sizes of particles from tyre abrasion; according to [34]

Type of particle	Particle size
Particles	30 to 70 µm
Fine particles	< 30 µm

With tyre abrasion, the PM₁₀ fraction ranges between 1 and 7 % [30] of which about 29 % is soot [35]. In [30] traffic-generated PM₁₀ soot emissions are traced back to their sources by means of measurements. The result was that in a tunnel 7 % and on a down-town main street 25 % of the particle concentration came from tyre abrasion.

In der Literatur sind nur einige Emissionsfaktoren für den Reifenabrieb ausgewiesen, die größten Abweichungen ergeben sich bei diesen Faktoren für die schweren Nutzfahrzeuge. In Tabelle 15 sind aus zwei Literaturstellen Emissionsfaktoren für den Reifenabrieb aufgeführt.

Tabelle 15. Emissionsfaktoren aus der Literatur für den Reifenabrieb

Fahrzeugkategorie	Emissionsfaktor in g/(km · Reifen)	Literaturstelle
Pkw	0,02	[35]
	0,016	[36]
INfz	0,036	[35]
	0,028	[36]
sNfz	0,021	[35]
	0,128	[36]

Aus den bisher aufgeführten Fakten kann ein weiterer Klärungsbedarf im Bereich „Abrieb“ abgeleitet werden.

2.4 Startzuschläge

2.4.1 Allgemeine Beschreibung

2.4.1.1 Einleitung

Zu Beginn des Startvorganges sind der Motor bzw. der Katalysator des Kfz kalt. Nach dem Start befindet sich der Motor noch nicht im betriebswarmen Zustand, das heißt die Verbrennung des Kraftstoffes ist nicht optimal. Die Folge sind erhöhte Emissionen (bei den meisten Schadstoffen). Bei Fahrzeugen mit Katalysator steigt die Konvertierungsrate und somit die Wirksamkeit des Katalysators mit dessen Betriebstemperatur an. In dieser Phase bis zum Erreichen der Betriebstemperatur von Motor und Katalysator werden deshalb größere Mengen an Schadstoffen emittiert. In Bild 12 wird dieser Sachverhalt anhand der HC-Summenemission während eines Kaltstarts eines Pkw mit Otto-Motor mit bzw. ohne Kat verdeutlicht.

Unter Kaltstart wird der Start eines Kfz verstanden, das mindestens acht Stunden vor Beginn des Starts parkte. In dieser Zeit hat der Motor bzw. ein eventueller Katalysator die Temperatur der Umgebungsluft des Fahrzeugs angenommen. Ein → Kühlstart ist der Start eines Kfz, dessen Motor oder Katalysator noch nicht die Umgebungstemperatur angenommen hat, aber sich nicht mehr im betriebswarmen Zustand befindet. Dieser Zustand tritt bei Stillstandzeiten von 0,5 bis 8 Stunden ein.

Kalt- bzw. kühlstartbedingte Emissionserhöhungen entstehen somit zu Beginn einer Fahrt bei noch nicht betriebswarmem Motor bzw. Katalysator. Diese Emissionsanteile stellen innerorts einen erheblichen

The literature contains only a few emission factors for tyre abrasion; the largest variations occur with those for heavy commercial vehicles. In Table 15 emission factors for tyre abrasion are listed that were taken from two references.

Table 15. Emission factors for tyre abrasion from two references

Vehicle category	Emission factor in g/(km · tyre)	Reference
Passenger cars	0.02	[35]
	0.016	[36]
Light commercial vehicles	0.036	[35]
	0.028	[36]
Heavy commercial vehicles	0.021	[35]
	0.128	[36]

The facts mentioned thus far indicate that the field "abrasion" needs further investigations.

2.4 Start additions

2.4.1 General description

2.4.1.1 Introduction

At the begin of the start procedure both the engine and the catalytic converter of the motor vehicle are cold. Shortly after starting, the engine has not yet reached its operating temperature which means that the combustion of the fuel is not optimal. As a consequence the emissions of most pollutants are elevated. The conversion rate of a catalytic converter and hence its efficiency increases when its temperature rises. During the time until the engine and the catalytic converter have reached their normal operating temperature, they emit larger quantities of pollutants. Figure 12 illustrates this effect with the example of the total emissions of HC during a cold start of a passenger car with Otto-cycle engine and with and without catalytic converter.

Cold start means starting a motor vehicle that had parked for at least eight hours prior to the begin of the trip. During this time both the engine and the catalytic converter, if one is present, have assumed the temperature of the ambient air. A → cool start is the start of a motor vehicle whose motor or catalytic converter have not yet assumed the ambient air temperature but are no longer at operating temperature. This state prevails during parking times between 0.5 and 8 hours.

Thus elevated emissions caused by cold or cool starts occur at the begin of a trip when the engine and the catalytic converter have not yet reached operating temperatures. These kinds of emissions, especially

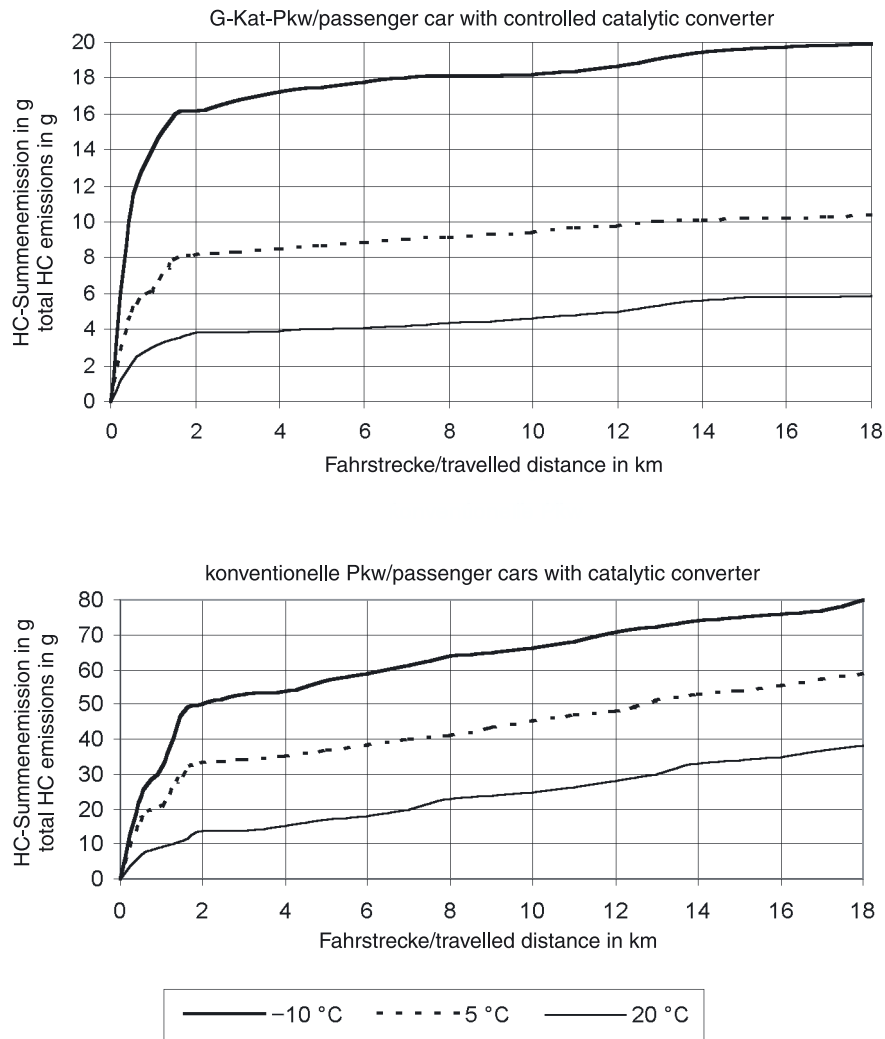


Bild 12. Summenemission der G-Kat-PKW und der konventionellen Pkw mit Otto-Motor bei unterschiedlichen → Kaltstarttemperaturen in Abhängigkeit von der Fahrstrecke im → US-FTP-75-Test (nach [7])

Fig. 12. Total emissions of passenger cars with Otto-cycle engine and with and without catalytic converter at different → cold start temperatures as functions of the travelled distance in the → US-FTP-75-Test, according to [7]

Anteil an den Gesamtemissionen, vor allem von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, dar. Dieser Anteil nimmt relativ zu, da die Emissionen im betriebswarmen Zustand dank des fortschreitenden Einsatzes von Abgasminderungstechnik kleiner werden.

Es wird derzeit an Konzepten gearbeitet, die Kaltstartemissionen weiter zu reduzieren. Die Weiterentwicklung motornaher beheizter Katalysatoren wird auch beim Kaltstart zu deutlich reduzierten Emissionen führen.

Einen Überblick über die einzelnen Einflussfaktoren bei einem Kalt- bzw. Kühlstart eines Fahrzeuges gibt Bild 13.

Die Berechnung des Kalt- oder Kühlstartzuschlages ist derzeit nur für Fahrzeuge mit gleichem Fahrzeugkonzept und nicht für ein Einzelfahrzeug möglich. Der Startzuschlag unterliegt ebenso wie der

carbon monoxide and hydrocarbons, contribute a considerable portion to the total pollutant concentrations in built-up areas. This contribution will increase relatively in the future because the emissions at operating temperatures will decrease as the technology and application of exhaust gas cleaning progress.

At present, work is being done on concepts for further reducing the cold start emissions. The progress of the technology of heated catalytic converters that are placed close to the engine will result in significantly reduced emissions at cold starts.

Figure 13 gives a survey over the parameters that influence the cold and cool start emissions.

At the present time the cold and cool start additions can be computed only for vehicles of one vehicle concept, not for individual vehicles. The start addition is subject to a multitude of influencing factors, which

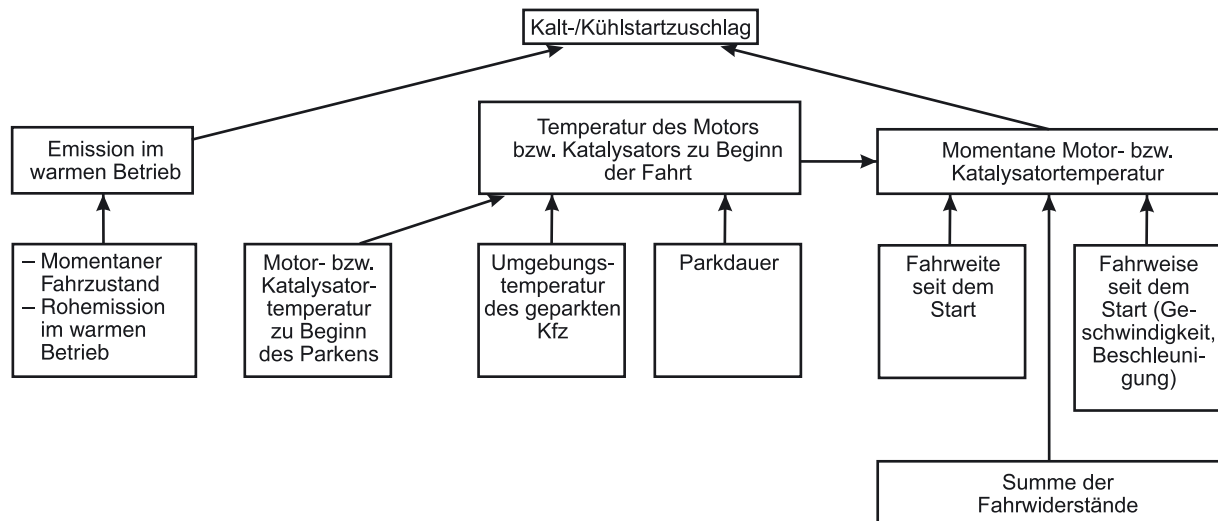


Bild 13. Einflussfaktoren für den Kalt-/Kühlstartzuschlag

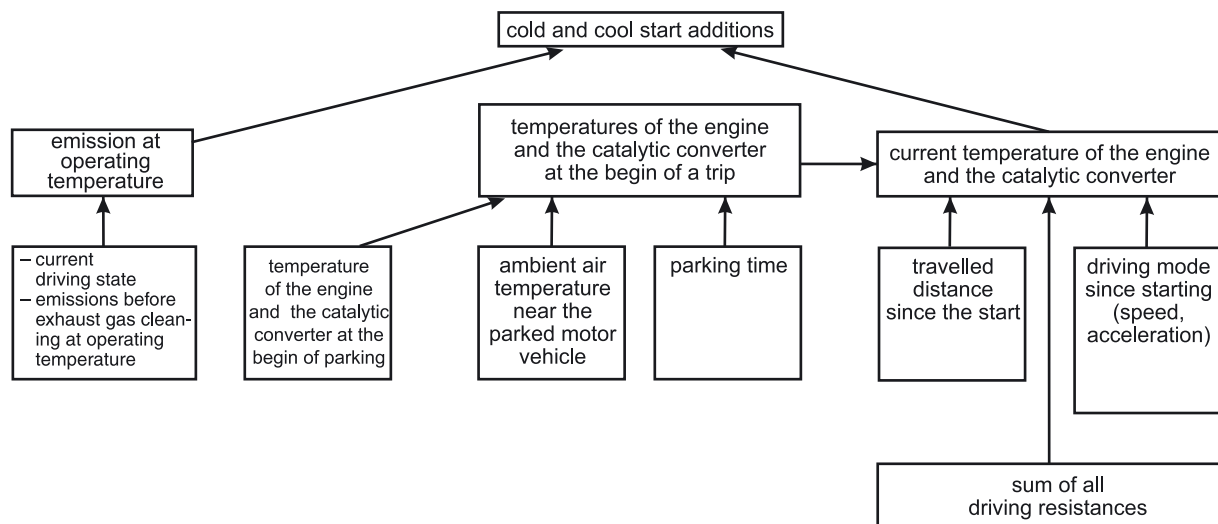


Fig. 13. Factors affecting the cold and cool start additions

Emissionsfaktor im warmen Betrieb einer Vielzahl von individuellen Einflussfaktoren, die modellmäßig für einzelne Fahrzeuge nicht vollständig abgebildet werden können. Weiterhin fehlt für derartige detaillierte Emissionsbestimmungen eine ausreichende Anzahl von Emissionsmessungen. Mit dem derzeit vorliegenden Kenntnisstand ist es möglich, die Startzuschläge für die Fahrzeugkonzepte Pkw mit Otto-Motor mit G-Kat, mit U-Kat, ohne Kat und Pkw mit Diesel-Motor zu bestimmen.

In der Mehrzahl der Anwendungsfälle soll der Kalt- bzw. Kühlstartzuschlag nicht für ein Kfz sondern für alle die Kfz bestimmt werden, die einen bestimmten Straßenabschnitt passieren oder in einem bestimmten Untersuchungsgebiet fahren. Dafür ist der derzeitige Kenntnisstand ausreichend. Hier sind neben der Fahrzeugflottenzusammensetzung nach den unterschiedlichen Fahrzeugschichten statistische Verteilungen

cannot be completely modelled for individual vehicles. Also, the number of emission measurements is insufficient for determining the emissions. With the presently available information it is possible to compute the start additions for the vehicle concepts passenger car with Otto-cycle engine and controlled or uncontrolled catalytic converter, without catalytic converter, and passenger car with diesel engine.

In the majority of applications the cold or cool start additions are to be determined not for one motor vehicle but for all vehicles that pass a certain road section or drive in a certain area of investigation. For this the currently available information suffices. Not only the shares of the different vehicle layers in the fleet must be considered but also the statistical distributions of the factors that are named in Figure 13 and

der in Bild 13 benannten Einflussfaktoren für den Straßenabschnitt oder das Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen.

Nachfolgend wird das Verfahren zur Bildung der Kaltstartzuschläge für die einzelnen Fahrzeugschichten beschrieben. Des Weiteren wird das Vorgehen erläutert, wie die in Bild 13 aufgeführten Einflussfaktoren bei der Berechnung der Startzuschläge je nach Anwendungsgebiet bestimmt werden können. Mit der Quantifizierung dieser Einflussfaktoren und den Kaltstartzuschlägen der einzelnen Fahrzeugschichten ist damit die Berechnung der Startzuschläge möglich.

2.4.1.2 Methoden zur Bestimmung des Kaltstartzuschlags einzelner Fahrzeugschichten

Derzeitig liegen die Kaltstartzuschläge für Pkw und LNFz auf der Basis des Datenmaterials [7] vor. Die Ermittlung dieser Kaltstartzuschläge ist dort umfassend beschrieben. Dem Anwender stehen diese Kaltstartzuschläge auch in [16] zur Verfügung.

Die prinzipielle Definition des Kaltstartzuschlags geht aus Bild 14 hervor. Es zeigt die fahrstreckenbezogene Emission in Abhängigkeit von der Fahrstrecke. Der Emissionsverlauf ist schematisch für die → Starttemperaturen von -10°C , 5°C und 20°C dargestellt. Diese Darstellungsform ist für die Beschreibung der Ermittlungsmethode besonders geeignet, weil die zu ermittelnden Kaltstartzuschläge anschaulich als Fläche gekennzeichnet werden können.

Die in Bild 14 durch die Fläche ABF gekennzeichnete Mehremission gilt somit für Fahrten mit Kaltstart bei 20°C bis zum Erreichen des Emissionsniveaus bei betriebswarmem Zustand des Motors nach der Fahrstrecke AB. Analog gibt die Fläche ACDE den Kaltstartzuschlag für Fahrten mit Kaltstart bei niedriger Außenlufttemperatur, z.B. -10°C , bis zum Erreichen des Emissionsniveaus bei betriebswarmem Zustand nach der Fahrstrecke AC an. Das Emissionsniveau des betriebswarmen Motors hängt von der Außenlufttemperatur ab.

Die in [7] ermittelten Kaltstartzuschläge basieren im Wesentlichen auf Untersuchungen bei verschiedenen Kaltstarttemperaturen unter Anwendung des US-FTP-75-Tests. In Bild 15 ist der Geschwindigkeitsverlauf der Fahrkurve des US-FTP-75-Tests dargestellt. Die Fahrkurve ist in drei Phasen und eine 10-minütige Standzeit unterteilt. In der Phase 3 werden die ersten 505 s des Zyklus nach einem Warmstart wiederholt. Der Kaltstartzuschlag beruht im Wesentlichen auf einem Vergleich der Phasen 1 und 3 des US-FTP-75-Tests. Dort werden Fahrten innerorts mit zum Teil sehr hohen Geschwindigkeiten simuliert.

are valid on the road section or area of investigation.

In the following the method will be described for deriving the cold start additions of the individual vehicle layers. Also, the procedure will be explained for determining the influencing factors of Figure 13 when the start additions are computed in various applications. With the quantified influencing factors and the cold start additions of each vehicle layer the start additions can be computed.

2.4.1.2 Methods for determining the cold start addition of an individual vehicle layer

At the present time cold start additions for passenger cars and light commercial vehicles are available that are based on the data of [7]. The methods for determining these cold start additions are fully described there. The user may find these cold start additions also in [16].

The principle of defining the cold start additions is given in Figure 14 that shows the emissions as functions of the travelled distance. The emissions are plotted vs. travelled distance with the → start temperatures -10°C , 5°C and 20°C as parameters. This representation is particularly suited for describing the method of computation because the cold start additions to be determined are plotted as areas.

The additional emission characterised in Figure 14 by the area ABF applies to trips with cold starts at 20°C at A until the emission level of the engine at operating temperature is reached at B. Similarly, the area ACDE is the cold start addition for trips at low ambient air temperature, e.g. -10°C , until the emission level of the engine at operating temperature is reached at C. The emission level of the engine at operating temperature depends on the ambient air temperature.

The cold start additions listed in [7] are based for the most part on studies with the test US-FTP-75 at various cold start temperatures. Figure 15 shows the graph of speed vs. time of the test US-FTP-75. The drive is divided into three phases and a parking time of 10 minutes. In phase 3 the first 505 s of cycle are repeated after a warm start. The cold start addition is based essentially on the comparison of phases 1 and 3 of the US-FTP-75 test. In this test the trips in built-up areas are simulated with very high speeds in parts. Therefore the direct application of the results to trips in built-up areas is limited. The increase of the emis-

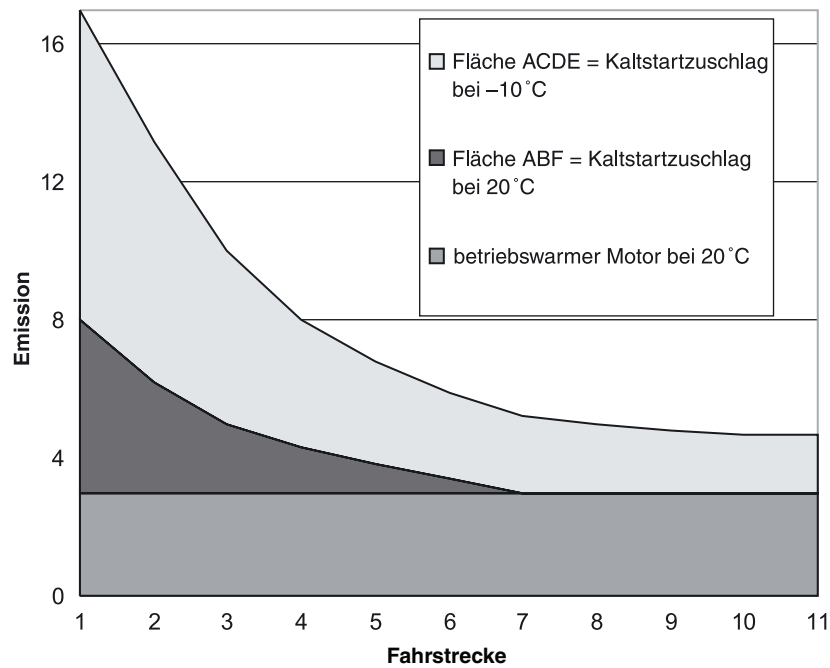


Bild 14. Kaltstart für verschiedene Starttemperaturen (nach [7])

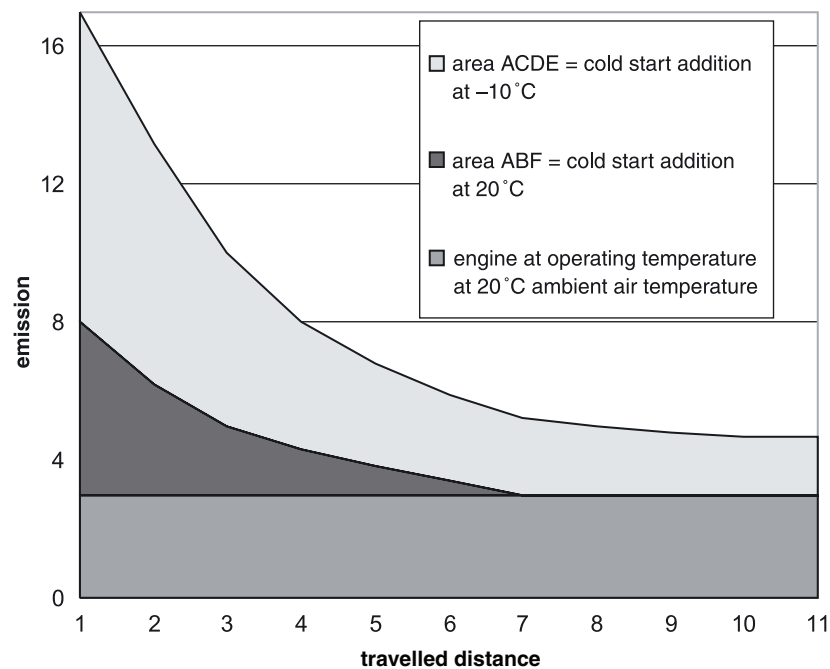


Fig. 14. Cold start at different start temperatures, according to [7]

Deshalb ist eine direkte Anwendbarkeit auf Innerortsfahrten nur beschränkt möglich. Die kaltstartbedingte relevante Emissionserhöhung muss auf Fahr-muster für den Innerortsverkehr übertragen werden.

Aus der Definition des Kaltstartzuschlags geht hervor, dass für die Berechnung der Emissionsverlauf in Abhängigkeit von der Fahrstrecke vorliegen muss. Diese Emissionsverläufe wurden auf der Basis von Teilkollektiven für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte ermittelt. Die daraus resultierenden Kaltstart-

sions due to cold start must be adapted to driving patterns in built-up areas.

The definition of cold start additions stipulates that their computation requires the emissions as functions of the travelled distance. These functions have been determined from samples of various vehicle concepts. The cold start additions obtained from them are not representative because of the small sample sizes.

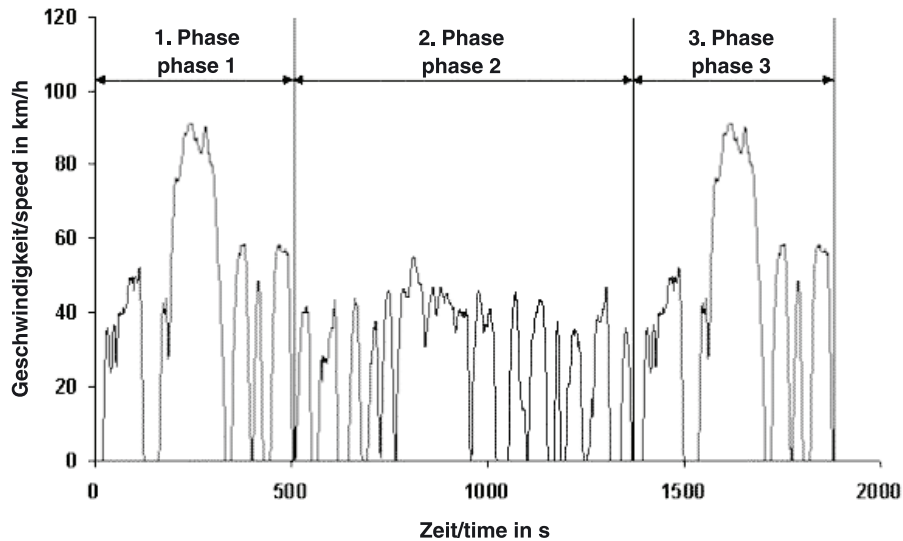


Bild 15. Geschwindigkeitsverlauf der Fahrkurve des US-FTP-75-Tests (nach [7])

Fig. 15. Speed vs. time of the driving cycle of US-FTP-75 test, according to [7]

zuschläge sind wegen des kleinen Stichprobenumfangs nicht repräsentativ. Es musste daher eine Methode gefunden werden, mit der repräsentative Kaltstartzuschläge für die Fahrzeugschichten bestimmt werden können.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, wurde für die untersuchten Fahrzeugkonzepte die relative Emissions- und Verbrauchserhöhung in Abhängigkeit von der Fahrstrecke im US-FTP-75-Test nach der im Folgenden angegebenen Gleichung (3) ermittelt:

$$KF_{S, \vartheta} = \frac{E_{I, S, \vartheta} - E_{III, S}}{E_{III}} \quad (3)$$

$KF_{S, \vartheta}$ → Kaltstartfaktor: stellt das Verhältnis zwischen Kaltstartüberhöhung und Gesamtemissionen bei betriebswarmem Motor bei einer Außenlufttemperatur ϑ in Abhängigkeit von der zurückgelegten Fahrstrecke S dar

$E_{I, S, \vartheta}$ Emissionen in der Phase I des US-FTP-75-Tests bei einer Außenlufttemperatur ϑ nach der Fahrstrecke S ; in g

$E_{III, S}$ Emissionen in der Phase III des US-FTP-75-Tests bei einer Außenlufttemperatur von 20 °C nach der Fahrstrecke S ; in g

E_{III} Gesamtemissionen der Phase III bei einer Außenlufttemperatur von 20 °C; in g

Näherungsweise wird dieses Verhältnis auch dazu benutzt, um Kaltstartzuschläge für Innerortsfahrmuster zu berechnen, die sich im Fahrverhalten vom US-FTP-Test unterscheiden. Die Zuschläge können für alle Innerortsfahrmuster nach Gleichung (4) berechnet werden.

Therefore a method had to be developed for finding representative cold start additions for the vehicle concepts.

To reach this goal, Equation (3) is applied for computing the relative increases of the emission and the fuel consumption as functions of the travelled distance of the US-FTP-75 test:

$$KF_{S, \vartheta} = \frac{E_{I, S, \vartheta} - E_{III, S}}{E_{III}} \quad (3)$$

$KF_{S, \vartheta}$ → cold start factor: it is the ratio of the emissions at cold start over the total emissions of an engine at operating temperature and at the ambient air temperature ϑ ; the factor is a function of the travelled distance S

$E_{I, S, \vartheta}$ emissions in phase I of the US-FTP-75 test at the ambient air temperature ϑ and after the travelled distance S ; in g

$E_{III, S}$ emissions in phase III of the US-FTP-75 test at 20 °C ambient air temperature and after the travelled distance S ; in g

E_{III} total emissions of phase III at 20 °C ambient air temperature; in g

As an approximation this ratio is also used to calculate cold start additions for driving patterns in built-up areas that differ from those of the US-FTP-75 test. The additions for driving patterns in built-up areas can be computed by means of Equation (4).

$$\Delta SE_{K_{a, \vartheta, S}} = SE_F \cdot S_{III} \cdot KF_{S, \vartheta} \quad (4)$$

Es bedeuten:

$\Delta SE_{K_{a, \vartheta, S}}$ kaltstartbedingter Schichtzuschlag bei Starttemperatur ϑ nach Fahrstrecke S ; in g
 SE_F schichtspezifischer Emissionsfaktor für das Fahrmuster F für den betriebswarmen Motor; in g/km
 S_{III} Fahrstreckenlänge von Phase III des US-FTP-75-Tests (5,777 km)

Die Kaltstartfaktoren wurden nur für die vier Fahrzeugkonzepte Pkw mit Otto-Motor mit G-Kat, mit U-Kat, ohne Katalysator bzw. Pkw mit Diesel-Motor erhoben. Deshalb ist es nicht möglich, den Startzuschlag für einzelne Fahrzeugschichten auszuweisen. Die berechneten kaltstartbedingten Schichtzuschläge sind aus diesem Grund fahrleistungsgewichtet zusammenzufassen.

Bestimmt wurde der Kaltstartfaktor bei einer Starttemperatur von -10°C , $+5^\circ\text{C}$ und $+20^\circ\text{C}$ für Fahrtlängen von 1, 2, 3, 4 und 5 km des US-FTP-75-Tests. Der Kaltstarteinfluss ist auch abhängig von der geleisteten Arbeit des Motors, wodurch sich die Fahrtlängen mit Kaltstarteinfluss verkürzen oder verlängern können. Bei Fahrtlängen über 5 km ist kein Kaltstarteinfluss auf die Abgasemissionen vorhanden.

Wegen des in den Versuchsprogrammen nicht abgedeckten oberen Geschwindigkeitsbereiches ist die Ermittlung des Kaltstartzuschlags für Landstraßen- und Autobahnfahrmuster nicht sinnvoll. Da die meisten Fahrten in den Innerortsbereichen beginnen, kann die Emissionsüberhöhung des Kaltstarts außerorts vernachlässigt werden.

Die Innerortsfahrmuster unterscheiden sich in Bezug auf die Fahrtgeschwindigkeit teilweise deutlich von US-FTP-Test. Deshalb ist eine neue Methode zur Ermittlung der Kaltstartzuschläge in Arbeit (nach [37; 38]), wo diese Unterschiede Berücksichtigung finden. Dabei wird auch der Einfluss der Fahrdynamik auf den Kaltstart besser berücksichtigt, allerdings ist diese Methode derzeit noch nicht messtechnisch verifiziert.

2.4.2 Anwendung

2.4.2.1 Einflussfaktoren auf den Kalt- bzw. Kühlstart

Der Einfluss des jeweiligen Fahrzustandes auf die Abgasemissionen wird mit der Wahl der Emissionsfaktoren im betriebswarmen Zustand berücksichtigt. Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren gehen über eine der Situation entsprechenden Wahl der Flottenzusammensetzung in die Berechnung ein. Um für

$$\Delta SE_{K_{a, \vartheta, S}} = SE_F \cdot S_{III} \cdot KF_{S, \vartheta} \quad (4)$$

where:

$\Delta SE_{K_{a, \vartheta, S}}$ cold start addition for a vehicle layer, start temperature ϑ , and travelled distance S ; in g
 SE_F emission factor for a vehicle layer with driving pattern F and engine at operating temperature; in g/km
 S_{III} travelled distance in phase III of the US-FTP-75 test (5.777 km)

The cold start factors were computed only for four vehicle concepts: passenger car with Otto-cycle engine with controlled catalytic converter, with uncontrolled catalytic converter; without catalytic converter, and passenger cars with diesel engines. Therefore it is not possible to assign start additions to individual vehicle layers. For this reason the computed class-specific cold start addition are to be lumped together after weighting by mileage.

The cold start factor was determined for the start temperatures -10°C , $+5^\circ\text{C}$ and $+20^\circ\text{C}$ and for travelled distances of 1; 2; 3; 4, and 5 km of the US-FTP-75 test. The effect of cold starts also depends on the energy expended by the engine; this may shorten or prolong the distances over which the cold start has an influence. After a travelled distance of 5 km the cold start does no longer affect the exhaust gas emissions.

Because the upper speed ranges were not covered by the test programmes, determining the cold start additions for highways and motorways is not reasonable. Since most trips originate in built-up areas, elevated emissions due to cold starts may be neglected outside built-up areas.

The driving patterns in built-up areas differ with respect to driving speed significantly from portions of the US-FTP test. Therefore, a new method is being worked out that takes these differences into account (according to [37; 38]). The effect of the driving dynamics on the cold start is also more closely treated but this method has not yet been verified experimentally.

2.4.2 Application

2.4.2.1 Factors affecting the cold and cool start

The effect of the current driving condition on the exhaust gas emissions is accounted for by the choice of the emission factors for the operating temperature. Influencing factors that are properties of vehicles are entered into the computation by specifying the pertinent fleet composition. In order to be able to calculate

eine Straße oder ein Untersuchungsgebiet Startzuschläge berechnen zu können, müssen weitere Einflussfaktoren, die für diese Untersuchungsgebiete charakteristisch sind, bestimmt werden. Den Einfluss dieser Faktoren auf die Startzuschläge und die Bestimmung dieser Faktoren für das Untersuchungsgebiet werden nachfolgend beschrieben.

Starttemperatur der Kfz

Die Starttemperatur der Kfz ist deren Umgebungstemperatur zu Beginn der Fahrt. Bei einem Kaltstart, nach mindestens acht Stunden Parkdauer, ist davon auszugehen, dass der Motor und der Katalysator die Umgebungstemperatur weitgehend angenommen haben. Beim Kühlstart, also Startvorgängen mit vorausgegangenen Parkzeiten von 0,5 bis 8 Stunden, sind neben der Umgebungstemperatur die Parkdauer sowie die Motor- und Katalysatortemperatur zu Beginn des Abstellvorgangs zu berücksichtigen.

Umgebungstemperatur

In [7] und [16] werden die Kaltstartzuschläge, die für Kfz bei einer Umgebungstemperatur von -10°C , $+5^{\circ}\text{C}$ und $+20^{\circ}\text{C}$ messtechnisch bestimmt worden waren, angegeben. Während bei den meisten Schadstoffen und dem Kraftstoffverbrauch mit niedrigerer Starttemperatur die Kaltstartzuschläge ansteigen, erfolgt in der Mehrzahl der Fälle beim NO_x ein niedriger Schadstoffausstoß.

Für die Berechnung von Kaltstartzuschlägen bei anderen Umgebungstemperaturen ist zwischen den Stützstellen -10°C , $+5^{\circ}\text{C}$ und $+20^{\circ}\text{C}$ linear zu interpolieren bzw. zu extrapolieren (Gleichung (5)).

$$\Delta SE_{K_a, \vartheta, S} = SE \cdot S_{III} \cdot (KF_{S, 20^{\circ}\text{C}} + (KF_{S, 20^{\circ}\text{C}} - KF_{S, 5^{\circ}\text{C}}) \cdot \frac{\vartheta - 20^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C}}) \quad \text{für } 5^{\circ}\text{C} < \vartheta < 30^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta SE_{K_a, \vartheta, S} = SE \cdot S_{III} \cdot (KF_{S, 5^{\circ}\text{C}} + (KF_{S, -10^{\circ}\text{C}} - KF_{S, 5^{\circ}\text{C}}) \cdot \frac{5^{\circ}\text{C} - \vartheta}{15^{\circ}\text{C}}) \quad \text{für } -15^{\circ}\text{C} < \vartheta < 5^{\circ}\text{C}$$
(5)

Diese lineare Interpolation stellt eine einfache Näherung dar. Zwischen den Kaltstartzuschlägen und der Umgebungstemperatur besteht jedoch kein linearer Zusammenhang (siehe Bilder 12 und 14). Dennoch wird in den meisten der Anwendungsfälle diese lineare Interpolation zwischen den gemessenen Kaltstartzuschlägen den Genauigkeitsanforderungen genügen. Eine Extrapolation für Temperaturen größer 30°C und kleiner -15°C ist nicht zulässig. Bei diesen Temperaturen sollten die Kaltstartzuschläge der Temperaturintervallgrenzen verwendet werden.

Bei der Bestimmung der Kaltstartzuschläge der Kfz in einem Untersuchungsgebiet zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Zeitintervall ist bei der Abschätzung der Starttemperatur die Temperaturerhöhung in den

start additions for a road or an area of investigation further influencing factors are to be determined that are characteristic for these areas of investigation. The influences of these factors on the start additions and their determination will be described in the following.

Start temperature of the motor vehicle

The start temperature of motor vehicles is the ambient air temperature at the begin of the trip. At a cold start, i.e. after a minimum of eight hours parking time, it can be assumed that the engine and the catalytic converter have acquired the temperature of the ambient air. At cool starts, i.e. after prior parking times of 0.5 to 8 hours, not only the ambient air temperature is to be taken into account but also the parking time and the temperature of the engine and the catalytic converter at the begin of parking.

Ambient air temperature

In [7] and [16] the cold start additions are listed that had been measured on motor vehicles at the ambient air temperatures of -10°C , $+5^{\circ}\text{C}$ and $+20^{\circ}\text{C}$. While the cold start additions for most pollutants and the fuel consumption increase with decreasing start temperature, the emission of NO_x is lower in most cases.

The cold start additions at other ambient air temperatures are found by linear interpolation or extrapolation, respectively, using the fixed points -10°C , $+5^{\circ}\text{C}$ and $+20^{\circ}\text{C}$ (Equation (5)):

This linear interpolation is a simple approximation. In reality the relationship between the cold start additions and the ambient air temperature is not linear (see Figures 12 and 14). However, in most applications this linear interpolation between the measured cold start additions will satisfy the demands on precision. Extrapolation for temperatures over 30°C or lower than -15°C is not allowed. At such temperatures the cold start additions of the limits of the temperature ranges should be taken.

If the cold start additions of motor vehicles in an area of investigation at a certain time are to be found, estimates of start temperature should take into account the elevated temperatures in inner cities and the in-

Innenstädten sowie gegebenenfalls die Innentemperaturen von Garagen zu berücksichtigen. Beispiele hierfür sind im Anhang B und Anhang D aufgeführt.

Kalt- bzw. Kühlstartanteile aller Fahrten

Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren ist es erforderlich, den tatsächlichen Anteil der Kfz zu bestimmen, deren Fahrtbeginn ein Kaltstart bzw. Kühlstart ist. Für diese Fahrten sind Kalt- bzw. Kühlstartemissionsfaktoren zu berechnen. Die Anteile von Kalt- und Kühlstarts sind sowohl sehr stark von der Tageszeit als auch vom Wochentag (Montag bis Freitag bzw. Samstag oder Sonntag) abhängig.

Die Standzeit vor dem Start ist in den wenigsten Fällen für einen Straßenraum bzw. ein Untersuchungsgebiet fahrleistungsgewichtet bzw. mit stundenfeiner Auflösung bekannt. Aus Verkehrsbefragungen, wie z.B. → KONTIV (kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten) bzw. → SrV (System repräsentativer Verkehrsbefragung), ist jedoch der Anteil der → Wegzwecke (Arbeit, Dienst etc.) an allen Fahrten zum Teil differenziert nach der Uhrzeit für Gemeinden unterschiedlicher Größenordnung bekannt. Eine Methode, wie mit diesen Angaben die Anteile der Kalt- bzw. Kühlstarts bestimmt werden, wird in Anhang E vorgestellt. Sind diese Anteile bekannt, so kann mit den Kalt- und → Kühlstartfaktoren nach Gleichung (6) der Kalt- bzw. Kühlstartzuschlag berechnet werden.

$$\Delta SE_{Kü, \vartheta, S, p} = \Delta SE_{Ka, \vartheta, S} \cdot Af_{s, p} \quad (6)$$

$Af_{s, p}$ → Abminderungsfaktor für Kühlstarts (vergleiche Gleichung (7)) in Abhängigkeit von der Fahrzeugschicht s und der Parkdauer p

$\Delta SE_{Kü, \vartheta, S, p}$ Kalt- bzw. Kühlstartzuschlag in Abhängigkeit von der Fahrstrecke S , der Umgebungstemperatur ϑ und der Parkdauer p ; in g

$$Af_{s, p} = \frac{KüF_{s, p, \vartheta}}{KF_{s, \vartheta}} \quad (7)$$

$KüF_{s, p, \vartheta}$ Kühlstartfaktor in Abhängigkeit von der Fahrzeugschicht s und der Parkdauer p vor dem Start und der Außenlufttemperatur ϑ ; in g

$KF_{s, \vartheta}$ Kaltstartfaktor in Abhängigkeit von der Fahrzeugschicht s und der Außenlufttemperatur ϑ ; in g

Die Kühlstartfaktoren $KüF_{s, p, \vartheta}$ können [16] entnommen werden.

Die Abminderungsfaktoren für Kühlstarts in Abhängigkeit von der Standzeit wurden in [16] auf der Grundlage von Erhebungen nach [39] erarbeitet. Diese Faktoren werden im Anhang E für verschiedene Fahrzeugkategorien angegeben.

door air temperature of garages where applicable. Examples are given in Annex B and Annex D.

Cold and cool start fractions of all trips

For the computation of emission factors it is necessary to determine the actual fraction of the motor vehicles that started their trips with cold or cool starts. For these trips cold and cool start emission factors are to be computed. The fractions of cold and cool starts depend strongly both on the hour of the day and the day of the week (Monday through Friday, Saturday or Sunday).

Only in rare cases is the parking time before the start known with a resolution of one hour and weighted by mileage. From interviews conducted in traffic surveys, however, for instance → KONTIV (continuous surveys of traffic behaviour) or → SrV (system of representative traffic surveys), the fractions of the → purposes of trips (work, business) of all trips are known for communities of various sizes, in part even for each hour of the day. A method for calculating with these data the fractions of cold and cool starts is presented in Annex E. If these fractions are known the cold and cool start additions can be computed with Equation (6), using cold and → cool start factors.

$$\Delta SE_{Kü, \vartheta, S, p} = \Delta SE_{Ka, \vartheta, S} \cdot Af_{s, p} \quad (6)$$

$Af_{s, p}$ → reduction factor for cool starts (see Equation (7)) as a function of the vehicle layer s and the parking time p

$\Delta SE_{Kü, \vartheta, S, p}$ cold or cool start addition as function of the travelled distance S , the ambient air temperature ϑ , and the parking time p ; in g

$$Af_{s, p} = \frac{KüF_{s, p, \vartheta}}{KF_{s, \vartheta}} \quad (7)$$

$KüF_{s, p, \vartheta}$ cool start factor as a function of the vehicle layer s , the parking time p prior to the start, and the ambient air temperature ϑ ; in g

$KF_{s, \vartheta}$ cold start factor as a function of the vehicle layer s and the ambient air temperature ϑ ; in g

The cool start factors $KüF_{s, p, \vartheta}$ may be taken from [16].

The reduction factors for cool starts as functions of the parking time contained in [16] are based on surveys according to [39]. These factors are listed in Annex E for various vehicle categories.

Motor- bzw. Katalysatortemperatur zu Beginn des Abstellvorganges

Die Motor- bzw. Katalysatortemperatur zu Beginn des Abstellvorganges beeinflusst ebenso wie die Umgebungstemperatur des abgestellten Fahrzeuges und die Parkdauer die Motor- bzw. Katalysatortemperatur zu Beginn des folgenden Starts. Es ist nicht in jedem Fall davon auszugehen, dass der Motor bzw. Katalysator nach Beendigung der letzten Fahrt seine Betriebstemperatur erreicht hat. Gerade bei kurzen Fahrten im Stadtbereich wird nicht die vom Motor geleistete Arbeit erbracht wie beim Durchfahren des US-FTP-75-Tests. In [40] wurde festgestellt, dass selbst unter Berücksichtigung von Kettenfahrten 26 % aller Fahrten endeten, ohne dass der Motor seine Betriebstemperatur erreicht hat. Für die Bestimmung der Kühlstartfaktoren wird jedoch von einem warmen Motor nach Durchlaufen des US-FTP-75-Tests ausgegangen. Ein zu kleiner Kühlstartfaktor kann die Folge sein.

Verkehrsuntersuchungen zeigen, dass 30 bis 50 % aller Fahrten Fahrtweiten kleiner 5 km aufweisen. Jedoch sind viele dieser kurzen Fahrten Bestandteil von Kettenfahrten. Das heißt, dass mehrere Fahrten kurzer Strecken mit geringer Parkdauer aneinander anschließen. Die Starttemperatur des Motors steigt hier mit jedem Fahrtbeginn weiter an. Es können die Parkdauerverteilungen der Fahrten mit kurzer Wegstrecke von den Parkdauerverteilungen aller Fahrten abweichen. Eine Überschätzung des Startfaktors wäre die Folge. Diese beschriebenen Vorgänge kompensieren sich in ihrer Wirkung zum Teil. Somit können sie für die Mehrzahl der Anwendungen vernachlässigt werden.

Fahrtweite seit dem Start

Einen wesentlichen Einfluss auf die Emission hat neben der Standzeit der Kfz die Entfernung, die das Kfz seit Fahrtbeginn zurückgelegt hat. Bei einer Emissionsberechnung für eine bestimmte Straße oder ein bestimmtes Untersuchungsgebiet werden die Emissionen von einer Vielzahl von Kfz verursacht. Deshalb müssen die Anteile der Kfz bestimmt werden, die sich im 1., 2., 3., 4. und 5. Kilometer seit Fahrtbeginn befinden. Diese Fahrleistungsanteile werden sich je nach Funktion und Lage der Straße in der Stadt sowie verkehrsinduzierenden Zielen und Quellen in 5 km Entfernung zum Untersuchungspunkt verändern.

Großräumiges Untersuchungsgebiet

Für ein größeres Untersuchungsgebiet können mit Hilfe von Fahrtweitenverteilungen und zusätzlichen plausiblen Annahmen zum Ziel- bzw. Transitverkehr die Fahrleistungsanteile der Entfernungsbereiche von

Temperature of the engine and the catalytic converter at the begin of parking

The temperature of the engine and the catalytic converter at the begin of parking together with the ambient air temperature and the duration of parking determine the temperature of the engine and the catalytic converter at the begin of the subsequent start. It cannot always be assumed that the engine or the catalytic converter have been at their operating temperatures at the end of the last trip. Especially on short trips in urban areas the engine power is less than in executing the US-FTP-75 test. It is noted in [40] that even when series of consecutive trips are included, 26 % of all trips end without the engine having reached its operating temperature. For determining the cool start factors, however, a warm engine after executing the US-FTP-75 test is presupposed. A too small a cool start factor may be the consequence

Traffic surveys show that 30 to 50 % of all trips cover distances of less than 5 km. But many of these short trips are sections of a series of consecutive trips. This means that several trips over short distances with short parking times are linked together. The start temperature increases with every new start. The distributions of the parking times of trips over short distances may differ from the distribution of the parking times of all trips. The consequence would be an over-estimation of the start factor. The effects of these described processes partially cancel each other. Hence they may be ignored in the majority of applications.

Travelled distances after the start

Besides the parking time of the motor vehicles the distance travelled by the motor vehicle since the begin of the trip has also a significant influence on the emissions. The emissions on a road section or in an area of investigations are caused by a multitude of motor vehicles. Therefore the contributions by those motor vehicles are to be determined that drive the first, second, third, fourth or fifth km after the begin of the trip. These contributions to the mileage will vary with the main function and the location of the road within the town and with the traffic generating origins and destinations within a radius of 5 km from the point of investigation.

Large area of investigation

For a larger area of investigation the fraction of trips over distances between 0 and 5 km of the total mileage may be estimated by means of distributions of travelled distances and additional plausible assump-

0 bis 5 km an der Gesamtfahrleistung abgeschätzt werden (siehe Anhang F).

Neben den Fahrleistungsanteilen der ersten 5 km sind für die Kaltstartberechnung auch die Verkehrssituation, das Fahrmuster und die Straßenart wichtig.

Einzelne Straßen

Die Bestimmung der Fahrleistungsanteile der ersten 5 km kann durch eine Verkehrsbefragung bzw. durch eine Verkehrsnetzanalyse erfolgen. Da diese Verfahren sehr aufwändig sind, wird in den meisten Fällen auf Untersuchungen an anderen Straßen zurückgegriffen. Die Zuordnung erfolgt dann über den Straßentyp bzw. die Funktion der Straße (siehe dazu Anhang F).

Die Häufigkeit der Fahrtenanteile unter 5 km hängt von der Lage des zu untersuchenden Straßenabschnittes ab. In der Innenstadt ist der Beitrag des Binnenverkehrs an der Fahrleistung wesentlich größer als am Stadtrand. Deshalb sind hier die Fahrtweitenanteile unter 5 km größer als am Stadtrand. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Straße mit hohem Verkehrsdurchsatz der Anteil von Fahrten aus entfernter liegenden Quellen größer ist als bei einer Straße mit kleinem Verkehrsdurchsatz.

2.4.2.2 Berechnung des streckenbezogenen Startzuschlags unter Einbeziehung aller Einflussgrößen

Eine Übersicht über die verschiedenen Eingangsdaten und Zwischenergebnisse bei der Berechnung der Startzuschläge eines Straßenquerschnittes gibt Bild 16. Berechnet wird der Startzuschlag nach Gleichung (8).

$$k_{s,p,\vartheta} = \sum_{S=1}^5 h_S \cdot (\Delta SE_{Ka,\vartheta,S} - \Delta SE_{Ka,\vartheta,S-1}) \cdot \sum_{p=0}^8 h_p \cdot Af_{s,p} \quad (8)$$

- h_S Häufigkeiten der Fahrtweiten; siehe z.B. Anhang F oder Beispiel in Anhang G
- h_p Häufigkeiten der Parkdauer; siehe Anhang E oder Beispiel in Anhang G
- $k_{s,p,\vartheta}$ schichtspezifischer Startzuschlag bei Außentemperatur ϑ ; in g/km

So ergibt sich der Kaltstartzuschlag eines Kfz im zweiten Kilometer nach Fahrtbeginn in g/km aus der Differenz des Kaltstartzuschlages nach einer Fahrtweite von zwei Kilometer minus dem Kaltstartzuschlag bei einer Fahrtweite von einem Kilometer. Zur Berechnung werden die Kaltstartfaktoren entsprechend der Umgebungstemperatur nach Gleichung (5) bestimmt. Beispiele für die Berechnung der Umgebungstemperatur werden in den Anhängen B und D

tions about trip destinations and transit trips; see Annex F.

Besides the fraction of trips that have travelled distances under 5 km, the traffic situation, the driving pattern and the type of road are also important for computing the cold start emissions.

Individual roads

The fraction of trips that have travelled distances under 5 km may be found by interviewing the drivers or by an analysis of the traffic net. Because these methods are very costly, results of surveys from other roads are resorted to in most cases. The correlation is then established via the type of road or the function of the road (see Annex F).

The frequency of trips under 5 km depends on the location of the investigated road section. In town centres the contribution of the local traffic to the mileage is substantially greater than in the outskirts. Therefore the fraction of travelled distances under 5 km is larger near town centres than in the outskirts. It can be assumed that on roads with heavy traffic the fraction of trips from more distant origins is greater than on roads with light traffic.

2.4.2.2 Computing the distance-dependent start additions while considering all influencing parameters

An overview over the various input data and intermediate results of the computation of start additions on a cross section of a road is given in Figure 16. The start addition is computed with Equation (8).

- h_S frequencies of the travelled distances; see for instance Annex F or example in Annex G
- h_p frequencies of parking times; see Annex E or example in Annex G
- $k_{s,p,\vartheta}$ start addition for a vehicle layer at ambient air temperature ϑ ; in g/km

Thus the cold start addition of a motor vehicle during the second kilometre after starting the trip is the cold start addition after a travelled distance of two kilometres minus the cold start addition after a travelled distance of one kilometre. It is expressed in g/km. The cold start factors at ambient air temperature that are needed for the computation are determined by means of Equation (5). Examples for computing the ambient air temperature are given in Annex B and Annex D.

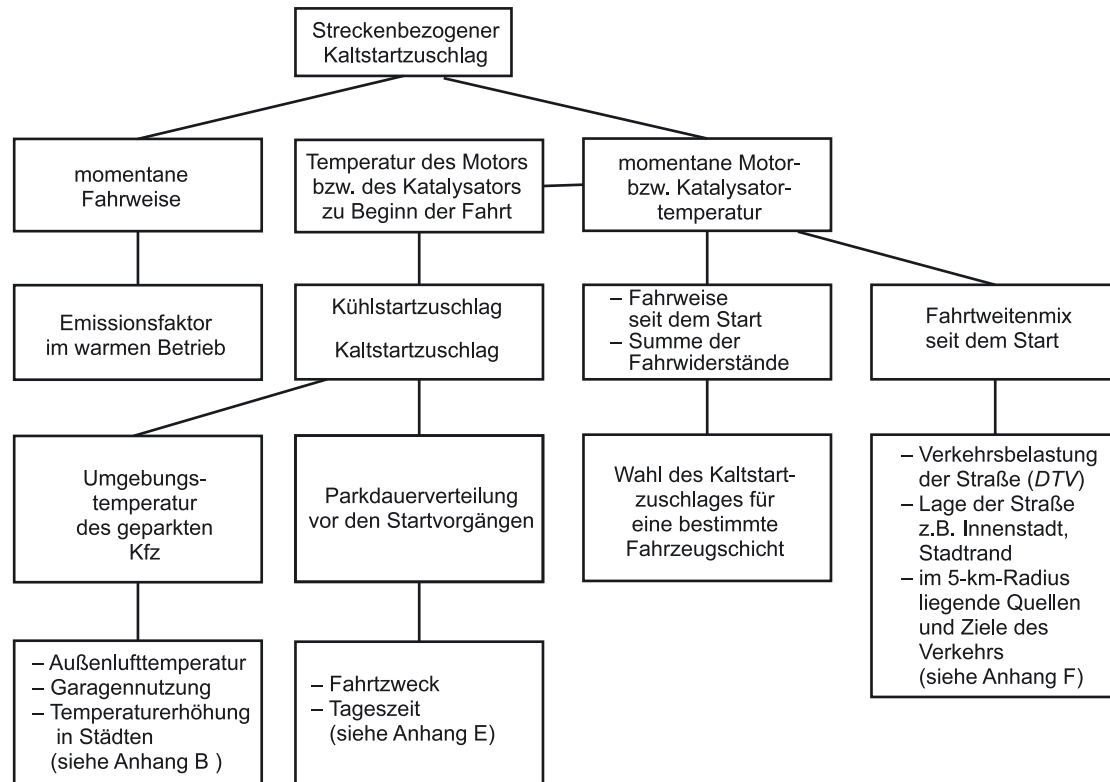


Bild 16. Einflussfaktoren auf den Kaltstartzuschlag bei der Emissionsberechnung eines Straßenabschnittes unter Verwendung der Emissionsfaktoren aus [7]

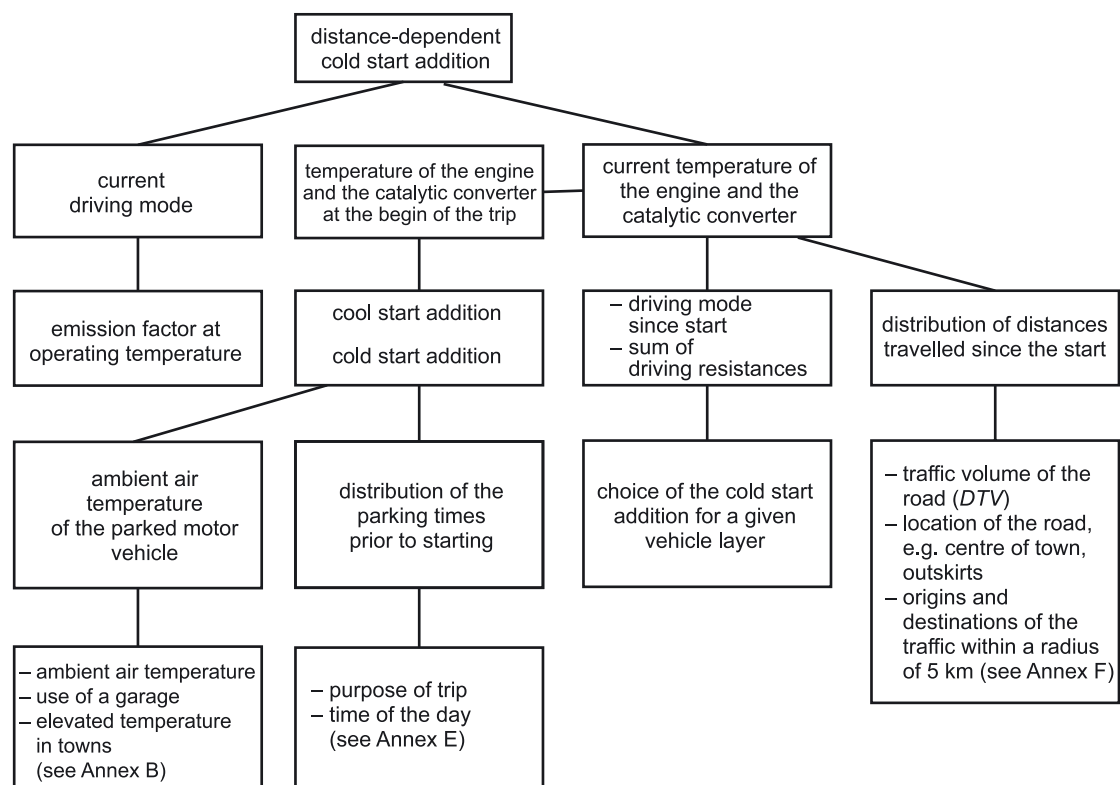


Fig. 16. Factors influencing the cold start addition in the computation of emissions on a road section; the emission factors of [7] are used

aufgezeigt. Die Abminderung der Kaltstartfaktoren bei Kühlstarts erfolgt durch den Abminderungsfaktor $A_{f,s,p}$ je nach Parkdauer und Fahrzeugschicht. Beispiele für die Bestimmung der möglichen Anteile der Fahrtlängen seit dem Start und der Parkdauer sind im Anhang E und Anhang F aufgeführt.

Die Emissionsfaktoren für den Straßenabschnitt setzen sich dann aus der Summe der warmen Emissionsfaktoren und den dazu gehörigen Kalt- bzw. Kühlstartzuschlägen in g/km zusammen (siehe Abschnitt 2.6.4).

2.4.2.3 Auswirkungen von veränderten Eingangsdaten auf das Emissionsergebnis

In einer beispielhaften Berechnung wird in Anhang G der Emissionsfaktor eines G-Kat-Pkw für eine Innerortsstraße mit einem *DTV* von 10 000 bis 30 000 Kfz/d berechnet. Die Eingabedaten Starttemperatur, Verteilung der Stillstandzeiten und Entfernungsverteilung der Fahrten werden variiert und die Ergebnisse miteinander verglichen.

2.5 Verkehrsflussmodellierung und Emissionsberechnung

2.5.1 Verkehrsflussmodellierung

Ziel der Modellierung des Verkehrs im betrachteten Untersuchungsraum ist es, das Verkehrsgeschehen möglichst realitätsnah wiederzugeben. Hierzu ist es erforderlich, zunächst die infrastrukturellen Eingabedaten für Verkehrsmodelle in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden zu ermitteln. Damit sind die Informationen gemeint, die als externe Größen einen Einfluss auf das individuelle Fahrverhalten haben, z.B. die detaillierte Verkehrsführung, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Querverkehrsstörungen (vergleiche auch Abschnitt 2.1). Mit diesen Informationen wird auf der Grundlage von Stadtplänen ein Verkehrsnetz modelliert. Die Detaillierungstiefe des Netzes ist dabei so zu wählen, dass im Zentrum der Betrachtungen die Genauigkeit am höchsten ist. Im Anschluss an die Streckenmodellierung wird ein solches Netz um aktuelle Daten der Steuerungen von Lichtsignalanlagen sowie der Abbildung des öffentlichen Verkehrs unter Berücksichtigung der gültigen Fahrpläne ergänzt. Damit sind die Voraussetzungen für eine Abwicklung des Verkehrs sowie die gegenseitige Beeinflussung von öffentlichem Verkehr und Individualverkehr im Netz gegeben.

Neben diesen infrastrukturellen Rahmendaten spielen die Abwicklung des Verkehrs, also die Umlegung des Verkehrsaufkommens auf die Strecken im Netz und das Fahrverhalten, eine wichtige Rolle.

For cool starts the cold start factors are reduced by the reduction factors $A_{f,s,p}$ that depend on the parking time and the vehicle layer. Examples for determining the possible fractions of distances travelled since the start and of parking times are given in Annex E and Annex F.

The emission factors for a road section are composed of the sums of the warm emission factors with their cold and cool start additions. They are expressed as g/km (see Section 2.6.4).

2.4.2.3 Effects of changes of the input data on the computed emissions

In Annex G an example is given for the computation of the emission factor of a passenger car with controlled catalytic converter on a road in a built-up area with a *DTV* of 10,000 to 30,000 motor vehicles per day. The input data start temperature, distribution of parking times and distribution of travelled distances are varied and the results are compared with each other.

2.5 Modelling the traffic flow and computing the emissions

2.5.1 Modelling the traffic flow

The purpose of modelling the traffic flow in the investigated area is the representation of the traffic situation as close to reality as possible. To this end it is necessary to obtain in collaboration with the local authorities the data of the infrastructure that are entered into the traffic model. This information consists of external parameters that exert an influence on the individual driving behaviour, e.g. details of the traffic direction, speed limits, and interference by cross traffic (see Section 2.1). With this information and with city maps the traffic net is modelled. The depth of details is to be chosen such that at the centre of the investigated area the accuracy is adequate. After the traffic net is modelled it is complemented by data on the control of traffic lights and on the public transport system including its current time tables. All these data constitute the foundation for dynamically modelling the traffic and the interdependence of public transport and passenger car traffic.

Besides the basic data on the infrastructure, the development of the traffic, i.e. the distribution of the traffic volume over the sections of the net, and the driving behaviour play a significant role.

Die Umlegung des Verkehrsaufkommens auf die Straßen im Netz kann über Quelle-/Ziel-Beziehungen (Fahrtenmatrizen) oder so genannte Fahrtenketten dargestellt werden. Eine extrem kleinräumige Betrachtung kommt auch mit Verkehrsflüssen über definierte Querschnitte aus. Quelle-/Ziel-Beziehungen repräsentieren Fahrtenwünsche zwischen unterschiedlichen Punkten bzw. Bezirken im betrachteten Gebiet und müssen entsprechend erhoben werden. Mit Hilfe von geeigneten Algorithmen werden diese Fahrtenwünsche auf das Straßennetz umgelegt. Fahrtenketten haben hierbei den Vorteil, dass die Fahrzeuge nicht beliebigen Quelle-/Ziel-Beziehungen zugeordnet werden, sondern dass jedes Fahrzeug mit einer eigenen „Identifizierungsnummer“ durch das Netz bewegt werden kann. Damit ist es möglich, das Kaltstartverhalten bzw. das Kühlstartverhalten der Fahrzeuge, das einen wesentlichen Einfluss auf das Abgasemissionsverhalten hat, differenziert zu berücksichtigen. Die Ermittlung von Fahrtenmatrizen bzw. Wegeketten erfolgt auf der Basis von Umfragen zum Mobilitätsverhalten der Bürgerinnen und Bürger des betrachteten Raumes.

Das Fahrverhalten der Fahrzeuge in einem Verkehrsnetz wird durch bestimmte Algorithmen beschrieben [41], die durch Geschwindigkeit und Beschleunigung beeinflusst werden. Für die Fahrzeuge kann ein Geschwindigkeitskorridor angegeben werden (Wunschgeschwindigkeit). Sofern keine anderen steuernden Ereignisse, wie z.B. Ampelanlagen oder Langsamfahrbereiche im Netz vorhanden sind, wird diese Geschwindigkeit angestrebt. Die Beschleunigungen sollten vorzugsweise als Häufigkeitsverteilung eingegeben werden, da auf diese Weise das Spektrum des unterschiedlichen Fahrverhaltens abgebildet werden kann [42]. Realitätsnahe Werte erhält man durch Messfahrten im Untersuchungsgebiet. Anderenfalls können auch durchschnittliche Werte zu Grunde gelegt werden. Durch das abgestimmte Zusammenspiel der genannten Größen kann der Verkehr im modellierten Netz realitätsnah berechnet werden.

Im Hinblick auf die Emissionen spielt der Fahrzeugbestand eine wesentliche Rolle. Darauf wird nachfolgend näher eingegangen.

2.5.2 Flottenzusammensetzung

Der Fahrzeugbestand hat einen relevanten Einfluss auf die Emissions- bzw. Immissionssituation, da sich die Emissionen der verschiedenen Fahrzeugschichten unterscheiden. Zwar kann auch vereinfachend der durchschnittliche bundesdeutsche Bestand in einem Gebiet verwendet werden, jedoch ist die Genauigkeit deutlich kleiner. Wünschenswert ist es dabei, den tatsächlich vorhandenen Fahrzeugbestand einzelnen

The distribution of the traffic volume over the roads of the net can be represented by the relations between origins and destinations (trip matrices) or by so-called trip chains. An investigation of an extremely small area can do with traffic flows at defined road cross sections. Relations between origins and destinations are realisations of planned trips between different points or districts of the investigated area and must be found by interviews. By means of suitable algorithms the planned trips are mapped upon the road net. Trip chains have the advantage that the vehicles are not assigned to arbitrary origin and destination relations but that each vehicle can be moved over the net with its own "identification number". This enables one to take into account details of the cold start and cool start behaviour of the vehicles, which have a considerable effect on the exhaust gas emissions. The trip matrices and the trip chains are established by interviewing the people of the investigated area about their personal mobility.

The driving behaviour of the vehicles in a traffic net is described by certain algorithms [41] that use speed and acceleration as input data. A speed range may be assigned to the vehicles (desired speed). This speed will be maintained if controlling events such as traffic lights or slow speed sections permit it. Accelerations should preferably be entered in the form of frequency distributions because these reflect the different driving behaviours [42]. Realistic values are obtained by measurement trips in the area of investigation. Also, average values may be adopted. After carefully matching these mentioned parameters the computed traffic in the model net will closely reflect reality.

The inventory of vehicles plays an essential role for emissions. This will be discussed in greater detail below.

2.5.2 Fleet composition

The vehicle inventory has a relevant influence on the emission situation (ambient air concentrations) because the emissions by the various vehicle layers differ. One could apply the average vehicle inventory of Germany to the area but the accuracy would be significantly reduced. It is desirable to assign the actually existing vehicle inventory to the individual districts of the area of investigation and subsequently to

Bezirken des Beurteilungsgebietes zuzuordnen, um anschließend mit Fahrtenmatrizen, bzw. noch besser mit Fahrtenketten, die Verkehrsnachfrage der Teilnehmer abbilden zu können. Trotz der weitgehend detailgetreuen Verkehrsdarstellung im Modell, die bei Beachtung der relevanten Eingangsdaten möglich ist, sollte eine Kalibrierung der Flottenzusammensetzung anhand von Kennzeichenerfassungen durchgeführt werden.

2.5.3 Emissionsfunktionen und Startzuschläge

Mit Hilfe von Emissionsfunktionen der Fahrzeugschichten kann das modale Emissionsverhalten der bewegten Fahrzeuge bestimmt werden. Real hat jedes Fahrzeug ein „individuelles“ Emissionsverhalten. Dies könnte nur durch direkte Emissionsmessungen bestimmt werden, was zurzeit noch nicht möglich ist. Deshalb werden Fahrzeugschichten gebildet, in denen emissionshomogene Typen zusammengefasst werden, und mit Geschwindigkeit und Beschleunigung die Emissionsfunktion dieser Schicht berechnet (vergleiche Abschnitt 2.3.1). Dies geschieht für verschiedene relevante Abgaskomponenten, die wiederum als Bezugskomponente für nicht modal erfasste Komponenten fungieren können. Dazu werden diese Fahrzeuge in verschiedenen Fahrzyklen vermessen und die resultierenden Emissionswerte in einer Matrix abgelegt, die einen weiten Bereich unterschiedlichen Fahrverhaltens abbildet. Die Emissionsfunktionen werden für betriebswarme Fahrzeuge ermittelt. Sie bilden die Grundlage für eine differenzierte Bestimmung der Emissionssituation in räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Form (siehe Abschnitt 2.3).

Die Emissionen beim Kalt- bzw. Kühlstart unterscheiden sich wesentlich von den → Warmemissionen. Deshalb ist es erforderlich, die Emissionsfunktionen bei nicht betriebswarmem Motor entsprechend zu korrigieren. Die Korrekturen basieren auf funktionalen Zusammenhängen zwischen gemessenen Emissionen, dem Warmlaufverhalten der Fahrzeuge und den Emissionsfunktionen [7; 37; 43].

2.5.4 Gesamtemission

Mit Verkehrsflussmodellierung, Flottenzusammensetzung und Emissionsfunktionen kann die zeitliche Variation der räumlichen Struktur der Emissionen bestimmt werden. Für die Bearbeitung eines realitätsnahen Straßennetzes sind sehr viele Einzelinformationen notwendig und eine vollständige Beschreibung entspräche der Betriebsanleitung eines Programmes.

Im Folgenden wird die allgemeine Vorgehensweise beschrieben.

model the traffic behaviour of the participants by means of trip matrices or even better of trip chains. Despite the faithful representation of the traffic by the model that is possible if the relevant input data are available, the fleet composition should be checked by recording registration numbers.

2.5.3 Emission functions and start additions

By means of emission functions of the vehicle layers the emission behaviour of the moving vehicles can be determined. In reality each vehicle has its own individual emission behaviour. This could only be determined by direct emission measurements that are not feasible at the present time. Therefore, vehicle layers are established of vehicles with like emission behaviour. Using speed and acceleration, the emission functions of this class are computed (see Section 2.3.1). This is done for various relevant components of the exhaust gas to which in turn other components can be related that are not measured. To this end the emissions of these vehicles are measured in different driving cycles and entered into a matrix that reflects a wide range of driving behaviour. The emission functions are determined for vehicles at operating temperature. They are the foundation of a detailed description of the emission situation with high spatial and temporal resolution; see Section 2.3.

The emissions at cold and cool start differ essentially from the → warm emissions. Therefore, it is necessary to correct accordingly the emission functions for engines below operating temperature. The corrections rest on functional relationships between measured emissions, the warming-up behaviour of the vehicles, and the emission functions [7; 37; 43].

2.5.4 Total emissions

With models of the traffic flow, the fleet composition and the emission functions, the temporal variation of the spatial structure of the emissions can be determined. The treatment of an actual road net requires a large number of individual pieces of information. Their description would be equivalent to an instruction manual of a computer application.

In the following a general procedure will be described.

Zuerst muss eine geeignete Software ausgewählt werden (siehe z.B. <http://www.vdi.de/kfz-emissionsbestimmung>).

Es sind folgende Vorarbeiten zu leisten:

1. Abbildung der gesamten verkehrlichen Infrastruktur des Untersuchungsraumes, entsprechend den Anforderungen des Modells
2. Bestimmung der Flottenzusammensetzung und der dazu gehörenden Fahrtenrelationen
3. Auswahl der Emissionsfunktionen
4. Vorgabe der zeitlichen und räumlichen Auflösung der Emissionen

Während der Simulation wird bei einem mikroskopischen Modell im Sekundentakt der Fahrzustand jedes Fahrzeugs berechnet. Je nach Fahrzeugart sind Geschwindigkeit und Beschleunigung bzw. Motorleistung und Drehzahl die Eingangsgrößen für die Emissionsfunktionen bzw. Emissionskennfelder, aus denen die Emissionen herausgelesen werden. Ferner sind auch Längsneigung, Beladung und thermischer Zustand des Fahrzeugs Einflussparameter.

Diese Emission wird dem Straßensegment zugeordnet, in dem sich das Fahrzeug befindet. Die Emissionen werden für jedes Straßensegment entsprechend der vorgegebenen Zeitdauer summiert. Das Ergebnis ist die zeitliche Variation (entsprechend dem vorgegebenen Zeittakt) der räumlichen Struktur (entsprechend der vorgegebenen Auflösung) der Emission als Eingangsfelder für eine mikroskalige Ausbreitungsrechnung.

2.6 Verkehrsflussparametrisierung und Emissionsberechnung

2.6.1 Verkehrsflussparametrisierung

2.6.1.1 Fahrmuster

Wie bereits in Abschnitt 2.3 erläutert hängen die Emissionen eines Fahrzeuges nicht nur von der insgesamt zurückgelegten Strecke sondern vor allem von den fahrzeugspezifischen Randbedingungen und dem Fahrverhalten des Fahrzeuges ab. Unter Fahrverhalten sind die Zeitabläufe von Fahrgeschwindigkeiten und Fahrdynamik (Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge) zu verstehen. Das Fahrverhalten wiederum ist abhängig von individuellen fahrerspezifischen Verhaltensweisen und von der Verkehrs- und Straßensituation (siehe Abschnitt 2.1).

Im Rahmen von Untersuchungen zum Fahrverhalten im realen Straßenverkehr wurden umfangreiche Messungen durchgeführt (siehe z.B. [10; 44]). Hierfür wurden Fahrzeuge nach dem Prinzip des „Mitschwimmens im Verkehr“ auf Messfahrten geschickt und die Geschwindigkeitsprofile im Sekundentakt aufgenommen. Mit Hilfe von statistischen Methoden

The first step consists in selecting a suitable software (see e.g. <http://www.vdi.de/kfz-emissionsbestimmung>).

The following preliminary tasks are to be done:

1. mapping the total traffic infrastructure of the area of investigation as required by the model
2. determining the fleet composition and the pertinent trip relations
3. selecting the emission functions
4. defining the spatial and temporal resolution of the emissions

During the simulation with a microscopic model the state of movement of every vehicle is computed for every second. Depending on the type of vehicle, the input data are either speed and acceleration or power and revolutions of the engine. The emissions are then derived from the resulting emission functions or emission raster fields. Other influencing parameters are road gradients, loads, and the thermal condition of the vehicle.

This emission is assigned to the road section where the vehicle is located. On each road section the emissions are summed over a defined period. The result is the temporal variation of the spatial structure of the emission with the temporal resolution of the time increments and the initially defined spatial resolution. The emissions are the input data sets for microscale dispersion models.

2.6 Parameterising the traffic flow and computing the emissions

2.6.1 Parameterising the traffic flow

2.6.1.1 Driving patterns

As already explained in Section 2.3, the emissions of a vehicle depend not only on the total travelled distance but also strongly on vehicle-specific boundary conditions and on the driving behaviour of the vehicle. Driving behaviour means temporal variation of driving speed and driving dynamics (accelerations and decelerations). The driving behaviour in turn depends on the individual behaviour of the driver, on the traffic situation, and on the road condition (see Section 2.1).

Within the scope of studies of the driving behaviour, comprehensive measurements were undertaken in actual road traffic (see e.g. [10; 44]). According to the principle of "floating with the traffic", vehicles were dispatched on measurement trips that recorded the speeds in one second increments. By means of statistical procedures similarities between the recorded

konnten die aufgenommenen Fahrkurven auf Ähnlichkeiten untersucht und ähnliche Fahrten in Gruppen, die als Fahrmuster bezeichnet werden, zusammengefasst werden. Für jede Fahrzeugkategorie wurden Fahrmuster bestimmt.

Fahrmuster sind somit typische, aus realen Fahrverhaltensmessungen extrahierte Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe für verschiedene Straßentypen und -funktionen. Sie unterscheiden sich damit deutlich von den früheren, aus verschiedenen Phasen schematisch zusammengesetzten Fahrmodi [45]. Die für Pkw und Lfz definierten Fahrmuster sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Zusätzlich wurden noch je drei weitere Fahrmuster für Steigungs- und Gefällestrassen (unterschiedliche Längsneigungsklassen) gebildet.

Auf Grund der Kenntnis, welche Fahrten auf welchen Streckenabschnitten zu den einzelnen Fahrmustern gehören, welche Streckentypisierung (Straßenfunktion, Ortslage usw.) und welcher mittlere Verkehrszustand (mittlere Geschwindigkeit, Verzögerung-/Beschleunigungsanteile, Standanteile usw.) dort vorherrscht, ist es möglich, für beliebige Streckenabschnitte auf Grund der Streckentypisierung und dem vorherrschenden Verkehrszustand das typische Fahrmuster bzw. Fahrverhalten zuzuordnen.

Die Charakterisierung eines Streckenabschnitts bezüglich des vorherrschenden Verkehrszustandes bzw. des Fahrmusters wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Angemerkt sei, dass hierzu auch Ergebnisse

speed curves could be detected. Similar trips were grouped together into so-called driving patterns. Driving patterns were determined for every vehicle category.

Thus driving patterns are typical speed-vs.-time curves that were extracted from actual measurements of driving behaviour on various types of roads with diverse functions. They are significantly different from earlier driving modes [45] that were composed schematically of various phases. The driving patterns defined for passenger cars and light commercial vehicles are arranged in Table 16. Three additional driving patterns for each ascending or descending gradients (different classes of gradients) are included.

Based on the knowledge about what trips on which road sections belong to the different driving patterns, about the type of road (function of the road, location within the area), and about the prevalent mean traffic conditions there (mean speed, fractions of acceleration and deceleration, stopping times) it is possible to assign typical driving patterns and a driving behaviour to any road section.

In the following sections it will be explained how to characterise a road section by the traffic condition and the driving patterns. Note that also results from traffic simulations can be used, e.g. average speed,

Tabelle 16. Fahrmuster für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge nach [10]

Fahrmuster	Straßentyp	Funktion/ Erläuterung	Stillstand	Konstantfahrt	Geschwindigkeit v in km/h		Geschwindigkeit · Beschleunigung ($v \cdot b$) in m^2/s^3	
					Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
1	innerorts	Wohn- und Erschließungsstraßen	5,3 %	31,8 %	18,5	10,9	–0,32	4,3
2	innerorts	Kern oder teilgebunden	32,5 %	23,3 %	19,9	18,4	–0,28	4,46
3	innerorts	Verkehrsstraßen	13,5 %	36,6 %	32,1	19,8	–0,16	5,91
4	innerorts	Ortsdurchfahrten	15,3 %	26,2 %	37,5	26,9	0,16	8,12
5	innerorts	Hauptverkehrsstraßen	0,6 %	52,2 %	46,2	16,2	0,55	6,13
6	Landstraße	teilgebunden	1,1 %	27,9 %	60,6	18,9	–0,04	13,24
7	außerorts	Anbaufreie Ortsdurchfahrten	0,7 %	46,2 %	58,2	16,1	–0,83	8,68
8	außerorts	Ortsausfahrten	0,2 %	35,3 %	78,4	24,3	4,64	11,0
9	außerorts	Ortseinfahrten	0,7 %	39,5 %	71,5	20,7	–2,99	12,37
10	Landstraße	nicht autobahnähnlich	0,7 %	59,6 %	76,5	19,5	0,41	9,51

Table 16. Driving patterns for passenger cars and light commercial vehicles, according to [10]

Driving pattern	Type of road	Function/ description	Vehicle stopped	Vehicle at constant speed	Speed 		Speed · acceleration ($v \cdot b$)	
					in km/h		in m ² /s ³	
					mean value	standard deviation	mean value	standard deviation
1	in built-up areas	roads in residential areas and leading to residential areas	5.3 %	31.8 %	18.5	10.9	−0.32	4.3
2	in built-up areas	centre of town or partially bound traffic	32.5 %	23.3 %	19.9	18.4	−0.28	4.46
3	in built-up areas	roads	13.5 %	36.6 %	32.1	19.8	−0.16	5.91
4	in built-up areas	cross town links	15.3 %	26.2 %	37.5	26.9	0.16	8.12
5	in built-up areas	main roads	0.6 %	52.2 %	46.2	16.2	0.55	6.13
6	country road	partially bound traffic	1.1 %	27.9 %	60.6	18.9	−0.04	13.24
7	outside built-up areas	cross town links, not built-up	0.7 %	46.2 %	58.2	16.1	−0.83	8.68
8	outside built-up areas	traffic leaving the town	0.2 %	35.3 %	78.4	24.3	4.64	11.0
9	outside built-up areas	traffic entering the town	0.7 %	39.5 %	71.5	20.7	−2.99	12.37
10	country road	not similar to motorway	0.7 %	59.6 %	76.5	19.5	0.41	9.51

aus Verkehrsmodellen (z.B. zur mittleren Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigungs-, Verzögerungsanteilen und Standzeiten auf einem bestimmten Streckenabschnitt) herangezogen werden können.

Für die schweren Nutzfahrzeuge (Lkw und Busse > 3,5 t) wurden 30 verschiedene Fahrmuster ermittelt, wobei für Lkw, Linienbusse und Reisebusse unterschiedliche Fahrmuster definiert wurden. Grundlage bildeten Ergebnisse umfangreicher Messprogramme, bei denen neben der Fahrzeugkategorie der Einfluss von Beladungsgrad, Straßenkategorie und Längsneigung untersucht wurde [44]. Im Hinblick auf die zu Grunde liegende Systematik der Emissionsfaktorenberechnung waren diese Ergebnisse in die angegebene Fahrmustercodierung gemäß Tabelle 17 umgesetzt worden, die unabhängig vom Beladungsgrad und der Längsneigungsklasse ist. Für nähere Einzelheiten hierzu sei auf die entsprechende Literatur [7; 44] und auch Abschnitt 2.3 verwiesen.

2.6.1.2 Verkehrssituation

Für die praktische Anwendung ist es sinnvoll, eine für Pkw und Nfz einheitliche Grundlage zur Typisierung von Streckenabschnitten zur Verfügung zu haben. Hierfür wurde der Begriff der → Verkehrssituation eingeführt.

Die Verkehrssituation wird vor allem durch die Merkmale Straßenfunktion, Ortslage, Ausbaugrad, zulässige Höchstgeschwindigkeit und Verkehrszu-

acceleration, deceleration, and stopping times on a given road section.

For heavy commercial vehicles (lorries and buses > 3.5 t), 30 driving patterns were established. They differ for lorries, public transport buses and tourist coaches. They are based on the results of a comprehensive measurement campaigns in which for each vehicle category the influence of the loading, the road category and the gradient was studied [44]. These results were transformed into the code for driving patterns as shown in Table 17 that follows the methodology of the computation of emission factors. This code is independent of the degree of loading and the class of gradients. Further details are to be found in the respective literature [7; 44] and also in Section 2.3.

2.6.1.2 Traffic situation

For practical applications it is reasonable to have a uniform base for classifying road sections. The concept of → traffic situation was introduced as this base.

The traffic situation is characterised mainly by the features function of the road, location within the area, road quality, speed limit and traffic condition (rang-

Tabelle 17. Fahrmuster (FM) für schwere Nutzfahrzeuge [16]

Beschreibung der Fahrmustergruppen		Nr. der Fahrmustergruppe					
		Lkw/LZ/SZ		Reisebusse		Linienbusse	
		FM-Nr.	v in km/h	FM-Nr.	v in km/h	FM-Nr.	v in km/h
Regelfall							
1	Autobahn (freier Verkehrsfluss)	1	86	7	103	–	–
2	Außerortsstraßen (4-streifig, 3-streifig, 2-streifig; mit Pan- nenstreifen)	2	79	8	98	15	40
3	Übrige Außerortsstraßen	3	65	9	65	15	40
4	Innerorts HVS	4	47	10	47	15	40
5	Innerorts, Kernbereich, große Knotenabstände	5	26	11	20	14	22
6	Innerorts, übrige Straßen, kleine Knotenabstände	6	17	12	14	13	16
Sondersituation							
7	Serpentinen	16	38	22	38	28	36
8	Innerorts, gebundener Verkehrsfluss	17	11	23	11	29	11
9	Innerorts, Stop-and-go	18	6	24	6	30	6
10	Autobahn, teilgebundener Verkehrsfluss	19	73	25	73	–	–
11	Autobahn, gebundener Verkehrsfluss	20	18	26	18	–	–
12	Autobahn, Stop-and-go	21	6	27	6	–	–

Table 17. Driving patterns (FM) of heavy commercial vehicles [16]

Description of the group of driving patterns		Number of the group of driving patterns					
		lorries; lorries with trailers; tractor-trailers		tourist coaches		public transport buses	
		no. of the driving pattern	v in km/h	no. of the driving pattern	v in km/h	no. of the driving pattern	v in km/h
Normal conditions							
1	motorway, unimpeded traffic flow	1	86	7	103	–	–
2	roads outside built-up areas, with 4 lanes, 3 lanes, 2 lanes, with emergency lane	2	79	8	98	15	40
3	other roads outside built-up areas	3	65	9	65	15	40
4	main roads in built-up areas	4	47	10	47	15	40
5	in built-up areas, centre of town, large distances between intersections	5	26	11	20	14	22
6	in built-up areas, other roads, short distances between intersections	6	17	12	14	13	16
Special conditions							
7	winding road	16	38	22	38	28	36
8	in built-up areas, bound traffic	17	11	23	11	29	11
9	in built-up areas, stop-and-go	18	6	24	6	30	6
10	motorway, partially bound traffic	19	73	25	73	–	–
11	motorway, bound traffic	20	18	26	18	–	–
12	motorway, stop-and-go	21	6	27	6	–	–

stand (von frei fließend über gebunden bis Stop-and-go-Verkehr) charakterisiert. Von diesen Merkmalen sind die meisten über die verkehrsinfrastrukturellen Parameter eines Straßenabschnitts eindeutig beschrieben und unabhängig von der Verkehrsstärke.

ing from unimpeded to bound to stop-and-go traffic). Most of these features are unambiguously defined by the parameters of the infrastructure of a road section and are independent of the traffic volume.

So kann für einen Streckenabschnitt je nach Verkehrszustand (z.B. Stop-and-go in Spitzenzeiten, zügige Fahrweise in Schwachlastzeiten) die aktuelle Verkehrssituation zu unterschiedlichen Zeiten im Tagesverlauf durchaus verschieden sein.

2.6.1.2.1 Ermittlung der Verkehrssituation

Die Bestimmung des Verkehrszustandes erfolgt über entsprechende Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Beziehungen (qv -Funktionen, siehe z.B. [46; 47]), die Verkehrsmengen in Abhängigkeit von der Straßensituation (bzw. den verkehrsinfrastrukturellen Parametern eines Straßenabschnitts) Geschwindigkeiten zuordnen. Dieses Verfahren gilt für Autobahnen und auch für Außerortsstraßen, versagt aber für Innerortsstraßen, wie auch der Darstellung von gemessenen qv -Beziehungen in Bild 17 entnommen werden kann.

Autobahnen/Außerortsstraßen

Auf Autobahnen und im Allgemeinen auch auf Außerortsstraßen sind die Übergänge im Verkehrsablauf über qv -Funktionen (z.B. [46 bis 48]) beschreibbar, so dass die Verkehrsablaufparameter (im Wesentlichen Beschleunigung/Verzögerung) eng mit der mittleren Geschwindigkeit korreliert sind. Der Verkehrsablauf, das heißt im Wesentlichen die mittlere Fahrgeschwindigkeit, kann als ein sich überwiegend über die Verkehrsmenge selbst regelnder Prozess beschrieben werden. So ist es möglich, ausgehend von den stündlichen Verkehrsmengen über die qv -Beziehungen mittlere stündliche Geschwindigkeiten zu ermitteln. Diese bilden dann eine maßgebende Größe zur Auswahl der aktuellen Verkehrssituation bzw. Fahrmuster und damit zur Ableitung der Emissionsfaktoren.

The traffic situation may vary with the time of the day depending on the traffic conditions, i.e. stop-and-go at peak times, unimpeded traffic in off-hours.

2.6.1.2.1 Determining the traffic situation

The traffic situation is determined by means of relations between the traffic volume and the speed (qv -functions, see e.g. [46; 47]). They relate traffic volumes to speeds for different road conditions, e.g. parameters of the infrastructure of a road section. This method is valid for motorways and highways outside built-up areas but fails on roads in built-up areas as can be seen in the graphs of the qv -relations in Figure 17.

Motorways and roads outside built-up areas

On motorways and in general also on roads outside built-up areas the transitions between different traffic conditions can be described by qv -functions (e.g. [46 to 48]). As a consequence the parameters of the traffic flow, essentially accelerations and decelerations, are closely correlated with speed. The traffic flow, i.e. essentially the mean speed, may be considered to be a self-regulating process governed by the traffic volume. Thus it is possible to derive from the hourly traffic volumes via the qv -relationships the mean hourly speeds. These are then important variables for selecting the current traffic situation or driving pattern and hence for deriving the emission factors.

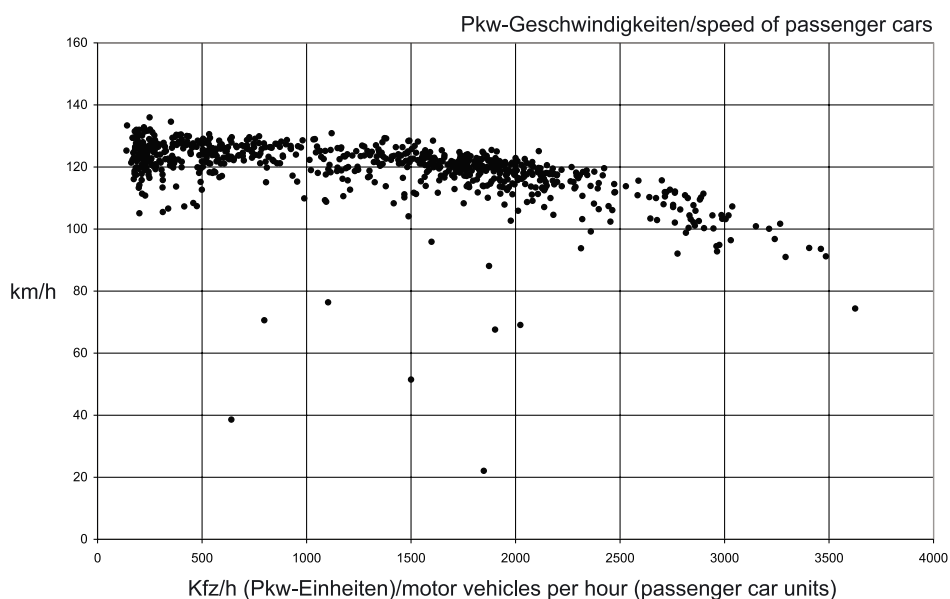


Bild 17a. qv -Beziehungen vierstreifiger Autobahnen [48]

Fig. 17a. qv -relations on 4-lane motorways [48]

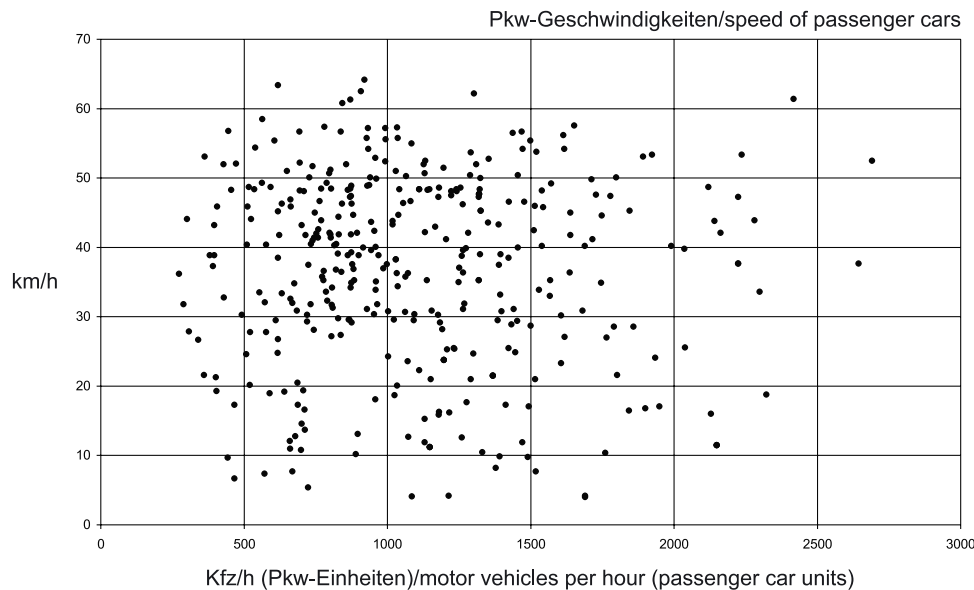


Bild 17b. qv -Beziehungen vierstreifiger Innerortsstraßen mit koordinierten Lichtsignalanlagen, grüne Welle ≤ 50 km/h [48]

Fig. 17b. qv -relations on 4-lane roads in built-up areas with co-ordinated traffic lights, progressive signal system ≤ 50 km/h [48]

Die mittlere stündliche Fahrgeschwindigkeit kann auch im Rahmen von automatischen Dauerzählungen erhoben werden. Zu beachten ist, dass es sich bei den gemessenen Fahrgeschwindigkeiten um mittlere Geschwindigkeiten an einem Straßenquerschnitt handelt, aber für die Emissionsberechnung eigentlich die mittlere Geschwindigkeit aller Fahrzeuge entlang des betrachteten Straßenabschnitts zu berücksichtigen ist. Sind die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen als repräsentativ für den Straßenabschnitt anzusehen, dann können diese Daten als maßgebende Größe zur Bestimmung der aktuellen Emissionsfaktoren verwendet werden. Des Weiteren können die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen Aufschluss darüber geben, ob und wie lange Stausituationen im Straßenabschnitt auftreten.

Liegen keine Informationen zur charakteristischen qv -Beziehung (bzw. zu Geschwindigkeitsmessungen) für einen Straßenabschnitt vor, um die stündlichen Geschwindigkeiten zu ermitteln und darüber den Verkehrsablauf zu beschreiben (oder auch bei der Summenbetrachtung größerer Straßennetze), kann vereinfacht auf charakteristische straßenklassenbezogene Geschwindigkeitsverteilungen (z.B. von der BAST für Autobahnen ermittelt) zurückgegriffen werden. Diese bilden dann die Grundlage zur Ermittlung von mittleren gewichteten Emissionsfaktoren.

Innerortsstraßen

Innerorts wird das Fahrverhalten durch vielfältige Störeinflüsse wie Lichtsignalanlagen, kurze Knotenabstände, dichte Bebauung mit vielen Parkvorgängen und Ein- und Ausfahrten beeinflusst. Daher kann der Verkehrsablauf auf Innerortsstraßen nicht mehr als

The mean hourly speed can also be determined by means of automated continuous counting. It should be kept in mind that the measured speeds are mean speeds at a road cross section but that for calculating the emissions the mean speed of all vehicles on the road section are to be used. If the results of the speed measurements can be considered to be representative for the road section, then these data can be used as important variables for computing the current emission factors. Furthermore, the results of the speed measurements will carry information about whether and for how long stop-and-go conditions on the road section will occur.

If no information exists that pertains to the characteristic qv -relationships or to speed measurements on a road section that could be used for determining hourly speeds and hence for describing the traffic flow, characteristic speed distributions for the road class can be used. In the case of motorways these are provided by BAST. This simplified calculation can also be applied to integral studies of larger road nets. They are then the input data for computing mean weighted emission factors.

Roads in built-up areas

In built-up areas the driving behaviour is influenced by various disturbing factors like traffic lights, short distances between intersections, high density of buildings with many parking manoeuvres, and driveways. Therefore the traffic flow on roads in built-up

ein sich über die Verkehrsmenge selbst regelnder Prozess beschrieben werden, sondern als ein weitestgehend extern (durch Knotenabwicklung, LSA unter anderem) gesteuerter Prozess. So sind auf Innerortsstraßen im Allgemeinen keine stetigen Übergänge zwischen den Verkehrsablaufstufen wie im Außerortsbereich (frei, teilgebunden, gebunden, Stau) anzutreffen. Vielmehr sind durch die gegebenen baulichen und verkehrstechnischen Randbedingungen eher unstetige Übergänge die Regel.

Die Verkehrssituationen im Innerortsbereich werden durch eine Hauptverkehrssituation und den Störungsgrad (ohne, gering, mittel, stark, Stop-and-go) beschrieben.

Die Ermittlung der Hauptverkehrssituation erfolgt überwiegend über die Straßensituation (siehe auch Abschnitt 2.1.1) und die verkehrstechnischen Kenngrößen (Funktion der Straße, Ausbauzustand, Vorfahrtsberechtigung, Lichtsignalanlage, Koordination usw.) und muss auf der Grundlage der Gesamteinschätzung vor Ort erfolgen.

Zur Ermittlung des Störungsgrades bietet sich als Leistungsfähigkeitskenngröße die Kapazität der Straße an. Sie ist eine Angabe, die für die betrachteten Straßenabschnitte entweder bei den zuständigen Ämtern (z. B. Tiefbauamt) zu erfragen oder selbst zu ermitteln ist. Eine relativ grobe Ermittlung der Kapazität kann über die Streckencharakterisierung (z. B. Streckentypisierung nach [46]) erfolgen.

Ist die zulässige Belastung eines Streckenabschnittes erreicht, treten Stausituationen im Verkehrsablauf auf und die Verkehrssituation „Stop-and-go innerorts“ charakterisiert diesen Verkehrszustand. Zwischen diesem Verkehrszustand und dem Zustand frei fließender Verkehr (das heißt ohne Störungseinflüsse) treten im Allgemeinen in Abhängigkeit von den äußeren Rahmenbedingungen vor Ort mehrere diskrete Zwischenstufen auf. Diese komplexen Zusammenhänge, die z. B. durch aufwändige Messfahrten genauer erfasst werden können, müssen annäherungsweise durch eine Klassifizierung beschrieben werden. Die Grenzen zwischen den diskreten Verkehrssituationen von frei fließend störungsfreiem Verkehr bis Stop-and-go können in Abhängigkeit von der Kapazität des Streckenabschnittes gebildet werden.

Eine Vereinfachung dieses Zusammenhangs stellt die feste Zuordnung zwischen stündlicher Verkehrsmenge und Verkehrssituation dar, die in [31] verwendet wird, da die individuelle Kapazität eines Streckenabschnitts hierbei nicht berücksichtigt wird, sondern nur auf Grund der Hauptverkehrssituation und der Fahrstreifenanzahl eine typisierte Kapazität der Ableitung der aktuellen Verkehrssituation zu Grunde gelegt wird. Sind keine differenzierteren Daten vor-

areas can no longer be described as a self-regulating process but is a mostly externally controlled process, for instance by intersections and traffic lights. Thus on roads in built-up areas there usually exist no continuous transitions between traffic flow conditions (unimpeded, partially bound, bound, stop-and-go) as there are outside built-up areas. Rather, the boundary conditions imposed by buildings and traffic engineering cause the transitions to be usually discontinuous.

The traffic situations in built-up areas are described by a principal traffic situation and the degree of disturbance (none, little, medium, strong, stop-and-go).

The assessment of the principal traffic situation is based on the road situation (see also Section 2.1.1) and the traffic-relevant parameters such as function of the road, road quality, right-of-way, traffic lights, coordination etc. It must be done by local inspection.

For quantifying the disturbances the capacity of the road is a suitable measure. This parameter may be obtained either from the local authorities, e. g. the Civil Engineering Office, or from own investigations. A relatively coarse estimate of the capacity may be derived from the type of the road, e. g. following [46].

When the rated capacity of a road section is reached, traffic congestion arise and "stop-and-go in built-up areas" conditions prevail. Between this traffic condition and unimpeded traffic flow (i. e. without disturbances) there may occur several discrete intermediate phases. They depend on local external boundary conditions. These complex relationships that could be studied more closely by costly measurement trips can be described by an approximating classification. The boundaries between the discrete traffic situations that range from free-flowing undisturbed traffic to stop-and-go may be defined as depending on the capacity of the road section.

This relationship may be simplified by substituting it with a fixed dependence between the hourly traffic volume and the traffic situation. This procedure was adopted in [31]. The simplification is afforded by neglecting the individual capacity of the road section and using instead a standard capacity based on the principal traffic situation and the number of traffic lanes. The simplified procedure may be followed if detailed data are not available.

handen, kann auf dieses Verfahren zurückgegriffen werden.

Auch zur Ableitung der aktuellen Verkehrssituation auf Innerortsstraßen können die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen der automatischen Dauerzählungen herangezogen werden. Hier ist ebenfalls zu beachten, dass nur die mittlere Fahrgeschwindigkeit an einem Straßenquerschnitts gemessen wurde, aber die mittlere Geschwindigkeit aller Fahrzeuge entlang eines Straßenabschnitts gesucht wird. Die Geschwindigkeitsganglinien können aber zumindest einen Hinweis darauf geben, zu welchen Tageszeiten der Störungsgrad des Verkehrsablaufs im Straßenabschnitt deutlich erhöht ist und wann und wie lange Stausituationen auftreten.

Anzumerken ist, dass sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit der Pkw und INfz im Allgemeinen von der der sNfz unterscheidet und diese mit berücksichtigt werden müsste.

The results from the speed measurements obtained during automated continuous counting may also be utilised for deriving current traffic situations on roads in built-up areas. Here the remark also applies that only average speeds are measured at one road cross section but the mean speed of all vehicles on a road section is sought. The speed vs. time curves may indicate, however, at what time of the day the traffic flow is impeded most and when and for how long stop-and-go episodes occur.

It is also important to note that the mean speed of passenger cars and light commercial vehicles generally differs from that of heavy commercial vehicles which ought to be included.

Tabelle 18. Typisierungsraaster der Verkehrssituationen nach [16]

Kurzbeschreibung	Verkehrssituation
Autobahnen	
AB>120 AB_120 AB_100 AB_80 AB_60	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 120 km/h, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 100 km/h, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 80 km/h, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 60 km/h, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen
AB>120_gebunden AB_120_gebunden AB_100_gebunden AB_80_gebunden AB_60_gebunden	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 120 km/h, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 100 km/h, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 80 km/h, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen Tempo 60 km/h, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen
AB_Baust1 AB_Baust2	Autobahn, Baustelle zweistreifig Autobahn, Baustelle einstreifig
AB_Stop+Go	Autobahn, Stop-and-go
Außerortsstraßen	
AO_1 AO_2 AO_3	guter Ausbaugrad, gerade guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig ungleichmäßig kurvig
Innerortsstraßen	
IO_HVS>50_1 IO_HVS>50_2 IO_HVS>50_3	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit < 50 km/h, geringe Störungen Hauptverkehrsstraße, Tempolimit < 50 km/h, mittlere Störungen Hauptverkehrsstraße, Tempolimit < 50 km/h, große Störungen
IO_HVS1 IO_HVS2 IO_HVS3 IO_HVS4	Ortsdurchfahrt, vorfahrtsberechtigt, ohne Störungen Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, geringe Störungen Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, mittlere Störungen Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, große Störungen
IO_LSA1 IO_LSA2 IO_LSA3	Hauptverkehrsstraße, mit Lichtsignalanlage, geringe Störungen Hauptverkehrsstraße, mit Lichtsignalanlage, mittlere Störungen Hauptverkehrsstraße, mit Lichtsignalanlage, große Störungen
IO_Kern	Innerortsstraßen im Stadtkern
IO_Nebenstr_dicht IO_Nebenstr_locker	Nebenstraßen, geschlossene Bebauung Nebenstraßen, locker bebaut
IO_Stop+Go	Innerortsstraßen bei Stop-and-go

Die ermittelte aktuelle Verkehrssituation ist die maßgebende Größe zur Auswahl der aktuellen Emissionsfaktoren für Innerortsstraßen.

The derived current traffic situation is the decisive quantity for selecting the current emission factors on roads in built-up areas.

2.6.1.2.2 Typisierungsraster Verkehrssituation

Zur Vereinheitlichung und Vereinfachung der Ermittlung der Verkehrssituationen wurde das in Tabelle 18 dargestellte Typisierungsraster für Verkehrssituationen festgelegt. Es kann dann verwendet werden, wenn keine differenzierten Daten zur Ermittlung der Verkehrssituation vorliegen (siehe Abschnitt 2.6.2.1).

Der Anwender sei darauf hingewiesen, dass für die Einstufung einer bestimmten Straße in eine Verkehrssituation(-sgruppe) gemäß Tabelle 18 weniger die formale Zuordnung als vielmehr die Funktion der Straße bzw. des Straßenabschnitts im Netz ausschlaggebend ist (siehe Abschnitt 2.1).

2.6.1.2.2 Template for characterising traffic situations

In order to simplify the method for deriving the traffic situation and to render it more uniform a template was devised. It is shown in Table 18. It can be used in those cases when no detailed data exist from which the traffic situation may be derived; see Section 2.6.2.1.

The user shall be advised that for the assignment of a certain road to a (group of) traffic situation(s) by means of Table 18, the function of a road or a road section is more important than its formal classification (see Section 2.1).

Table 18. Template for characterising traffic situations; according to [16]

Abbreviation	Traffic situation
Motorways	
AB>120 AB_120 AB_100 AB_80 AB_60	no speed limit, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane speed 120 km/h, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane speed 100 km/h, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane speed 80 km/h, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane speed 60 km/h, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane
AB>120_bound AB_120_bound AB_100_bound AB_80_bound AB_60_bound	no speed limit, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane speed 120 km/h, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane speed 100 km/h, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane speed 80 km/h, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane speed 60 km/h, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane
AB_Baust1 AB_Baust2	motorway, road work, two lanes motorway, road work, one lane
AB_Stop+Go	motorway, stop-and-go
Roads outside built-up areas	
AO_1 AO_2 AO_3	good road quality, straight good road quality, uniformly winding irregularly winding
Roads in built-up areas	
IO_HVS>50_1 IO_HVS>50_2 IO_HVS>50_3	main road, speed limit < 50 km/h, little disturbances main road, speed limit < 50 km/h, medium disturbances main road, speed limit < 50 km/h, strong disturbances
IO_HVS1 IO_HVS2 IO_HVS3 IO_HVS4	cross town link, right-of-way, no disturbances main road, right-of-way, little disturbances main road, right-of-way, medium disturbances main road, right-of-way, strong disturbances
IO_LSA1 IO_LSA2 IO_LSA3	main road with traffic lights, little disturbances main road with traffic lights, medium disturbances main road with traffic lights, strong disturbances
IO_Kern	road in built-up area, centre of town
IO_Nebenstr_dicht IO_Nebenstr_locker	by-street, densely built-up by-street, lightly built-up
IO_Stop+Go	road in built-up area, stop-and-go

2.6.1.3 Fahrmustermix

Der für einen Straßenabschnitt ermittelten Verkehrssituation wird ein Fahrmuster bzw. ein Fahrmustermix, das heißt eine Linearkombination von Fahrmustern, zugeordnet.

So sind auch jeder Verkehrssituation, die in Tabelle 18 aufgeführt ist, pro Fahrzeugkategorie charakteristische Linearkombinationen der Fahrmuster zugeordnet [16]. Die für diese Zuordnungen verwendeten Fahrmuster und Wichtungen sind in den Tabellen J1 bis J3 (Anhang J) zusammengestellt. Die angegebenen Fahrmuster-Nummern entsprechen den in [7] verwendeten Fahrmuster-Nummern.

Die aktuelle Verkehrssituation für eine Emissionsberechnung wird entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 2.6.1.2 bestimmt. Dabei muss es dem Anwender überlassen werden, mit Fachkenntnis in Abhängigkeit der Aufgabenstellung festzulegen, durch welche der Fahrmuster oder Fahrmustermixe der aktuelle Verkehrszustand am besten repräsentiert wird.

Die Schichtemissionsfaktoren pro definierter Verkehrssituation werden als Linearkombinationen von Fahrmustern (Fahrmustermixen) aus den Schichtemissionsfaktoren der Fahrmuster für jede Fahrzeugschicht bzw. Fahrzeugkategorie ermittelt.

In [16] finden sich z.B. neben den Schichtemissionsfaktoren pro Fahrmuster auch für alle in Tabelle 18 aufgeführten Verkehrssituationen entsprechend ermittelte Schichtemissionsfaktoren für jede Fahrzeugschicht.

2.6.2 Flottenzusammensetzung

Da die Emissionen in hohem Maße von der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte abhängen, ist es erforderlich, die Flottenzusammensetzung auf dem betrachteten Straßenabschnitt möglichst genau zu bestimmen. Weil aber die Durchführung einer Kennzeichenerfassung, die die genauesten Ergebnisse hierzu liefert, im Allgemeinen zu aufwändig ist, wird die Flottenzusammensetzung ausgehend von den Daten zur Zusammensetzung des regionalen gemeldeten Bestandes in Verbindung mit einer Fahrleistungsgewichtung (vergleiche Abschnitt 2.2) ermittelt. Typischerweise werden Flottenzusammensetzungen für verschiedene Straßenkategorien bestimmt (z.B. Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen).

Die Flottenzusammensetzung, pro Fahrzeugart ermittelt, liefert somit Informationen zum Anteil der einzelnen Fahrzeugschichten am Verkehrsaufkommen und bildet eine wichtige Grundlage zur Ermittlung der aktuellen Emissionsfaktoren.

2.6.1.3 Driving pattern mix

The traffic situation determined on a road section will be related to a driving pattern or a mix of driving patterns, i.e. a linear combination of driving patterns.

Thus to each traffic situation listed in Table 18 is also assigned a linear combination of driving patterns that is characteristic for each vehicle category. The driving patterns and weights that are used for these assignments are compiled in Tables J1 through J3 in Annex J. The numbering of the driving patterns is the same as the one used in [7].

For the computation of the emissions, the current traffic situation is determined following the explanations given in Section 2.6.1.2. It is left to the investigator and his experience to define the driving patterns or mix of driving patterns that represent the current traffic situation best.

For each vehicle layer, the emission factors in the defined traffic situation are computed as linear combinations of the emission factors of the driving patterns. The weighting factors are those of the driving pattern mix.

In [16] one finds besides the emission factors for each vehicle layer and driving pattern also the class-related emission factors that correspond to the traffic situations listed in Table 18.

2.6.2 Fleet composition

As the emissions depend to a large extent on the composition of the vehicle fleet, it is necessary to determine the fleet composition on the road section studied as accurately as possible. However, because recording the registration numbers which produces the most precise results is very costly in general, the fleet composition is estimated from the composition of the local vehicle inventory weighted by mileage; see Section 2.2. Typically, fleet compositions are determined for different road categories, e.g. roads in built-up areas, roads outside built-up areas, and motorways.

The fleet composition, determined for each vehicle type, provides the information about the contribution of each vehicle layer to the traffic volume. It is an important basis for determining the current emission factors.

2.6.3 Emissionsfaktoren und Startzuschläge

Zur Berechnung der Emissionen pro Fahrzeugart müssen zunächst die charakteristischen Emissionsfaktoren festgelegt werden. Grundlage hierfür bilden die Schichtemissionsfaktoren, die pro Verkehrssituation/Fahrmuster für jede Fahrzeugschicht vorliegen (vergleiche Abschnitt 2.3), und die Angaben zur aktuellen Flottenzusammensetzung.

Hierbei ist auch zu berücksichtigen, welcher Anteil der Fahrzeuge auf dem Streckenabschnitt in der betrachteten Zeiteinheit den betriebswarmen Fahrzustand noch nicht erreicht hat, da für diesen Anteil zusätzlich die Emissionen durch Kaltstart zu berücksichtigen sind (vergleiche Abschnitt 2.4).

2.6.4 Gesamtemission

Die Vorgehensweise zur Berechnung von Abgasemissionen auf der Grundlage von Emissionsfaktoren für einen ausgewählten Straßenabschnitt wird im Folgenden zum besseren Verständnis nochmals zusammengefasst dargestellt. Die Grundlagen zu den verschiedenen Teilschritten der Berechnung finden sich in den entsprechenden Kapiteln (Abschnitt 2.1 bis Abschnitt 2.6.3). Ein konkretes Zahlenbeispiel ist im Anhang aufgeführt.

Charakterisierung des Straßenabschnitts

Zur Aufbereitung der Daten zur Emissionsberechnung für einen ausgewählten Straßenabschnitt muss zunächst eine Charakterisierung des Straßenabschnitts aus verkehrlicher Sicht vorgenommen werden (vergleiche Abschnitt 2.1). Dies ist unter anderem wichtig im Hinblick auf die Verkehrsflussparametrisierung bzw. Bestimmung der aktuellen Verkehrssituation (vergleiche unten).

Ermittlung der aktuellen Verkehrsstärken

Zur Ermittlung der Verkehrsstärke differenziert nach den Fahrzeugarten/-kategorien ist grundsätzlich die Durchführung zeitnaher Verkehrszählungen zu empfehlen, um daraus die benötigten aktuellen Daten abzuleiten. Im anderen Fall wird auf vorhandene Daten aus zurückliegenden Zählungen oder aus Verkehrsmodellen zurückgegriffen.

Nach Aufbereitung der Daten liegen typischerweise pro Fahrzeugart Angaben zum mittleren täglichen Verkehrsaufkommen und zu charakteristischen Wochen- und Tagesganglinien zur Ableitung von stündlichen oder teilweise zeitlich noch feiner aufgelösten Verkehrsstärken vor (vergleiche Abschnitt 2.1.2 und Abschnitt 2.1.3). Auf dieser Grundlage ist es möglich, pro Fahrzeugart/-kategorie Verkehrsstärken für den betrachteten Zeitraum zu berechnen. Dabei wird

2.6.3 Emission factors and start additions

For calculating the emissions of each vehicle type, first the characteristic emission factors must be defined. They are based on class emission factors that exist for each traffic situation or driving pattern and each vehicle layer (see Section 2.3), and the data about the current fleet composition.

Also to be considered is the portion of the vehicles on the road section at the time of investigation that have not yet reached operating temperatures. They contribute their cold start additions to the emissions; see Section 2.4).

2.6.4 Total emissions

The procedure for computing the exhaust gas emissions by using emission factors of a selected road section is presented once more in condensed form. The principles of the various steps of the computation are to be found in Sections 2.1 through 2.6.3. An illustrative numerical example is given in the annex.

Characterising the road section

The first step in preparing the data for computing the emissions on a selected road section is the classification of the road section according to its traffic (see Section 2.1). This is important also for finding the parameters of the traffic flow and for defining the current traffic situation (see further below).

Determining the current traffic volumes

For finding the traffic volume separately for vehicle layers or vehicle categories it is recommended to conduct traffic countings if possible. The required data are then derived from the counts. Alternatively, data available from older surveys or obtained from traffic simulation models are used.

After the data have been processed they convey information about the mean daily traffic volume and about characteristic weekly and diurnal variations of traffic volumes of each vehicle type. The functions traffic volume vs. time are used to derive traffic volumes with a resolution of one hour or even finer (see Section 2.1.2 and Section 2.1.3). These data form the basis for computing traffic volumes for each vehicle type or category for the period of investigation. The

innerhalb dieses Zeitraums von mittleren konstanten Verhältnissen auf dem betrachteten Straßenabschnitt ausgegangen.

Ermittlung der aktuellen Verkehrssituation

Im Hinblick auf die Berechnung der Abgasemissionen mit Hilfe von Emissionsfaktoren, die differenziert nach Fahrmustern bzw. Verkehrssituationen vorliegen, wird im nächsten Schritt die aktuelle Verkehrssituation für den ausgewählten Straßenabschnitt und den betrachteten Zeitraum ermittelt (vergleiche Abschnitt 2.6.1 bis Abschnitt 2.6.3). Hierbei ist zum einen die verkehrsinfrastrukturelle Charakterisierung des Straßenabschnitts und zum anderen die aktuelle Verkehrsstärke zu berücksichtigen.

Ermittlung der aktuellen Flottenzusammensetzung

Da die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte maßgebenden Einfluss auf das Emissionsverhalten an dem ausgewählten Straßenabschnitt hat, wird in diesem Schritt die Fahrzeugflottenzusammensetzung pro Fahrzeugart/-kategorie differenziert ermittelt (vergleiche Abschnitt 2.2). Die Differenzierung der Fahrzeugschichten orientiert sich dabei an den im Rahmen der Emissionsfaktorenermittlung definierten Schichten (vergleiche Abschnitt 2.3).

Pro Fahrzeugart/-kategorie wird die prozentuale Verteilung nach Fahrzeugschichten ermittelt. Soweit möglich sind dabei regionale und straßenklassentypische Charakteristiken der Fahrzeugflottenzusammensetzung zu berücksichtigen.

Da sich die Flottenzusammensetzung infolge der stetigen Bestandsveränderungen (Löschungen, Neuzulassungen) kontinuierlich verändert, müssen die verwendeten Daten möglichst aktuell und zumindest für das betrachtete Bezugsjahr, für das die Emissionsberechnungen durchgeführt werden, gültig sein.

Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren (inklusive Kaltstartzuschlag)

In diesem Berechnungsschritt werden auf der Grundlage der festgestellten aktuellen Fahrzeugflottenzusammensetzung pro Fahrzeugart/-kategorie die charakteristischen spezifischen Emissionsfaktoren für die aktuelle Verkehrssituation ermittelt. Diese Emissionsfaktoren geben das mittlere Emissionsverhalten der Fahrzeugart/-kategorie pro Fahrzeug und gefahrenen Kilometer an dem ausgewählten Straßenabschnitt im betrachteten Zeitraum an. Der Kaltstartzuschlag wird zu den Emissionsfaktoren im warmen Betriebszustand addiert.

conditions on the observed road section during this period are considered to be constant.

Determining the current traffic situation

The next step in the procedure to compute the exhaust gas emissions by means of emission factors that are available for different driving patterns and traffic situations consists in determining the current traffic situation on the observed road section (see Section 2.6.1 through Section 2.6.3). Both the traffic-related infrastructure of the road section and the current traffic volume are to be taken into account.

Determining the current fleet composition

Because the composition of the vehicle fleet has a decisive influence on the emissions on the selected road sections, the composition of the vehicle fleet is determined in this step for each vehicle type or category (see Section 2.2). The vehicle layers are the same as the ones defined for the determination of emission factors (see Section 2.3).

The percentage share is determined of each vehicle layer in the vehicle type or category. As far as possible, regional and road class specific features of the vehicle fleet are to be taken into account.

Because the fleet composition changes constantly due to changes of the inventory (new registrations, cancelled registrations), the data used should be as current as possible, at least be valid for the year for which the emissions are computed.

Determining the current emission factors, including the cold start additions

In this phase of computation the specific emission factors of the current traffic situation are derived from the current fleet composition for each vehicle type or category found in the previous step. These emission factors describe the average emission behaviour of the vehicle type or category per vehicle and travelled kilometre on the selected road section and the period of observation. The emission factors valid for operating temperature are augmented by the cold start addition.

Ermittlung der Gesamtemissionen

Durch multiplikative Verknüpfung der erhaltenen Verkehrsstärken pro Fahrzeugart/-kategorie (in Anzahl Fahrzeuge pro betrachteter Zeiteinheit) und der ermittelten spezifischen Emissionsfaktoren pro Fahrzeugart/-kategorie (in g Schadstoff pro Fahrzeug und Kilometer) werden die aktuellen Abgasemissionen pro gefahrenen Kilometer und Zeiteinheit berechnet. Durch Berücksichtigung der Länge des betrachteten Straßenabschnitts können die gesamten Abgasemissionen in g pro Zeiteinheit kalkuliert werden.

2.7 Eingabedaten für die Ausbreitungsrechnung

Bei der Ausbreitungsrechnung sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Einzelfalluntersuchungen
- Berechnung von Zeitreihen
- statistische Untersuchungen

Eingangsgrößen bezüglich der Emissionen sind die räumliche Struktur und, wenn es sich nicht um Einzelfalluntersuchungen handelt, die zeitliche Veränderung der Stofffreisetzungen.

Für die Ausbreitungsrechnung wird die Emission häufig auf ein Gitternetz abgebildet. Für diese Abbildung werden die Straßen in dem Untersuchungsgebiet in Abschnitte konstanter Emissionen unterteilt. Die Koordinaten des Anfangs- und Endpunktes dieser Abschnitte zusammen mit der Emission sind die Eingangsgrößen der Ausbreitungsmodelle.

Sehr häufig werden Ausbreitungsmodelle eingesetzt, bei denen Wind- und Turbulenzfeld sich nicht mit der Zeit ändern. Die zeitliche Variation wird in diesem Fall durch eine Aneinanderreihung von zeitlichen Abschnitten mit jeweils konstanten meteorologischen Feldern ersetzt. Die Dauer der Abschnitte beträgt im Allgemeinen eine Stunde. Diesen Abschnitten werden für die Ausbreitungsrechnung ebenfalls konstante Felder der Emission zugeordnet.

Die Rechenzeit kann reduziert werden, wenn die Ausbreitung einmal für normierte Konzentrationen durchgeführt wird (Normierung mit der Quellstärke und der Windgeschwindigkeit). Dabei werden die Straßenabschnitte gleicher Emissionen zu einer Quelle zusammengefasst. Zu der gleichen Quelle können auch noch die Straßenabschnitte hinzu genommen werden, bei denen immer ein linearer Zusammenhang zwischen den Emissionen besteht. Die Anzahl der Quellen sollte möglichst klein sein. Für jede Quelle wird ein normiertes Konzentrationsfeld berechnet. Die Gesamtkonzentration für beliebige Emissionen erhält man durch Entnormierung der einzelnen normierten Konzentrationsfelder und Überlagerung dieser Felder zum Gesamtkonzentrations-

Determining the total emissions

The current exhaust gas emissions per travelled kilometre and unit time are found by multiplying the traffic volumes by the specific emission factors (in g pollutant per vehicle and kilometre). Both the traffic volume and the specific emission factors refer to the vehicle type or category (number of vehicles per unit time). By taking into account the length of the road section the total exhaust gas emissions in g per unit time can be calculated.

2.7 Input data for dispersion modelling

With dispersion modelling, three cases are to be distinguished:

- study of an individual case
- computation of time series
- statistical investigations

Input data for the emission calculation are the spatial structure and the temporal variation of the generation of pollutants, unless an individual case is studied.

In dispersion modelling the emissions are frequently mapped on a grid net. For this type of mapping the roads in the investigated region are divided into sections of constant emissions. The co-ordinates of the end points of these sections are input values to the dispersion model.

Very often dispersion models are used in which the wind and turbulence fields do not vary with time. In this case the temporal variations are substituted by a series of joint periods in each of which the meteorological fields are constant. The periods are generally one hour long. The emissions during each period likewise do not vary.

The computation time can be reduced by normalising the concentrations in the dispersion model, i.e. by normalising the source strength and the wind velocity. Road sections with the same emissions are combined to form one source. To the same source road sections can be added on which there always exists a linear relationship between the emissions. The number of sources should be as small as possible. For each source a field of normalised concentrations is computed. The field of the total concentration of arbitrary emissions is obtained by reversing the normalisation of each normalised concentration field and superimposing them. Variations of the emissions, e.g. caused by traffic control measures, can thus be investigated without much computational effort.

feld. Variationen in den Emissionen, z.B. durch verkehrsregelnde Maßnahmen, können so ohne großen Rechenaufwand untersucht werden.

Bei der Einzelfalluntersuchung handelt es sich um eine bestimmte meteorologische Situation. Es wird ein Emissionsfeld als Eingangsgröße benötigt. Werden normierte Konzentrationen verwendet, können die Konzentrationen für andere Emissionsfelder, bei gleichen meteorologischen Bedingungen, durch einfache Umnormierung bestimmt werden.

Eine Zeitreihe ist eine Aneinanderreihung von Einzelfällen. Die einzelnen Glieder der Zeitreihe können sich in den meteorologischen Bedingungen oder in den Emissionen unterscheiden. Wenn in der Zeitreihe mehrmals die gleichen meteorologischen Bedingungen auftreten, können diese über die Berechnung von normierten Konzentrationen zusammengefasst werden, wodurch die Rechenzeit beträchtlich reduziert werden kann.

Sollen statistische Kenngrößen der Konzentration (Mittelwert oder Perzentile) berechnet werden, ist es zweckmäßig, für alle möglichen Kombinationen von meteorologischen Ausbreitungsbedingungen die normierten Konzentrationen zu berechnen. Eingangsgrößen für die Entnormierung können dann folgende Parameter sein:

- Jahresmittelwert
- typischer Tagesgang mit einer ½- oder 1-stündigen Auflösung
- mehrere typische Tagesgänge

Jeder Typ entspricht einer bestimmten Häufigkeit bezogen auf das Jahr. Wird z.B. lediglich ein typischer Tagesgang mit einer 1-stündigen Auflösung verwendet, so entspricht jede Stunde 1/24 des Jahres. Zusammen mit der Häufigkeitsverteilung der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen liefert die Rechnung für jedes Gitterelement die Häufigkeitsverteilung der Konzentrationen, aus der die statistischen Kenngrößen berechnet werden können.

3 Unsicherheiten

Anmerkung: Die in diesem Abschnitt verwendeten Begriffe orientieren sich zum besseren Verständnis an dem in der statistischen Fachliteratur [49; 50] üblichen Sprachgebrauch. Derzeit vorliegende Vornormen zur Ermittlung von Unsicherheiten beim Messen [T5] weichen z.T. von diesem Sprachgebrauch ab. Die darin z.B. enthaltenen Begriffe „Unsicherheiten“ und „kombinierte Standardunsicherheit“ sind Synonyme der üblichen Begriffe „zufällige → Fehler“ (oder „statistische Fehler“) und „→ Gesamtfehler aus Fehlerfortpflanzung“.

Zur Einschätzung der Qualität der Rechenwerte aus der Emissionsbestimmung ist die Durchführung einer umfassenden, möglichst vollständigen Fehleranalyse

Studies of individual cases deal with a certain meteorological condition. An emission field is needed as input. If normalised concentrations are used they yield the concentrations of other emission fields by simply normalising them differently, provided the meteorological conditions are the same.

A time series is a concatenation of individual events. The individual terms of the time series may mutually differ by the meteorological conditions or by the emissions. If a time series contains several times the same meteorological conditions the terms may be combined for computing the normalised concentration. This step reduces the computation time considerably.

If statistical parameters (mean values and percentiles) of the concentration are computed, it is expedient to calculate the normalised concentrations for all meteorological dispersion conditions. The input data for the de-normalising procedure could be:

- annual mean value
- typical diurnal variation with a resolution of ½ or 1 hour
- several typical diurnal variations

Each type corresponds to a certain frequency in the year. If for instance only one typical diurnal variation is used with a resolution of one hour, then each hour represents 1/24 of the year. Using the frequency of the meteorological dispersion conditions, the computation produces the frequency distribution of the concentrations on every raster field from which the statistical parameters can be calculated.

3 Uncertainties

Note: For a better understanding, the technical terms used in this section follow the usage of the statistical literature [49; 50]. The preliminary standards that exist at the present time for determining measurement errors [T5] deviate in parts from this usage. For example, the terms "uncertainty" and "combined standard uncertainty" defined in the preliminary standard are synonymous with the usual term "random → error" or "statistical error" and "→ total error based on error propagation".

For estimating the quality of the results of the computation of the emissions, a comprehensive and complete error analysis is required. The uncertainties of

notwendig. Mit der Ermittlung von Vertrauensbereichen werden die Unsicherheiten der Emissionsdaten quantifiziert [51].

Eine vollständig Fehleranalyse führt zur Aufdeckung besonders fehlersensitiver Bereiche der Emissionsbestimmung und kann somit auch zu einer effizienten Verbesserung der Emissionsbestimmung bzw. zu einer Erhöhung der Genauigkeit der Emissionsdaten führen.

Jedes Emissionsmodell basiert auf einer Gleichung in der Form von Gleichung (9), mit der sich die Emission E einer luftverunreinigenden Substanz als Funktion f eines Satzes von Einflussgrößen $x_1, x_2, \dots, x_n$ darstellen lässt. Ein Element x_i dieses Satzes kann z.B. einen Emissionsfaktor oder einen verkehrsbezogenen Parameter repräsentieren.

$$E = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (9)$$

Unter der Voraussetzung eines fehlerfreien Rechenmodells ist die Genauigkeit der berechneten Emissionsdaten unmittelbar abhängig von den Fehlerbandbreiten der Eingangsdaten x_i . Die Auswirkungen dieser Fehler auf den Emissionswert können mit Methoden der Fehleranalyse quantifiziert werden.

Die folgenden Ausführungen orientieren sich an der Emissionsbestimmung mittels Verknüpfung von Verkehrsflussparametrisierungen mit Emissionsfaktoren.

3.1 Einflussgrößen und Fehlerquellen bei der Emissionsbestimmung

3.1.1 Warmemissionen

Die Emissionen aus Kfz mit betriebswarmem Motor hängen von einer Reihe von Einflussgrößen ab. Mögliche Datenquellen und deren Fehlerursachen sind in Tabelle 19 dargestellt. Einige Einflussgrößen, die bisher auf Grund fehlender Kenntnisse noch nicht bei der Emissionsbestimmung berücksichtigt werden können, sind in der Tabelle nicht enthalten.

3.1.2 Kalt-/Kühlstartemissionen

Die zusätzlich zu den in Tabelle 19 enthaltenen für die Bestimmung der Kalt-/Kühlstartemissionen notwendigen Einflussgrößen sind zusammen mit den in Frage kommenden Datenquellen und Fehlerursachen in Tabelle 20 dargestellt. Auch hier muss berücksichtigt werden, dass die Bestimmung der Kalt-/Kühlstartemissionen auf Grund fehlender Kenntnisse (z.B. Kaltstartfaktoren für Schwerverkehr) noch nicht vollständig durchgeführt werden kann. Eine umfassende Fehleranalyse ist deshalb derzeit nicht möglich.

the emission data are quantified by their confidence ranges [51].

A complete error analysis especially uncovers error sensitive areas of the determination of the emission. It will lead to improvements of the determination of emissions and will increase the precision of the emission data.

Every emission model is based on an equation of the form of Equation (9) that describes the concentration E of an air pollutant as a function f of a set of arguments $x_1, x_2, \dots, x_n$. An argument in this set may be e.g. an emission factor or a traffic-related parameter.

$$E = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (9)$$

Provided the computational model is free of errors, the precision of the resulting emission data depend directly on the error bands of the input data x_i . The effects of these errors on the emission value can be quantified by means of an error analysis.

The following explanations address the determination of emissions by connecting parameters of the traffic flow with emission factors.

3.1 Input data and sources of errors of the determination of emissions

3.1.1 Warm emissions

The emissions from motor vehicles with the engine at operating temperature depend on a number of input parameters. Various sources of data and their errors are listed in Table 19. Some input data that cannot yet be utilised for the determination of emissions for lack of information are not contained in this table.

3.1.2 Cold and cool start emissions

The additional input data that are needed for determining cold and cool start emissions but not contained in Table 19 are listed in Table 20 together with their sources and causes for errors. It should be kept in mind that because of insufficient knowledge (e.g. cold start factors of heavy commercial vehicles) the cold and cool start emissions cannot yet be fully determined. Therefore a comprehensive error analysis is not possible at the present time.

Tabelle 19. Warmemissionen – Einflussgrößen, mögliche Datenquellen und Fehlerursachen bei der Emissionsbestimmung

Einflussgröße	mögliche Datenquellen	Fehlerursachen
Verkehrsstärke	automatische Zählungen	• Gerätefehler
	SVZ (z. B. Straßenverkehrszählung)	• Zählfehler • Hochrechnungsfehler • Fehler bei Übertragung von Zählwerten auf ungezählte benachbarte Abschnitte
	manuelle Ergänzungszählungen	• Zählfehler • Hochrechnungsfehler
	mittlere Verkehrsstärken vergleichbarer Straßenabschnitte	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
	Bevölkerungs- und Infrastrukturdaten	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
	Halterbefragungen	• nur Stichproben • Falschantworten
	Kraftstoffbilanzen	• Fehler in der Datengrundlage (Kraftstoffverbrauch) • nur grobe Mittelwerte ableitbar
	Verkehrsmodellierung	• Modellunsicherheiten
Hochrechnungsfaktoren (zeitlich)	Zählwerte von einzelnen Straßenabschnitten	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
Flottenzusammensetzung	Bestandsstatistiken	• Abweichungen zwischen statischem Bestand und dynamischer Flottenzusammensetzung • Fehler bei der Übertragung von gemittelten Bestandsdaten
	Kennzeichenauswertungen	• nicht auswertbare Kennzeichen • Fahrzeugdaten nicht differenziert genug
Fahrmuster	mittlere Fahrmuster differenziert nach Straßentyp	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
	Daten von Messfahrzeugen	• nur Stichproben • Messfehler
	Geschwindigkeitsmessungen	• nur Querschnittserfassung • Messfehler
	Verkehrsmodellierung	• Modellunsicherheiten
Abschnittslängen	Straßendatenbanken	• Ungenauigkeiten der Daten
	Vermessung	• Messfehler
Längsneigungen	Straßendatenbanken	• Ungenauigkeiten der Daten
	Vermessung	• Messfehler
Geografische Lage	Koordinaten aus Straßendatenbanken	• unbekannter Straßenverlauf zwischen Netzknoten • Ungenauigkeiten der Daten
Emissionsfaktoren	Daten aus Prüfstandsmessungen	• nur Stichproben • Mittelungsfehler • Mess- und Auswertungsfehler • Übertragungs- und Hochrechnungsfehler • Verwendung unterschiedlicher Messgeräte (FID, GC, ...)

Table 19. Warm emissions – input parameters, possible data sources and causes of errors of the determination of emissions

Input parameter	Possible data source	Causes of errors
Traffic volume	automated counting	faulty equipment
	SVZ, e.g. vehicle counting	- counting error - extrapolation error - errors when transferring counting data to uncounted neighbouring sections
	supplementary manual counting	- counting error - extrapolation error
	average traffic volumes on comparable road sections	averaging and transfer errors
	demographic and infrastructure data	averaging and transfer errors
	interviewing vehicle owners	- only samples - false answers
	fuel consumption	- errors in the data - only coarse mean values available
	traffic modelling	uncertainties of the model
Temporal extrapolation factors	counting data from individual road sections	averaging and transfer errors
Fleet composition	inventory statistics	- deviations of the dynamic fleet composition from the static inventory - errors of transferring averaged inventory data
	recording registration numbers	- illegible registration numbers - insufficient details of vehicle data
Driving pattern	average driving pattern for each type of road	averaging and transfer errors
	data from measurement vehicles	- only samples - measurement errors
	speed measurements	- only at a road cross section - measurement errors
	traffic modelling	uncertainties of the model
Lengths of road sections	data banks on roads	imprecise data
	surveying	measurement errors
Gradient	data banks on roads	imprecise data
	surveying	measurement errors
Geographic location	co-ordinates from data banks on roads	- unknown location of road between grid nodes - imprecise data
Emission factors	data from measurements on test rigs	- only samples - averaging errors - measurement and data processing errors - transfer and extrapolation errors - use of different measurement equipment (FID, GC, ...)

Tabelle 20. Kaltstartemissionen – Zusätzliche Einflussgrößen, mögliche Datenquellen und Fehlerursachen bei der Emissionsbestimmung

Einflussgröße	mögliche Datenquellen	Fehlerursachen
Fahrtlängen	zeitlich aufgelöste Verteilungen aus Halterbefragungen	• nur Stichproben • Falschantworten
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten
Abstelldauer	zeitlich aufgelöste Verteilungen aus Halterbefragungen	• nur Stichproben • Falschantworten
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten
Außenlufttemperaturen	meteorologische Daten	• nur Mittelwerte für Regionen bzw. Klimazonen • Wärmeinseleffekte innerorts
Kalt-/Kühlstart-Emissionsfaktoren	Daten aus Prüfstandsmessungen	• nur Stichproben • Mittelungsfehler • Mess- und Auswertungsfehler • Übertragungs- und Hochrechnungsfehler
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten

Table 20. Cold start emissions – additional input parameters, possible data sources and causes of errors of the determination of emissions

Input parameter	Possible data source	Causes of errors
Travelled distances	temporally resolved distributions from interviewing vehicle owners	• only samples • false answers
	traffic models	• uncertainties of the model
Parking time	temporally resolved distributions from interviewing vehicle owners	• only samples • false answers
	traffic models	• uncertainties of the model
Ambient air temperature	meteorological data	• only average values for regions and climatic zones • heat islands in built-up areas
Cold start and cool start emission factors	data from measurements on test rigs	• only samples • averaging errors • measurement and data processing errors • transfer and extrapolation errors
	traffic models	• uncertainties of the model

3.1.3 Verdampfungsemissionen

In Tabelle 21 sind die Einflussgrößen, Datenquellen und Fehlerursachen bei der Bestimmung von Verdampfungsemissionen zusammengefasst.

3.2 Fehlerarten

Bei der Betrachtung der Fehlerbandbreiten der Eingangsdaten sind die beiden grundsätzlichen Fehlerarten, zufällige und systematische Fehler, zu unterscheiden.

Zufällige Fehler werden durch die statistische Streuung von Einzelwerten um den arithmetischen Mittelwert beschrieben und stehen somit für die Präzision des Modells oder Messsystems. Unter der Voraussetzung, dass die Einzelwerte einer Messserie bekannt sind, können die zufälligen Fehler durch statistische Vergleiche der das gleiche Objekt beschreibenden Daten, z.B. in Form einer Standardabweichung, er-

3.1.3 Emissions by evaporation

The influencing factors, the data sources and the causes for errors in the determination of the evaporation emissions are collected in Table 21.

3.2 Kinds of errors

When considering the error ranges of the input data two principal kinds of errors, i.e. random and systematic errors, are to be distinguished.

Random errors are described by the statistical deviation of the data points from their arithmetic mean and thus represent the precision of the model or the measurement system. With the known values of a measurement series average values can be computed that describe the object. The standard deviation of the data points represent the uncertainty of these descriptive values. Not all input parameters for the computation

Tabelle 21. Verdampfungsemissionen – Zusätzliche Einflussgrößen, mögliche Datenquellen und Fehlerursachen bei der Emissionsbestimmung

Einflussgröße	mögliche Datenquellen	Fehlerursachen
Außenlufttemperatur/ -schwankungen	meteorologische Daten	• nur Mittelwerte für Regionen bzw. Klimazonen • Wärmeinseleffekte innerorts
Kraftstoffqualität	Angaben der Mineralölindustrie	• unvollständig
	jahreszeitlich variierende Kraftstoffzusammensetzung	• nur grobe Differenzierung Sommer/Winter möglich
Anzahl der fahrenden bzw. abgestellten Kfz	Bestandsdaten	• Abweichungen zwischen statischem Bestand und dynamischer Flottenzusammensetzung • Fehler bei der Übertragung von gemittelten Bestandsdaten
	Bevölkerungs- und Infrastrukturdaten	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
	manuelle Zählungen	• Zählfehler
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten
Flottenzusammensetzung	Bestandsdaten	• Mittelungs- und Übertragungsfehler
	Kennzeichenauswertungen	• nicht auswertbare Kennzeichen
Fahrtlängen	Verteilungen aus Halterbefragungen	• nur Stichproben • Falschantworten
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten
Abstelldauer	Verteilungen aus Halterbefragungen	• nur Stichproben • Falschantworten
	Verkehrsmodelle	• Modellunsicherheiten
Verdampfungs-Emissionsfaktoren: • Tankatmung • Heiß-/Warmabstellen • running losses	Messdaten (Fahrzeugprüfstand)	• nur Stichproben • Mittelungsfehler • Mess- und Auswertungsfehler • Übertragungs- und Hochrechnungsfehler

Table 21. Evaporation emissions – additional input parameters, possible data sources and causes of errors of the determination of emissions

Input parameter	Possible data source	Causes of errors
Ambient air temperature and its variation	meteorological data	• only average values for regions and climatic zones • heat islands in built-up areas
Fuel quality	data supplied by the mineral oil industry	• incomplete
	seasonally varying fuel composition	• only coarse distinction between summer and winter possible
Number of moving and parking motor vehicles	inventory	• deviations of the dynamic fleet composition from the static inventory • errors of transferring averaged inventory data
	demographic and infrastructure data	• averaging and transfer errors
	manual counting	• counting errors
	traffic models	• uncertainties of the model
Fleet composition	inventory data	• averaging and transfer errors
	recording registration numbers	• illegible registration numbers
Travelled distances	distributions from interviewing vehicle owners	• only samples • false answers
	traffic models	• uncertainties of the model
Parking time	distributions from interviewing vehicle owners	• only samples • false answers
	traffic models	• uncertainties of the model
Emission factor for evaporation emissions: • tank respiration • hot and warm parking • running losses	measurement data (vehicle test rig)	• only samples • averaging errors • measurement and data processing errors • transfer and extrapolation errors

mittelt werden. Bei der Kfz-Emissionsbestimmung stehen nicht bei allen Eingangsgrößen die zu Grunde liegenden Datensätze in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung, so dass eine eindeutige statistische Beschreibung der Streuungsmaße nicht in allen Fällen möglich ist. In solchen Fällen und in den Fällen, bei denen auf Grund der Komplexität der Eingangsgröße (z.B. Flottenzusammensetzung) die Bandbreite der zufälligen Fehler nicht durch einfache statistische Methoden quantifiziert werden kann, ist man häufig auf plausible Schätzungen angewiesen.

Systematische Fehler sind innerhalb des vorgegebenen Systems konstant bzw. verändern sich nach bestimmtem Gesetzmäßigkeiten und stehen für die Genauigkeit des Modells oder Messsystems. Sie können innerhalb des Systems nicht mit Hilfe statistischer Methoden quantifiziert werden. Vielmehr müssen zur Quantifizierung systematischer Fehler grundsätzlich die das gleiche Messobjekt beschreibenden Ergebnisse mehrerer voneinander unabhängiger Systeme miteinander verglichen werden. Liegen zusätzliche voneinander unabhängige Messreihen vor, so können die Streuungen der unabhängigen arithmetischen Mittelwerte als Maß für systematische Abweichungen der einzelnen Messreihen mit statistischen Methoden beschrieben werden. Der systematische Fehler eines Systems wird damit auf höherer Ebene zu einem zufälligen Fehler. Im Idealfall steht ein objektives (fehlerfreies oder mit bekanntem systematischem Fehler), unabhängiges (Mess-)System zur Verfügung, das durch Vergleich mit dem ursprünglichen System unmittelbar die Quantifizierung des systematischen Fehlers erlaubt. Solche Vergleiche erfordern in jedem Fall die Auswertung umfangreichen, zusätzlichen Datenmaterials [49; 52]. Ist dieses Datenmaterial nicht vorhanden, so können systematische Fehler nicht erkannt und quantifiziert werden.

Der reale Gesamtfehler, der sich im konkreten Anwendungsfall aus der Differenz zwischen dem modellierten und dem tatsächlichen Emissionswert ergibt, kann als Kombination sämtlicher zufälligen und systematischen Fehler angesehen werden. Eine statistische Fehleranalyse führt jedoch nicht unmittelbar zu Aussagen über den realen Gesamtfehler, da als Ergebnis einer solchen Untersuchung lediglich Vertrauensbereiche abgeleitet werden, in denen der tatsächliche Emissionswert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt. Erkenntnisse über den realen Gesamtfehler können dagegen experimentelle Vergleiche von modellierten und gemessenen Emissionen liefern (z.B. Tunnelmessungen, Messungen an freien Straßenabschnitten, „On-Board“-Messungen).

of the motor vehicle emissions are based on data sets of sufficient quantity and quality so that the statistical measures of deviations will not be satisfactory. In these cases and in the cases of complex input parameters (e.g. fleet compositions) in which the range of random errors cannot be quantified by simple statistical methods one often has to resort to plausible estimates.

Systematic errors of a given system are either constant or vary according to defined laws. They represent the accuracy of the model or measurement system. The systematic errors of one system cannot be quantified by statistical means. Rather, the measurement data pertaining to the same property of several systems that are mutually independent are to be compared. If there are measurement series available, the variances of their arithmetic means describe the statistical differences between them. Thus the systematic error becomes on a higher level a random error. In an ideal situation there exists a (measurement) system without errors or with known systematic errors with which the original system can be compared. The systematic error of the original system is thus directly quantified. Such comparisons require in any case the evaluation of additional large data sets [49; 52]. If these data sets do not exist, systematic errors cannot be detected and quantified.

The actual total error that appears in a concrete application as the difference between the modelled and the real emission value may be considered to be the combination of all random and systematic errors. A statistical error analysis does not, however, yield directly the total error because the results of such an analysis provide only confidence ranges that cover the actual emission value with a certain probability. Information about the total error can be obtained by comparing modelled and measured emissions, for instance measurements in tunnels, on open road sections and on board of motor vehicles.

3.3 Fehler der Eingangsgrößen

Die Bandbreiten von zufälligen Fehlern Δx_i bei der Ermittlung einfacher physikalischer Größen x_i durch Stichprobenuntersuchungen können bei Kenntnis der Gesamtheit n_i der einzelnen Werte x_{ij} nach den elementaren statistischen Methoden als Standardabweichung nach Gleichung (10) (mittlerer Fehler der Einzelwerte) berechnet und angegeben werden.

$$\Delta x_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1}} \quad (10)$$

Bei Größen, bei denen lediglich das arithmetische Mittel $\bar{x}_i$ in das Berechnungsverfahren eingeht und die Verteilung der Einzelwerte nicht von Bedeutung ist, ist als Fehlermaß die Standardabweichung des Mittelwerts $\Delta \bar{x}_i$ nach Gleichung (11) heranzuziehen.

$$\Delta \bar{x}_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}} \quad (11)$$

In der Praxis der Emissionsbestimmung ist eine Berechnung der Fehlerbandbreiten der Eingangsgrößen in Form von Standardabweichungen nicht in allen Fällen möglich. Die wesentlichen Gründe dafür sind, dass

- die Fehler der Eingangsgröße (und zum Teil die Eingangsgröße selbst) auf Grund ihrer komplexen physikalischen Struktur nicht durch einfache Ausdrücke quantifizierbar sind (z.B. Flottenzusammensetzung),
- für Teile der Datenbasis weder die Einzelmesswerte zugänglich noch Standardabweichungen bekannt sind und
- zusätzliche, vollständige Beschreibungen des Messobjekts fehlen.

In diesen Fällen sind plausible Annahmen über die Schwankungsbreiten der Eingangsgrößen zu treffen. Die zur Schätzung anhand eines Beispiels verwendeten Ansätze sind in Anhang G dieser Richtlinie dargestellt und beschrieben.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Auswirkungen einiger Einflussgrößen auf die Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen noch nicht näher untersucht worden sind und in den gängigen Berechnungsmodellen derzeit lediglich als einheitliche Mittelwerte berücksichtigt werden (z.B. Fahrbahnbelag, Meteorologie, Höhenlage, Kraftstoffzusammensetzung). Somit können die durch diese Größen verursachten Fehlerbreiten zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ermittelt werden.

3.3 Errors of the input data

The range of random errors Δx_i of a simple physical quantity x_i is computed from the measured values x_{ij} of a sample of size n_i by elementary statistical methods. The standard deviation which is the mean error of the individual data points is defined by Equation (10).

$$\Delta x_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1}} \quad (10)$$

A measure of the error of quantities that enter the computation only as mean values and whose distribution of measurements are not needed is the standard deviation of the mean value $\Delta \bar{x}_i$:

$$\Delta \bar{x}_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}} \quad (11)$$

In practice the error ranges of the input arguments cannot be expressed as standard deviations in all cases. The most important causes are:

- The errors of the input arguments and sometimes the arguments themselves cannot be quantified by simple expressions because of their complex physical structure. An example is the fleet composition.
- For some parts of the data base neither individual measurement values nor standard deviations are known.
- An additional complete description of the measurement object is lacking.

In these cases plausible assumptions concerning the variation of the input data are to be made. The estimation procedure is described and illustrated by an example in Annex G of this guideline.

Furthermore, the fact is to be considered that the effects of some parameters on the emission of pollutants by motor vehicles have not yet been sufficiently investigated. They are introduced in currently used computer models as constant mean values, e.g. the pavement, meteorology, altitude, fuel composition. Therefore the error ranges caused by these parameters cannot be determined at the present time.

3.4 Ermittlung des Gesamtfehlers

Unter der Annahme eines vollständigen und fehlerfreien Rechenmodells zur Ermittlung einer Gesamtemission E ergibt sich der Gesamtfehler des Emissionswertes aus der Verknüpfung der Fehler der in das Rechenmodell einfließenden Eingangsgrößen.

Mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes lässt sich unter den Voraussetzungen, dass

- die Fehlerabschätzungen der Eingangsgrößen richtig sind,
- die Eingangsgrößen statistisch voneinander unabhängig sind und deren Fehler sich somit gegenseitig kompensieren können und
- die Fehler der Eingangsgrößen (Δx_i) klein gegenüber den Eingangsgrößen selbst (x_i) sind,

aus den Einzelfehlern ΔE_i der mittlere Gesamtfehler $\overline{\Delta E}$ für die Emission E errechnen [49; 53; 54].

Durch Variation einer einzelnen Eingangsgröße im Berechnungsmodell lässt sich anhand der partiellen Ableitung der Emission nach der jeweiligen Eingangsgröße x_i zunächst die Sensitivität $\partial E / \partial x_i$ ermitteln. Durch Multiplikation mit dem errechneten bzw. abgeschätzten absoluten Fehler Δx_i ergibt sich der absolute Fehler der Emission bezogen auf den Fehler der einzelnen Eingangsgröße x_i (ΔE_i).

Bei denjenigen Eingangsgrößen, die sich auf Grund ihrer physikalischen Komplexität nicht mit einem einzelnen Wert (und somit auch nicht deren Fehler) beschreiben lassen, erhält man den Einzelfehler ΔE_i durch Variation der Eingangsgröße x_i im Berechnungsmodell mit abgeschätzten oberen bzw. unteren Vertrauensbereich-Grenzen. ΔE_i ergibt sich dann aus der Differenz der sich mit den Vertrauensbereich-Grenzen berechneten Emissionswerte und der berechneten Gesamtemission E mit x_i als Eingangsgröße im Berechnungsmodell.

Der mittlere Gesamtfehler $\overline{\Delta E}$ folgt aus Gleichung (12):

$$\overline{\Delta E} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial E}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i)^2} \quad (12)$$

Bezogen auf die errechnete Emission E folgt für den relativen Gesamtfehler $\overline{\Delta E}_{\text{rel}}$ nach Gleichung (13):

$$\overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \frac{\overline{\Delta E}}{E} \quad (13)$$

Aus den allgemeinen Berechnungsformeln nach Gleichung (12) und Gleichung (13) lassen sich für einfache bekannte funktionale Zusammenhänge zwi-

3.4 Calculating the total error

With the assumption that the computer model for calculating the total emission E is complete and free of errors the total error of the emission value results from combining the errors of the input parameters of the model.

By means of the error propagation law the mean total error $\overline{\Delta E}$ of the emission E can be computed from the individual errors ΔE_i [49; 53; 54] provided that

- the errors of the input parameters were estimated correctly,
- the input parameters are mutually statistically independent and that therefore their errors may cancel each other, and that
- the errors of the input parameters (Δx_i) are small compared with the input parameters (x_i) themselves.

The sensitivity $\partial E / \partial x_i$ of the model against variations of an individual input parameter x_i can be found by computing the partial derivative with respect to x_i . By multiplying the sensitivity with the computed or estimated standard deviation Δx_i the absolute error ΔE_i caused by the error of x_i is obtained.

For those input parameters that neither themselves nor their errors can be described by a single number because of their physical complexity, the error ΔE_i is obtained by varying the input variable x_i between estimated upper and lower limits of their confidence range. ΔE_i is then given by the differences between the emission values computed at the confidence limits and the computed total emission E .

The mean total error $\overline{\Delta E}$ follows from Equation (12):

$$\overline{\Delta E} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial E}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i)^2} \quad (12)$$

The relative total error $\overline{\Delta E}_{\text{rel}}$ is normalised with respect to the computed emission E as shown in Equation (13):

$$\overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \frac{\overline{\Delta E}}{E} \quad (13)$$

The formulas given in Equations (12) and (13) can be transformed so that they produce from the errors Δx_i of the input variables the total error of simple known

schen den Eingangsvariablen (x_i), die mit beliebigen Konstanten (c_i) verknüpft sein können, die jeweiligen Gesamtfehler aus den Fehlern der Eingangsvariablen (Δx_i) direkt ermitteln:

a) *Linearkombinationen (z.B. Addition von Warm- und Kaltstartemissionen)*

$$E = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \quad (14)$$

$$\Rightarrow \overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot \Delta x_i)^2}{E} \quad (15)$$

b) *(Potenz-)Produkte (z.B. Multiplikation von Fahrleistung mit Emissionsfaktor)*

$$E = \prod_{i=1}^n x_i^{c_i} \quad (16)$$

$$\Rightarrow \overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(c_i \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)^2} \quad (17)$$

Häufig kann nicht von statistischer Unabhängigkeit der Eingangsgrößen ausgegangen werden (z.B. bei der Addition von Innerorts-Warm-Emissionen und Kaltstartzuschlägen). Zur exakten Fehlerbestimmung müssen die Korrelationen der Eingangsgrößen in Form von Kovarianzen bestimmt und in die Berechnung des Gesamtfehlers mit einbezogen werden [49; 50]. Ist die Berechnung der Kovarianzen auf Grund fehlender Daten oder der zu großen Komplexität der Eingangsgrößen nicht möglich, so kann der Gesamtfehler nicht exakt berechnet werden. In diesem Fall kann für den Gesamtfehler ein Intervall angegeben werden, das nach unten durch den mittleren Gesamtfehler nach Gleichung (12) und nach oben durch den maximalen Gesamtfehler ΔE (Größtfehler) nach Gleichung (18) begrenzt wird.

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial E}{\partial x_i} \Delta x_i \right| = \sum_{i=1}^n |\Delta E_i| \quad (18)$$

3.5 Bewertung des mittleren Gesamtfehlers

Die Aussagen, die aus dem ermittelten Gesamtfehler gezogen werden können, sind abhängig von der Art der Fehler der Eingangsgrößen. Fließen beispielsweise für alle Eingangsgrößen die einfachen Standardabweichungen in den Algorithmus der Fehlerfortpflanzung ein, so bezieht sich auch der berechnete Gesamtfehler auf die einfache Standardabweichung.

Bei der Anwendung der beschriebenen Methode ist zu beachten, dass die Fehler aller Eingangsgrößen der

functional relationships between the input variables x_i that may be connected with arbitrary constants c_i .

a) *Linear combinations; e.g. addition of cold start emissions to warm start emissions*

$$E = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \quad (14)$$

$$\Rightarrow \overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot \Delta x_i)^2}{E} \quad (15)$$

b) *Products and products of powers; e.g. multiplication of mileage with emission factor*

$$E = \prod_{i=1}^n x_i^{c_i} \quad (16)$$

$$\Rightarrow \overline{\Delta E}_{\text{rel}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(c_i \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)^2} \quad (17)$$

Often statistical independence cannot be assumed, for instance for the sum of warm emissions in built-up areas and cold start additions. For the exact determination of the errors the correlations of the input parameters are accounted for by computing the covariances and entering them into the error analysis [49; 50]. If the covariances cannot be computed because of lack of data or great complexity of the input variables, the total error cannot be computed exactly. In this case an interval can be defined whose lower limit is given by the mean total error following Equation (12) and whose upper limit is the maximum total error ΔE given by Equation (18).

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial E}{\partial x_i} \Delta x_i \right| = \sum_{i=1}^n |\Delta E_i| \quad (18)$$

3.5 Evaluating the mean total error

The conclusions to be drawn from the total error depend on the type of errors of the input parameters. If for instance for all input variables the simple standard deviations are put into the algorithm of error propagation, then the computed total error is also expressed as a simple standard deviation.

In any application of the described procedure one has to make sure that the errors of all input data are of the

gleichen Art entsprechen und nicht verschiedene Fehlerarten unterschiedlicher Eingangsgrößen (z.B. einfache Standardabweichungen und Maximalfehler) durch die Fehlerfortpflanzung miteinander kombiniert werden, da sonst der ermittelte Gesamtfehler nicht mehr zu interpretieren ist.

Entsprechen die Fehler der Eingangsgrößen der Standardabweichung und können die Einzelwerte aller Eingangsgrößen als normalverteilt angesehen werden, so lässt sich um den Ergebniswert E mit Hilfe des berechneten mittleren Gesamtfehlers ein Vertrauensbereich (VB) definieren, innerhalb dessen der tatsächliche Emissionswert mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt.

$$VB = E \pm t_{\text{Student}} \cdot \overline{\Delta E} \quad (19)$$

Mit zunehmender Breite des Vertrauensbereiches nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass der tatsächliche Emissionswert innerhalb des Vertrauensbereiches liegt, zu. Der Student-Faktor t_{Student} bestimmt somit den Sicherheitsgrad der Aussage.

Tabelle 22 gibt einen Überblick über den Zusammenhang zwischen dem Sicherheitsgrad (Student-Faktor t_{Student}) und der Lagewahrscheinlichkeit für Stichproben mit großem Umfang.

Tabelle 22. Zusammenhang zwischen Student-Faktor t_{Student} und Lagewahrscheinlichkeit für große Stichprobenumfänge

Faktor t_{Student}	Wahrscheinlichkeit, dass Ergebniswert innerhalb VB liegt
1,00	68,3 %
1,96	95,0 %
2,00	95,5 %
2,58	99,0 %
3,00	99,7 %
3,29	99,9 %

same kind. If different kinds of errors, e.g. simple standard deviation and maximum error, of the different input variables are combined in the error propagation algorithm, the resulting total error cannot be interpreted.

If the errors of the input variables are of the type standard deviation and if the individual input data values are normally distributed, a confidence interval VB centred on the result E can be defined that covers the true emission value with a certain probability.

$$VB = E \pm t_{\text{Student}} \cdot \overline{\Delta E} \quad (19)$$

With increasing width of the confidence interval the probability grows that the true emission value lies inside this interval. The Student's t -factor t_{Student} defines the degree of certainty of the result.

Table 22 gives an overview over the relationship between Student's t -factor and the probability of coverage for large samples.

Table 22. Relationship between Student's t -factor and the probability of coverage for large samples

Faktor t_{Student}	Probability that the result lies inside the interval VB
1.00	68.3 %
1.96	95.0 %
2.00	95.5 %
2.58	99.0 %
3.00	99.7 %
3.29	99.9 %

Anhang A

Beispiel Ermittlung eines auf regionalen Fahrleistungsverteilungen beruhenden Pkw-Emissionsfaktors mit Hilfe des „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2 von 1999“

Aus [16] können die Ergebnisse im folgenden Detaillierungsgrad abgefragt werden:

- **je Fahrzeugschicht**, wobei die schichtspezifischen Emissionsfaktoren der verschiedenen Fahrzeugschichten und deren Anteil am „gewichteten Emissionsfaktor“ ausgewiesen werden
- **je Emissionskonzept**, wobei die Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugkonzepte entsprechend der Abgasgesetzgebung angegeben sind
- **je Kraftstoff-Konzept**, das heißt Emissionsfaktoren getrennt für Otto- bzw. Diesel-Fahrzeuge je Fahrzeugkategorie
- als **gewichtete Emissionsfaktoren je Fahrzeugart/Fahrzeugkategorie**, wobei die verschiedenen Fahrzeugschichten entsprechend ihren Fahrleistungsanteilen gewichtet sind

Um regionale Besonderheiten besser abbilden zu können, hat es sich in der Praxis als sinnvoll erwiesen, nicht die schichtspezifischen Emissionsfaktoren zur Emissionsbestimmung heranzuziehen, sondern die nach Fahrzeugkonzepten (FK) getrennten Emissionsfaktoren („je Emissionskonzept“), zumal die zur Aggregation notwendigen Gewichtungsfaktoren je Fahrzeugkonzept regional besser zu ermitteln sind als die schichtspezifische Fahrleistungsverteilung (detaillierte Vorgehensweise siehe „Handbuch Emissionsfaktoren“).

Bei den Rechnungen in den nachfolgenden Beispielen handelt es sich – zwecks Nachvollziehbarkeit – um eine rein formale Berechnung ohne Fehlerbetrachtung.

Im nachfolgenden Beispiel sollen auszugsweise für die Komponente Kohlenmonoxid (CO) die regionalen Emissionsfaktoren des Bezugsjahrs 2000 (ohne Kaltstarteinfluss) bei Fahrt in der Ebene für die Verkehrssituationen gemäß der Tabelle A1 ermittelt werden.

Tabelle A1. Betrachtete Verkehrssituationen

Verkehrssituation nach [16]	Fahrmuster
IO_HVS2	D5
X:BAB_v105	Sondersituation: Autobahn Teilschicht-emissionsfaktor mit $v_{\text{PKW}} = 105 \text{ km/h}$
X:BAB_v115	Sondersituation: Autobahn Teilschicht-emissionsfaktor mit $v_{\text{PKW}} = 115 \text{ km/h}$

Annex A

Example for the determination of the emission factor of passenger cars by means of data on the regional distribution of mileages and the "Handbook of Emission Factors in Road Traffic Version 1.2 of 1999"

From [16] results specified according to the following features may be gathered:

- by **vehicle layer**; the class specific emission factors of the various vehicle layers and their contribution to the weighted emission factor are listed
- by **emission concept**; the emission factors of each vehicle concept are listed according to the air pollution legislation
- by **fuel concept**; the emission factors are listed separately for Otto-cycle and Diesel engines for each vehicle category
- as **weighted emission factors for each vehicle type or category**; the various vehicle layers are weighted according to their contributions to mileage

In practice it proved to be advantageous not to use class specific emission factors for computing the emissions but the emission factors (emission concept) of each vehicle concept (FK). By this choice the regional peculiarities can be better represented because the weighting factors required by the aggregation process for each vehicle concept are regionally easier to obtain than the class specific mileages. For further details of the procedure see the "handbook of emission factors".

In order to be more instructive, the computations of the following examples are purely schematic without any error analysis.

In the following example the regional emission factors for the pollutant carbon monoxide, CO, for the year 2000 will be determined. The constraints are: no cold starts, level roads (0 % gradient), and traffic situations as listed in Table A1.

Table A1. Considered traffic situations

Traffic situation according to [16]	Driving pattern
IO_HVS2	D5
X:BAB_v105	special situation: motorway, partial class emission factor for $v_{\text{PKW}} = 105 \text{ km/h}$
X:BAB_v115	special situation: motorway, partial class emission factor for $v_{\text{PKW}} = 115 \text{ km/h}$

Für die Berechnung des Jahres 2000 ist in Tabelle A2 beispielhaft eine regionale Fahrleistungsverteilung nach Pkw-Fahrzeugkonzepten angegeben (aus regionalen Zulassungszahlen abgeleitet).

Tabelle A2. Beispielhaft abgeschätzte regionale Fahrleistungsverteilung nach Pkw-Fahrzeugkonzepten

Fahrzeugkonzept	Regionale Fahrleistungsverteilung für das Bezugsjahr 2000	
	BAB	Innerorts
Pkw/B/Konv	3,00 %	7,65 %
Pkw/B/Gkat<91	6,50 %	11,20 %
Pkw/B/Euro1	17,00 %	26,08 %
Pkw/B/Euro2	20,28 %	18,99 %
Pkw/B/Euro3	29,01 %	18,85 %
Pkw/B/Euro4	6,53 %	3,81 %
Pkw/B/2T-Konv(D-Ost)	0,00 %	0,00 %
Pkw/D/Konv	0,29 %	0,64 %
Pkw/D/XXIII/FAV1	6,71 %	5,87 %
Pkw/D/Euro2	7,80 %	5,25 %
Pkw/D/Euro3	2,88 %	1,65 %

Tabelle A3 können Herleitung bzw. Berechnung des regionalen Emissionsfaktors für die Verkehrssituation IO_HVS2 entnommen werden.

Der regionale Emissionsfaktor (EF_{Region}) wird mit Hilfe von Gleichung (A1) ermittelt:

$$EF_{\text{Region}} = \sum_{\text{FK}} \left(\frac{\text{Anteil}_{\text{Region}}}{100} \cdot EF_{\text{FK}} \right) \quad (\text{A1})$$

Tabelle A4 beschreibt analog die Herleitung der beiden regionalen Emissionsfaktoren für die Autobahn mit den Verkehrssituationen X:BAB_v105 und X:BAB_v115.

Wie in Abschnitt 2.6.1.2.1 beschrieben, sind die Übergänge zwischen den verschiedenen Verkehrssituationen auf den Autobahnen stetig. Deshalb kann man zur Emissionsberechnung auf die über eine $q(v)$ -Funktion errechnete Geschwindigkeit v zurückgreifen. Falls diese Geschwindigkeit z.B. zwischen den ermittelten Pkw-Emissionsfaktoren liegt, kann linear interpoliert werden. Tabelle A5 weist die Verkehrssituationen, deren Bezugsgeschwindigkeiten und die Pkw-Emissionsfaktoren aus.

Tabelle A5. Interpolation des CO-Pkw-Emissionsfaktors für Bundesautobahnen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von $v = 110$ km/h

Verkehrssituationen	Geschwindigkeit v	Emissionsfaktoren
	in km/h	in g/km
X:BAB_v105	105	0,932
X:BAB_v115	115	1,343
Interpoliert	110	1,137

Table A2 lists an example of a regional mileage distribution over the passenger car concepts for the emission computation for the year 2000. The data were derived from regional registration numbers.

Table A2. Example of an estimated regional mileage distribution over the passenger car concepts

Vehicle concept	Regional mileage distribution for the year 2000	
	motorway	in built-up areas
Pkw/B/Konv	3.00 %	7.65 %
Pkw/B/Gkat<91	6.50 %	11.20 %
Pkw/B/Euro1	17.00 %	26.08 %
Pkw/B/Euro2	20.28 %	18.99 %
Pkw/B/Euro3	29.01 %	18.85 %
Pkw/B/Euro4	6.53 %	3.81 %
Pkw/B/2T-Konv(D-East)	0.00 %	0.00 %
Pkw/D/Konv	0.29 %	0.64 %
Pkw/D/XXIII/FAV1	6.71 %	5.87 %
Pkw/D/Euro2	7.80 %	5.25 %
Pkw/D/Euro3	2.88 %	1.65 %

Table A3 presents the derivation and computation of the regional emission factor for the traffic situation IO_HVS2.

The regional emission factor EF_{region} is computed by means of Equation (A1):

$$EF_{\text{region}} = \sum_{\text{FK}} \left(\frac{\text{contribution}_{\text{region}}}{100} \cdot EF_{\text{FK}} \right) \quad (\text{A1})$$

Similarly, Table A4 describes the derivation of the two regional emission factors on a motorway with the traffic situations X:BAB_v105 and X:BAB_v115.

As was described in Section 2.6.1.2.1, the transitions between the different traffic situations on motorways are continuous. Therefore one may use the speed v that was computed via a $q(v)$ -function. If for instance this speed lies between those for which the emission factors for passenger cars are determined, linear interpolation is permitted. Table A5 lists the traffic situation, the speeds and the emission factors for passenger cars.

Table A5. Interpolation of the CO emission factor for passenger cars on motorways with an average speed of $v = 110$ km/h

Traffic situation	Speed v	Emission factor
	in km/h	in g/km
X:BAB_v105	105	0.932
X:BAB_v115	115	1.343
Interpolated	110	1.137

Tabelle A3. Ermittlung eines regionalen CO-Pkw-Emissionsfaktors für die Innerorts-Verkehrssituation IO_HVS2

Bezugs-jahr	Schad-stoff	Verkehrs-situation	Fahrzeugkonzept	Anteil Deutschland	 in km/h	EF_{FK} in g/km	$EF_{Deutschland}$ in g/km	Anteil _{Region}	EF_{Region} in g/km
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Konv	8,21 %	46	7,879	1,602	7,65 %	1,583
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/GKat<91	9,20 %	46	1,823		11,20 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro1	24,70 %	46	1,434		26,08 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro2	18,96 %	46	1,067		18,99 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro3	18,81 %	46	0,699		18,85 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro4	3,80 %	46	0,469		3,81 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/2T-Konv(D-Ost)	0,18 %	46	12,664		0,00 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/konv	1,40 %	46	0,469		0,64 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/XXIII/FAV1	6,00 %	46	0,458		5,87 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/Euro2	6,64 %	46	0,297		5,25 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/Euro3	2,09 %	46	0,253		1,65 %	
				100,00 %				100,00 %	

Tabelle A4. Ermittlung von regionalen CO-Pkw-Emissionsfaktoren für die Bundesautobahnen mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von $v = 105$ km/h und $v = 115$ km/h

Bezugs-jahr	Schad-stoff	Verkehrs-situation	Fahrzeugkonzept	Anteil Deutschland	v in km/h	EF_{FK} in g/km	$EF_{Deutschland}$ in g/km	Anteil _{Region}	EF_{Region} in g/km
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Konv	3,88 %	105	7,677	1,009	3,00 %	0,932
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/GKat<91	6,27 %	105	1,305		6,50 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro1	19,94 %	105	0,947		17,00 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro2	19,07 %	105	0,848		20,28 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro3	27,28 %	105	0,717		29,01 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro4	6,55 %	105	0,643		6,53 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/2T-Konv (D-Ost)	0,06 %	105	13,287		0,00 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/konv	0,60 %	105	0,334		0,29 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/XXIII/FAV1	5,97 %	105	0,247		6,71 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/Euro2	7,58 %	105	0,161		7,80 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/Euro3	2,80 %	105	0,138		2,88 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Konv	3,88 %	115	11,003	1,452	3,00 %	1,343
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/GKat<91	6,27 %	115	1,904		6,50 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro1	19,94 %	115	1,389		17,00 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro2	19,07 %	115	1,247		20,28 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro3	27,28 %	115	1,042		29,01 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro4	6,55 %	115	0,932		6,53 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/2T-Konv (D-Ost)	0,06 %	115	15,949		0,00 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/konv	0,60 %	115	0,358		0,29 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/XXIII/FAV1	5,97 %	115	0,268		6,71 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/Euro2	7,58 %	115	0,174		7,80 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/Euro3	2,80 %	115	0,150		2,88 %	
				200,00 %				200,00 %	

Table 3. Derivation of a regional CO emission factor for passenger cars for the traffic situation IO_HVS2 in built-up areas.

Year	Pollutant	Traffic situation	Vehicle concept	Contribution in Germany	 in km/h	EF_{FK} in g/km	$EF_{Germany}$ g/km	Contribution _{region}	EF_{region} g/km
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Konv	8.21 %	46	7.879	1.602	7.65 %	1.583
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Gkat<91	9.20 %	46	1.823		11.20 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro1	24.70 %	46	1.434		26.08 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro2	18.96 %	46	1.067		18.99 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro3	18.81 %	46	0.699		18.85 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/Euro4	3.80 %	46	0.469		3.81 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/B/2T-Konv(D-Ost)	0.18 %	46	12.664		0.00 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/Konv	1.40 %	46	0.469		0.64 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/XXIII/FAV1	6.00 %	46	0.458		5.87 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/Euro2	6.64 %	46	0.297		5.25 %	
2000	CO	IO_HVS2	Pkw/D/Euro3	2.09 %	46	0.253		1.65 %	
				100.00 %				100.00 %	

Table A4. Derivation of the regional CO emission factor for passenger cars on motorways with average speeds $v = 105$ km/h and $v = 115$ km/h

Year	Pollutant	Traffic situation	Vehicle concept	Contribution in Germany	v in km/h	EF_{FK} in g/km	$EF_{Germany}$ g/km	Contribution _{region}	EF_{region} g/km
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Konv	3.88 %	105	7.677	1.009	3.00 %	0.932
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/GKat<91	6.27 %	105	1.305		6.50 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro1	19.94 %	105	0.947		17.00 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro2	19.07 %	105	0.848		20.28 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro3	27.28 %	105	0.717		29.01 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/Euro4	6.55 %	105	0.643		6.53 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/B/2T-Konv (D-Ost)	0.06 %	105	13.287		0.00 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/konv	0.60 %	105	0.334		0.29 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/XXIII/FAV1	5.97 %	105	0.247		6.71 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/Euro2	7.58 %	105	0.161		7.80 %	
2000	CO	X: BAB_v105	Pkw/D/Euro3	2.80 %	105	0.138		2.88 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Konv	3.88 %	115	11.003	1.452	3.00 %	1.343
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/GKat<91	6.27 %	115	1.904		6.50 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro1	19.94 %	115	1.389		17.00 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro2	19.07 %	115	1.247		20.28 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro3	27.28 %	115	1.042		29.01 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/Euro4	6.55 %	115	0.932		6.53 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/B/2T-Konv (D-Ost)	0.06 %	115	15.949		0.00 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/konv	0.60 %	115	0.358		0.29 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/XXIII/FAV1	5.97 %	115	0.268		6.71 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/Euro2	7.58 %	115	0.174		7.80 %	
2000	CO	X: BAB_v115	Pkw/D/Euro3	2.80 %	115	0.150		2.88 %	
				200.00 %				200.00 %	

Anhang B**Tagesgang der Lufttemperatur für die Bundesrepublik Deutschland zur Berücksichtigung von Kaltstartzuschlägen bei der Emissionsbestimmung von Kraftfahrzeugen**

Die Ermittlung von Kaltstartzuschlägen und Emissionen infolge der Tankatmung basiert unter anderem auf mittleren monatlichen Tagesgängen der Lufttemperatur. Liegen keine ausreichend langen Messreihen der Temperatur (mindestens zehn Jahre) für das Beurteilungsgebiet vor, so können die mittleren monatlichen Tagesgänge nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\vartheta(t) = \vartheta_M - \frac{\Delta \vartheta_M}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi(t - t_M^{\min})}{t_M^{\max} - t_M^{\min}} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{B1})$$

für $t_M^{\min} \leq t \leq t_M^{\max}$

und

$$\vartheta(t) = \vartheta_M - \frac{\Delta \vartheta_M}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi(t - t_M^{\max})}{t_M^{\min} + 24 \text{ h} - t_M^{\max}} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{B2})$$

für $t_M^{\max} \leq t \leq t_M^{\min} + 24 \text{ h}$

mit

$$\vartheta_M = (\vartheta_M^{\max} + \vartheta_M^{\min})/2$$

und

$$\Delta \vartheta_M = \vartheta_M^{\max} - \vartheta_M^{\min}$$

ϑ	Lufttemperatur; in °C
t	Zeit in Stunden (MOZ)
$\vartheta_M^{\max}$	mittleres Tagesmaximum der Temperatur für den Monat M
$\vartheta_M^{\min}$	mittleres Tagesminimum der Temperatur für den Monat M
$t_M^{\max}$	mittlere Eintrittszeit des Tagesmaximums im Monat M
$t_M^{\min}$	mittlere Eintrittszeit des Tagesminimums im Monat M

(siehe auch Bild B1)

$t_M^{\max}$, $t_M^{\min}$, $\vartheta_M^{\max}$ und $\vartheta_M^{\min}$ können der folgenden Tabelle B1 entnommen werden.

Die Temperaturen sind jeweils Mittelwerte für die vorangehende Stunde. Die Zeitangaben sind in MOZ (MOZ = mittlere Ortszeit = die Sonne steht im Mittel über das Jahr um 12 Uhr im Süden). Der Zusammenhang zwischen Zeitangaben in MEZ (Mitteleuropäische Zeit) oder MESZ (Mitteleuropäische Sommer-

Annex B**Diurnal variation of the air temperature in the Federal Republic of Germany used for determining the cold start additions when computing emissions of motor vehicles**

The determination of cold start additions and emissions due to tank respiration is based on, among other factors, the mean diurnal variations of the air temperature in a month. If the measurement series of temperatures in the region is not sufficiently long (at least ten years), the mean diurnal variations of the air temperature in a month can be computed by means of the following equation:

$$\vartheta(t) = \vartheta_M - \frac{\Delta \vartheta_M}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi(t - t_M^{\min})}{t_M^{\max} - t_M^{\min}} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{B1})$$

for $t_M^{\min} \leq t \leq t_M^{\max}$

and

$$\vartheta(t) = \vartheta_M - \frac{\Delta \vartheta_M}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi(t - t_M^{\max})}{t_M^{\min} + 24 \text{ h} - t_M^{\max}} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{B2})$$

for $t_M^{\max} \leq t \leq t_M^{\min} + 24 \text{ h}$

where

$$\vartheta_M = (\vartheta_M^{\max} + \vartheta_M^{\min})/2$$

and

$$\Delta \vartheta_M = \vartheta_M^{\max} - \vartheta_M^{\min}$$

ϑ	air temperature; in °C
t	time in hours; mean local time
$\vartheta_M^{\max}$	mean daily maximum of the temperature in the month M
$\vartheta_M^{\min}$	mean daily minimum of the temperature in the month M
$t_M^{\max}$	mean time of the maximum of the temperature in the month M
$t_M^{\min}$	mean time of the minimum of the temperature in the month M

(see Figure B1)

$t_M^{\max}$, $t_M^{\min}$, $\vartheta_M^{\max}$ und $\vartheta_M^{\min}$ are listed in Table B1 below.

The temperatures are mean values of the preceding hour. Time is expressed as MOZ = mean local time = the sun's position at 12 a. m. averaged over one year is due south. The relationship between MEZ (central European time) or MESZ (central European daylight saving time) and MOZ is given by Equations (B3)

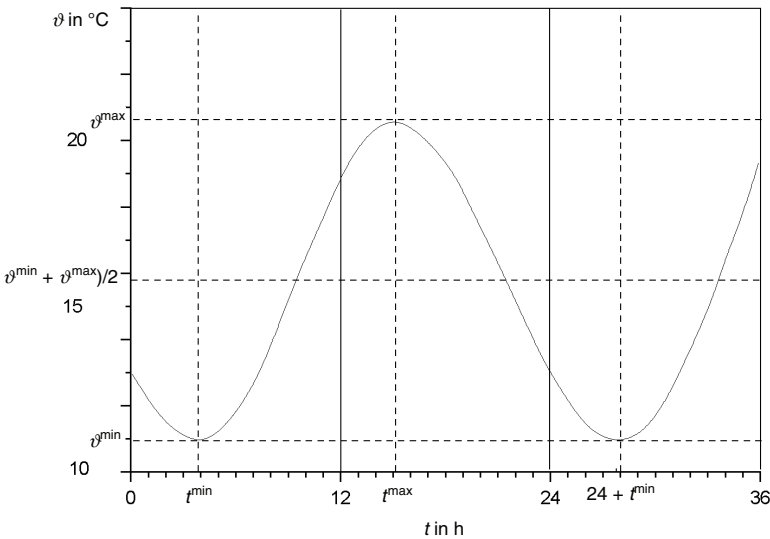


Bild B1. Mittlerer Tagesgang der Temperatur für den Monat Juni

Fig. B1. Mean diurnal variation of the temperature in the month of June

Tabelle B1. Eintrittszeiten der monatlichen Mittelwerte von Tagesmaximum und Tagesminimum der Temperatur und die dazu gehörenden Extremwerte.

Monat	$t_{\text{M}}^{\min}$	$t_{\text{M}}^{\max}$	$\vartheta_{\text{M}}^{\min}$	$\vartheta_{\text{M}}^{\max}$
1	7	14,5	-3	2,5
2	7	15	-2	4
3	6	15	0,5	8,5
4	5	15	3,5	13
5	4,5	15	7,5	18
6	4	15	11	21
7	4,5	15	12,5	23
8	5	15	12	22,5
9	6	15	9,5	19
10	6	14,5	6	14
11	7	14	1	7,5
12	7	14	-1,5	3,5

Table B1. Times and values of the monthly mean daily maximum and minimum of temperature

Month	$t_{\text{M}}^{\min}$	$t_{\text{M}}^{\max}$	$\vartheta_{\text{M}}^{\min}$	$\vartheta_{\text{M}}^{\max}$
1	7	14.5	-3	2.5
2	7	15	-2	4
3	6	15	0.5	8.5
4	5	15	3.5	13
5	4.5	15	7.5	18
6	4	15	11	21
7	4.5	15	12.5	23
8	5	15	12	22.5
9	6	15	9.5	19
10	6	14.5	6	14
11	7	14	1	7.5
12	7	14	-1.5	3.5

zeit) und MOZ ist durch die Gleichungen (B3) und (B4) gegeben:

$$\text{MOZ} = \text{MEZ} - (15^{\circ} - \text{GL}) 4 \text{ min}/^{\circ}/60 \text{ min/h} \quad (\text{B3})$$

$$\text{MOZ} = \text{MESZ} - (30^{\circ} - \text{GL}) 4 \text{ min}/^{\circ}/60 \text{ min/h} \quad (\text{B4})$$

GL ist die geografische Länge des Beurteilungsgebietes in Grad.

Die Zahlen in Tabelle B1 basieren auf Temperaturmessungen aus den Jahren 1961 bis 1990 an 25 Stationen.

Es handelt sich dabei um folgende Stationen des Deutschen Wetterdienstes:

Aachen
Augsburg
Bamberg
Gießen
Göttingen
Hamburg

and (B4):

$$\text{MOZ} = \text{MEZ} - (15^{\circ} - \text{GL}) 4 \text{ min}/^{\circ}/60 \text{ min/h} \quad (\text{B3})$$

$$\text{MOZ} = \text{MESZ} - (30^{\circ} - \text{GL}) 4 \text{ min}/^{\circ}/60 \text{ min/h} \quad (\text{B4})$$

GL is the geographic longitude of the area of investigation, expressed in degrees.

The numbers of Table B1 are based on temperature measurements at 25 stations during the years 1961 till 1990.

These stations of the Deutscher Wetterdienst (National Meteorological Service of Germany) were:

Aachen/Köln
Augsburg
Bamberg
Hanover
Karlsruhe
Kassel

Berlin	Hannover
Braunschweig	Karlsruhe
Bremen	Kassel
Chemnitz	Kempten
Coburg	Kissingen, Bad
Cottbus	Köln-Wahn
Freiburg	Magdeburg
Nürnberg	Ulm
Regensburg	Würzburg
Schleswig	

Die Lage der Station wurde so ausgewählt, dass eine ungestörte Anströmung gewährleistet ist und die Messgrößen für ein möglichst großes Gebiet repräsentativ sind. Ein Stadteinfluss ist daher nicht vorhanden. Bei Verwendung der oben angeführten Temperaturen werden die Kaltstartzuschläge möglicherweise überschätzt. Informationen zum Stadteinfluss können z.B. [56] entnommen werden.

Aus diesen Daten wurden die mittleren monatlichen Tagesgänge für jede Station bestimmt und hieraus die Eintrittszeiten von Maximum und Minimum und die Maximal- und Minimaltemperaturen bestimmt. Die Eintrittszeiten der Extrema ändern sich mit dem Monat; innerhalb der Bundesrepublik Deutschland beträgt die räumliche Variation der Eintrittszeit etwa eine Stunde; in Tabelle B1 sind die Mittelwerte (gerundet auf halbe Stunden) angegeben. Die räumliche Variation der Extremwerte der Temperaturen beträgt innerhalb der Bundesrepublik Deutschland bis zu 6 °C. In Tabelle B1 sind auf 0,5 °C gerundete Mittelwerte angegeben.

Berlin	Kempten
Bremen	Kissingen, Bad
Brunswick	Köln-Wahn
Chemnitz	Magdeburg
Coburg	Nuremberg
Cottbus	Regensburg
Freiburg	Schleswig
Giessen	Ulm
Göttingen	Würzburg
Hamburg	

Only those stations were selected whose location featured an unhindered exposure to air movements. This renders the measured temperature representative for a large area. Hence there are no influences from urban areas. Using the listed temperatures may lead to an overestimation of the cold start additions. Information on the effect of urban areas may be gathered e. g. from [56].

With these data the mean monthly diurnal variations were computed and from them maximum and minimum temperatures together with the times of their occurrence. The times of occurrence of the extrema vary with the months; their mean values, rounded to half hours, are listed in Table B1. Their spatial variation in Germany is about one hour. The spatial variation of the temperature extrema within the Federal Republic of Germany reaches 6 °C. The values in Table B1 are mean values rounded to 0.5 °C.

Anhang C Beispielrechnung Fehleranalyse

Beispielhaft werden für einen Autobahnabschnitt in Baden-Württemberg die Emissionen 1994 für die Schadstoffklassen NO_x und HC in stündlicher Auflösung berechnet und anhand von abgeschätzten Fehlern der Eingangsgrößen aus Literaturdaten auf die Fehlerbandbreiten der ermittelten Emissionen geschlossen [57]. VOC werden in dem Beispiel nicht getrennt ausgewiesen [29].

Bei dem gewählten Straßenabschnitt wird vorausgesetzt, dass alle Fahrzeuge ihre Betriebstemperatur erreicht haben und dass ein gleichmäßig ebener Straßenverlauf vorliegt. Kaltstartemissionen werden somit in dem Beispiel nicht berücksichtigt. Ebenso sind Verdampfungsemissionen in dem Beispiel nicht enthalten.

Das Beispiel bezieht sich auf einen einzelnen Straßenabschnitt. Die Problematik der räumlichen Zuordnung von Emissionsdaten aus Linienquellen in ein Raster, wie z.B. bei der Erstellung von Emissionskatastern unter Einbeziehung des vollständigen Straßennetzes, findet hier somit keine Berücksichtigung.

C1 Stündliche Emissionen eines Autobahnabschnitts

Anhand der folgenden Berechnungsformel (Gleichung (C1)) für die stündlichen Emissionen wird deutlich, welche Eingangsdaten in das verwendete Berechnungsmodell einfließen:

$$E = N \cdot l \cdot \sum_k \left(HV_{94,k} \cdot DTV_{90/95,k} \cdot \sum_F \left(fl_{F,k} \cdot \sum_s (fl_{k,s} \cdot EF_{s,F,L}) \right) \right) \cdot Z_h \quad (C1)$$

mit:

E	Berechnete stündliche Emission
N	Anzahl der Tage im Jahr 1994 (= 365)
l	Länge des Straßenabschnitts
HV_{94}	Hochrechnungsfaktor für die Interpolation der Verkehrsstärke aus 1990 und 1995 auf 1994, differenziert nach Fahrzeugkategorien k
$DTV_{90/95,k}$	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke 1990 und 1995, differenziert nach Fahrzeugkategorien k
$fl_{F,k}$	Anteil der Fahrleistung eines Fahrmusters F an der Gesamtfahrleistung einer Fahrzeugkategorie k (Geschwindigkeitsverteilung)
$fl_{k,s}$	Anteil der Fahrleistung einer Fahrzeugschicht s an der Gesamtfahrleistung der zugehörigen Fahrzeugkategorie k (Flottenzusammensetzung)
$EF_{s,F,L}$	Emissionsfaktor differenziert nach Fahrzeugschicht s , Fahrmuster F und Längsneigungsklasse L

Annex C Example of an error analysis

In this example the emissions are calculated for a section of motorway in Baden-Württemberg in the year 1994. The considered classes of pollutants are NO_x and HC. The resolution is one hour. By means of estimated errors of the input variables taken from the literature, the error ranges of the computed emissions are inferred [57]. VOC will not be treated separately in this example [29].

The selected road section is assumed to be uniformly level; all vehicles on it have reached their operating temperature. Thus cold start emissions are not taken into account in this example. Also, the example does not contain evaporation emissions.

The example treats a single road section. This avoids the problem of ordering emission data from linear sources into a spatial grid net, as it is required e.g. when establishing an emission inventory for a whole road net.

C1 Hourly emissions on a section of motorway

The following formula, Equation (C1), for computing the hourly emissions points out the input data required by the model.

where

E	computed hourly emission
N	number of days in the year 1994 (= 365)
l	length of the road section
HV_{94}	factor for interpolating the traffic volume for 1994 using the traffic volumes of 1990 and 1995, for each vehicle category k
$DTV_{90/95,k}$	average daily traffic volume of 1990 and 1995; for each vehicle category k
$fl_{F,k}$	fraction of the total mileage of vehicle category k contributed by the driving pattern F (speed distribution)
$fl_{k,s}$	fraction of the total mileage of vehicle category k contributed by the vehicle layer s (fleet composition)
$EF_{s,F,L}$	emission factor for each vehicle layer s , driving pattern F and gradient class L

L Längsneigungsklasse
 Z_h Anteil der stündlichen an der jährlichen Fahrleistung

L gradient class
 Z_h share of the hourly mileage in the annual mileage

C2 Fehlerbandbreiten der Eingangsdaten

C2.1 Verkehrs- und streckenbezogene Eingangsdaten

Die Abschnittslängen im Straßennetz von Baden-Württemberg sind mit einer Genauigkeit von ± 1 m angegeben [58]. Bei Gesamtlängen der betrachteten Autobahnabschnitte von mehreren Kilometern sind die auftretenden Fehler vernachlässigbar klein.

Für die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) wird von [62] ein statistischer Fehler von 9,1 % angegeben. Diese Fehlerangabe basiert auf einem Vergleich von 188 Zählabschnitten, an denen im Zähljahr 1985 sowohl manuell als auch mit Hilfe von automatischen Dauerzählstellen gezählt wurde.

Die Fehler der Interpolation der DTV -Werte aus den Bundesverkehrszählungen 1990 und 1995 auf das Bezugsjahr 1994 werden über Vergleiche mit den Entwicklungen der Verkehrsstärken an ca. 30 Autobahnabschnitten in Baden-Württemberg mit automatischen Dauerzählstellen in diesem Zeitraum abgeschätzt [61]. Aus der Standardabweichung der Quotienten aus der gezählten Jahresverkehrsstärke 1994 und der jeweiligen interpolierten Verkehrsstärke ergibt sich für den Hochrechnungsfaktor HV_{94} ein Standardfehler von 2,8 %.

C2 Error ranges of the input data

C2.1 Input data about the road and the traffic

The lengths of sections of the road net of Baden-Württemberg are recorded with a precision of ± 1 m [58]. In view of the total length of the investigated sections of the motorway of several kilometres these errors are negligibly small.

The statistical error of the average daily traffic volumes (DTV) is quoted by [62] to be 9.1 %. This figure was derived from manual and continuous automated counts on 188 road sections in the year 1985.

The errors of interpolation of the DTV -values for 1994 using the traffic volumes for 1990 and 1995 were estimated by comparing the development of the traffic volume on approx. 30 motorway sections in Baden-Württemberg with traffic counts obtained from automated continuously counting stations during the same period [61]. From the standard deviation of the ratio of the counted annual traffic volumes in 1994 over the interpolated traffic volumes one obtains a standard deviation of the interpolation factor HV_{94} of 2.8 %.

Tabelle C1. Verfügbare Datenquellen für die Emissionsberechnung

l	Abschnittslänge aus der Straßendatenbank Baden-Württemberg [58]
$DTV_{90/95,k}$	Bundesverkehrszählung 1990 und 1995 [59; 60]
HV_{94}	Bundesverkehrszählung 1990 und 1995 [59; 60]
$f_{k,F}$	mittlere Geschwindigkeitsverteilungen für Kfz auf Autobahnen in den alten Bundesländern [9]
$f_{k,s}$	Flottenzusammensetzung in den alten Bundesländern auf Autobahnen für das Jahr 1994 nach [16]
$EF_{s,F,L}$	Emissionsfaktoren nach [16]
L	Längsneigung aus der Straßendatenbank Baden-Württemberg [58]
Z_h	Anteil der stündlichen Fahrleistung an der Jahresfahrleistung [61]

Table C1. Accessible data sources for the calculation of emissions

l	length of road section from the road data bank of Baden-Württemberg [58]
$DTV_{90/95,k}$	national traffic surveys of 1990 and 1995 [59; 60]
HV_{94}	national traffic surveys of 1990 and 1995 [59; 60]
$f_{k,F}$	mean distributions of the speeds of motor vehicles in former West Germany [9]
$f_{k,s}$	fleet composition on the motorways of former West Germany in 1994; according to [16]
$EF_{s,F,L}$	emission factors; according to [16]
L	gradients from the road data bank of Baden-Württemberg [58]
Z_h	share of the hourly mileage in the annual mileage [61]

Hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung $f_{k,F}$ entstehen bei der Betrachtung eines Autobahnabschnitts Ungenauigkeiten zum einen dadurch, dass strecken-spezifische Tempolimits häufig nicht bekannt sind, sondern nur als Mittelwert über das betrachtete Netz berücksichtigt werden können. Zum anderen stellen die z.B. aus [9] bekannten, nach Tempolimits differenzierten Geschwindigkeitsverteilungen auf Autobahnen wiederum nur jahresmittlere Verteilungen dar, die von realen Geschwindigkeitsverteilungen im Einzelfall deutlich abweichen können [63]. Um die Unsicherheitsbandbreiten für jährliche Emissionen abzuschätzen, werden Rechenläufe für jeweils vier typische Verkehrssituationen (frei, teilgebunden, gebunden, Stau) auf Streckentypen mit unterschiedlichen Tempolimits durchgeführt und die Ergebnisse fahrleistungsgewichtet in Unsicherheitsbandbreiten umgerechnet. Bei zeitlich höherer Auflösung als der jährlichen treten in den Geschwindigkeitsverteilungen zusätzliche Unsicherheiten auf. Insbesondere die Unsicherheit des Auftretens von Stausituationen hat einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtfehler bei der Ermittlung stündlicher Emissionen.

Die durch räumliche Variationen verursachten Fehler der dynamischen Flottenzusammensetzung $f_{k,s}$ werden auf der Grundlage von Vergleichen von Bestandsdaten der einzelnen Zulassungsbezirke in Baden-Württemberg 1994 abgeschätzt [64]. Auch bei der Flottenzusammensetzung ergeben sich bei stündlicher Auflösung Schwankungen, die über denjenigen bei Jahresemissionen liegen (z.B. Wochenend-, Feierabend-, Urlaubsverkehr).

Für die Längsneigung tritt bei einer Skalierung des Netzes in ganzen Prozentschritten ein maximaler Fehler von $\pm 0,5\%$ auf, was bei gleichmäßiger Verteilung der Streckenabschnitte über den gesamten Längsneigungsbereich 0 bis 1 % etwa einer Standardabweichung von 0,34 % Längsneigung entspricht.

Zur Disaggregation der jährlichen in stündliche Verkehrsstärken werden nach verkehrsbezogenen Größen klassifizierte, typische Ganglinien (Tages-, Wochen- und Jahresgänge) herangezogen [61; 65]. Diese Ganglinien werden beispielsweise aus Mittelungen der Anteile von stündlichen an jährlichen Verkehrsstärken von automatischen Dauerzählstellen, differenziert nach Pkw- und Lkw-ähnlichen Fahrzeugen und nach Straßenklassen, abgeleitet. Die Streubreiten aller Verkehrsstärkeanteile einer bestimmten Stunde aller Autobahnabschnitte in Baden-Württemberg mit installierter Dauerzählstelle lassen sich in Form einer Standardabweichung berechnen. Man erhält somit eine Fehlergröße für die zeitliche, abschnittsbezogene Disaggregation der jährlichen auf stündliche Verkehrsstärken.

One source of errors of the speed distribution $f_{k,F}$ on a section of a motorway comes from local speed limits that are often not known but are taken into account as mean values over the investigated road net. Also, on motorways the speed distributions, listed for each speed limit e.g. in [9], are only averages over one year that may differ from the current distribution in the investigated case [63]. In order to estimate the limits of uncertainty of annual emissions, computer runs are performed for four typical traffic situations (unimpeded, partially bound, bound, stop-and-go) on sections with different speed limits. The results are weighted by the mileages and used to compute limits of uncertainty. If the temporal resolution is finer than one year additional uncertainties of the speed distributions arise. In particular the unpredictability of stop-and-go situations has a significant influence on the total error of the hourly emissions.

The errors caused by spatial variations of the dynamic fleet composition $f_{k,s}$ are estimated by comparing the inventories of each registration district in Baden-Württemberg for the year 1994 [64]. Also the fleet composition with hourly resolution exhibits variations that exceed those of the yearly emissions; examples are traffic on weekends, in evenings, and during vacations.

If the gradients in the road net are quantised in 1 % steps the maximum error is $\pm 0.5\%$. This corresponds to a standard deviation of the gradient of 0.34 % if the gradients of the road sections are uniformly distributed over the interval 0 to 1 %.

For decomposing yearly into hourly traffic volumes typical traffic-related function vs. time curves are utilised (diurnal, weekly and yearly variations) [61; 65]. These variations are e.g. obtained by averaging the contributions of the hourly traffic volumes to obtain the yearly traffic volumes. The data come from continuously operating automated counters separately for passenger cars, commercial vehicles and road classes. The limits of variation of all portions of the traffic volume of a certain hour on all motorway sections equipped with continuous counters in Baden-Württemberg can be expressed as a standard deviation. This yields a measure for the error of the temporal section-related decomposition of yearly into hourly traffic volumes.

C2.2 Emissionsfaktoren

Die derzeit aktuellsten Emissionsfaktoren [16] beruhen im Wesentlichen auf Prüfstandsmessungen des TÜV Rheinland, des RWTÜV und der EMPA, Dübendorf (Schweiz) [7]. Die Fahrzeugflotte ist dabei in so genannte Fahrzeugschichten eingeteilt, die Fahrzeuge mit jeweils ähnlichem Emissionsverhalten zusammenfassen. Die Unsicherheiten bei der Anwendung der Emissionsfaktoren der Fahrzeugschichten lassen sich qualitativ auf folgende Ursachen zurückführen:

1. Fehler durch unzureichende Feinheit bei der Einteilung der Fahrzeugflotte in Fahrzeugschichten (⇒ unterschiedliche mittlere Emissionen durch räumlich oder zeitlich variierende Schichtzusammensetzungen)
2. unberücksichtigte Einflussfaktoren (z.B. Höhengradient, Meteorologie, Kraftstoffqualität)
3. für Fahrzeugschicht nicht repräsentative Fahrzeugauswahl im Messprogramm
4. Fehler bei der experimentellen Ermittlung der Basisfunktionen (Prüfstand):
 - a. falsche Einordnung der Messsignale in das Raster auf Grund nicht konstanter zeitlicher Verschiebung zwischen Betriebszustand und Messwerterfassung
 - b. falsche Einordnung der Messsignale in das Raster auf Grund von Abweichungen des realen vom vorgegebenen Fahrzyklus
 - c. Fehler der Messtechnik
5. Fehler bei der Hochrechnung von den Basisfunktionen auf integrale Emissionswerte definierter Fahrmuster (auf Grund zu grober Rastereinteilung oder unbesetzter Rasterfelder der Basisfunktionen)
6. Fehler der Korrekturfaktoren für Längsneigung, Laufleistung, Beladungszustand, Stop-and-go
7. Fehler bei der Übertragung und Hochrechnung der ermittelten Emissionsfaktoren auf bei den Messungen nicht berücksichtigte Fahrzustände (z.B. Geschwindigkeiten > 150 km/h, Längsneigungen > 7 %) oder Fahrzeugschichten (z.B. Fahrzeuge ab Baujahr 1991)

Die Abschätzungen der statistischen Fehler der Emissionsfaktoren in diesem Beispiel basieren auf Untersuchungen des TÜV Rheinland [66; 67]. Hier wurden aus allen Messwerten des Messprogramms der Fahrzeuge der Baujahre 1986 bis 1990 pro Fahrzeugschicht und Fahrmuster die 95 %-Vertrauensbereiche der Emissionsfaktor-Mittelwerte ermittelt. Somit wurden die in obiger Aufzählung unter Punkt 4 und Punkt 5 aufgeführten Fehlerquellen quantifiziert.

C2.2 Emission factors

The most recent emission factors [16] are based essentially of test rig measurements by TÜV Rheinland, by RWTÜV and by EMPA, Dübendorf, Switzerland [7]. The vehicle fleet is divided into so-called vehicle layers that comprise vehicles with similar emission behaviour. The uncertainties inherent in the emission factors of the vehicle layers can be traced back qualitatively to the following causes:

1. Errors due to insufficient resolution of the division of the vehicle fleet into vehicle layers. This leads to different average emissions because of spatially or temporarily varying compositions of the vehicle layers.
2. unrecognised influencing parameters, e.g. altitude, meteorology, quality of the fuel
3. the vehicles selected for the measurement project are not representative for the vehicle layers.
4. error in the experimental determination of the primary functions (test rig):
 - a. wrong assignment of the measurement signals to the raster grid because of varying delays between the operating condition and the time of measurement
 - b. wrong assignment of the measurement signals to the raster grid because of deviations of the actual driving cycle from the prescribed driving cycle
 - c. measurement errors
5. faulty conversion of the primary functions into integral emission values of defined driving patterns because of too coarse a raster or empty raster fields of the primary functions
6. errors of the correction factors for gradient, mileage, loading condition, stop-and-go
7. errors of transferring and converting the computed emission factors to driving modes that are not covered by the measurements, e.g. speeds > 150 km/h, gradients > 7 %, or vehicle classes, e.g. vehicle of model years after 1991

The estimates of the statistical errors of the emission factors in this example are based on investigations by TÜV Rheinland [66; 67]. Here the 95 % confidence intervals of the mean values of the emission factors were determined from all results, separate for each vehicle layer and driving pattern, of the measurement project of the vehicles of the model years 1986 till 1990. Hence the sources of errors listed in no. 4 and 5 above are quantified.

Die derzeit vorliegenden Ergebnisse sind nicht vollständig. Es fehlen insbesondere Angaben über

- zusätzliche, statistisch voneinander unabhängige Messungen von schweren Nutzfahrzeugen
- zusätzliche Fahrmuster (z.B. Stop-and-go innerorts und außerorts)
- Fahrzeuge der Baujahre vor 1986 bzw. nach 1990
- Motorräder

Die statistischen Gesamtfehler wurden pro Straßenkategorie anhand der mittleren Verteilungen der Verkehrssituationen und der Flottenzusammensetzungen im Jahresmittel für das Bezugsjahr 1994 berechnet. In Tabelle C2 sind die resultierenden Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Kohlenwasserstoffe und Stickoxide für die Fehlerquellen nach Punkt 4 und 5 zusammenfassend dargestellt. Auf Grund der aufgeführten fehlenden Daten sind die berechneten Variationskoeffizienten als untere Fehlergrenze anzusehen.

Tabelle C2. Zufällige Fehler (→ Variationskoeffizienten) der Emissionsfaktoren mit warmem Motor für verschiedene Straßenkategorien in Baden-Württemberg 1994 [57]

Straßenkategorie	HC	NO _x
Autobahnen	±17,5 %	±10,5 %
Bundesstraßen	±22,0 %	±15,0 %
Landesstraßen	±22,6 %	±15,8 %
Kreisstraßen	±23,3 %	±15,5 %
innerorts	±24,0 %	±20,1 %

Für Bezugsjahre nach 1994 ist zu beachten, dass die relativen Streubreiten in Fahrzeugschichten mit geregelter Katalysator größer sind als bei Fahrzeugschichten älterer Technologien. Es ist daher mit zeitlich zunehmendem Anteil von G-Kat-Fahrzeugen bei sinkendem Emissionsniveau mit ansteigenden Variationskoeffizienten zu rechnen.

Aussagen über die statistischen Fehler der Korrekturfaktoren für Kaltstart (werden in diesem Beispiel nicht berücksichtigt), Längsneigung, Laufleistung, Beladungszustand und Fahrmuster Stop-and-go sind derzeit auf Grund der zu schlechten Datenbasis nicht möglich.

C3 Fehlerauswirkungen auf die Emissionsdaten

Die Auswirkungen der Fehler der einzelnen Eingangsgrößen auf die errechneten stündlichen Emissionen sind für die Schadstoffklassen NO_x und HC in Tabelle C3 zusammenfassend dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen einen besonders starken Einfluss der Daten zur stündlichen Auflösung sowie der Geschwindigkeitsverteilung. Fehler von Verkehrs-

The presently existing results are not complete. Information is missing especially about

- additional mutually statistically independent measurement results on heavy commercial vehicles
- additional driving patterns, e.g. stop-and-go in and outside built-up areas
- vehicles of model years before 1986 and after 1990
- motor bicycles

The total statistical errors for each road category were computed by means of the distributions of traffic situations and fleet compositions averaged over the year 1994. Table C2 summarises the resulting uncertainties of the emission factors of the hydrocarbons and nitrogen oxides that are caused by the error sources no. 4 and 5. Because of the missing data mentioned above the computed variation coefficients are to be regarded as lower limits of the errors.

Table C2. Random errors (→ variation coefficients) of the emission factors of warm engines and various road categories in Baden-Württemberg in 1994 [57]

Road category	HC	NO _x
Motorways	±17.5 %	±10.5 %
National highways	±22.0 %	±15.0 %
Provincial highways	±22.6 %	±15.8 %
District roads	±23.3 %	±15.5 %
Inside built-up areas	±24.0 %	±20.1 %

With regard to the year 1994 it is to be noted that the relative variations within vehicle layers with controlled catalytic converters are wider than within vehicle layers of older technologies. The variation coefficients are therefore expected to increase as the share of vehicles with controlled catalytic converters grows with time and the level of emissions drops.

For the time being no statements can be made about the statistical errors of the correction factors for cold starts (which are not treated in this example), of gradients, mileage, load factor and the driving pattern stop-and-go because of insufficient pertinent data.

C3 Effects of the errors on the emission data

The effects of the errors of each input variable on the computed hourly emissions are summarised in Table C3 for the pollutant classes NO_x and HC.

The results show a particularly strong effect of the data of the hourly resolution and the speed distribution. Errors of the traffic volume and the extrapolation

Tabelle C3. Zufälliger prozentualer Fehler (Variationskoeffizient) der stündlichen Abgasemissionen eines ausgewählten Autobahnabschnitts

Fehlerquelle		Variationskoeffizient in %	
		NO _x	HC
Verkehrsstärke (Jahr)	$DTV_{90/95,k}$	±9,1	±9,1
stündliche Auflösung *)	Z_h	±27,0	±25,0
Hochrechnungsfaktor	HV_{94}	±2,8	±2,8
Abschnittslänge	l	±0,0	±0,0
Längsneigung	L	±1,7	±3,7
Flottenzusammensetzung **)	$fl_{k,s}$	±2,2	±3,8
Geschwindigkeitsverteilung **)	$fl_{k,F}$	±6,8/–16,5	+4,2/–13,5
Emissionsfaktoren	$EF_{s,F,L}$	+10,5	±17,5
Mittlerer relativer Gesamtfehler		+31,4/–34,8	+32,6/–35,1

*) gemittelt über den Zeitraum zwischen 6 Uhr und 20 Uhr

**) plus unbekannter Fehler durch zeitliche Disaggregation

Table C3. Random percentage error (variation coefficient) of the hourly exhaust gas emissions on a selected motorway section

Source of error		Coefficient of variation in %	
		NO _x	HC
Traffic volume (year)	$DTV_{90/95,k}$	±9.1	±9.1
Resolution 1 hour *)	Z_h	±27.0	±25.0
Extrapolation factor	HV_{94}	±2.8	±2.8
Length of road section	l	±0.0	±0.0
Gradient	L	±1.7	±3.7
Fleet composition **)	$fl_{k,s}$	±2.2	±3.8
Speed distribution **)	$fl_{k,F}$	±6.8/–16.	+4.2/–13.5
Emission factors	$EF_{s,F,L}$	+10.5	±17.5
Mean relative total error		+31.4/–34.8	+32.6/–35.1

*) averaged over the period from 6 a. m. till 8 p. m.

**) plus an unknown error introduced by temporal disaggregation

stärke- und Hochrechnungsdaten wirken sich ebenfalls deutlich auf den Gesamtfehler aus. Hier fallen insbesondere die Ungenauigkeiten der manuellen Zählergebnisse der im 5-Jahres-Turnus stattfindenden Bundesverkehrszählung sowie die Übertragung dieser Zählergebnisse auf dazwischen liegende Jahre ins Gewicht. Einen ebenfalls starken Einfluss haben die Fehler der Emissionsfaktoren, wobei der hier quantifizierte Fehler nur einen Teil der insgesamt möglichen Fehlerbereiche abdeckt.

C4 Gesamtfehlerabschätzung

Aus den Einzelfehlern lässt sich nach der Methodik der Fehlerfortpflanzung unter der vereinfachenden Annahme der statistischen Unabhängigkeit der Eingangsgrößen der mittlere relative Gesamtfehler er-

tion factor also significantly effect the total error. Here predominate especially the uncertainties of manual counting conducted every five years in nation-wide surveys and of the interpolation of the counting results to the intermediate years. Also the errors of the emission factors play a significant role. Their numerical values quoted here cover only part of the possible error range.

C4 Estimation of the total error

The individual errors can be merged by means of the error propagation law to form the mean relative total error. If the assumption of statistical independence of the input variables is fulfilled, Equation (12) may be

mitteln, siehe Gleichung (12). Es ergibt sich nach Tabelle C3 bei den Kohlenwasserstoffen (HC) ein Fehler von ca. 34 % gegenüber bei den Stickoxiden (NO_x) mit ca. 33 % bezogen auf einen Vertrauensbereich von 68,3 %.

Die in dem Beispiel ermittelten statistischen Gesamtfehler sind als untere Grenzen der tatsächlichen Vertrauensbereiche anzusehen, da

1. von Korrelationen zwischen den einzelnen Eingangsgrößen auszugehen ist,
2. aufgrund der zum Teil schlechten Datensituation derzeit nicht alle Unsicherheiten aller Eingangsgrößen in sämtlichen Teilbereichen quantifiziert werden können (z.B. Emissionsfaktoren für Pkw ab Baujahr 1991) und
3. systematische Fehler nicht ausgeschlossen werden können.

Die obige für einen Autobahnabschnitt durchgeführte Abschätzung kann auch für die übrigen Straßenklassen durchgeführt werden. Der Beitrag fehlerbehafteter Geschwindigkeitsverteilungen zum Gesamtfehler ist dort kleiner als auf Autobahnen. Typische Fahrmuster für Außerorts- und Innerortsstraßen finden sich z.B. in [10]. Jedoch nimmt wegen des höheren Anteils instationärer Fahrzustände (Beschleunigungen, Stausituationen) die Streuung der Emissionsfaktoren mit niedrigerer Einstufung der Straßenkategorie zu (Tabelle C2), so dass sich auf den anderen Straßenklassen insgesamt keine genaueren Resultate für die Emissionsdaten ergeben. Auf Innerortsstraßen sind zusätzlich die Unsicherheiten der kaltstartbedingten Emissionserhöhungen und der Verdampfungsemissionen zu berücksichtigen.

used. As shown in Table C3, an error of approx. 34 % results in the case of hydrocarbons (HC) and of about 33 % of nitrogen oxides (NO_x), both with a confidence interval of 68.3 %.

The statistical total errors computed in this example are to be considered as lower limits of the actual confidence ranges, because

1. correlations between the input variables may exist,
2. not all uncertainties of all input data can be quantified since the data bases are inadequate (examples are the emission factors of passenger cars of model years after 1991) and
3. systematic errors cannot be ruled out.

The estimations described above that were performed for one motorway section can also be performed for the other road classes. There the contribution of the errors of speed distributions to the total error is smaller than for motorways. Typical driving patterns for roads in and outside built-up areas may be found e.g. in [10]. However, because of the higher share of non-stationary driving conditions (accelerations, traffic congestion) the variation of the emission factors increases with decreasing road quality (Table C2) with the outcome that the emission data on the other roads are not more precise than on motorways. On roads inside built-up areas the additional uncertainties exist of elevated emissions due to cold starts and of the emissions by evaporation.

Anhang D

Temperatur der Umgebung der Kfz

Für die Berechnung der Kaltstartzuschläge nach Abschnitt 2.4.2.1, Gleichung (5) und der Tankatmungs-emission muss die Umgebungstemperatur der Kfz bekannt sein.

Stundengenaue Berechnung

Voraussetzung hierfür ist der Temperaturverlauf in stundenfeiner Auflösung für das zu untersuchende Gebiet. Weiterhin ist die Temperaturerhöhung in Ballungszentren zu berücksichtigen.

Bei landesweiten Emissionsberechnungen bzw. im ländlichen Raum oder in kleinen Gemeinden ist davon auszugehen, dass ein großer Prozentsatz der Kfz in einer Garage abgestellt wird. Somit sind für diese Fahrzeuge höhere Starttemperaturen in den Morgenstunden anzunehmen. Diese Einflüsse sind bei der Erstellung des Temperaturverlaufs für die Berechnung der Kaltstartzuschläge bzw. der Tankatmung zu berücksichtigen.

Berechnung für einen Monats- bzw. Jahreszeitraum

Generell ist es möglich, die Kaltstartzuschläge und die Emissionen in Folge von Tankatmung für jede Stunde eines Monats bzw. Jahres zu berechnen und dann den Mittelwert zu bilden. Jedoch wird dieser hohe Aufwand nicht gerechtfertigt sein, wenn lediglich Monats- bzw. Jahresmittelwerte sowie mittlere Tagesgänge bestimmt werden sollen. Die Verwendung der Monats- oder Jahresmitteltemperaturen ist unzulässig. Hier muss auf monatliche Statistiken der mittleren stündlichen Außenlufttemperatur zurückgegriffen werden. Ein Lösungsansatz zur Erzeugung der mittleren stündlichen Außenlufttemperatur ist in Anhang B gegeben.

Die Kaltstartzuschläge bzw. Emissionen in Folge von Tankatmung werden dann für jede mittlere Stunde eines Monats bzw. eines Jahres berechnet.

Annex D

Air temperature in the environment of the motor vehicles

For computing the cold start additions according to Section 2.4.1.1, Equation (5), and the emissions by tank respiration the ambient air temperature of the motor vehicle must be known.

Computing with a resolution of one hour

A precondition for this is the availability of the temperature variation in the investigated area with a resolution of one hour. Furthermore, the elevated temperatures in urban agglomerations are to be taken into account.

For nation-wide computations of emissions or in rural areas and small communities one may assume that a large percentage of the motor vehicles are parked in garages. These vehicles will therefore presumably have higher start temperatures in the morning hours. These influences are to be taken into account when the temperature vs. time curves are established for computing the cold start additions and the tank respiration.

Calculations for a period of one month or one year

In principle it is possible to calculate the cold start additions and the emissions by evaporation for every hour of a month or a year and the average of the results. However, this big effort will not be justified if only monthly or yearly averages are to be found or mean diurnal variations. Using monthly or annual averages of the temperature is not permitted; rather, monthly statistics or ambient air temperatures averaged over one hour are to be used. A procedure for calculating the mean hourly ambient air temperature is given in Annex B.

The cold start additions and the emissions due to tank respiration are then computed as averages for each hour of a month or a year.

Anhang E

Bestimmung der Kalt- bzw. Kühlstartanteile aller Fahrten

Die Ermittlung der Kalt- bzw. Kühlstartanteile aller Fahrten erfolgt über die Parkdauer vor dem Start. Den Kühlstartanteilen werden Abminderungsfaktoren $Af_{s,p}$ nach Tabelle E1 zugeordnet. Diese Abminderungsfaktoren stellen das Verhältnis Kühl- zu Kaltstartfaktor in Abhängigkeit von der Standzeit dar. Sie wurden in [16] auf der Grundlage von Erhebungen nach [39] erarbeitet.

Die Parkdauer ist jedoch in den wenigsten Fällen für einen Straßenraum bzw. ein Untersuchungsgebiet fahrleistungsgewichtet bzw. mit stundenfeiner Auflösung bekannt. Aus Verkehrsbefragungen, wie z.B. KONTIV (kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten) bzw. SrV (System repräsentativer Verkehrsbefragung), ist jedoch der Anteil der Wegzwecke (Arbeit, Dienst) an allen Fahrten zum Teil differenziert nach der Uhrzeit für Gemeinden unterschiedlicher Größenordnung bekannt. Eine Methode, wie mit diesen Angaben die Anteile der Kalt- bzw. Kühlstarts bestimmt werden, wird hier vorgestellt.

Man kann in erster Näherung davon ausgehen, dass für die Gesamtheit aller Fahrten, die einem Wegzweck zugeordnet werden können, die Verteilung der Parkdauer der Kfz vor den Fahrten in Abhängigkeit von der Tageszeit konstant bleibt. Ist diese Verteilung der Parkdauer pro Wegzweck bekannt, ist die Berech-

Annex E

Determining the cold and cool start portions of all trips

The cold and cool start portions of all trips are determined by the parking time before the start. Reduction factors $Af_{s,p}$ of Table E1 are assigned to the cool start portions. These reduction factors are the ratios of cool start factors over cold start factors. They depend on the parking time. They are based on surveys reported in [39] and are listed in [16].

Only in rare cases is the parking time weighted by mileage and with hourly resolution known for a road net or an area of investigation. From traffic surveys, however, like e.g. KONTIV (continuous survey of the driving behaviour) or SrV (system of representative traffic interviews), the portion of purposes of a trip (to work, business trip) of all trips is known for communities of different sizes and sometimes even by the time of the day. A method is presented here for determining the portions of cold and cool starts.

In a first approximation one can assume that for all trips with the same purpose the distribution of the parking time before the trip is constant but a function of the time of the day. If this distribution of the parking time per trip purpose is known, the parking time of the motor vehicles can be computed for all trips.

Tabelle E1. Verhältnis Kühlstartzuschlag zu Kaltstartzuschlag ($Af_{s,p}$) in Abhängigkeit zur Standzeit
Table E1. Ratio $Af_{s,p}$ of cool start addition over cold start addition as a function of the parking time

	Standzeit in Stunden/Parking time in hours								
	0 bis/to 1	1 bis/to 2	2 bis/to 3	3 bis/to 4	4 bis/to 5	5 bis/to 6	6 bis/to 7	7 bis/to 8	> 8
p	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	Verhältnis Kühlstartzuschlag zu Kaltstartzuschlag/ratio of cool start addition over cold start addition								
Konventionelle, bzw. Diesel-Pkw und -INfz Motor vehicles without catalytic converter; passenger cars and light commercial vehicles with diesel engine									
CO	3 %	8 %	21 %	32 %	45 %	66 %	80 %	93 %	100 %
HC	5 %	23 %	45 %	67 %	83 %	93 %	97 %	98 %	100 %
mKr , CO ₂ , SO ₂	16 %	37 %	59 %	84 %	94 %	99 %	100 %	100 %	100 %
NO _x	10 %	25 %	35 %	42 %	53 %	68 %	82 %	92 %	100 %
Part/particulates	16 %	32 %	55 %	77 %	97 %	98 %	99 %	100 %	100 %
Pkw und INfz mit G-Kat/passenger cars and light commercial vehicles with controlled catalytic converter									
CO	17 %	40 %	50 %	60 %	67 %	77 %	83 %	87 %	100 %
HC	34 %	58 %	69 %	74 %	77 %	79 %	85 %	90 %	100 %
mKr , CO ₂ , SO ₂	10 %	31 %	46 %	60 %	69 %	80 %	86 %	91 %	100 %
NO _x	70 %	98 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

konventionelle Pkw: alle Pkw außer G-Kat-Fahrzeuge/motor vehicles without catalytic converter
G-Kat-Pkw: alle Pkw mit G-Kat-Konzept/passenger cars with controlled catalytic converter

nung der Standzeit der Kfz, bezogen auf alle Fahrten, möglich.

Aus einer Verkehrsbefragung im Straßenraum [68] bzw. einer Haushaltsverkehrsbefragung wurde diese Verteilung der Parkdauer pro Wegzweck analysiert [69]. Grundlage hierfür waren ca. 8000 Kfz-Fahrten. Die Ergebnisse sind in Tabelle E2 aufgeführt. Mit diesen Daten und den Anteilen der Fahrtzwecke, siehe das Beispiel in Tabelle E3 und Tabelle E4, kann die Verteilung der Standzeiten aller Fahrten im Untersuchungsgebiet berechnet werden. Die Daten in den Tabellen E3 und E4 können aus Verkehrsbefragungen wie KONTIV oder ähnlichen entnommen werden. Liegen für das Untersuchungsgebiet keine Daten vor, müssen diese Daten durch den Analogieschluss vergleichbarer Gemeinden festgelegt werden. Aus den Daten der Tabellen E3 und E4 ergeben sich die Anteile aller Wege des Tages in Tabelle E5, differenziert nach der Tageszeit. In Verbindung mit Tabelle E2 wird dann die Verteilung der Parkdauer in Tabelle E6 berechnet. Siehe hierzu auch das Beispiel in Bild E1.

Durch die Einteilung der Parkdauer in neun Klassen (0 bis 1 h ... > 8 h) ist es möglich, eine Umrechnung vorzunehmen, ob der in [7; 16] ausgewiesene Kaltstartzuschlag vollständig bei Standzeiten > 8 h bzw. anteilig nach Abschnitt 2.4.2.1 bzw. Abschnitt 2.4.2.2 (Gleichung (6) und Gleichung (8)) berücksichtigt wird.

By interviewing drivers in the street [68] and households the distribution of the parking time per trip purpose was analysed [69]. About 8,000 motor vehicle trips were involved. The results are listed in Table E2. With these data and the portions of the trip purposes the distribution of the parking times of all trips in the area of investigation can be computed. This is illustrated by the example of Table E3 and Table E4. The data of Table E3 and Table E4 can be gathered from the reports of the traffic surveys KONTIV or similar documents. If no data of the area of investigation are available, data of comparable communities have to be used by analogy. The data of Tables E3 and E4 yield the portions of all trips of the day that are listed in Table E5 for each hour of the day. In conjunction with Table E2 the distribution of the parking time in Table E6 is obtained. See also the example of Figure E1.

By dividing the parking time into nine classes (0 to 1 h > 8 h) it is possible to determine whether the cold start addition given in [7; 16] is applied entirely to parking times > 8 h or whether it is distributed according to Section 2.4.2.1 and Section 2.4.2.2., Equation (6) and Equation (8).

Tabelle E2. Verteilung der Fahrten nach der Parkdauer vor der Fahrt, der Tageszeit und dem Fahrtzweck nach [69]
Table E2. Distribution of the trips as a function of the parking time before the trip, of the time of the day, and of the purpose of the trip; according to [69].

Fahrzweck Purpose of the trip	Park- dauer parking time	vor 07.00 Uhr before 7.a.m.	07.00 bis 07.59 Uhr 7 a.m. to 7.59 a.m.	08.00 bis 08.59 Uhr 8 a.m. to 8.59 a.m.	09.00 bis 09.59 Uhr 9 a.m. to 9.59 a.m.	10.00 bis 10.59 Uhr 10 a.m. to 10.59 a.m.	11.00 bis 11.59 Uhr 11 a.m. to 11.59 a.m.	12.00 bis 12.59 Uhr 12 a.m. to 12.59 p.m.	13.00 bis 13.59 Uhr 1 p.m. to 1.59 p.m.	14.00 bis 14.59 Uhr 2 p.m. to 2.59 p.m.	15.00 bis 15.59 Uhr 3 p.m. to 3.59 p.m.	16.00 bis 16.59 Uhr 4 p.m. to 4.59 p.m.	17.00 bis 17.59 Uhr 5 p.m. to 5.59 p.m.	18.00 bis 18.59 Uhr 6 p.m. to 6.59 p.m.	19.00 bis 19.59 Uhr 7 p.m. to 7.59 p.m.	nach 19.59 Uhr after 7.59 p.m.
		in h	Anteil/share in %													
	Arbeit (Fahrten von und zur Arbeit) Work trips to or from work	0 bis/to 0,5	5	7	12	18	27	36	24	20	18	17	16	22	9	15
0,5 bis/to 1		1	2	7	8	5	10	20	14	8	5	7	14	6	0	0
1 bis/to 2		0	1	2	6	12	6	10	14	9	9	10	13	2	20	8
2 bis/to 3		0	2	1	7	7	6	6	3	5	5	3	5	11	18	4
3 bis/to 4		0	0	0	2	2	3	3	5	3	1	3	2	4	0	17
4 bis/to 5		0	0	0	0	3	3	6	4	3	2	2	1	4	4	4
5 bis/to 6		0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0	9	13
6 bis/to 7		0	0	0	0	2	0	3	9	6	3	3	1	4	0	15
7 bis/to 8		0	0	0	0	0	4	3	4	9	4	2	0	0	0	0
> 8		93	89	78	60	43	33	23	26	36	54	53	40	58	33	36
Summe sum		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ausbildung Education	0 bis/to 0,5	28	15	34	11	32	12	13	26	15	17	10	20	0	0	0
	0,5 bis/to	0	3	1	0	15	12	18	10	9	8	2	0	0	0	0
	1 bis/to 2	0	0	9	11	11	23	14	3	8	5	9	0	0	31	0
	2 bis/to 3	0	0	8	11	7	14	17	1	2	0	14	20	39	42	0
	3 bis/to 4	0	0	0	0	0	2	1	7	1	8	0	20	0	0	38
	4 bis/to 5	0	0	0	0	11	11	2	12	10	4	7	0	0	0	0
	5 bis/to 6	0	0	0	0	0	16	15	12	1	8	0	20	0	0	0
	6 bis/to 7	0	0	0	11	0	1	10	17	10	0	1	0	0	0	0
	7 bis/to 8	0	0	0	0	0	0	0	1	10	8	7	0	0	0	0
	> 8	72	82	48	56	23	9	12	11	34	41	51	20	61	28	62
	Summe sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Beruf/ Dienst (Berufliche/ dienstliche Fahrten) Business trips	0 bis/to 0,5	13	27	29	32	32	36	32	32	30	26	22	26	20	7	0
	0,5 bis/to 1	0	10	12	14	19	18	14	15	15	14	13	15	20	25	19
	1 bis/to 2	0	5	12	12	14	19	17	15	14	16	9	7	20	52	35
	2 bis/to 3	0	3	3	8	9	10	11	3	7	7	7	13	9	6	20
	3 bis/to 4	0	0	0	3	6	5	6	2	2	6	3	4	8	4	26
	4 bis/to 5	0	0	0	2	1	2	3	5	2	3	0	4	0	0	0
	5 bis/to 6	0	3	0	1	1	1	5	8	3	2	2	6	5	0	0
	6 bis/to 7	0	0	0	0	0	0	1	7	4	2	3	0	0	0	0
	7 bis/to 8	0	1	0	1	1	0	1	2	5	6	2	2	0	5	0
	> 8	87	51	45	27	19	8	11	11	18	20	38	24	19	0	0
	Summe sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Freizeit Leisure time	0 bis/to 0,5	0	30	18	24	38	29	23	20	25	29	27	25	14	30	29
	0,5 bis/to 1	0	3	13	13	12	17	17	18	15	6	7	21	15	13	13
	1 bis/to 2	0	0	7	11	13	23	8	11	11	17	10	17	28	18	27
	2 bis/to 3	0	0	4	3	6	3	14	11	7	9	9	8	8	11	15
	3 bis/to 4	0	0	2	1	2	2	4	4	3	3	5	6	16	3	8
	4 bis/to 5	0	3	0	0	0	1	4	3	1	2	1	2	0	5	5
	5 bis/to 6	0	0	2	0	0	2	6	1	2	2	1	1	1	1	2
	6 bis/to 7	0	0	0	0	0	0	1	5	5	1	3	1	0	3	0
	7 bis/to 8	0	0	0	0	0	0	1	2	5	1	1	2	4	0	0
	> 8	100	63	55	48	29	22	20	26	26	29	36	17	13	16	2
	Summe sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fahrtzweck Purpose of the trip	Park- dauer parking time	vor 07.00 Uhr before 7 a.m.	07.00 bis 07.59 Uhr 7 a.m. to 7.59 a.m.	08.00 bis 08.59 Uhr 8 a.m. to 8.59 a.m.	09.00 bis 09.59 Uhr 9 a.m. to 9.59 a.m.	10.00 bis 10.59 Uhr 10 a.m. to 10.59 a.m.	11.00 bis 11.59 Uhr 11 a.m. to 11.59 a.m.	12.00 bis 12.59 Uhr 12 a.m. to 12.59 p.m.	13.00 bis 13.59 Uhr 1 p.m. to 1.59 p.m.	14.00 bis 14.59 Uhr 2 p.m. to 2.59 p.m.	15.00 bis 15.59 Uhr 3 p.m. to 3.59 p.m.	16.00 bis 16.59 Uhr 4 p.m. to 4.59 p.m.	17.00 bis 17.59 Uhr 5 p.m. to 5.59 p.m.	18.00 bis 18.59 Uhr 6 p.m. to 6.59 p.m.	19.00 bis 19.59 Uhr 7 p.m. to 7.59 p.m.	nach 19.59 Uhr after 7.59 p.m.
		Anteil/share in %														
Erledigung/ Einkauf Personal business, shopping	0 bis/to 0,5	14	21	15	24	27	27	21	24	25	21	21	27	34	24	23
	0,5 bis/to 1	4	10	7	9	14	19	18	16	18	13	15	17	25	25	25
	1 bis/to 2	0	0	9	7	16	22	20	14	15	16	17	22	11	25	23
	2 bis/to 3	0	0	2	1	2	4	10	7	8	5	4	4	5	9	6
	3 bis/to 4	0	0	1	1	2	3	3	4	2	4	3	3	2	0	4
	4 bis/to 5	0	0	0	0	0	2	1	2	1	1	2	2	0	6	5
	5 bis/to 6	0	0	0	1	0	0	4	2	1	1	1	0	0	0	7
	6 bis/to 7	0	0	0	0	0	1	1	7	2	3	2	1	0	2	5
	7 bis/to 8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	3	0	0
	> 8	82	69	67	57	37	22	22	23	27	33	35	24	19	9	4
	Summe sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle E3. Ein Beispiel für die Verteilung der Wege im motorisierten Individualverkehr (MIV) nach dem Wegzweck und der Tageszeit

Table E3. An example of the distribution of the trips of motorised passenger traffic (MIV) as a function of the purposes of the trip and the time of the day

Fahrtzweck Purpose of the trip	vor 07.00 Uhr before 7 a.m.	07.00 bis 07.59 Uhr 7 a.m. to 7.59 a.m.	08.00 bis 08.59 Uhr 8 a.m. to 8.59 a.m.	09.00 bis 09.59 Uhr 9 a.m. to 9.59 a.m.	10.00 bis 10.59 Uhr 10 a.m. to 10.59 a.m.	11.00 bis 11.59 Uhr 11 a.m. to 11.59 a.m.	12.00 bis 12.59 Uhr 12 a.m. to 12.59 p.m.	13.00 bis 13.59 Uhr 1 p.m. to 1.59 p.m.	14.00 bis 14.59 Uhr 2 p.m. to 2.59 p.m.	15.00 bis 15.59 Uhr 3 p.m. to 3.59 p.m.	16.00 bis 16.59 Uhr 4 p.m. to 4.59 p.m.	17.00 bis 17.59 Uhr 5 p.m. to 5.59 p.m.	18.00 bis 18.59 Uhr 6 p.m. to 6.59 p.m.	19.00 bis 19.59 Uhr 7 p.m. to 7.59 p.m.	nach 19.59 Uhr after 7.59 p.m.	0 bis 24 Uhr 0 p.m. to 12 p.m.
	Anteil/share in %															
Arbeit Work	31	12	7	5	3	3	2	3	4	6	6	5	5	2	7	100
Ausbildung Education	5	19	7	4	7	6	7	7	11	9	5	3	3	3	3	100
Beruf/Dienst Business trips	1	6	7	8	10	10	11	11	9	6	7	4	3	2	5	100
Erledigung/ Einkauf Personal business, shopping	2	3	5	7	9	10	6	6	7	9	9	11	7	5	4	100
Freizeit Leisure time	1	2	3	4	4	4	6	5	7	7	6	7	10	10	24	100

Arbeit: Fahrten von/zur Arbeit / work: trips to and from the place of work

Beruf/Dienst: Berufliche/dienstliche Fahrten / business trips

Tabelle E4. Ein Beispiel für die Verteilung der Wege im motorisierten Individualverkehr (MIV) nach dem Wegzweck über einen Tag

Fahrtzweck	0 bis 24 Uhr
	Anteil in %
Arbeit	26
Ausbildung	3
Beruf/Dienst	20
Erledigung/Einkauf	30
Freizeit	21
	100

Arbeit: Fahrten von/zur Arbeit

Beruf/Dienst: Berufliche/dienstliche Fahrten

Table E4. An example of the distribution of the trips of motorised passenger traffic (MIV) as a function of the purposes of the trip for a whole day

Purpose of the trip	0 p.m. to 12 p.m.
	Share in %
Work	26
Education	3
Business trips	20
Personal business, shopping	30
Leisure time	21
	100

work: trips to and from the place of work

Tabelle E5. Anteil aller Wege des Tages der MIV-Fahrten differenziert nach Tageszeit und Wegzweck berechnet nach den Tabellen E3 und E4 nach [69]

Table E5. Portion of all trips of the day of MIV trips as functions of the time of the day and purpose of the trip, computed with the data of Tables E2 and E4; according to [69]

Fahrtzweck Purpose of the trip	vor 07.00 Uhr before 7 a.m.	07.00 bis 07.59 Uhr 7 a.m. to 7.59 a.m.	08.00 bis 08.59 Uhr 8 a.m. to 8.59 a.m.	09.00 bis 09.59 Uhr 9 a.m. to 9.59 a.m.	10.00 bis 10.59 Uhr 10 a.m. to 10.59 a.m.	11.00 bis 11.59 Uhr 11 a.m. to 11.59 a.m.	12.00 bis 12.59 Uhr 12 a.m. to 12.59 p.m.	13.00 bis 13.59 Uhr 1 p.m. to 1.59 p.m.	14.00 bis 14.59 Uhr 2 p.m. to 2.59 p.m.	15.00 bis 15.59 Uhr 3 p.m. to 3.59 p.m.	16.00 bis 16.59 Uhr 4 p.m. to 4.59 p.m.	17.00 bis 17.59 Uhr 5 p.m. to 5.59 p.m.	18.00 bis 18.59 Uhr 6 p.m. to 6.59 p.m.	19.00 bis 19.59 Uhr 7 p.m. to 7.59 p.m.	nach 19.59 Uhr after 7.59 p.m.	0 bis 24 Uhr 0 p.m. to 12 p.m.
	Anteil/share in %															
Arbeit Work	8.1	3.2	1.7	1.2	0.7	0.7	0.6	0.8	1.1	1.7	1.6	1.3	1.4	0.5	1.7	26
Ausbildung Education	0.2	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	3
Dienst Business trip	0.3	1.2	1.4	1.7	2.0	1.9	2.2	2.1	1.8	1.1	1.3	0.8	0.6	0.5	0.9	20
Einkauf Shopping	0.7	0.8	1.7	2.2	2.6	2.9	1.8	1.9	2.3	2.6	2.6	3.3	2.1	1.5	1.2	30
Freizeit Leisure time	0.1	0.5	0.6	0.9	0.9	0.8	1.2	1.1	1.4	1.4	1.2	1.4	2.1	2.1	5.1	21
Summe Sum	9.4	6.3	5.6	6.1	6.4	6.5	6.0	6.2	6.9	7.1	6.8	6.9	6.3	4.7	9.0	100

Arbeit: Fahrten von/zur Arbeit / work: trip to and from the place of work

Beruf/Dienst: Berufliche/dienstliche Fahrten / business trips

Tabelle E6. Verteilung der Parkdauer der MIV-Fahrten für alle Fahrtzwecke differenziert nach der Tageszeit berechnet aus den Tabellen E2 und E5

Table E6. Distribution of the parking time of the MIV-trips for all trip purposes as functions of the time of the day, derived from Tables E2 and E5

[illegible]

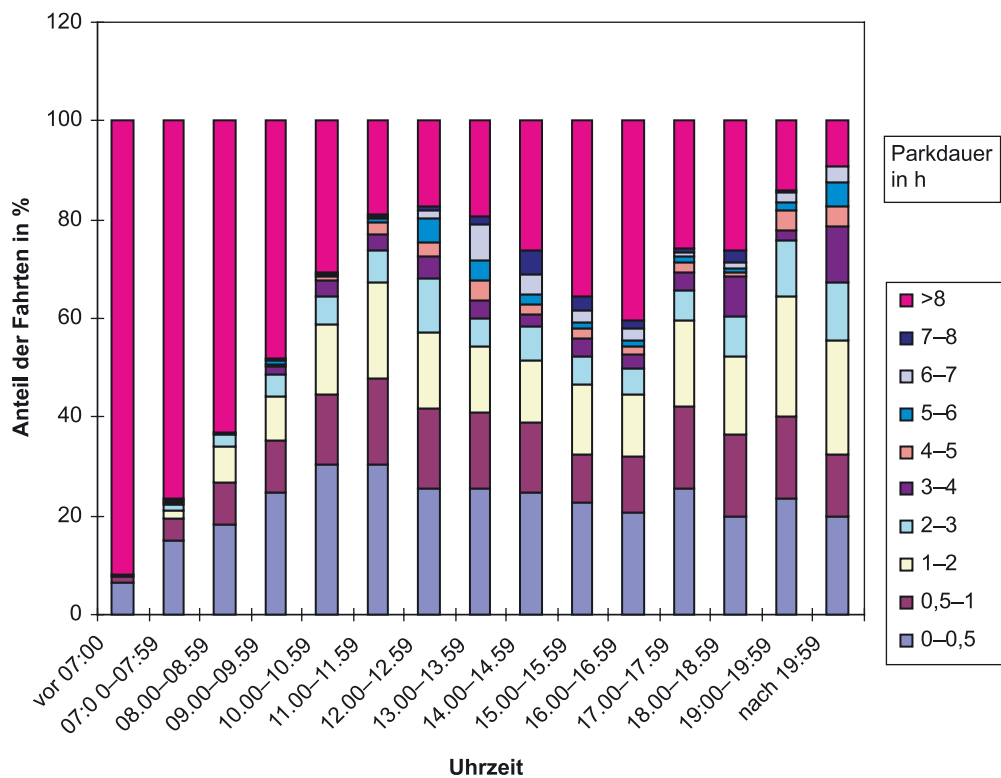


Bild E1. Verteilung der Parkdauer der MIV-Fahrten differenziert nach der Tageszeit

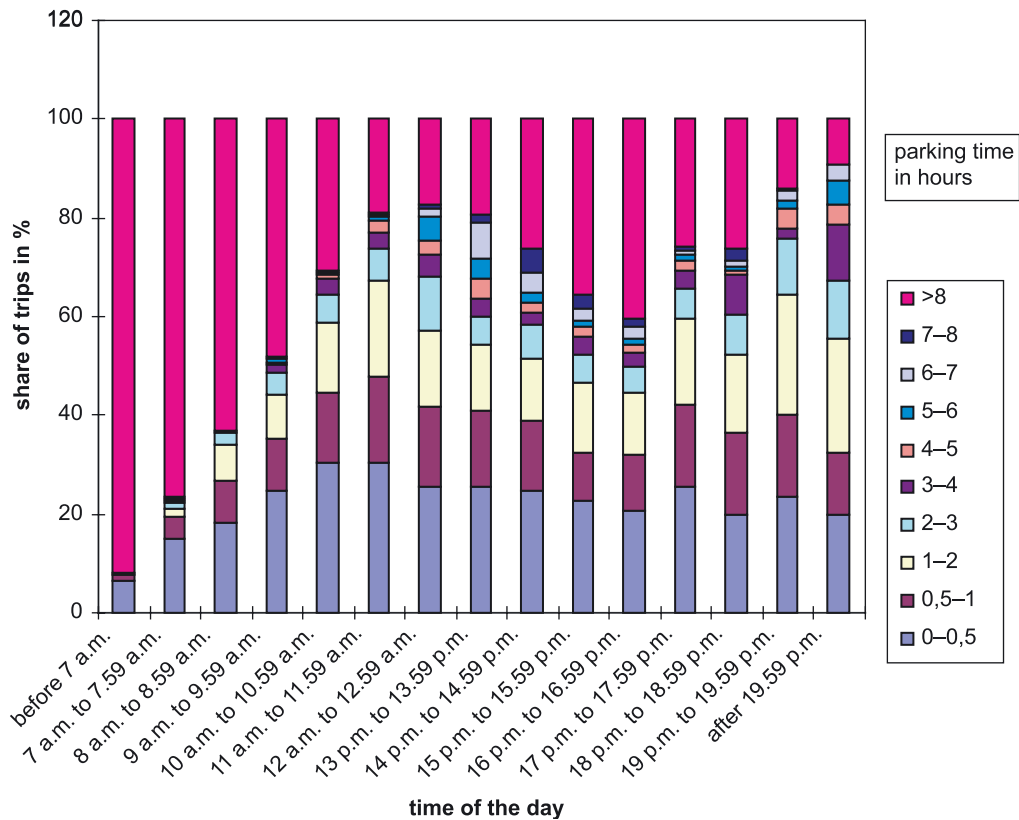


Fig. E1. Distribution of the parking times of the MIV-trips as a function of the time of the day

Anhang F Fahrtweitenverteilung

Die Kalt- und Kühlstartzuschläge hängen neben der Standzeit von der zurückgelegten Entfernung nach dem Start ab. Bei einer Emissionsberechnung für eine bestimmte Straße oder ein bestimmtes Gebiet müssen die Anteile der Kfz bestimmt werden, die sich im 1., 2., 3., 4. und 5. Kilometer seit Fahrtbeginn befinden. Diese Fahrleistungsanteile unterscheiden sich je nach Funktion und Lage der Straße in der Stadt sowie verkehrsinduzierenden Zielen und Quellen in 5 km Entfernung zum Untersuchungspunkt.

Großräumiges Untersuchungsgebiet

Für ein größeres Untersuchungsgebiet können mit Hilfe von Fahrtweitenverteilungen, wie in [10; 40; 70] beschrieben, und zusätzlichen plausiblen Annahmen zum Ziel- bzw. Transitverkehr die Fahrleistungsanteile der Entfernungsbereiche von 0 bis 5 km an der Gesamtfahrleistung abgeschätzt werden (Tabelle F1 bis Tabelle F3).

So wurden in [10] 2428 Fahrten von 19 Pkw im Raum Krefeld bzw. Köln hinsichtlich ihrer Fahrtlängen und Motortemperaturen untersucht. Die Fahrtlängenverteilungen mussten an für Deutschland re-

Annex F Distribution of travelled distances

The cold and cool start additions depend not only on the parking time but also on the distance travelled after the start. When the emissions are calculated for a certain road or a certain area, the shares of those motor vehicles are to be determined that are in their first, second, third, fourth or fifth kilometre after their trip started. These numbers depend on the function and location of the road in the town as well as on the traffic-generating origins and destinations within a distance of 5 km from the point of observation.

Large area of investigation

In larger areas of investigation the distributions of travelled distances as described in [10; 40; 70] can be used together with additional plausible assumptions about the terminating and transit traffic to estimate the shares of mileage over the distances from 0 to 5 km (Tables F1 to Table F3).

In the areas of Krefeld and Cologne the travelled distances and engine temperatures of 19 passenger cars on 2,428 trips were investigated and reported in [10]. The distributions of travelled distances were adapted

Tabelle F1. Fahrtweitenverteilungen der DRIVE-Fahrten vor und nach der Gewichtung (nach [10])

DRIVE	Wegstrecke in km										
	< 0,5	0,5 bis < 1	1 bis < 2	2 bis < 3	3 bis < 5	5 bis < 7	7 bis < 10	10 bis < 15	15 bis < 20	20 bis < 50	> 50
ungewichtet	7,5 %	7,2 %	15,3 %	12,3 %	14,2 %	11,0 %	8,8 %	8,6 %	3,7 %	7,1 %	4,4 %
gewichtet	4,3 %	6,0 %	13,4 %	10,9 %	14,1 %	12,1 %	9,1 %	10,3 %	4,8 %	9,5 %	5,6 %

Table F1. Distribution of travelled distances of DRIVE trips before and after weighting; according to [10]

DRIVE	Travelled distance in km										
	< 0.5	0.5 to < 1	1 to < 2	2 to < 3	3 to < 5	5 to < 7	7 to < 10	10 to < 15	15 to < 20	20 to < 50	> 50
not weighted	7.5 %	7.2 %	15.3 %	12.3 %	14.2 %	11.0 %	8.8 %	8.6 %	3.7 %	7.1 %	4.4 %
weighted	4.3 %	6.0 %	13.4 %	10.9 %	14.1 %	12.1 %	9.1 %	10.3 %	4.8 %	9.5 %	5.6 %

Tabelle F2. Kaltstartrelevante Fahrleistungsanteile in Berlin (nach [70])

Table F2. Shares of mileage in Berlin that are relevant for cold start additions; according to [70]

Kilometer Kilometre	Fahrleistung Mileage	Anteil an der gesamten Pkw-Fahrleistung Share of the total passenger car mileage	
	(Pkw · km) (passenger cars · km)	bei Fahrmuster 2, 3, 4 with driving pattern 2, 3, 4	im Nebennetz on by-streets
1	3 815 283	8.1 %	34.9 %
2	3 653 576	15.5 %	–
3	3 309 947	14.0 %	–
4	2 961 266	12.5 %	–
5	2 658 065	11.3 %	–

Tabelle F3. Anteil der Pkw-Fahrten, differenziert nach Straßengruppen, bei denen die Motortemperatur von 80 °C nicht erreicht wird (nach [10])

Überwiegende Typisierung	Fahrmuster	Mittlerer Anteil der Kaltstartphase
Stadtstraßen		
• Garagenfahrten, Stand		47,1 %
• Flächenquellen	1	37,1 %
• Kern, nicht koordinierte LSA	2	44,1 %
• Kern, koordinierte LSA	3	36,9 %
• Ortsdurchfahrten mit Engstellen	4	36,0 %
• vorfahrberechtigte Linienquellen	5	25,8 %
• Ortsausfahrt	LB4(CH)	28,9 %
• Ortseinfahrt	LV4(CH)	14,8 %
Landstraßen		
• unstetig	6	34,8 %
• eng	7	22,0 %
• mit Beschleunigungen	8	28,6 %
• mit Verzögerungen	9	6,5 %
• stetig	10	9,0 %
Autobahnen		0,8 %

Table F3. Share of the passenger car trips, classified by groups of roads, on which the engine did not reach a temperature of 80 °C; according to [10]

Predominant road class	Driving pattern	Mean share of the cold start phase
Urban streets		
• manoeuvring in garages; parking		47.1 %
• area sources	1	37.1 %
• downtown, uncoordinated traffic signals	2	44.1 %
• downtown, co-ordinated traffic signals	3	36.9 %
• cross town links with narrow passages	4	36.0 %
• line sources with right-of-way	5	25.8 %
• traffic leaving town	LB4(CH)	28.9 %
• traffic entering town	LV4(CH)	14.8 %
Country roads		
• varying road conditions	6	34.8 %
• narrow	7	22.0 %
• with accelerations	8	28.6 %
• with decelerations	9	6.5 %
• uniform road conditions	10	9.0 %
Motorways		0.8 %

präsentative Verhältnisse mittels → KONTIV- bzw. INFRATEST-Untersuchungen angepasst werden. So konnte die Stichprobe um kurze Garagen- und Rangierfahrten, die nicht als eigenständig zu werten sind, bereinigt werden. Diese angepassten Daten wurden dann zur Berechnung der → Kaltstartanteile herangezogen (Tabelle F1 bzw. Bild F1).

Zu beachten ist hierbei, dass jede Fahrt, unabhängig wie lang sie ist, Fahrleistungen in den ersten Kilometern erbringt. Weiterhin ist relevant, wie viele Fahrten insgesamt im Untersuchungsbereich durchgeführt wurden. Diese Angaben sind ebenfalls aus KONTIV- oder ähnlichen Untersuchungen zu entnehmen. In [10] wird von durchschnittlich drei Fahrten pro Pkw und Tag ausgegangen.

to the conditions that are representative for all of Germany by means of → KONTIV and INFRATEST studies. Thus short manoeuvres in garages that would not count as trips could be eliminated from the sample. These modified data were then used to compute the → cold start shares (Table F1 and Figure F1).

It should be observed that every trip generates mileage in its first kilometres independently of its length. Furthermore, the total number of trips is important that were undertaken in the area of investigation. These data may also be gathered from KONTIV or similar investigations. In [10] an average of three trips per passenger car and day are assumed.

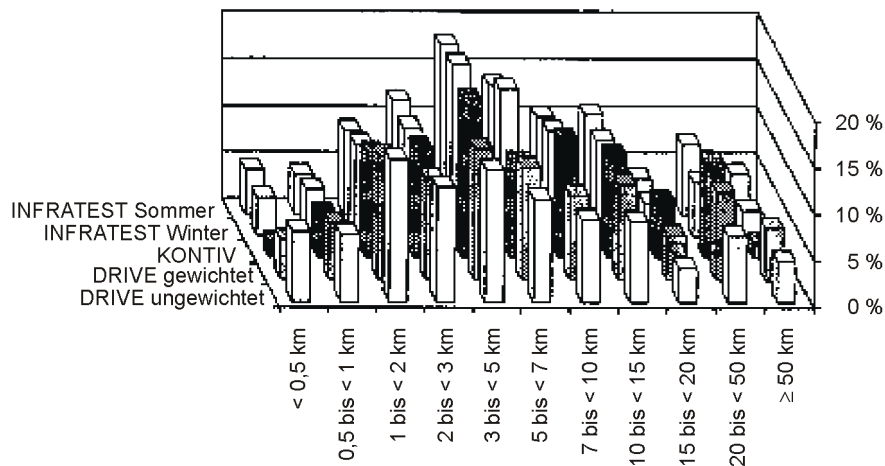


Bild F1. Fahrtweitenverteilungen der verschiedenen Erhebungen im Vergleich mit den gewichteten DRIVE-Fahrten (nach [10])

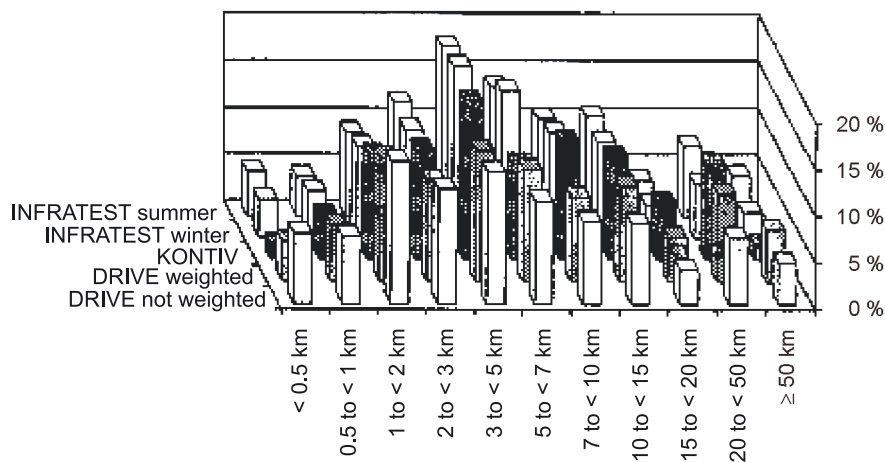


Fig. F1. Distributions of travelled distances from various surveys compared with the weighted DRIVE trips; according to [10]

Aus diesen Angaben lassen sich dann die Fahrleistungen der ersten 5 Kilometer abschätzen (wie z. B. in Tabelle F2).

Neben der Abschätzung der Fahrleistungsanteile der ersten 5 km ist für die Kaltstartberechnung auch wesentlich, bei welchem Fahrmuster bzw. welcher Straßenart diese Fahrleistungen erbracht werden.

In [10] wird für unterschiedliche Straßentypen der Anteil der Fahrten einer Stichprobe ermittelt, bei denen die Betriebstemperatur des Pkw-Motors 80 °C noch nicht erreicht war. Die dort enthaltenen Anteile (Tabelle F3) stellen somit zum einen die Fahrten dar, die 0 bis 5 km lang waren, und wo zum anderen vor Fahrtbeginn der Motor abgekühlt war. Betrachtet man alle Fahrleistungsanteile von 0 bis 5 km, so sind die in Tabelle F3 angegebenen Anteile nur eine Teilmenge. Die Wichtung, ob eine Fahrt von 0 bis 5 km einem Kaltstart, einem Kühlstart oder einem Warmstart zuzuordnen ist, erfolgt über die Standzeitenverteilung.

With these data the mileage of the first 5 kilometres can be estimated. An example is given in Table F2.

Besides the estimated shares of mileage of the first 5 km the cold start computation requires also the driving patterns and the road category with which these mileages were produced.

In [10] the share of trips on different kinds of roads is determined at which the engine has not reached its operating temperature of 80 °C. The shares listed there and in Table F3 represent the trips that were between 0 and 5 km long and the trips that started with a cold engine. The shares listed in Table F3 are only a part of all mileage shares over distances up to 5 km. The classification of trips from 0 to 5 km into those with cold starts, cool starts or warm starts is done by means of the parking time distributions.

Deshalb sollten die abzuschätzenden Fahrleistungsanteile der ersten 5 km die in Tabelle F3 aufgeführten Anteile nicht unterschreiten. Die dort ausgewiesenen Angaben können zur Plausibilitätsprüfung herangezogen werden.

Einzelne Straßen

Die Bestimmung der Fahrleistungsanteile der ersten 5 km kann durch eine Verkehrsbefragung bzw. durch eine Verkehrsnetzanalyse erfolgen. Da diese Verfahren sehr aufwändig sind, wird in den meisten Fällen auf Untersuchungen an anderen Straßen zurückgegriffen. Die Zuordnung erfolgt dann über den Straßentyp bzw. die Funktion der Straße.

Bei einer Straßenbefragung wird festgestellt, wo die Fahrer das Kfz zuletzt abgestellt hatten. Die Entfernung von diesem Ort zur Straße wird abgeschätzt. Durch die Analyse aller Befragungen ergibt sich dann die Fahrtweitenverteilung bezogen auf den Standort.

Bei einer Verkehrsnetzanalyse wird ein Gebiet hinsichtlich der Verkehrsströme analysiert. Grundlage hierfür sind ebenfalls Verkehrsbefragungen und Verkehrszählungen. Es werden Verkehrszellen (Stadtteile) definiert, die sich räumlich wie auch funktionell von anderen Verkehrszellen unterscheiden. Die Verkehrsbeziehungen der einzelnen Verkehrszellen untereinander werden modelliert. Sind die Verkehrsmengen, die zwischen den Verkehrszellen fließen, berechnet, werden diese auf das vorhandene Straßennetz umgelegt. Hier erfolgt der Abgleich mit den tatsächlichen Verkehrsbelegungen. Dann ist es möglich, die Quellen des Verkehrs eines bestimmten Straßenabschnittes den Verkehrszellen zuzuordnen. Über entsprechende Entfernungsmatrizen ist anschließend die Berechnung der Entfernungsverteilung der ersten 5 km nach Fahrtbeginn möglich.

Bisher vorliegende Ergebnisse von Verkehrsbefragungen bzw. Netzanalysen von Hauptstraßen ergaben die in Tabelle F4 aufgezeigten Entfernungsverteilungen.

Wesentlich für die Höhe der Fahrtweitenanteile kleiner 5 km ist die Lage des zu untersuchenden Straßenabschnittes. In der Innenstadt ist der Beitrag des Binnenverkehrs an der Fahrleistung wesentlich größer als am Stadtrand. Deshalb sind hier die Fahrtweitenanteile kleiner 2 km höher als am Stadtrand. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Straße mit hohem Verkehrsdurchsatz die überregionale Bedeutung zunimmt. Weiterhin wird der Anteil von Fahrten aus entfernter liegenden Quellen hier größer sein als in einer Straße mit geringem Verkehrsdurchsatz. Das umliegende Gebiet im Umkreis bis zu 2 km zum

For this reason the mileage shares of the first 5 km that are to be estimated should not be less than the shares listed in Table F3. The data given there could be utilised in tests of plausibility.

Individual roads

The mileage shares of the first 5 km may be determined by interviewing drivers or by a traffic net analysis. Because these procedures are very costly, surveys conducted on other roads are relied upon in most cases. The correlation is then established via the type of road or the function of the road.

When drivers are interviewed they are asked about the last parking location. The distance from this place to the road section is estimated. By analysing all answers the distribution is obtained of the distances travelled to the point of observation.

In a traffic net analysis the traffic flows of an area are studied. The basis is again interviewing drivers and vehicle counting. Traffic cells (town districts) are defined that are spatially and functionally distinct. Their mutual traffic relations are modelled. After the traffic volumes have been calculated that flow between the traffic cells they are projected upon the road net. Here they are adjusted to the actual traffic densities. Then it is feasible to assign the origins of the traffic on a certain road section to the traffic cells. By means of pertinent matrices of distances the distribution of the distances of the first 5 km after the trip's start can be computed.

Results from interviewing drivers and traffic net analyses on main roads yielded the distributions of distances listed in Table F4.

The location of the investigated road section is decisive for the size of the shares of travelled distances less than 5 km. Downtown the contribution of the local traffic to the mileage is significantly larger than in the outskirts. Therefore the share of travelled distances less than 2 km is bigger downtown than in the outskirts. It can be assumed that a road with large traffic volume is important beyond the local area. Also the share of trips from more distant origins will be larger here than on roads with little traffic volume. An area of 2 km radius surrounding the point of observation can generate only a limited amount of traffic.

Tabelle F4. Anteile des Verkehrs mit Fahrtweiten kleiner 5 km am *DTV* in Abhängigkeit von der Lage und der *Verkehrsstärke* auf verschiedenen *Straßentypen* in Brandenburger Städten (nach [71])

		<i>DTV</i> in Kfz/d	Entfernungsverteilung in km					
			0 bis 1	1 bis 2	2 bis 3	3 bis 4	4 bis 5	> 5
			<i>S</i> = 0	1	2	3	4	5
Innenstadt	Hauptstr.	> 30 000	6 %	10 %	16 %	18 %	15 %	35 %
Innenstadt	Hauptstr.	10 000 bis 30 000	12 %	18 %	12 %	9 %	9 %	40 %
Innenstadt	Hauptstr.	5 000 bis 10 000	20 %	10 %	15 %	10 %	8 %	37 %
1 km Nähe zu stark verkehrserzeugenden Zielen	Hauptstr.	5000 bis 20 000	30 %	10 %	9 %	9 %	9 %	33 %
	Nebenstr.	< 2000	40 %	12 %	15 %	8 %	8 %	17 %
Stadtrand		> 10 000	3 %	4 %	3 %	20 %	10 %	60 %
Stadtrand		5000 bis 10 000	6 %	12 %	5 %	15 %	10 %	52 %
Stadtrand		< 5000	22 %	10 %	5 %	5 %	5 %	53 %

Angaben gelten für Städte > 30 000 Einwohner

Table F4. Shares of the traffic with travelled distances less than 5 km in the *DTV*, on various types of roads in towns in Brandenburg, classified by *location* and *traffic volume*

		<i>DTV</i> in motor vehicles per day	Distribution in % vs. distances in km					
			0 to 1	1 to 2	2 to 3	3 to 4	4 to 5	> 5
			<i>S</i> = 0	1	2	3	4	5
Downtown	main street	> 30 000	6 %	10 %	16 %	18 %	15 %	35 %
Downtown	main street	10 000 to 30 000	12 %	18 %	12 %	9 %	9 %	40 %
Downtown	main street	5 000 to 10 000	20 %	10 %	15 %	10 %	8 %	37 %
1 km distance to strong traffic-inducing destinations	main street	5000 to 20 000	30 %	10 %	9 %	9 %	9 %	33 %
	by-street	< 2000	40 %	12 %	15 %	8 %	8 %	17 %
Outskirts		> 10 000	3 %	4 %	3 %	20 %	10 %	60 %
Outskirts		5000 to 10 000	6 %	12 %	5 %	15 %	10 %	52 %
Outskirts		< 5000	22 %	10 %	5 %	5 %	5 %	53 %

data for towns with a population > 30 000

Untersuchungspunkt kann ja nur eine bestimmte Menge Verkehr induzieren.

Deshalb ist bei Straßen mit hohem Verkehrsdurchsatz der Anteil der Fahrten mit Entfernungen kleiner 2 km geringer als bei Straßen mit geringerem Verkehrsaufkommen. Ausnahmen stellen hier sehr große Einkaufszentren bzw. Konzentrationen von Büroflächen dar, wenn ein hohes Parkplatzangebot auf engstem Raum ebenfalls vorhanden ist. Dort sind die Anteile kleiner 2 km eventuell höher.

Am Ortsrand wirken sich die Fahrleistungsanteile vom Durchgangs- bzw. Zielverkehr aus umliegenden Gemeinden in die Stadt stärker aus. Demzufolge sind die Fahrleistungsanteile kurzer Länge von 0 bis 3 km bei Straßen mit großer regionaler Bedeutung und demzufolge Verkehrsstärken > 10 000 Kfz/d am Stadtrand wesentlich geringer als in der Innenstadt.

Roads with large traffic carry a smaller share of trips of travelled distances less than 2 km than roads with less traffic. Exceptions are very large shopping centres and concentrations of office buildings if there exist also ample parking facilities in small spaces. There the share of travelled distances less than 2 km may be higher.

The contributions of mileage by the transit traffic and the traffic terminating in town are dominant in the outskirts. As a consequence the mileage shares of short distances of between 0 and 3 km are significantly smaller in the outskirts than downtown on roads of great regional importance and with traffic volumes exceeding 10,000 motor vehicles per day.

Je geringer die Verkehrsstärke desto größer sind die Einflüsse des vom Stadtrand bzw. benachbarten Gemeinden eingespeisten Verkehrs. So können die Fahrleistungsanteile von Fahrten kleiner 2 km bei Straßen mit geringer Verkehrsstärke sehr hoch sein. Höhere Anteile als in Tabelle F4 sind wiederum bei hohem Parkplatzangebot und -nachfrage an der zu untersuchenden Straße möglich.

Bei der stundenfeinen Emissionsberechnung ist die Aufteilung der Fahrtweiten, bezogen auf den stündlichen Verkehrsdurchsatz, wünschenswert. Dennoch wird diese Aufteilung nur durch eine sehr umfangreiche Untersuchung möglich sein. Ob die Verteilung der Fahrtweiten, bezogen auf die stündlichen Verkehrsstärken, sich überhaupt gravierend verändert, ist davon abhängig, ob Fahrleistungen einer bestimmten Fahrtzweckgruppe (Arbeit, Einkauf) in dieser Stunde dominierend sind. Zusätzlich muss die Quelle dieses Verkehrs in unmittelbarer Nähe zur untersuchten Straße liegen. Bei einer Straße mit hohem Verkehrsanteil der umliegenden Wohngebiete wird in den Morgenstunden der Fahrleistungsanteil der Entfernungsbereiche 0 bis 2 km höher sein als in den übrigen Stunden. Straßen, deren Verkehr stark durch Einzelhandelseinrichtungen geprägt sind, werden hingegen in den Nachmittags- und Abendstunden hohe Fahrleistungsanteile von Fahrten mit 0 bis 2 km Länge aufweisen, wenn die Einkaufsmöglichkeiten sich in dieser Entfernung zur Straße befinden. Diese Einflüsse sind lokal bedingt und daher nicht pauschal zu quantifizieren. Beispiele der zeitlichen Auflösung sind in [68] enthalten.

The smaller the traffic volume is the bigger are the effects of the traffic fed from the outskirts and the neighbouring communities. Thus the mileage shares of trips with lengths less than 2 km can be quite high on roads with little traffic. Shares higher than listed in Table F4 are possible if large car parks are available and frequented near the investigated road.

If the emission is to be computed with a resolution of one hour, the distribution of the travelled distances should also have a resolution of one hour. However, such a fine division can be achieved only by very extensive investigations. Whether the distribution of the travelled distances, related to the hourly traffic volumes, significantly varies depends on the dominance of the mileage of a certain group of purposes of trips (work, shopping) in the given hour. In addition, the origin of this traffic must be in the immediate vicinity of the investigated road. On roads with a high share of traffic from neighbouring residential areas the mileage with the distance range 0 to 2 km will be higher in the morning hours than during the other hours of the day. Roads whose traffic is strongly determined by retail shops within 2 km distance will exhibit large shares of mileage between 0 and 2 km in the afternoon and evening hours. These influences depend on local conditions and can therefore not be generally quantified. Examples of temporal resolutions are contained in [68].

Anhang G

Rechenbeispiel zum Kalt-/Kühlstart sowie Auswirkungen von veränderten Eingangsdaten auf das Emissionsergebnis

Nachfolgend wird anhand eines Rechenbeispiels schrittweise die Bestimmung eines Emissionsfaktors nach Gleichung (5), Gleichung (6) und Gleichung (8) vorgenommen.

Bei den Rechnungen in den nachfolgenden Beispielen handelt es sich – zwecks Nachvollziehbarkeit – um eine rein formale Berechnung ohne Fehlerbetrachtung.

Berechnungsbeispiel für Kohlenwasserstoffemissionen auf einer Straße

G-Kat-Pkw, Schicht „Pkw Benzin Euro-1, 1,4 bis 2 ℓ“, Verkehrssituation IO-HVS 3

Umgebungstemperatur 10 °C

Straße 10 000 bis 30 000 Kfz/d
innerorts

07.00 bis 08.00 Uhr

1. Aus dem UBA-Handbuch ergibt sich aus den Angaben G-Kat-Pkw, Schicht „Pkw Benzin Euro-1, 1,4 bis 2 ℓ“, Verkehrssituation IO-HVS 3 ein Emissionsfaktor im betriebswarmen Zustand von $SE = 0,0737$ g/km.
2. Die Kaltstartfaktoren $KF_{S,\vartheta}$ für die Fahrzeugschicht entsprechen denen der Fahrzeugkategorie G-Kat-Pkw aus [7]. Eine feinere Differenzierung nach Fahrzeugschichten liegt noch nicht vor.

Strecke S in km	Kaltstartfaktoren	
	$KF_{S,5^{\circ}\text{C}}$	$KF_{S,20^{\circ}\text{C}}$
1	5,28	2,18
2	6,82	2,73
3	6,96	2,77
4	7,00	2,78
5	7,02	2,79

Mit Gleichung (5) aus Abschnitt 2.4.2.1 erfolgt die Berechnung des kaltstartbedingten Schichtzuschlages $\Delta SE_{\text{Ka},\vartheta,S}$ bei einer Starttemperatur von 10 °C. Diese Zwischenergebnisse können auch direkt mit [16] berechnet werden.

$$\Delta SE_{\text{Ka},\vartheta,S} = SE \cdot S_{\text{III}} \cdot \left(KF_{S,20^{\circ}\text{C}} + (KF_{S,20^{\circ}\text{C}} - KF_{S,5^{\circ}\text{C}}) \cdot \frac{\vartheta - 20^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C}} \right) \text{ für } 5^{\circ}\text{C} < \vartheta < 30^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \Delta SE_{\text{Ka},10^{\circ}\text{C},1\text{ km}} &= 0,0737 \text{ g/km} \cdot 5,777 \text{ km} \cdot (2,18 + (2,18 - 5,28) \cdot (10^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})/15^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,0737 \text{ g/km} \cdot 5,777 \text{ km} \cdot 4,247 = 1,808 \text{ g} \end{aligned}$$

Annex G

Example of calculating cold and cool start additions and the effects of variations of the input data on the resulting emissions

In the following example the emission factor is calculated step-by-step using Equations (5), (6) and (8).

In order to be more instructive, the computations of the following examples are purely schematic without any error analysis.

Example of calculating the emissions of hydrocarbons on a road

Passenger car with controlled catalytic converter; vehicle layer "Passenger car, Otto-cycle engine; Euro-1, 1.4 to 2 ℓ", traffic situation IO-HVS 3
ambient air temperature 10 °C

road, 10,000 to 30,000 motor vehicles per day
in built-up area
7 to 8 a. m.

1. For the input data: passenger car with controlled catalytic converter, vehicle layer "passenger car, Otto-cycle engine; Euro-1, 1.4 to 2 ℓ"; traffic situation IO-HVS 3, the UBA manual quotes an emission factor of $SE = 0.0737$ g/km for the engine at operating temperature.
2. The cold start factors $KF_{S,\vartheta}$ for this vehicle layer are the same as those of vehicle category "passenger car with controlled catalytic converter" of [7]. No finer distinction of the vehicle layers exists yet.

Distance S in km	Cold start factors	
	$KF_{S,5^{\circ}\text{C}}$	$KF_{S,20^{\circ}\text{C}}$
1	5.28	2.18
2	6.82	2.73
3	6.96	2.77
4	7.00	2.78
5	7.02	2.79

The class-specific cold start addition $\Delta SE_{\text{Ka},\vartheta,S}$ at the start temperature 10 °C is calculated by means of Equation (5) in Section 2.4.2.1. These intermediate results can also be computed directly with [16].

$$\begin{aligned}\Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 2 \text{ km}} &= 2,324 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 3 \text{ km}} &= 2,369 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 4 \text{ km}} &= 2,382 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 5 \text{ km}} &= 2,389 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 2 \text{ km}} &= 2.324 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 3 \text{ km}} &= 2.369 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 4 \text{ km}} &= 2.382 \text{ g} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 5 \text{ km}} &= 2.389 \text{ g}\end{aligned}$$

3. Der kaltstartbedingte Schichtzuschlag wird nun bezogen auf den jeweiligen Kilometerabschnitt, in dem sich die Fahrzeuge seit Fahrtbeginn befinden, verteilt:

3. The class-specific cold start addition is now distributed over the 1-km-sections in which the vehicle is located after the start:

$$\begin{aligned}\Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 1 \text{ km}} - \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 0 \text{ km}} &= (1,808 \text{ g} - 0 \text{ g})/1 \text{ km} = 1,808 \text{ g/km} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 2 \text{ km}} - \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 1 \text{ km}} &= (2,324 \text{ g} - 1,808 \text{ g})/1 \text{ km} = 0,516 \text{ g/km} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 3 \text{ km}} - \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 2 \text{ km}} &= (2,369 \text{ g} - 2,324 \text{ g})/1 \text{ km} = 0,045 \text{ g/km} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 4 \text{ km}} - \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 3 \text{ km}} &= (2,382 \text{ g} - 2,369 \text{ g})/1 \text{ km} = 0,013 \text{ g/km} \\ \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 5 \text{ km}} - \Delta SE_{\text{Ka}, 10^\circ\text{C}, 4 \text{ km}} &= (2,389 \text{ g} - 2,382 \text{ g})/1 \text{ km} = 0,007 \text{ g/km}\end{aligned}$$

4. Für eine Hauptstraße von 10 000 bis 30 000 Kfz/d ergibt sich eine Häufigkeit der Fahrtweitenverteilung nach Tabelle F4 von:

4. On a main road with 10,000 to 30,000 motor vehicles per day the frequencies of travelled distances are taken from Table F4:

	0 bis 1 km	1 bis 2 km	2 bis 3 km	3 bis 4 km	4 bis 5 km	> 5 km
S	1	2	3	4	5	
h_S	12 %	18 %	12 %	9 %	9 %	40 %

	0 to 1 km	1 to 2 km	2 to 3 km	3 to 4 km	4 to 5 km	> 5 km
S	1	2	3	4	5	
h_S	12 %	18 %	12 %	9 %	9 %	40 %

Aus der Wichtung der kaltstartbedingten Schichtzuschläge pro Kilometerabschnitt mit der Fahrtweitenverteilung resultiert ein Kaltstartzuschlag von:

The cold start addition is obtained by weighting the class-specific cold start addition per kilometre with the frequencies of travelled distances:

$$\begin{aligned}a &= \sum_{S=1}^5 h_S (\Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S} - \Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S-1}) \\ a &= 0,12 \cdot 1,808 \text{ g/km} + 0,18 \cdot 0,516 \text{ g/km} \\ &\quad + 0,12 \cdot 0,045 \text{ g/km} + 0,09 \cdot 0,013 \text{ g/km} \\ &\quad + 0,09 \cdot 0,007 \text{ g/km} \\ a &= 0,317 \text{ g/km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \sum_{S=1}^5 h_S (\Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S} - \Delta SE_{\text{Ka}, \vartheta, S-1}) \\ a &= 0.12 \cdot 1.808 \text{ g/km} + 0.18 \cdot 0.516 \text{ g/km} \\ &\quad + 0.12 \cdot 0.045 \text{ g/km} + 0.09 \cdot 0.013 \text{ g/km} \\ &\quad + 0.09 \cdot 0.007 \text{ g/km} \\ a &= 0.317 \text{ g/km}\end{aligned}$$

Nicht alle Fahrzeuge beginnen jedoch ihre Fahrt mit einem vollständig abgekühlten Motor. Das Maß, ob ein Kalt-, Kühl- oder Warmstart vorliegt, ist die Parkdauer vor dem Fahrtbeginn. Wie hoch der Anteil der Fahrten differenziert nach der Parkdauer ist, kann nach Tabelle E2 bis Tabelle E6 bestimmt werden. In diesem Fall ergeben sich in der Zeit von 07.00 bis 08.00 Uhr folgende Anteile aus Tabelle E6:

But not all vehicles start their trip with a completely cooled-down engine. The quantity that determines whether there was a cold start, a cool start or a warm start is the parking time before the start of the trip. The share of the trips as functions of parking times can be gathered from Tables E2 through E6. In this example Table E6 yields the following shares for 7 a. m. till 8 a. m.:

Parkdauer in Stunden vor der Fahrt p

Parking time prior to trip p

Parkdauer Parking time	0 bis 1 h 0 to 1 h	1 bis 2 h 1 to 2 h	2 bis 3 h 2 to 3 h	3 bis 4 h 3 to 4 h	4 bis 5 h 4 to 5 h	5 bis 6 h 5 to 6 h	6 bis 7 h 6 to 7 h	7 bis 8 h 7 to 8 h	> 8 h
p	0	1	2	3	4	5	6	7	8
h_p	19 %	2 %	1 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	77 %

5. Die HC-Abminderungsfaktoren $Af_{s,p}$ für den Kühlstart werden aus der Tabelle E1 für die Fahrzeugkategorie der G-Kat-Fahrzeuge entnommen:

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$Af_{s,p}$	34 %	58 %	69 %	74 %	77 %	79 %	85 %	90 %	100 %

$$\begin{aligned}
 b &= \sum_{p=0}^8 h_p \cdot Af_{s,p} \\
 &= 0,19 \cdot 0,34 + 0,02 \cdot 0,58 + 0,01 \cdot 0,69 \\
 &\quad + 0 \cdot 0,74 + 0 \cdot 0,77 + 0,01 \cdot 0,79 + 0 \cdot 0,85 \\
 &\quad + 0 \cdot 0,9 + 0,77 \cdot 1 \\
 &= 0,861 \triangleq 86 \%
 \end{aligned}$$

Die Multiplikation des jeweiligen Anteils der Parkdauer mit dem entsprechenden Wichtungsfaktor führt zu dem Ergebnis, dass der Kalt- und Kühlstartfaktor 86 % vom Kaltstart beträgt.

Der Kalt- und Kühlstartzuschlag beträgt somit:

$$k_{s,p,\vartheta} = a \cdot b = 0,317 \text{ g/km} \cdot 0,861 = 0,273 \text{ g/km}$$

6. Durch Addition des Kalt- und Kühlstartzuschlages mit dem warmen Emissionsfaktor errechnet sich der tatsächlich anzuwendende Emissionsfaktor von:

$$\begin{aligned}
 SE_K &= k_{s,p,\vartheta} + SE \\
 &= 0,273 \text{ g/km} + 0,074 \text{ g/km} = 0,35 \text{ g/km}
 \end{aligned}$$

In einer beispielhaften Berechnung wird der Emissionsfaktor eines G-Kat-Pkw für unterschiedlichste Straßensituationen bestimmt. Die Eingabedaten der Starttemperatur, der Verteilung der Stillstandzeiten und die Entfernungsverteilung der Fahrten werden entsprechend den Angaben der Anhänge E und F variiert. Einen Überblick über die unterschiedlichen Berechnungsfälle gibt Tabelle G1. Die Ergebnisse werden miteinander in Bild G1 verglichen. Hier wird deutlich, dass die Berücksichtigung der hier beschriebenen Parameter zur Berechnung der Startzuschläge einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionsberechnung haben.

5. The reduction factors $Af_{s,p}$ for HC for the cool start are read from Table E1 at vehicle category "motor vehicles with controlled catalytic converter":

$$\begin{aligned}
 b &= \sum_{p=0}^8 h_p \cdot Af_{s,p} \\
 &= 0,19 \cdot 0,34 + 0,02 \cdot 0,58 + 0,01 \cdot 0,69 \\
 &\quad + 0 \cdot 0,74 + 0 \cdot 0,77 + 0,01 \cdot 0,79 + 0 \cdot 0,85 \\
 &\quad + 0 \cdot 0,9 + 0,77 \cdot 1 \\
 &= 0,861 \triangleq 86 \%
 \end{aligned}$$

Multiplying each share of the parking time by the respective weighting factor yields the result that the cold and cool start factor amounts to 86 % of the cold start factor.

Hence the cold and cool start addition is:

$$k_{s,p,\vartheta} = a \cdot b = 0,317 \text{ g/km} \cdot 0,861 = 0,273 \text{ g/km}$$

6. By summing the cold and cool start addition with the warm emission factor one obtains the actual effective emission factor:

$$\begin{aligned}
 SE_K &= k_{s,p,\vartheta} + SE \\
 &= 0,273 \text{ g/km} + 0,074 \text{ g/km} = 0,35 \text{ g/km}
 \end{aligned}$$

In an example the emission factor of a passenger car with controlled catalytic converter is computed for very different road situations. The input data pertaining to the start temperature, the distribution of the parking times and the distribution of travelled distances of the trips are varied according to Annex E and Annex F. An overview over the different computational cases is given in Table G1. The results are compared with each other in Figure G1. There it becomes evident that the parameters described here have an significant effect on the results of the computation of emissions.

Tabelle G1. Beschreibung der Unterschiede der Eingangsdaten für die verschiedenen Beispiele der Emissionsfaktorberechnung gegenüber dem Standardfall

Fall- Nr.	Angaben für die Emissionsfaktorberechnung
Standardfall 1	G-Kat- Pkw; Umgebungstemperatur 10 °C; Straße 10 000 bis 30 000 Kfz/d innerorts; 7 bis 8 Uhr: entspricht Fall-Nr. 1
	Veränderungen gegenüber dem Standardfall
2	Anstieg der Umgebungstemperatur um ein Grad
3	Hauptstraße > 30 000 Kfz/d, somit andere Fahrtweitenverteilung
4	Hauptstraße < 10 000 Kfz/d, somit andere Fahrtweitenverteilung
5	Nebenstraße, somit anderer warmer Emissionsfaktor und andere Fahrtweitenverteilung
6	anderer Zeitraum 18 bis 19 Uhr; somit andere Standzeiten der Pkw

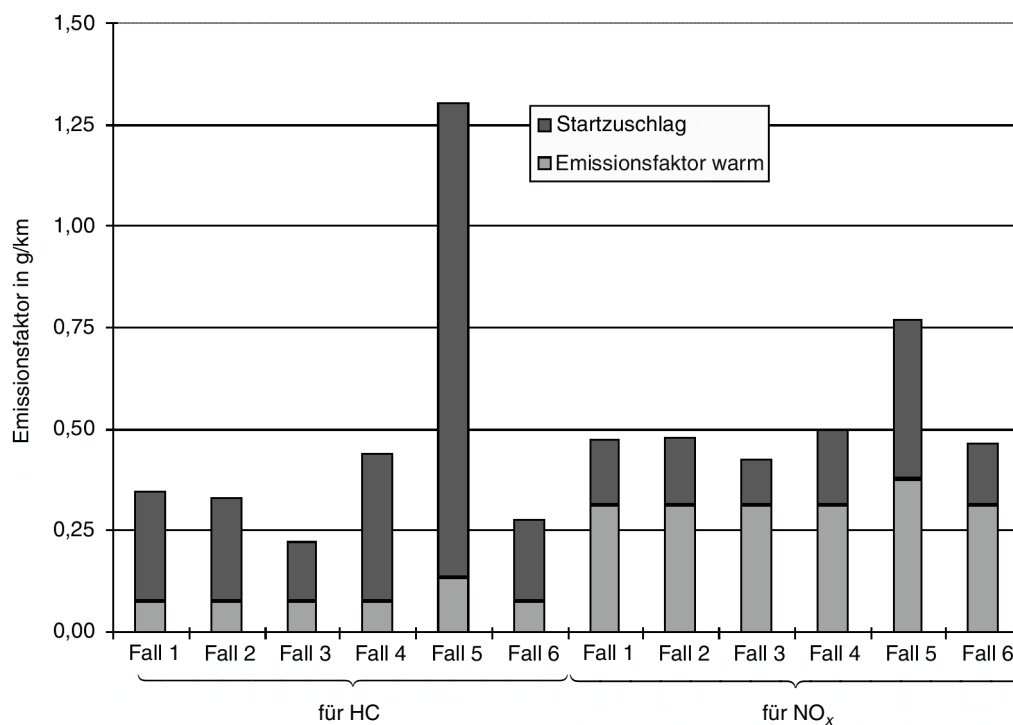


Bild G1. Variation der berechneten Emissionsfaktoren für die in Tabelle G1 benannten Fälle

Table G1. Description of the differences between the input parameters of the examples for the computation of emission factors and those of the standard case

Case no.	Input data for the computation of emission factors
Standard case 1	passenger car with controlled catalytic converter; ambient air temperature 10 °C, street in built-up area with 10,000 to 30,000 motor vehicles per day, 7 to 8 a. m.; this is case no. 1
	Changes with respect to the standard case
2	increase of the ambient air temperature by one degree
3	main street with > 30,000 motor vehicles per day, therefore a different distribution of the travelled distances
4	main street with < 10,000 motor vehicles per day, therefore a different distribution of the travelled distances
5	by-street, therefore a different warm emission factor and a different distribution of the travelled distances
6	other time of the day: 6 to 7 p. m., therefore different parking times of the passenger cars

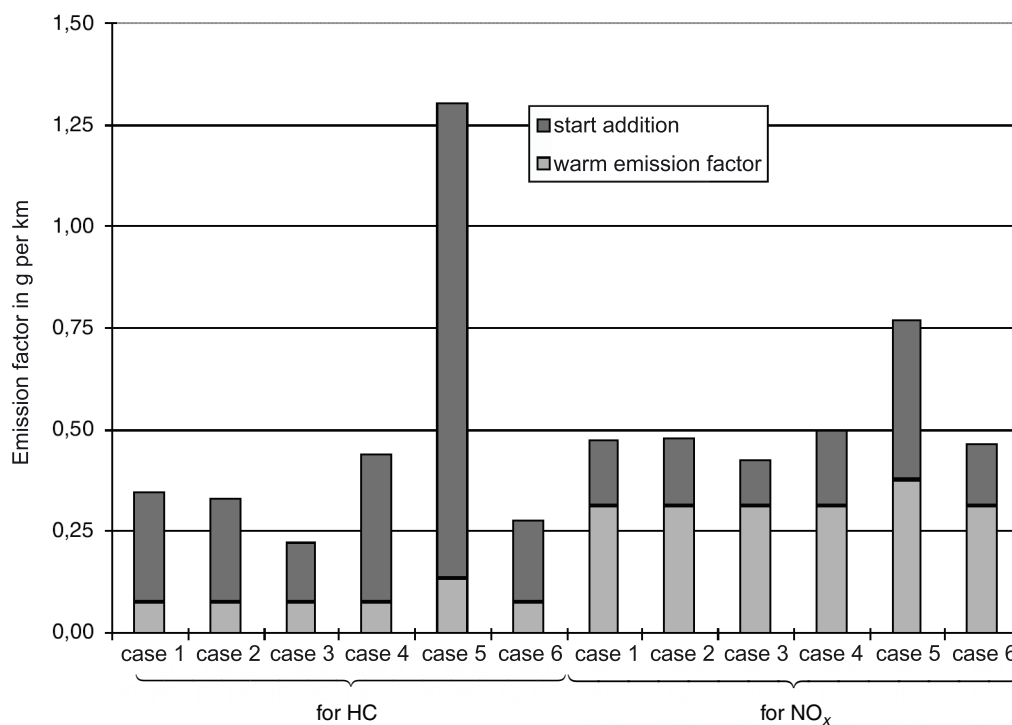


Fig. G1. Variation of the computed emission factors for the cases listed in Table G1

Anhang H

Beispiel Berechnung der Gesamtemission

Die im Folgenden aufgeführten Beispielrechnungen werden jeweils für die Fahrzeugart Pkw und eine ausgewählte Tagesstunde (14.00 bis 15.00 Uhr) – im Folgenden: Index 15 – an einem Werktag durchgeführt. Es werden dabei die in Anhang A berechneten Emissionsfaktoren für CO verwendet, und die Abgasemissionen für den warmen Betriebszustand berechnet. Bezüglich der Berechnung von Kaltstartemissionen, die gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen sind, wird auf Anhang G bzw. Abschnitt 2.4 verwiesen.

Bei den Rechnungen in den nachfolgenden Beispielen handelt es sich – zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit – um eine rein formale Berechnung ohne Fehlerbetrachtung.

Beispiel für eine Außerortsstraße

Charakterisierung des Straßenabschnittes

Autobahnabschnitt mit zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung, Längsneigung = 0 %; Länge 3 km

Ermittlung der aktuellen Verkehrsstärken

Es liegen die folgenden jahresmittleren stündlichen Verkehrsstärken für die Fahrzeugart Pkw vor:

Fahrtrichtung 1 (Ri1) (Beispielberechnung erfolgt vereinfacht für beide Fahrstreifen gemeinsam)

$$DTV\text{-}Pkw\text{-}1_{Mo-Fr} = 20\,400 \text{ Pkw/Tag}$$

$$\text{Anteil der Stunde}_{15} \text{ am } DTV\text{-}Pkw\text{-}1_{Mo-Fr} = 7 \%$$

Damit ergibt sich:

$$DSV\text{-}Pkw\text{-}1_{Mo-Fr} = 1428 \text{ Pkw/h}$$

Fahrtrichtung 2 (Ri2): Für die Beispielrechnung wird die Annahme getroffen, dass die Verkehrsstärken identisch sind mit Fahrtrichtung 1 (Ri1).

Ermittlung der aktuellen Verkehrssituation

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit der Pkw in der ausgewählten Stunde liegt bei 110 km/h (für beide Fahrtrichtungen und jeweils beide Fahrstreifen).

Ermittlung der aktuellen Flottenzusammensetzung und der aktuellen Emissionsfaktoren

siehe Anhang A, Tabelle A4 und A5

$$EF_{CO, Pkw, BAB, 110 \text{ km/h}} = 1,137 \text{ g/km}$$

Ermittlung der Abgasemissionen

Die Berechnung erfolgt für CO:

Annex H

Example of the computation of the total emission

The computations of the examples given below refer to the vehicle type passenger car and a selected hour of a weekday (2 to 3 p. m., marked by the index 15). The emission factors for CO will be used that are computed in Annex A to compute the exhaust gas emissions of the engines at operating temperatures. As for computing the cold start emissions that may have to be taken into account, Annex G and Section 2.4 are to be consulted.

In order to be more instructive, the computations of the following examples are purely schematic without any error analysis.

Example of a road outside built-up areas

Characterising the road section

Section of a motorway with two traffic lanes in each direction; gradient = 0 %; length 3 km

Determining the current traffic volume

The following hourly traffic volumes of passenger cars, averaged over one year, are available:

Direction 1 (Ri1); with the aim of simplification, the example treats both lanes equally

$$DTV\text{-}passenger \text{ car-}1_{Mo-Fr} = 20,400 \text{ passenger cars per day}$$

$$\text{share of hour}_{15} \text{ in } DTV\text{-}passenger \text{ car-}1_{Mo-Fr} = 7 \%$$

This yields

$$DSV\text{-}passenger \text{ car-}1_{Mo-Fr} = 1,428 \text{ passenger cars per hour}$$

Direction 2 (Ri2): In this example the traffic volumes are assumed to be identical with those of direction 1 (Ri1).

Determining the current traffic situation

The mean speed of the passenger cars during the selected hour is 110 km/h on both directions and both lanes.

Determining the current fleet composition and the current emission factors

see Annex A, Tables A4 and A5

$$EF_{CO, Pkw, BAB, 110 \text{ km/h}} = 1.137 \text{ g/km}$$

Determining the exhaust gas emissions

The computation for CO:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = \text{DSV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} \cdot EF_{\text{CO, Pkw, BAB, 110 km/h}}$$

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = 1428 \text{ Pkw/h} \cdot 1,137 \text{ g/km} \\ = 1624 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Analog ergibt sich für die Fahrtrichtung 2:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri2}} = 1624 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Für den Gesamtquerschnitt ergibt sich damit:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1+Ri2}} = 3247 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Durch Multiplikation mit der Länge des Straßenabschnittes ergeben sich die absoluten Emissionen für den betrachteten Straßenabschnitt:

$$E_{\text{gesamt, CO, h15, Pkw, Ri1+Ri2}} = 3247 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \cdot 3 \text{ km} \\ = 9742 \text{ g/h}$$

Beispiel für eine Innerortsstraße

Charakterisierung des Straßenabschnittes

Innerorts gelegene Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, 1 Fahrstreifen pro Fahrtrichtung, Längsneigung = 0 %; Länge 250 m

Ermittlung der aktuellen Verkehrsstärken

Es liegen die folgenden jahresmittleren Angaben vor:

Fahrtrichtung 1 (Ri1):

$$\text{DTV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} = 9300 \text{ Pkw/Tag}$$

$$\text{Anteil der Stunde}_{15} \text{ am DTV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} = 8 \%$$

Damit ergibt sich:

$$\text{DSV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} = 744 \text{ Pkw/h}$$

Fahrtrichtung 2 (Ri2): für die Beispielrechnung wird die Annahme getroffen, dass die Verkehrsstärken identisch sind mit Fahrtrichtung 1.

Ermittlung der aktuellen Verkehrssituation

Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten ergibt sich für die Stunde₁₅ (14.00 bis 15.00 Uhr), dass geringe Störungen im Verkehrsablauf vorliegen, das heißt als aktuelle Verkehrssituation wird IO_HVS2 festgelegt.

Ermittlung der aktuellen Flottenzusammensetzung und der aktuellen Emissionsfaktoren

siehe Anhang A, Tabelle A3

$$EF_{\text{CO, Pkw, IO_HVS2}} = 1,583 \text{ g/km}$$

Ermittlung der Abgasemissionen

Die Berechnung erfolgt für CO:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = \text{DSV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} \cdot EF_{\text{CO, Pkw, IO_HVS2}}$$

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = \text{DSV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} \cdot EF_{\text{CO, Pkw, BAB, 110 km/h}}$$

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = 1,428 \text{ Pkw/h} \cdot 1,137 \text{ g/km} \\ = 1,624 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

The same result applies to direction 2:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri2}} = 1,624 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

For the total cross section one obtains

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1+Ri2}} = 3,247 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Multiplication by the length of the road section yields the total emissions of this road section:

$$E_{\text{total, CO, h15, Pkw, Ri1+Ri2}} = 3,247 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \cdot 3 \text{ km} \\ = 9,742 \text{ g/h}$$

Example of a road in built-up areas

Characterising the road section

Main road in built-up area with right-of-way; one lane per direction; gradient = 0 %; length = 250 m

Determining the current traffic volume

The following annual averages are available:

Direction 1 (Ri1):

$$\text{DTV-passenger car-1}_{\text{Mo-Fr}} = 9,300 \text{ passenger cars} \\ \text{per day}$$

$$\text{share of hour}_{15} \text{ in DTV-passenger car-1}_{\text{Mo-Fr}} = 8 \%$$

This yields

$$\text{DSV-passenger car-1}_{\text{Mo-Fr}} = 744 \text{ passenger cars} \\ \text{per hour}$$

Direction 2 (Ri2): In this example the traffic volumes are assumed to be identical with those of direction 1 (Ri1).

Determining the current traffic situation

Due to local circumstances small disturbances of the traffic flow may occur in hour₁₅ (2 to 3 p. m.). Hence the current traffic situation is defined to be IO_HVS2.

Determining the current fleet composition and the current emission factors

see Annex A, Table A3

$$EF_{\text{CO, Pkw, IO_HVS2}} = 1.563 \text{ g/km}$$

Determining the exhaust gas emissions

The computation for CO:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} = \text{DSV-Pkw-1}_{\text{Mo-Fr}} \cdot EF_{\text{CO, Pkw, IO_HVS2}}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} &= 744 \text{ Pkw/h} \cdot 1,583 \text{ g/km} \\ &= 1178 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \end{aligned}$$

Analog ergibt sich für die Fahrtrichtung 2:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw; Ri2}} = 1178 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Für den Gesamtquerschnitt ergibt sich damit:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw; Ri1+Ri2}} = 2356 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Durch Multiplikation mit der Länge des Straßenabschnittes ergeben sich die absoluten Emissionen für den betrachteten Straßenabschnitt:

$$\begin{aligned} E_{\text{gesamt, CO, h15, Pkw; Ri1+Ri2}} &= 2356 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \cdot 0,25 \text{ km} \\ &= 589 \text{ g/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO, h15, Pkw, Ri1}} &= 744 \text{ Pkw/h} \cdot 1,583 \text{ g/km} \\ &= 1,178 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \end{aligned}$$

The same result applies to direction 2:

$$E_{\text{CO, h15, Pkw; Ri2}} = 1,178 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

For the total cross section one obtains

$$E_{\text{CO, h15, Pkw; Ri1+Ri2}} = 2,356 \text{ g/(h} \cdot \text{km)}$$

Multiplication by the length of the road section yields the total emissions of this road section:

$$\begin{aligned} E_{\text{gesamt, CO, h15, Pkw; Ri1+Ri2}} &= 2,356 \text{ g/(h} \cdot \text{km)} \cdot 0,25 \text{ km} \\ &= 589 \text{ g/h} \end{aligned}$$

Anhang I Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten**Annex I Vehicle concepts and vehicle layers**

Tabelle I1. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugart Pkw

Table I1. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle type passenger car

Fahrzeugkonzept Vehicle concept	Fahrzeugschicht Vehicle layer
PKW/B/Konv Passenger car/B/without catalytic converter	PKW/Benzin/vor ECE passenger car/Otto-cycle fuel/vor ECE
	PKW/Benzin/ECE 15'00 passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'00
	PKW/Benzin/ECE 15'01-02 passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'01-02
	PKW/Benzin/ECE 15'03 passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'03
	PKW/Benzin/ECE 15'04 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'04 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/ECE 15'04 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'04 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/ECE 15'04 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/ECE 15'04 > 2 ℓ
	PKW/Benzin/AGV82 passenger car/Otto-cycle fuel/AGV82
	PKW/Benzin/Konv Sonst < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/without catalytic converter other < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/Konv Sonst 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/without catalytic converter other 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/UKat < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/UKat < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/UKat 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/UKat 1,4 bis 2 ℓ
PKW/B/GKat<91 Passenger car/B/controlled catalytic converter<91	PKW/Benzin/GKat vor 87 passenger car/Otto-cycle fuel/controlled catalytic converter vor 87
	PKW/Benzin/GKat 87–90 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/controlled catalytic converter 87–90 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/GKat 87–90 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/controlled catalytic converter 87–90 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/GKat 87–90 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/controlled catalytic converter 87–90 > 2 ℓ
PKW/B/Euro1 Passenger car/B/Euro1	PKW/Benzin/EURO1 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO1 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/EURO1 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO1 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/EURO1 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO1 > 2 ℓ
PKW/B/Euro2 Passenger car/B/Euro2	PKW/Benzin/EURO2 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO2 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/EURO2 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO2 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/EURO2 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO2 > 2 ℓ
PKW/B/Euro3 Passenger car/B/Euro3	PKW/Benzin/EURO3 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO3 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/EURO3 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO3 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/EURO3 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO3 > 2 ℓ

Fahrzeugkonzept Vehicle concept	Fahrzeugschicht Vehicle layer
PKW/B/Euro4 Passenger car/B/Euro4	PKW/Benzin/EURO4 < 1,4 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO4 < 1,4 ℓ
	PKW/Benzin/EURO4 1,4 bis 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO4 1,4 to 2 ℓ
	PKW/Benzin/EURO4 > 2 ℓ passenger car/Otto-cycle fuel/EURO4 > 2 ℓ
PKW/B/2T-Konv(D-Ost) Passenger car/B/2T-without catalytic converter(D-Ost)	PKW/Benzin/DDR 2Takt passenger car/Otto-cycle fuel/DDR 2Takt
	PKW/Benzin/DDR 4Takt passenger car/Otto-cycle fuel/DDR 4Takt
PKW/D/Konv Passenger car/D/without catalytic converter	PKW/Diesel/<1986 < 2 ℓ passenger car/diesel/<1986 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/<1986 > 2 ℓ passenger car/diesel/<1986 > 2 ℓ
	PKW/Diesel/1986–88 < 2 ℓ passenger car/diesel/1986–88 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/1986–88 > 2 ℓ passenger car/diesel/1986–88 > 2 ℓ
PKW/D/XXIII/FAV1 Passenger car/D/XXIII/FAV1	PKW/Diesel/Anl/XXIII/FAV1 < 2 ℓ passenger car/diesel/Anl/XXIII/FAV1 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/Anl/XXIII/FAV1 > 2 ℓ passenger car/diesel/Anl/XXIII/FAV1 > 2 ℓ
PKW/D/Euro1 Passenger car/D/Euro1	PKW/Diesel/EURO1 (< 1,4 ℓ) passenger car/diesel/EURO1 (< 1,4 ℓ)
	PKW/Diesel/EURO1 < 2 ℓ passenger car/diesel/EURO1 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/EURO1 > 2 ℓ passenger car/diesel/EURO1 > 2 ℓ
PKW/D/Euro2 Passenger car/D/Euro2	PKW/Diesel/EURO2 (< 1,4 ℓ) passenger car/diesel/EURO2 (< 1,4 ℓ)
	PKW/Diesel/EURO2 < 2 ℓ passenger car/diesel/EURO2 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/EURO2 > 2 ℓ passenger car/diesel/EURO2 > 2 ℓ
PKW/D/Euro3 Passenger car/D/Euro3	PKW/Diesel/EURO3 (< 1,4 ℓ) passenger car/diesel/EURO3 (< 1,4 ℓ)
	PKW/Diesel/EURO3 < 2 ℓ passenger car/diesel/EURO3 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/EURO3 > 2 ℓ passenger car/diesel/EURO3 > 2 ℓ
PKW/D/Euro4 Passenger car/D/Euro4	PKW/Diesel/EURO4 (< 1,4 ℓ) passenger car/diesel/EURO4 (< 1,4 ℓ)
	PKW/Diesel/EURO4 < 2 ℓ passenger car/diesel/EURO4 < 2 ℓ
	PKW/Diesel/EURO4 > 2 ℓ passenger car/diesel/EURO4 > 2 ℓ

Tabelle I2. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugart INfz
 Table I2. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle type light commercial vehicle

Fahrzeugkonzept Vehicle concept	Fahrzeugschicht Vehicle layer
LNF/B/Konv Light commercial vehicle/B/without catalytic converter	LNF/Benzin/Konv vor 81 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/without catalytic converter before 81
	LNF/Benzin/Konv ab 81 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/without catalytic converter from 81
LNF/B/GKat<91 Light commercial vehicle/B/controlled catalytic converter<91	LNF/Benzin/GKat light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/controlled catalytic converter
LNF/B/Euro1 Light commercial vehicle/B/Euro1	LNF/Benzin/EURO1 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/EURO1
LNF/B/Euro2 Light commercial vehicle/B/Euro2	LNF/Benzin/EURO2 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/EURO2
LNF/B/Euro3 Light commercial vehicle/B/Euro3	LNF/Benzin/EURO3 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/EURO3
LNF/B/Euro4 Light commercial vehicle/B/Euro4	LNF/Benzin/EURO4 light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/EURO4
LNF/D/konv Light commercial vehicle/D/konv	LNF/Diesel/vor 86 light commercial vehicle/Diesel/before 86
	LNF/Diesel/XXIII/FAV1 light commercial vehicle/Diesel/XXIII/FAV1
LNF/D/Euro1 Light commercial vehicle/D/Euro1	LNF/Diesel/EURO1 light commercial vehicle/Diesel/EURO1
LNF/D/Euro2 Light commercial vehicle/D/Euro2	LNF/Diesel/EURO2 light commercial vehicle/Diesel/EURO2
LNF/D/Euro3 Light commercial vehicle/D/Euro3	LNF/Diesel/EURO3 light commercial vehicle/Diesel/EURO3
LNF/D/Euro4 Light commercial vehicle/D/Euro4	LNF/Diesel/EURO4 light commercial vehicle/Diesel/EURO4
LNF/B/2T-Konv(D-Ost) Light commercial vehicle/B/2T-without catalytic converter(D-Ost)	LNF/Benzin/D-Ost/2T light commercial vehicle/Otto-cycle fuel/D-Ost/2T

Tabelle I3. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie Lkw in der Fahrzeugart sNfz

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
SMW D-Ost	LKW D-Ost < 7,5 t
	LKW D-Ost 7,5 bis 14 t
SMW/50er_Jahre	LKW DW/50erJr < 7,5 t
	LKW DW/50erJr 7,5 bis 14 t
	LKW DW/50erJr 14 bis 20 t
	LKW DW/50erJr 20 bis 28 t
SMW/60er_Jahre SMW/1960s	LKW DW/60erJr < 7,5 t
	LKW DW/60erJr 7,5 bis 14 t
	LKW DW/60erJr 14 bis 20 t
	LKW DW/60erJr 20 bis 28 t
SMW/70er_Jahre SMW/1970s	LKW DW/70erJr < 7,5 t
	LKW DW/70erJr 7,5 bis 14 t
	LKW DW/70erJr 14 bis 20 t
	LKW DW/70erJr 20 bis 28 t
SMW/80er_Jahre SMW/1980s	LKW DW/80erJr < 7,5 t
	LKW DW/80erJr 7,5 bis 14 t
	LKW DW/80erJr 14 bis 20 t
	LKW DW/80erJr 20 bis 28 t
SMW/Euro1	LKW EURO1 < 7,5 t
	LKW EURO1 7,5 bis 14 t
	LKW EURO1 14 bis 20 t
	LKW EURO1 20 bis 28 t
SMW/Euro2	LKW EURO2 < 7,5 t
	LKW EURO2 7,5 bis 14 t
	LKW EURO2 14 bis 20 t
	LKW EURO2 20 bis 28 t
SMW/Euro3	LKW EURO3 < 7,5 t
	LKW EURO3 7,5 bis 14 t
	LKW EURO3 14 bis 20 t
	LKW EURO3 20 bis 28 t
SMW/Euro4	LKW EURO4 < 7,5 t
	LKW EURO4 7,5 bis 14 t
	LKW EURO4 14 bis 20 t
	LKW EURO4 20 bis 28 t
SMW/Euro5	LKW EURO5 < 7,5 t
	LKW EURO5 7,5 bis 14 t
	LKW EURO5 14 bis 20 t
	LKW EURO5 20 bis 28 t

Table I3. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category lorry of the vehicle type heavy commercial vehicle

Vehicle concept	Vehicle layer
SMW D-Ost	lorry D-Ost < 7,5 t
	lorry D-Ost 7,5 to 14 t
SMW/1950s	lorry DW/1950s < 7,5 t
	lorry DW/1950s 7,5 to 14 t
	lorry DW/1950s 14 to 20 t
	lorry DW/1950s 20 to 28 t
SMW/1960s	lorry DW/1960s < 7,5 t
	lorry DW/1960s 7,5 to 14 t
	lorry DW/1960s 14 to 20 t
	lorry DW/1960s 20 to 28 t
SMW/1970s	lorry DW/1970s < 7,5 t
	lorry DW/1970s 7,5 to 14 t
	lorry DW/1970s 14 to 20 t
	lorry DW/1970s 20 to 28 t
SMW/1980s	lorry DW/1980s < 7,5 t
	lorry DW/1980s 7,5 to 14 t
	lorry DW/1980s 14 to 20 t
	lorry DW/1980s 20 to 28 t
SMW/Euro1	lorry EURO1 < 7,5 t
	lorry EURO1 7,5 to 14 t
	lorry EURO1 14 to 20 t
	lorry EURO1 20 to 28 t
SMW/Euro2	lorry EURO2 < 7,5 t
	lorry EURO2 7,5 to 14 t
	lorry EURO2 14 to 20 t
	lorry EURO2 20 to 28 t
SMW/Euro3	lorry EURO3 < 7,5 t
	lorry EURO3 7,5 to 14 t
	lorry EURO3 14 to 20 t
	lorry EURO3 20 to 28 t
SMW/Euro4	lorry EURO4 < 7,5 t
	lorry EURO4 7,5 to 14 t
	lorry EURO4 14 to 20 t
	lorry EURO4 20 to 28 t
SMW/Euro5	lorry EURO5 < 7,5 t
	lorry EURO5 7,5 to 14 t
	lorry EURO5 14 to 20 t
	lorry EURO5 20 to 28 t

Tabelle I4. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie LZ in der Fahrzeugart sNfz

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
SMW D-Ost	LZ D-Ost < 20 t
SMW/50er_Jahre	LZ DW/50erJr < 20 t
	LZ DW/50erJr 20 bis 28 t
	LZ DW/50erJr 28 bis 32 t
	LZ DW/50erJr > 32 t
SMW/60er_Jahre	LZ DW/60erJr < 20 t
	LZ DW/60erJr 20 bis 28 t
	LZ DW/60erJr 28 bis 32 t
	LZ DW/60erJr > 32 t
SMW/70er_Jahre	LZ DW/70erJr < 20 t
	LZ DW/70erJr 20 bis 28 t
	LZ DW/70erJr 28 bis 32 t
	LZ DW/70erJr > 32 t
SMW/80er_Jahre	LZ DW/80erJr < 20 t
	LZ DW/80erJr 20 bis 28 t
	LZ DW/80erJr 28 bis 32 t
	LZ DW/80erJr > 32 t
SMW/Euro1	LZ EURO1 < 20 t
	LZ EURO1 20 bis 28 t
	LZ EURO1 28 bis 32 t
	LZ EURO1 > 32 t
SMW/Euro2	LZ EURO2 < 20 t
	LZ EURO2 20 bis 28 t
	LZ EURO2 28 bis 32 t
	LZ EURO2 > 32 t
SMW/Euro3	LZ EURO3 < 20 t
	LZ EURO3 20 bis 28 t
	LZ EURO3 28 bis 32 t
	LZ EURO3 > 32 t
SMW/Euro4	LZ EURO4 < 20 t
	LZ EURO4 20 bis 28 t
	LZ EURO4 28 bis 32 t
	LZ EURO4 > 32 t
SMW/Euro5	LZ EURO5 < 20 t
	LZ EURO5 20 bis 28 t
	LZ EURO5 28 bis 32 t
	LZ EURO5 > 32 t

Table I4. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category lorry with trailers (LZ) of the vehicle type heavy commercial vehicle

Vehicle concept	Vehicle layer
SMW D-Ost	lorry with trailer D-Ost < 20 t
SMW/1950s	lorry with trailer DW/1950s < 20 t
	lorry with trailer DW/1950s 20 to 28 t
	lorry with trailer DW/1950s 28 to 32 t
	lorry with trailer DW/1950s > 32 t
SMW/1960s	lorry with trailer DW/1960s < 20 t
	lorry with trailer DW/1960s 20 to 28 t
	lorry with trailer DW/1960s 28 to 32 t
	lorry with trailer DW/1960s > 32 t
SMW/1970s	lorry with trailer DW/1970s < 20 t
	lorry with trailer DW/1970s 20 to 28 t
	lorry with trailer DW/1970s 28 to 32 t
	lorry with trailer DW/1970s > 32 t
SMW/1980s	lorry with trailer DW/1980s < 20 t
	lorry with trailer DW/1980s 20 to 28 t
	lorry with trailer DW/1980s 28 to 32 t
	lorry with trailer DW/1980s > 32 t
SMW/Euro1	lorry with trailer EURO1 < 20 t
	lorry with trailer EURO1 20 to 28 t
	lorry with trailer EURO1 28 to 32 t
	lorry with trailer EURO1 > 32 t
SMW/Euro2	lorry with trailer EURO2 < 20 t
	lorry with trailer EURO2 20 to 28 t
	lorry with trailer EURO2 28 to 32 t
	lorry with trailer EURO2 > 32 t
SMW/Euro3	lorry with trailer EURO3 < 20 t
	lorry with trailer EURO3 20 to 28 t
	lorry with trailer EURO3 28 to 32 t
	lorry with trailer EURO3 > 32 t
SMW/Euro4	lorry with trailer EURO4 < 20 t
	lorry with trailer EURO4 20 to 28 t
	lorry with trailer EURO4 28 to 32 t
	lorry with trailer EURO4 > 32 t
SMW/Euro5	lorry with trailer EURO5 < 20 t
	lorry with trailer EURO5 20 to 28 t
	lorry with trailer EURO5 28 to 32 t
	lorry with trailer EURO5 > 32 t

Tabelle I5. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie SZ in der Fahrzeugart sNfz

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
SMW D-Ost	SZ D-Ost ≤ 32 t
SMW/50er_Jahre	SZ DW/50erJr ≤ 32 t
	SZ DW/50erJr > 32 t
SMW/60er_Jahre	SZ DW/60erJr ≤ 32 t
	SZ DW/60erJr > 32 t
SMW/70er_Jahre	SZ DW/70erJr ≤ 32 t
	SZ DW/70erJr > 32 t
SMW/80er_Jahre	SZ DW/80erJr ≤ 32 t
	SZ DW/80erJr > 32 t
SMW/Euro1	SZ EURO1 ≤ 32 t
	SZ EURO1 > 32 t
SMW/Euro2	SZ EURO2 ≤ 32 t
	SZ EURO2 > 32 t
SMW/Euro3	SZ EURO3 ≤ 32 t
	SZ EURO3 > 32 t
SMW/Euro4	SZ EURO4 ≤ 32 t
	SZ EURO4 > 32 t
SMW/Euro5	SZ EURO5 ≤ 32 t
	SZ EURO5 > 32 t

Table I5. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category tractor-trailers (SZ) of the vehicle type heavy commercial vehicle

Vehicle concept	Vehicle layer
SMW D-Ost	tractor-trailer D-Ost ≤ 32 t
SMW/1950s	tractor-trailer DW/1950s ≤ 32 t
	tractor-trailer DW/1950s > 32 t
SMW/1960s	tractor-trailer DW/1960s ≤ 32 t
	tractor-trailer DW/1960s > 32 t
SMW/1970s	tractor-trailer DW/1970s ≤ 32 t
	tractor-trailer DW/1970s > 32 t
SMW/1980s	tractor-trailer DW/1980s ≤ 32 t
	tractor-trailer DW/1980s > 32 t
SMW/Euro1	tractor-trailer EURO1 ≤ 32 t
	tractor-trailer EURO1 > 32 t
SMW/Euro2	tractor-trailer EURO2 ≤ 32 t
	tractor-trailer EURO2 > 32 t
SMW/Euro3	tractor-trailer EURO3 ≤ 32 t
	tractor-trailer EURO3 > 32 t
SMW/Euro4	tractor-trailer EURO4 ≤ 32 t
	tractor-trailer EURO4 > 32 t
SMW/Euro5	tractor-trailer EURO5 ≤ 32 t
	tractor-trailer EURO5 > 32 t

Tabelle I6. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie RBus in der Fahrzeugart sNfz

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
SMW D-Ost	RBus D-Ost ≤ 16 t
SMW/50er_Jahre	RBus DW/50erJr ≤ 16 t
	RBus DW/50erJr > 16 t
SMW/60er_Jahre	RBus DW/60erJr ≤ 16 t
	RBus DW/60erJr > 16 t
SMW/70er_Jahre	RBus DW/70erJr ≤ 16 t
	RBus DW/70erJr > 16 t
SMW/80er_Jahre	RBus DW/80erJr ≤ 16 t
	RBus DW/80erJr > 16 t
SMW/Euro1	RBus EURO1 ≤ 16 t
	RBus EURO1 > 16 t
SMW/Euro2	RBus EURO2 ≤ 16 t
	RBus EURO2 > 16 t
SMW/Euro3	RBus EURO3 ≤ 16 t
	RBus EURO3 > 16 t
SMW/Euro4	RBus EURO4 ≤ 16 t
	RBus EURO4 > 16 t
SMW/Euro5	RBus EURO5 ≤ 16 t
	RBus EURO5 > 16 t

Table I6. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category tourist coach (RBus) of the vehicle type heavy commercial vehicle

Vehicle concept	Vehicle layer
SMW D-Ost	tourist coach D-Ost ≤ 16 t
SMW/1950s	tourist coach DW/1950s ≤ 16 t
	tourist coach DW/1950s > 16 t
SMW/1960s	tourist coach DW/1960s ≤ 16 t
	tourist coach DW/1960s > 16 t
SMW/1970s	tourist coach DW/1970s ≤ 16 t
	tourist coach DW/1970s > 16 t
SMW/1980s	tourist coach DW/1980s ≤ 16 t
	tourist coach DW/1980s > 16 t
SMW/Euro1	tourist coach EURO1 ≤ 16 t
	tourist coach EURO1 > 16 t
SMW/Euro2	tourist coach EURO2 ≤ 16 t
	tourist coach EURO2 > 16 t
SMW/Euro3	tourist coach EURO3 ≤ 16 t
	tourist coach EURO3 > 16 t
SMW/Euro4	tourist coach EURO4 ≤ 16 t
	tourist coach EURO4 > 16 t
SMW/Euro5	tourist coach EURO5 ≤ 16 t
	tourist coach EURO5 > 16 t

Tabelle I7. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie LBus in der Fahrzeugart sNfz

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
SMW D-Ost	LBus D-Ost ≤ 20 t
	LBus D-Ost > 20 t
SMW/50er_Jahre	LBus DW/50erJr ≤ 20 t
	LBus DW/50erJr > 20 t
SMW/60er_Jahre	LBus DW/60erJr ≤ 20 t
	LBus DW/60erJr > 20 t
SMW/70er_Jahre	LBus DW/70erJr ≤ 20 t
	LBus DW/70erJr > 20 t
SMW/80er_Jahre	LBus DW/80erJr ≤ 20 t
	LBus DW/80erJr > 20 t
SMW/Euro1	LBus EURO1 ≤ 20 t
	LBus EURO1 > 20 t
SMW/Euro2	LBus EURO2 ≤ 20 t
	LBus EURO2 > 20 t
SMW/Euro3	LBus EURO3 ≤ 20 t
	LBus EURO3 > 20 t
SMW/Euro4	LBus EURO4 ≤ 20 t
	LBus EURO4 > 20 t
SMW/Euro5	LBus EURO5 ≤ 20 t
	LBus EURO5 > 20 t

Table I7. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category public transport bus (LBus) of the vehicle type heavy commercial vehicle

Vehicle concept	Vehicle layer
SMW D-Ost	public transport bus D-Ost ≤ 20 t
	public transport bus D-Ost > 20 t
SMW/1950s	public transport bus DW/1950s ≤ 20 t
	public transport bus DW/1950s > 20 t
SMW/1960s	public transport bus DW/1960s ≤ 20 t
	public transport bus DW/1960s > 20 t
SMW/1970s	public transport bus DW/1970s ≤ 20 t
	public transport bus DW/1970s > 20 t
SMW/1980s	public transport bus DW/1980s ≤ 20 t
	public transport bus DW/1980s > 20 t
SMW/Euro1	public transport bus EURO1 ≤ 20 t
	public transport bus EURO1 > 20 t
SMW/Euro2	public transport bus EURO2 ≤ 20 t
	public transport bus EURO2 > 20 t
SMW/Euro3	public transport bus EURO3 ≤ 20 t
	public transport bus EURO3 > 20 t
SMW/Euro4	public transport bus EURO4 ≤ 20 t
	public transport bus EURO4 > 20 t
SMW/Euro5	public transport bus EURO5 ≤ 20 t
	public transport bus EURO5 > 20 t

Tabelle I8. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie Kleinkrafttrad/Kleinmotorrad innerhalb der Fahrzeugart Motorisierte Zweiräder

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
KKR/Konv	KKR vor ECE
	KKR ECE47
KKR/EU1	KKR EU1
KKR/EU2	KKR EU2

Table I8. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category light motor bicycle of the vehicle type motorised bicycles

Vehicle concept	Vehicle layer
Light motor bicycle/ without catalytic converter	light motor bicycle before ECE
	light motor bicycle ECE47
Light motor bicycle/EU1	light motor bicycle EU1
Light motor bicycle/EU2	light motor bicycle EU2

Tabelle I9. Fahrzeugkonzepte und Fahrzeugschichten der Fahrzeugkategorie Krafttrad/Motorrad innerhalb der Fahrzeugart Motorisierte Zweiräder

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
KR/2T/ $\leq$ ECE40	KR 2T vor ECE
	KR 2T ECE40
	KR 2T ECE40-01
KR/2T/EU1/FAV3	KR 2T EU1
KR/2T/EU2	KR 2T EU2

Table I9. Vehicle concepts and vehicle layers of the vehicle category motor bicycle of the vehicle type motorised bicycles

Vehicle concept	Vehicle layer
Motor bicycle/ 2T/ $\leq$ ECE40	motor bicycle 2T before ECE
	motor bicycle 2T ECE40
	motor bicycle 2T ECE40-01
Motor bicycle/ 2T/EU1/FAV3	motor bicycle 2T EU1
Motor bicycle/ 2T/EU2	motor bicycle 2T EU2

Fahrzeugkonzept	Fahrzeugschicht
KR/4T/≤ ECE40	KR 4T vor ECE ≤ 250 cm ³
	KR 4T vor ECE 251 bis 750 cm ³
	KR 4T vor ECE > 750 cm ³
	KR 4T ECE40 ≤ 250 cm ³
	KR 4T ECE40 251 bis 750 cm ³
	KR 4T ECE40 > 750 cm ³
	KR 4T ECE40-01 ≤ 250 cm ³
	KR 4T ECE40-01 251 bis 750 cm ³
	KR 4T ECE40-01 > 750 cm ³
KR/4T/EU1/FAV3	KR 4T EU1 ≤ 250 cm ³
	KR 4T EU1 251 bis 750 cm ³
	KR 4T EU1 > 750 cm ³
KR/4T/EU2	KR 4T EU2 ≤ 250 cm ³
	KR 4T EU2 251 bis 750 cm ³
	KR 4T EU2 > 750 cm ³

Vehicle concept	Vehicle layer
Motor bicycle/ 4T/≤ ECE40	motor bicycle 4T before ECE ≤ 250 cm ³
	motor bicycle 4T before ECE 251 to 750 cm ³
	motor bicycle 4T before ECE > 750 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40 ≤ 250 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40 251 to 750 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40 > 750 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40-01 ≤ 250 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40-01 251 to 750 cm ³
	motor bicycle 4T ECE40-01 > 750 cm ³
Motor bicycle/ 4T/EU1/FAV3	motor bicycle 4T EU1 ≤ 250 cm ³
	motor bicycle 4T EU1 251 to 750 cm ³
	motor bicycle 4T EU1 > 750 cm ³
Motor bicycle/ 4T/EU2	motor bicycle 4T EU2 ≤ 250 cm ³
	motor bicycle 4T EU2 251 to 750 cm ³
	motor bicycle 4T EU2 > 750 cm ³

Anhang J Verkehrssituationen und Fahrmustermixe nach [16]

Tabelle J1. Verkehrssituationen und Fahrmustermixe für Pkw/INfz nach [16]

Autobahnen (Regelfall), Pkw/INfz

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	Ebene (–3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< –3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
AB>120	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,225 \cdot (v_{115} + v_{145}) + 0,275 \cdot (v_{125} + v_{135})$	130	$0,225 \cdot v_{115} + 0,275 \cdot v_{125} + 0,5 \cdot v_{135}$	128	$0,225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0,275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120
AB_120	T120, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0,275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120	$0,225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0,275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120	$0,225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0,275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	110
AB_100	T100, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0,3 \cdot (v_{105} + v_{115})$	110	$0,2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0,2 \cdot (v_{105} + v_{115})$	110	$0,2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0,2 \cdot (v_{105} + v_{115})$	100
AB_80	T80, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot (v_{95})$	95	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot (v_{95})$	95	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot (v_{95})$	95
AB_60	T60, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,5 \cdot v_{75} + 0,5 \cdot v_{85}$	80	$0,5 \cdot v_{75} + 0,5 \cdot v_{85}$	80	$0,5 \cdot v_{75} + 0,5 \cdot v_{85}$	80
AB>120_ gebunden	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85
AB_120_ gebunden	T120, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85
AB_100_ gebunden	T100, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85
AB_80_ gebunden	T80, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85	$0,3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0,4 \cdot v_{85}$	85
AB_60_ gebunden	T60, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,21 \cdot FM7 + 0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85}$	75	$0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85} + 0,11 \cdot LG1 + 0,10 \cdot LG2$	74	$0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85} + 0,11 \cdot LS1 + 0,1 \cdot LS2$	74
AB_Baust1	Autobahn Baustelle zweistreifig	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot v_{95}$	95	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot v_{95}$	95	$0,12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0,23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0,3 \cdot v_{95}$	95
AB_Baust2	Autobahn Baustelle einstreifig	$0,21 \cdot FM7 + 0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85}$	75	$0,11 \cdot LG1 + 0,10 \cdot LG2 + 0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85}$	74	$0,11 \cdot LS1 + 0,10 \cdot LS2 + 0,45 \cdot v_{75} + 0,34 \cdot v_{85}$	74
AB_ Stop-and-go	Autobahn Stop-and-go	STGOAB	9	STGOAB	9	STGOAB	9

Annex J Traffic situations and driving patterns according to [16]

Table J1. Traffic situations and driving pattern mixes for passenger cars and light commercial vehicles; according to [16]

Motorways (normal case), passenger cars and light commercial vehicles

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	level (–3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< –3 %)	v in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
AB>120	without speed limit, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.225 \cdot (v_{115} + v_{145}) + 0.275 \cdot (v_{125} + v_{135})$	130	$0.225 \cdot v_{115} + 0.275 \cdot v_{125} + 0.5 \cdot v_{135}$	128	$0.225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0.275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120
AB_120	T120, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0.275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120	$0.225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0.275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	120	$0.225 \cdot (v_{105} + v_{135}) + 0.275 \cdot (v_{115} + v_{125})$	110
AB_100	T100, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0.3 \cdot (v_{105} + v_{115})$	110	$0.2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0.2 \cdot (v_{105} + v_{115})$	110	$0.2 \cdot (v_{95} + v_{125}) + 0.2 \cdot (v_{105} + v_{115})$	100
AB_80	T80, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot (v_{95})$	95	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot (v_{95})$	95	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot (v_{95})$	95
AB_60	T60, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.5 \cdot v_{75} + 0.5 \cdot v_{85}$	80	$0.5 \cdot v_{75} + 0.5 \cdot v_{85}$	80	$0.5 \cdot v_{75} + 0.5 \cdot v_{85}$	80
AB>120_ dense	without speed limit, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85
AB_120_ dense	T120, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85
AB_100_ dense	T100, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85
AB_80_ dense	T80, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85	$0.3 \cdot (v_{75} + v_{95}) + 0.4 \cdot v_{85}$	85
AB_60_ dense	T60, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane	$0.21 \cdot FM7 + 0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85}$	75	$0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85} + 0.11 \cdot LG1 + 0.10 \cdot LG2$	74	$0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85} + 0.11 \cdot LS1 + 0.1 \cdot LS2$	74
AB_Baust1	motorway, road work, two lanes	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot v_{95}$	95	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot v_{95}$	95	$0.12 \cdot (v_{75} + v_{115}) + 0.23 \cdot (v_{85} + v_{105}) + 0.3 \cdot v_{95}$	95
AB_Baust2	motorway, road work, one lane	$0.21 \cdot FM7 + 0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85}$	75	$0.11 \cdot LG1 + 0.10 \cdot LG2 + 0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85}$	74	$0.11 \cdot LS1 + 0.10 \cdot LS2 + 0.45 \cdot v_{75} + 0.34 \cdot v_{85}$	74
AB_ stop-and-go	motorway, stop-and-go	STGOAB	9	STGOAB	9	STGOAB	9

Autobahnen (Sondersituationen), Pkw/Infz

Kurzname	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
		Ebene (–3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< –3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
X: BAB_v075 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=75 km/h	v75	75	v75	75	v75	75
X: BAB_v085 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=85 km/h	v85	85	v85	85	v85	85
X: BAB_v095 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=95 km/h	v95	95	v95	95	v95	95
X: BAB_v105 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=105 km/h	v105	105	v105	105	v105	105
X: BAB_v115 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=115 km/h	v115	115	v115	115	v115	115
X: BAB_v125 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=125 km/h	v125	125	v125	125	v125	125
X: BAB_v135 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=135 km/h	v135	135	v135	135	v135	135
X: BAB_v145 _Ebene	Sondersituation: Autobahn_ Teilschichtemissionsfaktor mit V_Pkw=145 km/h	v145	145	v145	145	v145	145
X: AB_ Gefälle (AG1)	Sondersituation: AB Fahrmuster AG1 Gefälle mit v_PKW=120 km/h			AG1	120		
X: AB_ Gefälle (AG2)	Sondersituation: AB Fahrmuster AG2 Gefälle mit v_PKW=112 km/h			AG2	112		
X: AB_ Gefälle (AGV)	Sondersituation: AB Fahrmuster AGV Gefälle/Verzögerung			AGV	112		
X: AB_ Steigung (AS1)	Sondersituation: AB Fahrmuster AS1 Steigung mit v_PKW=117 km/h					AS1	117
X: AB_ Steigung (AS2)	Sondersituation: AB Fahrmuster AS2 Steigung mit v_PKW=103 km/h					AS2	103

Außerortsstraßen (Regelfall), Pkw/Infz

Kurzname	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
		Ebene (–3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< –3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
AO_1	AO HVS: guter Ausbaugrad, gerade	D10	77	LG1	61	LS1	60
AO_2	AO HVS: guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig	0,5 · D10 + 0,5 · D7	66	LG1	61	LS1	60
AO_3	AO HVS: ungleichmäßig kurvig	D6	61	LG2	51	LS2	49

Motorways (exceptional situations), passenger cars and light commercial vehicles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		level (-3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< -3 %)	 in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
X: BAB_v075 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=75 km/h	v75	75	v75	75	v75	75
X: BAB_v085 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=85 km/h	v85	85	v85	85	v85	85
X: BAB_v095 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=95 km/h	v95	95	v95	95	v95	95
X: BAB_v105 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=105 km/h	v105	105	v105	105	v105	105
X: BAB_v115 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=115 km/h	v115	115	v115	115	v115	115
X: BAB_v125 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=125 km/h	v125	125	v125	125	v125	125
X: BAB_v135 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=135 km/h	v135	135	v135	135	v135	135
X: BAB_v145 _level	exceptional situation: motorway partial class specific emission factor with V_Pkw=145 km/h	v145	145	v145	145	v145	145
X: AB_ descending gradient (AG1)	exceptional situation: motorway driving pattern AG1 descending gradient with v_PKW=120 km/h			AG1	120		
X: AB_ descending gradient (AG2)	exceptional situation: motorway driving pattern AG2 descending gradient with v_PKW=112 km/h			AG2	112		
X: AB_ descending gradient (AGV)	exceptional situation: motorway driving pattern AGV descending gradient/deceleration			AGV	112		
X: AB_ ascending gradient (AS1)	exceptional situation: motorway driving pattern AS1 ascending gradient v_PKW=117 km/h					AS1	117
X: AB_ ascending gradient (AS2)	exceptional situation: motorway driving pattern AS2 ascending gradient with v_PKW=103 km/h					AS2	103

Roads outside built-up areas (standard case), passenger cars and light commercial vehicles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		level (-3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< -3 %)	v in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
AO_1	AO HVS: good road quality, straight	D10	77	LG1	61	LS1	60
AO_2	AO HVS: good road quality, uniformly winding	0,5 · D10 + 0,5 · D7	66	LG1	61	LS1	60
AO_3	AO HVS: irregularly winding	D6	61	LG2	51	LS2	49

Außerortsstraßen (Sondersituationen), Pkw/INfz

Kurzname	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
		Ebene (-3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< -3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
X: AO_Gefälle (LG3)	AO Beschleunigungs- phase bei Ortsausgang			LG3	50	–	
X: AO_Steig'g (LS3)	AO Beschleunigungs- phase bei Ortsausgang			–		LS3	46
X: AO_Ortsausf. (D8)	AO Beschleunigungs- phase nach Ortsdurchfahrt	D8	78	–		–	
X: AO_Ortseinf. (D9)	AO Verzögerungs- phase bei Ortseingang	D9	72	–		–	

Innerortsstraßen (Regelfall), Pkw/INfz

Kurzname	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
		Ebene (-3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< -3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS, TL > 50; geringe Störung	D7	58	0,5 · LG1 + 0,5 · LG2	56	0,5 · LS1 + 0,5 · LS2	54
IO_HVS>50_2	IO HVS, TL > 50; mittlere Störung	0,85 · D5 + 0,15 · D7	48	D5	46	D5	46
IO_HVS>50_3	IO HVS, TL > 50; starke Störung	0,6 · D3 + 0,4 · D7	36	0,6 · D3 + 0,4 · D7	38	0,6 · D3 + 0,4 · D7	38
IO_HVS1	IO Ortsdurchfahrt, vorfahrts- berechtigt; ohne Störungen	D7	58	0,5 · LG1 + 0,5 · LG2	56	0,5 · LS1 + 0,5 · LS2	54
IO_HVS2	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; geringe Störung	D5	46	D5	46	D5	46
IO_HVS3	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; mittlere Störung	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39
IO_HVS4	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; starke Störung	D3	32	D3	32	D3	32
IO_LSA1	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; geringe Störung	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39	0,5 · D3 + 0,5 · D5	39
IO_LSA2	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; mittlere Störung	0,33 · D2 + 0,67 · D3	28	0,33 · D2 + 0,67 · D3	28	0,33 · D2 + 0,67 · D3	28
IO_LSA3	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; starke Störung	0,67 · D2 + 0,33 · D3	24	0,67 · D2 + 0,33 · D3	24	0,67 · D2 + 0,33 · D3	24
IO_Kern	Innerortsstraßen im Stadtkern	D2	20	D2	20	D2	20
IO_Nebenstr „dicht“	Nebenstraße im dicht bebauten Siedlungsgebiet	D1	19	D1	19	D1	19
IO_Nebenstr „locker“	Nebenstraße im locker bebauten Siedlungsgebiet	D3	32	D3	32	D3	32

Innerortsstraßen (Sondersituationen), Pkw/INfz

Kurzname	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
		Ebene (-3 bis +3 %)	v in km/h	Gefälle (< -3 %)	v in km/h	Steigung (> 3 %)	v in km/h
X: IO_Stop+Go	Innerortsstraßen mit Stop-and-go-Verkehr	STGOio	5	STGOio	5	STGOio	5
X: IO_ Ortsdurchfahrt, eng	IO Ortsdurchfahrt mit Engpässen	D4	37	D4	37	D4	D4

Roads outside built-up areas (exceptional situations), passenger cars and light commercial vehicles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		level (–3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< –3 %)	v in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
X: AO_descending gradient (LG3)	AO acceleration phase at leaving town			LG3	50	–	
X: AO_ascending gradient (LS3)	AO acceleration phase at leaving town			–		LS3	46
X: AO_traffic leaving town (D8)	AO acceleration phase after crossing town	D8	78	–		–	
X: AO_traffic entering town (D9)	AO deceleration phase at entering town	D9	72	–		–	

Roads in built-up areas (standard case), passenger cars and light commercial vehicles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		level (–3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< –3 %)	v in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS, TL > 50; little disturbance	D7	58	0.5 · LG1 + 0.5 · LG2	56	0.5 · LS1 + 0.5 · LS2	54
IO_HVS>50_2	IO HVS, TL > 50; medium disturbance	0.85 · D5 + 0.15 · D7	48	D5	46	D5	46
IO_HVS>50_3	IO HVS, TL > 50; strong disturbance	0.6 · D3 + 0.4 · D7	36	0.6 · D3 + 0.4 · D7	38	0.6 · D3 + 0.4 · D7	38
IO_HVS1	IO cross town link with right of way; no disturbances	D7	58	0.5 · LG1 + 0.5 · LG2	56	0.5 · LS1 + 0.5 · LS2	54
IO_HVS2	IO HVS, right of way; little disturbance	D5	46	D5	46	D5	46
IO_HVS3	IO HVS, right of way; medium disturbance	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39
IO_HVS4	IO HVS, right of way; strong disturbance	D3	32	D3	32	D3	32
IO_LSA1	IO HVS with traffic lights, little disturbance	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39	0.5 · D3 + 0.5 · D5	39
IO_LSA2	IO HVS with traffic lights, medium disturbance	0.33 · D2 + 0.67 · D3	28	0.33 · D2 + 0.67 · D3	28	0.33 · D2 + 0.67 · D3	28
IO_LSA3	IO HVS with traffic lights, strong disturbance	0.67 · D2 + 0.33 · D3	24	0.67 · D2 + 0.33 · D3	24	0.67 · D2 + 0.33 · D3	24
IO_downtown	streets in built_up area, downtown	D2	20	D2	20	D2	20
IO_by-street "dense"	by-streets in densly built-up residential area	D1	19	D1	19	D1	19
IO_by-street "light"	by-streets in lightly built-up residential area	D3	32	D3	32	D3	32

Roads in built-up areas (exceptional situations), passenger cars and light commercial vehicles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		level (–3 bis +3 %)	v in km/h	descending gradient (< –3 %)	v in km/h	ascending gradient (> 3 %)	v in km/h
X: IO_stop+go	streets in built-up area with stop-and-go traffic	STGOio	5	STGOio	5	STGOio	5
X: IO_cross town link, narrow	IO cross town link with narrow passages	D4	37	D4	37	D4	D4

Tabelle J2. Verkehrssituationen und Fahrmustermixe für sNfz und Busse nach [16]

Autobahnen (Regelfall), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
AB>120	Ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_120	T120, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_100	T100, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_80	T80, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,5 \cdot FM1 + 0,5 \cdot FM2$	83	$0,67 \cdot FM8 + 0,33 \cdot FM9$	87	FM15	40
AB_60	T60, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,7 \cdot FM2 + 0,3 \cdot FM3$	75	$0,4 \cdot FM7 + 0,6 \cdot FM9$	78	FM15	40
AB>120_gebunden	Ohne Tempolimit, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM2	79	$0,45 \cdot FM8 + 0,55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_120_gebunden	Tempo 120, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM2	79	$0,45 \cdot FM8 + 0,55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_100_gebunden	Tempo 100, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	FM2	79	$0,45 \cdot FM8 + 0,55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_80_gebunden	Tempo 80, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	FM2	79	$0,45 \cdot FM8 + 0,55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_60_gebunden	Tempo 60, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,4 \cdot FM2 + 0,6 \cdot FM3$	71	$0,17 \cdot FM8 + 0,83 \cdot FM9$	70	FM15	40
AB_Baust1	Autobahn Baustelle zweistreifig	$0,5 \cdot FM1 + 0,5 \cdot FM2$	83	$0,55 \cdot FM8 + 0,45 \cdot FM9$	83	FM15	40
AB_Baust2	Autobahn Baustelle eng, einstreifig	$0,4 \cdot FM2 + 0,6 \cdot FM3$	70	$0,17 \cdot FM8 + 0,83 \cdot FM9$	70	FM15	40
AB_Stop+Go	Autobahn Stop-and-go	FM21	6	FM27	6	FM30	6

Autobahnen (Sondersituationen), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
X: BAB_gebunden	Autobahn starke Störung (nur SMW)	FM20	18	FM26	18	–	
X: BAB_teil-gebunden	Autobahn mittlere Störung (nur SMW)	FM19	73	FM25	73	–	

Außerortsstraßen (Regelfall), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
AO_1	AO HVS: guter Ausbaugrad, gerade	$0,5 \cdot FM2 + 0,5 \cdot FM3$	72	$0,33 \cdot FM8 + 0,67 \cdot FM9$	76	FM15	40
AO_2	AO HVS: guter Ausb., gleichmäßig kurvig	FM3	65	FM9	65	FM15	40
AO_3	AO HV: ungleichmäßig kurvig	$0,5 \cdot FM3 + 0,5 \cdot FM4$	56	$0,65 \cdot FM8 + 0,35 \cdot FM9$	58	FM15	40

Table J2. Traffic situations and driving pattern mixes for heavy commercial vehicles and buses according to [16]
Motorways (standard case), heavy commercial vehicles and buses

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		LW/LZ/SZ	v in km/h	tourist coach	v in km/h	public transport bus	v in km/h
AB>120	without speed limit, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_120	T120, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_100	T100, traffic volumes < 1400 motor vehicles per hour per lane	FM1	86	FM7	103	FM15	40
AB_80	T80, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane	$0.5 \cdot FM1 + 0.5 \cdot FM2$	83	$0.67 \cdot FM8 + 0.33 \cdot FM9$	87	FM15	40
AB_60	T60, traffic volumes < 1500 motor vehicles per hour per lane	$0.7 \cdot FM2 + 0.3 \cdot FM3$	75	$0.4 \cdot FM7 + 0.6 \cdot FM9$	78	FM15	40
AB>120_ dense	without speed limit, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	FM2	79	$0.45 \cdot FM8 + 0.55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_120_ dense	T120, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	FM2	79	$0.45 \cdot FM8 + 0.55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_100_ dense	Tempo 100, traffic volumes > 1400 motor vehicles per hour per lane	FM2	79	$0.45 \cdot FM8 + 0.55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_80_ dense	Tempo 80, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane	FM2	79	$0.45 \cdot FM8 + 0.55 \cdot FM9$	80	FM15	40
AB_60_ dense	Tempo 60, traffic volumes > 1500 motor vehicles per hour per lane	$0.4 \cdot FM2 + 0.6 \cdot FM3$	71	$0.17 \cdot FM8 + 0.83 \cdot FM9$	70	FM15	40
AB_Baust1	motorway, road work, two lanes	$0.5 \cdot FM1 + 0.5 \cdot FM2$	83	$0.55 \cdot FM8 + 0.45 \cdot FM9$	83	FM15	40
AB_Baust2	motorway, road work, one lane	$0.4 \cdot FM2 + 0.6 \cdot FM3$	70	$0.17 \cdot FM8 + 0.83 \cdot FM9$	70	FM15	40
AB_Stop- and-go	motorway, stop-and-go	FM21	6	FM27	6	FM30	6

Motorways (exceptional situations), heavy commercial vehicles and buses

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern	
		LW/LZ/SZ	v in km/h	tourist coach	v in km/h	public transport bus	v in km/h
X: motorway_ dense	motorway with strong disturbance (only SMW)	FM20	18	FM26	18	–	
X: motorway_ medium	motorway with medium disturbance (only SMW)	FM19	73	FM25	73	–	

Roads outside built-up areas (standard case), heavy commercial vehicles and buses

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		LW/LZ/SZ	v in km/h	tourist coach	v in km/h	public transport bus	v in km/h
AO_1	AO HVS: good road quality, straight	$0.5 \cdot FM2 + 0.5 \cdot FM3$	72	$0.33 \cdot FM8 + 0.67 \cdot FM9$	76	FM15	40
AO_2	AO HVS: good road quality, uniformly winding	FM3	65	FM9	65	FM15	40
AO_3	AO HV: irregularly winding	$0.5 \cdot FM3 + 0.5 \cdot FM4$	56	$0.65 \cdot FM8 + 0.35 \cdot FM9$	58	FM15	40

Außerortsstraßen (Sondersituationen), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
X: AO_Serp	Serpentinen (nur SMW)	FM16	38	FM22	38	FM28	

Innerortsstraßen (Regelfall), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS; TL<50; geringe Störung	$0,33 \cdot FM3 + 0,67 \cdot FM4$	53	$0,33 \cdot FM9 + 0,67 \cdot FM10$	53	FM15	40
IO_HVS>50_2	IO HVS; TL<50; mittlere Störung	$0,67 \cdot FM4 + 0,33 \cdot FM5$	40	$0,67 \cdot FM10 + 0,33 \cdot FM11$	38	FM15	40
IO_HVS>50_3	IO HVS; TL<50; starke Störung	$0,25 \cdot FM4 + 0,75 \cdot FM5$	31	$0,25 \cdot FM10 + 0,75 \cdot FM11$	27	$0,5 \cdot FM14 + 0,53 \cdot FM15$	31
IO_HVS1	IO HVS, Ortsdurchfahrt; ohne Störung	$0,33 \cdot FM3 + 0,67 \cdot FM4$	53	$0,33 \cdot FM9 + 0,67 \cdot FM10$	53	FM15	40
IO_HVS2	IO HVS, vorfahrtsber.; geringe Störung	$0,7 \cdot FM4 + 0,3 \cdot FM5$	40	$0,7 \cdot FM10 + 0,3 \cdot FM11$	39	$0,67 \cdot FM14 + 0,33 \cdot FM15$	28
IO_HVS3	IO HVS, vorfahrtsber.; mittlere Störung	$0,5 \cdot FM4 + 0,5 \cdot FM5$	36	$0,5 \cdot FM10 + 0,5 \cdot FM11$	33	FM14	22
IO_HVS4	IO HVS, vorfahrtsber.; starke Störung	$0,85 \cdot FM5 + 0,15 \cdot FM6$	24	$0,85 \cdot FM10 + 0,15 \cdot FM11$	19	$0,5 \cdot FM13 + 0,5 \cdot FM14$	19
IO_LSA1	IO HVS, mit Lichtsign.; geringe Störung	$0,5 \cdot FM4 + 0,5 \cdot FM5$	36	$0,5 \cdot FM10 + 0,5 \cdot FM11$	33	FM14	22
IO_LSA2	IO HVS, mit Lichtsign.; mittlere Störung	$0,5 \cdot FM5 + 0,5 \cdot FM6$	22	$0,5 \cdot FM11 + 0,5 \cdot FM12$	17	$0,5 \cdot FM13 + 0,5 \cdot FM14$	19
IO_LSA3	IO HVS, mit Lichtsign.; starke Störung	$0,17 \cdot FM5 + 0,83 \cdot FM6$	19	$0,17 \cdot FM11 + 0,83 \cdot FM12$	15	FM13	16
IO_Kern	Innerortsstraßen im Stadtkern	FM6	17	FM12	14	FM13	16
IO_Nebenstr. „dicht“	Nebenstraßen, dicht bebaut	$0,67 \cdot FM6 + 0,33 \cdot FM17$	15	$0,67 \cdot FM12 + 0,33 \cdot FM23$	13	$0,5 \cdot FM13 + 0,5 \cdot FM29$	13
IO_Nebenstr. „locker“	Nebenstraßen, locker bebaut	$0,85 \cdot FM5 + 0,15 \cdot FM6$	24	$0,85 \cdot FM11 + 0,15 \cdot FM12$	19	$0,5 \cdot FM13 + 0,5 \cdot FM14$	19

Innerortsstraßen (Sondersituationen), sNfz und Busse

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	LW/LZ/SZ	v in km/h	RBus	v in km/h	LBus	v in km/h
X: IO_Stop+Go	Innerortsstraßen mit Stop-and-go	FM18	6	FM24	6	FM30	6
X: IO_Kern großer Knotenabstand		FM5	26	FM11	20		
X: IO_gebunden		FM17	11	FM23	11	FM29	11
X: IO_Hauptverkehrsstraße		FM4	47	FM10	47		

Roads outside built-up areas (exceptional situations), heavy commercial vehicles and buses

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	LW/LZ/SZ	v in km/h	tourist coach	 in km/h	public transport bus	v in km/h
X: AO_Serp	winding road (only SMW)	FM16	38	FM22	38	FM28	

Roads in built-up areas (standard case), heavy commercial vehicles and buses

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	LW/LZ/SZ	v in km/h	tourist coach	v in km/h	public transport bus	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS; TL<50; little disturbance	$0.33 \cdot FM3 + 0.67 \cdot FM4$	53	$0.33 \cdot FM9 + 0.67 \cdot FM10$	53	FM15	40
IO_HVS>50_2	IO HVS; TL<50; medium disturbance	$0.67 \cdot FM4 + 0.33 \cdot FM5$	40	$0.67 \cdot FM10 + 0.33 \cdot FM11$	38	FM15	40
IO_HVS>50_3	IO HVS; TL<50; strong disturbance	$0.25 \cdot FM4 + 0.75 \cdot FM5$	31	$0.25 \cdot FM10 + 0.75 \cdot FM11$	27	$0.5 \cdot FM14 + 0.53 \cdot FM15$	31
IO_HVS1	IO HVS, cross town link with right of way; no disturbances	$0.33 \cdot FM3 + 0.67 \cdot FM4$	53	$0.33 \cdot FM9 + 0.67 \cdot FM10$	53	FM15	40
IO_HVS2	IO HVS, right of way; little disturbance	$0.7 \cdot FM4 + 0.3 \cdot FM5$	40	$0.7 \cdot FM10 + 0.3 \cdot FM11$	39	$0.67 \cdot FM14 + 0.33 \cdot FM15$	28
IO_HVS3	IO HVS, right of way; medium disturbance	$0.5 \cdot FM4 + 0.5 \cdot FM5$	36	$0.5 \cdot FM10 + 0.5 \cdot FM11$	33	FM14	22
IO_HVS4	IO HVS, right of way; strong disturbance	$0.85 \cdot FM5 + 0.15 \cdot FM6$	24	$0.85 \cdot FM10 + 0.15 \cdot FM11$	19	$0.5 \cdot FM13 + 0.5 \cdot FM14$	19
IO_LSA1	IO HVS, with traffic lights, little disturbance	$0.5 \cdot FM4 + 0.5 \cdot FM5$	36	$0.5 \cdot FM10 + 0.5 \cdot FM11$	33	FM14	22
IO_LSA2	IO HVS, with traffic lights, medium disturbance	$0.5 \cdot FM5 + 0.5 \cdot FM6$	22	$0.5 \cdot FM11 + 0.5 \cdot FM12$	17	$0.5 \cdot FM13 + 0.5 \cdot FM14$	19
IO_LSA3	IO HVS, with traffic lights, strong disturbance	$0.17 \cdot FM5 + 0.83 \cdot FM6$	19	$0.17 \cdot FM11 + 0.83 \cdot FM12$	15	FM13	16
IO_downtown	streets in built-up area, downtown	FM6	17	FM12	14	FM13	16
IO_by-street "dense"	by-streets in densely built-up area	$0.67 \cdot FM6 + 0.33 \cdot FM17$	15	$0.67 \cdot FM12 + 0.33 \cdot FM23$	13	$0.5 \cdot FM13 + 0.5 \cdot FM29$	13
IO_Nebenstr. „light“	by-streets in lightly built-up area	$0.85 \cdot FM5 + 0.15 \cdot FM6$	24	$0.85 \cdot FM11 + 0.15 \cdot FM12$	19	$0.5 \cdot FM13 + 0.5 \cdot FM14$	19

Roads in built-up areas (exceptional situations), heavy commercial vehicles and buses

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	LW/LZ/SZ	 in km/h	tourist coach	v in km/h	public transport bus	v in km/h
X: IO_Stop+Go	streets in built-up area stop and go	FM18	6	FM24	6	FM30	6
X: IO_downtown large distances between intersections		FM5	26	FM11	20		
X: IO_dense		FM17	11	FM23	11	FM29	11
X: IO_arterial road		FM4	47	FM10	47		

Tabelle J3. Verkehrssituationen und Fahrmustermixe für motorisierte Zweiräder (Krad) nach [16]

Autobahnen (Regelfall), Krad

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	KR	v in km/h	KKR	v in km/h
AB>120	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,5 \cdot ZR9 + 0,5 \cdot ZR10$	127	–	
AB_120	T120, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR9	115	–	
AB_100	T100, Verkehrsstärken < 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR8	107	–	
AB_80	T80, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,75 \cdot ZR7 + 0,25 \cdot ZR8$	90	–	
AB_60	T60, Verkehrsstärken < 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR6	80	–	
AB>120_gebunden	ohne Tempolimit, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR7	85	–	
AB_120_gebunden	Tempo 120, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR7	85	–	
AB_100_gebunden	T100, Verkehrsstärken > 1400 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR7	85	–	
AB_80_gebunden	T80, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	ZR7	85	–	
AB_60_gebunden	T60, Verkehrsstärken > 1500 Kfz/h je Fahrstreifen	$0,5 \cdot ZR5 + 0,5 \cdot ZR6$	74	–	
AB_Baust1	Autobahn Baustelle zweistreifig	$0,75 \cdot ZR7 + 0,25 \cdot ZR8$	90	–	
AB_Baust2	Autobahn Baustelle einstreifig	$0,5 \cdot ZR5 + 0,5 \cdot ZR6$	74	–	
AB_Stop+Go	Autobahn Stop-and-go	ZR1	19	–	

Außerortsstraßen (Regelfall), Krad

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	KR	v in km/h	KKR	v in km/h
AO_1	AO HVS: guter Ausbaugrad, gerade	ZR6	80	ZR13	30
AO_2	AO HVS: guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig	$0,5 \cdot ZR5 + 0,5 \cdot ZR6$	74	ZR13	30
AO_3	AO HVS: ungleichmäßig kurvig	ZR5	69	ZR13	30

Innerortsstraßen (Regelfall), Krad

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	KR	v in km/h	KKR	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS, TL>50; geringe Störung	$0,5 \cdot ZR3 + 0,5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS>50_2	IO HVS, TL>50; mittlere Störung	ZR3	41	ZR13	30
IO_HVS>50_3	IO HVS, TL>50; starke Störung	$0,67 \cdot ZR2 + 0,33 \cdot ZR3$	31	$0,2 \cdot ZR12 + 0,8 \cdot ZR13$	28

Table J3. Traffic situations and driving pattern mixes for motorised bicycles; according to [16]

Motorways (standard case), motor bicycles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		motor bicycle	 in km/h	small motor bicycle	v in km/h
AB>120	no speed limit; traffic volume < 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	$0.5 \cdot ZR9 + 0.5 \cdot ZR10$	127	–	
AB_120	T120, traffic volume < 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR9	115	–	
AB_100	T100, traffic volume < 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR8	107	–	
AB_80	T80, traffic volume < 1500 motor vehicles per hour and traffic lane	$0.75 \cdot ZR7 + 0.25 \cdot ZR8$	90	–	
AB_60	T60, traffic volume < 1500 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR6	80	–	
AB>120_dense	no speed limit, traffic volume > 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR7	85	–	
AB_120_dense	Tempo 120, traffic volume > 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR7	85	–	
AB_100_dense	T100, traffic volume > 1400 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR7	85	–	
AB_80_dense	T80, traffic volume > 1500 motor vehicles per hour and traffic lane	ZR7	85	–	
AB_60_dense	T60, traffic volume > 1500 motor vehicles per hour and traffic lane	$0.5 \cdot ZR5 + 0.5 \cdot ZR6$	74	–	
AB_Baust1	motorway; road work; two lanes	$0.75 \cdot ZR7 + 0.25 \cdot ZR8$	90	–	
AB_Baust2	motorway; road work; one lane	$0.5 \cdot ZR5 + 0.5 \cdot ZR6$	74	–	
AB_Stop+Go	motorway, stop-and-go	ZR1	19	–	

Roads outside built-up areas (standard case), motor bicycles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		motor bicycle	v in km/h	small motor bicycle	v in km/h
AO_1	AO HVS: good road quality, straight	ZR6	80	ZR13	30
AO_2	AO HVS: good road quality, uniformly winding	$0.5 \cdot ZR5 + 0.5 \cdot ZR6$	74	ZR13	30
AO_3	AO HVS: irregularly winding	ZR5	69	ZR13	30

Roads in built-up areas (standard case), motor bicycles

Short name	Traffic situation description	Driving pattern mix		Driving pattern mix	
		motor bicycle	v in km/h	small motor bicycle	v in km/h
IO_HVS>50_1	IO HVS, TL>50; little disturbance	$0.5 \cdot ZR3 + 0.5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS>50_2	IO HVS, TL>50; medium disturbance	ZR3	41	ZR13	30
IO_HVS>50_3	IO HVS, TL>50; strong disturbance	$0.67 \cdot ZR2 + 0.33 \cdot ZR3$	31	$0.2 \cdot ZR12 + 0.8 \cdot ZR13$	28

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	KR	v in km/h	KKR	v in km/h
IO_HVS1	IO Ortsdurchfahrt, vorfahrtsberechtigt; ohne Störungen	$0,5 \cdot ZR3 + 0,5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS2	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; geringe Störung	$0,5 \cdot ZR3 + 0,5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS3	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; mittlere Störung	ZR3	41	ZR13	30
IO_HVS4	IO HVS, vorfahrtsberechtigt; starke Störung	$0,67 \cdot ZR2 + 0,33 \cdot ZR3$	31	$0,2 \cdot ZR12 + 0,8 \cdot ZR13$	28
IO_LSA1	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; geringe Störung	$0,33 \cdot ZR2 + 0,67 \cdot ZR3$	36	$0,5 \cdot ZR12 + 0,5 \cdot ZR13$	25
IO_LSA2	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; mittlere Störung	$0,67 \cdot ZR2 + 0,33 \cdot ZR3$	31	$0,5 \cdot ZR12 + 0,5 \cdot ZR13$	25
IO_LSA3	IO HVS mit Lichtsignalanlagen; starke Störung	$0,25 \cdot ZR1 + 0,75 \cdot ZR2$	24	$0,5 \cdot ZR12 + 0,5 \cdot ZR13$	25
IO_Kern	Innerortsstraßen im Stadtkern	$0,5 \cdot ZR1 + 0,5 \cdot ZR2$	22	ZR12	20
IO_Nebenstr „dicht“	Nebenstraßen im dicht bebauten Siedlungsgebiet	$0,5 \cdot ZR1 + 0,5 \cdot ZR2$	22	ZR12	20
IO_Nebenstr „locker“	Nebenstraßen im locker bebauten Siedlungsgebiet	$0,5 \cdot ZR2 + 0,5 \cdot ZR3$	34	$0,2 \cdot ZR12 + 0,8 \cdot ZR13$	28

Innerortsstraßen (Sondersituation), Krad

	Verkehrssituation	Fahrmustermix		Fahrmustermix	
Kurzname	Beschreibung	KR	v in km/h	KKR	 in km/h
X:IO_Stop+Go	Innerortsstraßen mit Stop-and-go-Verkehr	ZR1	19	ZR12	20

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	motor bicycle	v in km/h	small motor bicycle	v in km/h
IO_HVS1	IO HVS cross town link with right of way; no disturbances	$0.5 \cdot ZR3 + 0.5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS2	IO HVS, right of way; little disturbance	$0.5 \cdot ZR3 + 0.5 \cdot ZR4$	52	ZR13	30
IO_HVS3	IO HVS, right of way; medium disturbance	ZR3	41	ZR13	30
IO_HVS4	IO HVS, right of way; strong disturbance	$0.67 \cdot ZR2 + 0.33 \cdot ZR3$	31	$0.2 \cdot ZR12 + 0.8 \cdot ZR13$	28
IO_LSA1	IO HVS with traffic lights, little disturbance	$0.33 \cdot ZR2 + 0.67 \cdot ZR3$	36	$0.5 \cdot ZR12 + 0.5 \cdot ZR13$	25
IO_LSA2	IO HVS with traffic lights, medium disturbance	$0.67 \cdot ZR2 + 0.33 \cdot ZR3$	31	$0.5 \cdot ZR12 + 0.5 \cdot ZR13$	25
IO_LSA3	IO HVS with traffic lights, strong disturbance	$0.25 \cdot ZR1 + 0.75 \cdot ZR2$	24	$0.5 \cdot ZR12 + 0.5 \cdot ZR13$	25
IO_downtown	streets in built-up area, downtown	$0.5 \cdot ZR1 + 0.5 \cdot ZR2$	22	ZR12	20
IO_by-street "dense"	by-streets in densely built-up area	$0.5 \cdot ZR1 + 0.5 \cdot ZR2$	22	ZR12	20
IO_by-street "light"	by-streets in lightly built-up area	$0.5 \cdot ZR2 + 0.5 \cdot ZR3$	34	$0.2 \cdot ZR12 + 0.8 \cdot ZR13$	28

Roads in built-up areas (exceptional situations), motor bicycles

	Traffic situation	Driving pattern mix		Driving pattern mix	
Short name	description	motor bicycle	v in km/h	small motor bicycle	v in km/h
X:IO_Stop+Go	roads in built-up areas with stop-and-go traffic	ZR1	19	ZR12	20

Anhang K

Emissionen in (Tief-)Garagen

Die Emissionsbelastung in einer Garage setzt sich zusammen aus den Emissionsbeiträgen der abgestellten Fahrzeuge sowie der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge. Von den abgestellten Fahrzeugen werden Verdampfungsemissionen bedingt durch Warm-/Heißabstellen und die Tankatmung abgegeben (siehe Abschnitt 2.3.9.1).

Die Emission der in Bewegung befindlichen Fahrzeuge beruht im Wesentlichen auf den → Motorabgasen. Dabei sind bei den einfahrenden Fahrzeugen die Emissionen im betriebswarmen Zustand von Bedeutung, während bei den ausfahrenden Fahrzeugen die Emissionen bei kaltem bzw. abgekühltem Motor zum Tragen kommen.

Untersuchungen haben ergeben, mit welchen Fahrmustern das Fahrverhalten in einer Garage geeignet zu beschreiben ist, so dass die messtechnisch ermittelte Emission auch rechnerisch mit Emissionsfaktoren angemessen zu bestimmen ist [72 bis 74]. Ergebnisse und Daten dieser Studien werden voraussichtlich auch in die Novellierung von [T4] einfließen.

Annex K

Emissions in garages and underground car parks

The emissions in a garage or underground car park consist of the contributions by the parked vehicles and by the entering and leaving vehicles. The parked vehicles produce emissions by evaporation as long as their engines are still hot or warm and by tank respiration (see Section 2.3.9.1).

The emission of the moving vehicles originates essentially from the → engine exhaust gas. With entering vehicles the emissions from the engine at operating temperature are significant while with exiting vehicles the emissions from a cold or cooled off engine predominate.

Investigations have established the driving patterns that describe the driving behaviour in garages best. Thus the measured emissions can be adequately reproduced in calculations by emission factors [72 to 74]. Results and data of this study are expected to be incorporated into the revision of [T4].

Schrifttum/Bibliography

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften Acts, ordinances, administrative regulations

- [G1] Richtlinie 96/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27.9.1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt Nr. L 296 vom 21.11.1996 S. 55/63
- [G2] Richtlinie 98/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zu Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates
- [G3] Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Diesel-Kraftstoffen und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates
- [G4] Richtlinie 1999/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22.4.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt Nr. L 163 vom 29.6.1999 S. 41
- [G5] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. Amtsblatt Nr. L 313 vom 13.12.2000 S. 12
- [G6] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26.09.2002, BGBl. I S. 3830
- [G7] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12.2.1990 BGBl. I S. 205, zuletzt geändert am 18.8.1997 BGBl. I S. 2081
- [G8] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte – 22. BImSchV) vom 11.09.2002, BGBl. I S. 3626
- [G9] Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten – 23. BImSchV) vom 16.12.1996, BGBl. I S. 1962
- [G10] Allgemeine Verwaltungsvorschrift über straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen bei Überschreiten von Konzentrationswerten nach der 23. BImSchV (VwV-StV-ImSch) vom 16. Dezember 1996, BAnz. 243 vom 31.12.1996, S. 13392
- [G11] Anlage XXIII zu § 47 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung – StVZO – in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793), zuletzt geändert durch die 25. Verordnung zur Änderung der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 3. August 2000 (BGBl. I S. 1273)
- [G12] Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform vom 16.12.1999, BGBl. I S. 2432

Technische Regeln/Technical rules

- [T1] DIN EN 228 : 2000-02 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Unverbleite Otto-Kraftstoffe – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 228 : 1999 (Automotive fuels – Unleaded petrol – Requirements and test methods; German version EN 228:1999). Berlin: Beuth Verlag
- [T2] DIN EN 590 : 2000-02 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Diesel-Kraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 590 : 1999 (Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods; German version EN 590:1999). Berlin: Beuth Verlag
- [T3] VDI 2440 : 2000-11 Emissionsminderung – Mineralölraffinerien (Emission control – Mineral oil refineries). Berlin: Beuth-Verlag
- [T4] VDI 2053 Blatt 1 : 1995-08 Raumlufttechnische Anlagen für Garagen und Tunnel – Garagen (Air treatment systems for garages and tunnels – Garages). Berlin: Beuth Verlag

- [T5] DIN V ENV 13 005 : 1999 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (Guide to the expression of uncertainty in measurement; German version ENV 13 005:1999). Berlin: Beuth Verlag

Literatur/Literature

- [1] Flassak, T.; Bächlin, W.; Bössinger, R.; Blasek, R.; Schädler, G. und A. Lohmeyer: Einfluss der Eingangsparameter auf berechnete Immissionswerte für Kfz-Abgase: Sensitivitätsanalyse, Forschungsbericht FZKA-PEF 150, Hrsg.: Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF) im Forschungszentrum Karlsruhe, 1996
- [2] Schmidt, G. und B. Thomas: Hochrechnungsfaktoren für manuelle und automatische Kurzzeitzählungen im Innerortsbereich. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 732, 1996
- [3] Lensing, N.: Straßenverkehrszählung 1995, Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach. Verkehrstechnik Heft V 45, 1997
- [4] Merkblatt „Hinweise für den kurzzeitigen Einsatz von Straßenverkehrszählgeräten“, Ausgabe 1991 (Straßenbau A – Z) – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Direktverlag Köln
- [5] Schmidt, G.: Hochrechnungsfaktoren für Kurzzeitzählungen auf Innerortsstraßen, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag GmbH, Heft 11 1996, S. 546/556
- [6] Ergebnisse aus automatischen Dauerzählungen an den Freien Strecken der Straßen des überörtlichen Verkehrs in NRW, Juni 1999, Herausgeber: Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes NRW, Düsseldorf 1999
- [7] Hassel, D.; Jost, P.; Weber, F.-J.; Dursbeck F.; Sonnborn, K.-S., und D. Pletttau: Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland, Abschlussbericht des TÜV Rheinland im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berichte des Umweltbundesamtes 8/94, Berlin: Erich Schmidt Verlag 1994
- [8] Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen RLS-90, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Ausgabe 1990
- [9] Palm, I.; Regniet, G., und G. Schmidt: Ermittlung der Pkw- und Nfz-Jahresfahrleistungen 1993 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland (FE-Nr. 90434/94). Heusch-Boesefeldt GmbH, Aachen, Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn 1996
- [10] Bartelt, B.; Regniet, G.; Schmidt, G.; Jost, P. und K.-S. Sonnborn: Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von Pkw auf Stadt- und Landstraßen; TÜV Rheinland e.V., Heusch-Boesefeldt GmbH, Texte 66 des Umweltbundesamtes (Hrsg.), Berlin 1994
- [11] Parkplatzlärmstudie (1988, 1993, 1995, 2001) Untersuchung von Schallemissionen aus Parkplätzen, Autohöfen und Omnibusbahnhöfen, Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft mbH, München, im Auftrag des Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, München
- [12] Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR91, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln, Ausgabe 1991
- [13] Prognoseverkehrsstärken 2000/2001 für die Fortschreibung des Bedarfsplans Straße auf der Grundlage der Verkehrszählungen 1970 bis 1990, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen 1991
- [14] Shell Pkw-Szenarien. Mehr Autos – weniger Emissionen, Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020, Herausgeber: Deutsche Shell Aktiengesellschaft, Abt. Energie- und Wirtschaftspolitik, September 1999
- [15] Fellendorf, M.: Static Assignment versus Dynamic Simulation, in Proceedings of the computational Engineering in System Applications '98, Hammamet 1998

- [16] Umweltbundesamt, Berlin; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; INFRAS AG, Bern: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2. Berlin, 1999 (erschienen als Software auf CD-ROM)
- [17] Hassel, D.; Jost, P.; Weber, F.-J.; Dursbeck, F.; Sonnborn, K.-S. und D. Pletttau: Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990, Forschungsbericht 104 05 151/02, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995
- [18] Kohoutek, P. (Volkswagen AG): pers. Mitteilung 1999
- [19] Hassel, D.; Weber, F.; Sonnborn, K.: Ermittlung von Pkw-Emissionsfaktoren von Fahrzeugen der Baujahre 1991 bis 1994 in der Bundesrepublik Deutschland und Fortschreibung des Handbuchs – Teil 1. TÜV Rheinland, Forschungsbericht 205 06 100/01, im Auftrag des Umweltbundesamtes. Köln 1997
- [20] Hassel, D.; Jost, P.; Weber, F.-J.; Dursbeck, F.; Sonnborn, K.-S. und D. Pletttau: Emissionsfaktoren – Ermittlung, Chance, Grenzen. Tagungsband: Block I, 438. Seminar Schadstoffemissionsberechnung des Verkehrs mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren. Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung, speziell für Immissionsberechnung nach § 40 Absatz 2 BImSchG, UBA, Berlin 1996
- [21] Ermittlung von Abgas-Emissionsfaktoren von Straßenfahrzeugen in der Schweiz Teil 2: Schwere Motorwagen, Umweltmaterialien Nr. 38, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1995
- [22] Emissionsfaktoren von motorisierten Zweirädern in der Schweiz. – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Umwelt-Materialien Nr. 39, Luft, Bern 1995
- [23] Keller, M.; Evéquo, R.; Heldstab, J. und Kessler, H.: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010. – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr. 255, Luft, Bern 1995
- [24] Ermittlung von Abgas-Emissionsfaktoren von Straßenfahrzeugen in der Schweiz Teil 1: Leichte Motorwagen, Umweltmaterialien Nr. 37, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1995
- [25] Bach, C. und A. Paul: Verdampfungs- und Abgasmessungen an leichten Motorwagen. Arbeitsunterlage 6 zu: Luftschadstoffemissionen des Straßenverkehrs in der Schweiz 1990–2010. EMPA, Dübendorf. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern 1993
- [26] Forschungsstelle für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftstoffe: Abschätzung der Kohlenwasserstoffemissionen während des Betriebes eines Kraftfahrzeuges mit Otto-Motor (Running Losses) in der Bundesrepublik Deutschland, Kaiserslautern 1993
- [27] Mitteilung des Umweltbundesamtes Berlin vom 12.02.2001
- [28] Schmitz, T.; Hassel, D. und F. Weber: Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffe im Abgas unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte. – Berichte des Forschungszentrums Jülich Jül-3646 1999
- [29] Patyk, A. und U. Höpfner: Komponenten-Differenzierung der Kohlenwasserstoffemissionen von Kfz: Ermittlung von Faktoren zur Bestimmung der differenzierten Kohlenwasserstoffemissionen bei Kfz zur Erfüllung der Anforderungen des § 40.2 BImSchG; ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Forschungsbericht 105 06 069 des Umweltbundesamtes, Berlin 1995
- [30] Rauterberg-Wulff, A.: Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Rußemission an Straßen. Fortschrittberichte VDI, Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 202, VDI Verlag, Düsseldorf 1998
- [31] Maßnahmen orientiertes Berechnungsinstrumentarium für die lokalen Schadstoffemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs, Dokumentation und Benutzerhandbuch, Version 2.2, Fiege GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes: 1998
- [32] Israël, G.; Schlums, C.; Treffeisen, R.; Pesch, M.: Rußimmission in Berlin. – VDI Fortschrittsberichte Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 152, Düsseldorf: VDI Verlag 1996
- [33] Carli, S.: Charakterisierung der partikelförmigen Emissionen von Diesel-Motoren bei Betrieb mit Diesel-Kraftstoff und Schwerölen. Dissertation, Fachbereich 06, Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Werkstoffwissenschaften der TU Berlin, Berlin: 1995
- [34] Stark, R.: Environmental Impact of a Tire, KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe, 48. Jahrgang, Nummer 6, Seite 448 bis 453, 1995
- [35] Baumann, W. und M. Ismeier: Exemplarische Erfassung der Umweltexposition ausgewählter Kautschukderivate bei der bestimmungsgemäßen Verwendung in Reifen und deren Entsorgung, UBA Forschungsvorhaben 106 02 081, Institut für Umweltforschung (INFU), Universität Dortmund 1997
- [36] Garben, M.; Wiegand, G.; Liwicki, M. und S. Eulitz: Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr Berlin 1993, IVU GmbH Berlin, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin. Berlin 1996
- [37] Sonnborn, K.-S. Hassel, D. und F.J. Weber: Einfluss der Kaltstarttemperatur auf das Emissionsverhalten von PKW. TÜV Rheinland, im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Köln 1997
- [38] Friedrich, R., Wickert, B., Emeis, S., Engewald, W., Hassel, D., Hoffmann, H., Michael, H., Schäfer, K., Sedlmaier, A., Schmitz, T., Stockhause, Weber, F.-J.: Development of Emission Models and Improvement of Emission Data for Germany. Journal of Atmospheric Chemistry 42 (2002), 179/206
- [39] Ergänzungsmessungen zum Projekt „Luftschadstoffemissionen des Straßenverkehrs in der Schweiz 1990–2010“, EMPA, im Auftrag von BUWAL, Dübendorf 1994
- [40] Trostorf, L.; Feix, C. und U. Friedrich: Erarbeitung von Datengrundlagen für Ausbreitungsrechnungen für Kfz-bedingte Luftschadstoffemissionen im Land Brandenburg (Emissionskataster Verkehr Brandenburg), IVU-Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung und Landesumweltamt Brandenburg im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Berlin 1995
- [41] Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Heft 8, 1974
- [42] Benutzerhandbuch Vissim 3.00, Karlsruhe
- [43] Nagel, C: Entwicklung eines Simulationsmodells zur Berechnung von Reduktionspotentialen der Pkw-Abgasemissionen im städtischen Verkehr unter besonderer Berücksichtigung des Kaltstart- und des Warmlaufverhaltens; in Vorbereitung (Dissertation TU Clausthal) 2002
- [44] FIGE 1995: Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen, Auswertung des Fahrverhaltens von schweren Motorwagen, Arbeitsgrundlage 15, im Auftrag des BUWAL, April 1995
- [45] Hassel, D.; Dursbeck, F.; Brosthaus, J.; Jost, Dr. P. und Dr. K. Hofmann: Das Abgasemissionsverhalten von Personenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1985, Umweltbundesamt Berichte 7/1987, Berlin, Erich Schmidt Verlag 1987
- [46] Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrsweginvestitionen, Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992, Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 72
- [47] Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Ausgabe 1997, Entwurf, Aktualisierung der RAS-W 86, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [48] Aktualisierung der Typologie und der Mengen-Geschwindigkeits-Abhängigkeiten des Netzmodells der Bundesfernstraßen, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Heusch-Bosfeld GmbH, Aachen 1993

- [49] *Hartung, J.; Elpelt, B. und K.-H. Klösener*: Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 10. Auflage. München: R. Oldenbourg Verlag, 1995
- [50] *Sachs, L.*: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 8. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 1997
- [51] *Kühlwein, J. and R. Friedrich*: Uncertainties of modelling emissions from road transport. *Atmospheric Environment* 34 (2000), pp. 4603/4610
- [52] *Streck, B.H.*: Grundlagen der Statistik – Eine praxisorientierte Einführung mit Fallbeispielen. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer Verlag, 1991
- [53] *Hartwig, G.*: Einführung in die Fehler- und Ausgleichsrechnung – Unter Berücksichtigung einiger Überlegungen aus der Mathematischen Statistik – Das Fachwissen des Ingenieurs. München: Carl Hanser Verlag, 1967
- [54] *Lichten, W.*: Skriptum Fehlerrechnung – Eine Einführung in die Analyse experimenteller Daten für Studenten der Naturwissenschaften – Mit Programmen für alle gängigen Taschenrechner. Berlin: Springer-Verlag, 1988
- [55] Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Querschnitte RAS-Q 96 Ausgabe 1996, Ausgabe 1996, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) – Arbeitsgruppe Straßenentwurf, FGSV Verlag GmbH
- [56] *Schirmer, H., Kuttler, W., Löbel, J. und K. Weber*: Lufthygiene und Klima – Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Hrsg. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN. Düsseldorf: VDI Verlag, 1993
- [57] *Kühlwein, J.; Friedrich, R.; Obermeier, A. und J. Theloke*: Abschätzung und Bewertung der Unsicherheiten hochaufgelöster NO_x- und NMVOC-Emissionsdaten. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart. Im Auftrag des PEF – Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung, Karlsruhe, Berichtsreihe FZKA-BWPLUS, Juli 1999, <http://bwplus.fzk.de/berichte/SBer/PEF296002SBer.pdf>
- [58] Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen Baden-Württemberg: Daten der Straßendatenbank des Landes Baden-Württemberg. Stuttgart, 1993. persönliche Mitteilungen
- [59] *Lensing, N.*: Straßenverkehrszählung 1990. Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach. Verkehrstechnik Heft V 25, 1995
- [60] *Lensing, N.*: Straßenverkehrszählung 1995. Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach. Verkehrstechnik Heft V 41, 1997
- [61] *Ionescu, G.; Nitzsche, R. und W. Tautz*: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1994 – Jahresauswertung der Langzeitzählstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V 32. Bergisch Gladbach 1996
- [62] *Lensing, N.; Schmidt, G.; Heusch, H.; Boesefeldt, J.; Heide-mann, D. und B. Paatz*: Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland: Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Bergisch Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Schriftenreihe „Straßenverkehrszählung“, Heft 36. Bericht im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, 1986
- [63] *Vogel, B.; Corsmeier, U.; Vogel, H.; Fiedler, F.; Kühlwein, J.; Friedrich, R.; Obermeier, A.; Weppner, J.; Kalthoff, N.; Bäumer, D.; Bitzer, A. and K. Jay*: Comparison of Measured and Calculated Motorway Emission Data. *Atmospheric Environment* 34 (2000), pp. 2437/2450
- [64] Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg: Statistische Mitteilungen. Reihe 2: Kraftfahrzeuge, Sonderheft 2. Bestand an Kraftfahrzeugen u. Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1994 nach Zulassungsbezirken in Deutschland. Stuttgart: Metzler Poeschel Verlag, 1994
- [65] *John, C.*: Emissionen von Luftverunreinigungen aus dem Straßenverkehr in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Untersuchung von Emissionsszenarien am Beispiel Baden-Württembergs. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Forschungsberichte Band 58, Dissertation, 1999
- [66] *Hassel, D.; Sonnborn, K.-S. und F.-J. Weber*: Vertrauensbereich der Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland. TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH. Förderschwerpunkt Troposphärenforschung (TFS) des BMBF, Leitthema 2, Projekt A.2, Förderkennzeichen 07TFS20/2. Köln 1998
- [67] *Hassel, D.; Sonnborn, K.-S. und F.-J. Weber*: Vertrauensbereich der Abgas-Emissionsfaktoren von schweren Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland. TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH. Förderschwerpunkt Troposphärenforschung (TFS) des BMBF, Leitthema 2, Projekt A.2, Förderkennzeichen 07TFS20/2. Köln 1998
- [68] *Kuschik, B.*: Erhebung von Verkehrsdaten zur Optimierung und Typisierung der Emissionsmodellierung des Straßenverkehrs im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Berlin 1998
- [69] *Friedrich, U.*: Ermittlung von emissionsrelevanten Verkehrsdaten aus Haushalts- und Straßenverkehrsbefragungen. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam 1999
- [70] *Blümel, H. und M. Liwicki*: EMISS – ein methodisch neuer Ansatz zur Ermittlung der Schadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs; VDI-Berichte Nr. 1228, Düsseldorf 1995
- [71] *Friedrich, U.*: Auswertung der Studie „Erhebung von Verkehrsdaten zur Optimierung und Typisierung der Emissionsmodellierung des Straßenverkehrs“. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam 1999
- [72] *Zenger, A., van der Pütten, N., Gritsch, Th., Sinn, M., Rabl, P. und H. Gabler*: Tiefgaragenabluft – Analyse der Luftqualität sowie Entwicklung eines Modells zur Prognose der Emissionen, VDI-Kolloquium Heidelberg „Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität“, VDI Berichte 1999, S. 787
- [73] *Zenger, A., Gritsch, Th., Höpfner, U., Sinn, M., Rabl, P., van der Pütten, N. and H. Gabler*: Predicting emission and mean air quality in underground garages, Tagungsband „Transport and air pollution and cost 319 Final conference 1999“, Graz 1999
- [74] *Zenger, A.*: MOPELIT – Modell zur Prognose der Emissionen aus und Lufthygiene in (Tief-)Garagen, Fachtagung „Luftschadstoffbelastung in und um Parkgaragen“ des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz am 24. April 2001